



Université des sciences et technologies de Lille

Faculté des sciences économiques et sociales

Thèse

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université des sciences et technologies de Lille

Economie Appliquée

Présentée et soutenue publiquement par

Mihai TIVADAR

le 08/12/2006

STRUCTURES SOCIALES URBAINES ET VILLE ECOLOGIQUE

Thèse financée par l'ADEME

Directeur de la thèse :

M. Hubert JAYET

Membres du jury :

M. Yves CROZET, Professeur des Universités, Directeur du Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon, RAPPORTEUR

Mme. Florence GOFFETTE-NAGOT, Chargé de Recherche au CNRS (HDR), GATE et Université de Lyon 2, RAPPORTEUR

M. Hubert JAYET, Professeur des Universités, Université de Lille 1, Directeur du Laboratoire EQUIPPE-MEDEE ; DIRECTEUR DE THESE

Mme. Sonia PATY, Maître de Conférence (HDR), l'Université de Lille 1, INRA Dijon

M. Jean-Philippe TROPEANO, Professeur des Universités, Université Pierre Mendès-France, Grenoble

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Hubert Jayet, qui m'a guidé et m'a conseillé chaleureusement pendant mes premiers pas vers la recherche. Je lui remercie de sa confiance et des exigences qu'il a placées en moi. C'est un directeur de recherche disponible qui m'a toujours encouragé et poussé à donner le meilleur de moi-même; c'est aussi un grand chercheur dont les intuitions sont toujours une source de réflexions enrichissantes.

Je remercie également l'ADEME, pour leur soutien, plus que financier, pour la réalisation de cette thèse. Je tiens à remercier les enseignants de l'Université de Lille 1, qui pendant mes années de doctorat ont su me guider pendant mes premières expériences d'enseignement. Je remercie également les chercheurs que j'ai croisés dans différents colloques et séminaires, pour leurs conseils et les discussions intéressantes.

Merci à mes collègues thésards du MEDEE, qui en plus de l'ambiance au labo et en dehors, m'ont apporté du soutien pour la finalisation de ce projet. Merci à tous les « lillieci », pour leur amitié et leur soutien pour tout ce que j'ai entrepris pendant mon séjour en France.

Merci infiniment à mes Parents et ma Sœur, qui m'ont encouragé et ont cru en moi, non seulement pendant ces années de doctorat, mais tout au long de ma vie. Sans eux, je ne serais jamais arrivé ici.

Cette thèse est dédiée à Cosmina, mon « ingeras ». C'est toi qui m'as appris et m'as montré ce qu'il y a de plus beau dans la vie et en moi. Pendant tous les moments, c'est ton amour et ta confiance absolue qui m'ont poussé vers l'avant, m'ont donné l'espérance. Je ferais de mon mieux pour t'offrir au moins une partie de tout ce que t'as fait pour moi. De tout mon cœur, merci.

Résumé

Il y a aujourd'hui peu de connexions entre les analyses économiques des structures urbaines d'une part, et les travaux en économie des transports et de l'environnement d'autre part. Cependant, bien qu'en apparence disjoints, ces domaines entretiennent des liens substantiels qui sont la conséquence du fait que nos économies sont aujourd'hui presque totalement urbanisées et que, de ce fait, leur fonctionnement économique se traduit directement dans les structures économiques et sociales de leurs villes.

En conséquence, l'objectif principal de cette thèse est d'étudier les liens entre les fondamentaux économiques urbains (demande d'espace des ménages, nature et importance des coûts objectifs et perçus des différents modes de transport), les structures urbaines et l'impact écologique de la ville, en débouchant sur une analyse du rôle des aménageurs publics et des politiques urbaines qu'ils mettent en place.

Les politiques urbaines déclenchent des mécanismes complexes qui provoquent des effets différents à court terme et à long terme. Les effets à court terme passent par un changement des conditions et des coûts de chaque mode de transport. Les habitants vont réagir par une modification des comportements de déplacement, ce qui implique des impacts sur les niveaux de congestion et de pollution. Mais ces effets peuvent être plus profonds qu'une simple modification de l'intensité d'usage des transports urbains. A long terme, les modifications des coûts de déplacement et de l'attractivité de la ville conduisent à de nouvelles décisions de localisation, ce qui peut affecter fortement la structure de la ville. En retour, la modification de la structure socio-spatiale de la ville détermine de nouvelles conditions de déplacement et de qualité environnementale. Ainsi, la structure sociale de la ville non seulement influence les conditions et la structure de déplacements et la qualité environnementale, mais elle peut être également le résultat à long terme de ces deux facteurs. Dans ce contexte, la décision du planificateur ne doit pas être limitée à une perspective de court terme, parce que ces choix peuvent transformer radicalement la structure entière de la ville et des effets inattendus peuvent apparaître.

Mots clés : Economie urbaine, Transports Urbains, Structures Sociales Urbaines, Ségrégation Sociale, Pollution Urbaine, Externalités, Aménités, Localisation, Inégalités, Congestion

Classification JEL : R0, R14, R2, R4, R5, C02, C15, C31, D11, D31, D62, H21, H23, Q52, Q53

Résumé en anglais

To our knowledge, there are few pieces of work studying the connections between the economic analysis of the urban structures and the economics of transportation and environment. However, although seemingly unlinked, these fields are substantially connected because actual economies are almost completely urbanized and consequently, their economic functioning is translated directly into the cities' economic and social structures.

Thus, the main objective of this thesis is to study the links amongst the urban economic fundamentals (the households' demand for land, the nature and the importance of the objective and subjective transportation costs), the urban structures and the ecological impact of the city, leading to an analysis of the role of the public authority and urban policies.

The urban policies imply complex mechanisms which cause different effects in the short and the long-run term. The short-term effects pass by a change in the conditions and costs of each means of transportation. Households react by modifying their commuting behaviour, which has some impacts on the congestion and pollution levels. But these effects may be more profound than a simple modification in the intensity of urban transportation usage. In the long run, the modifications in the commuting costs and in the city's attractiveness, lead to new localization decisions, which can strongly affect the city's structure. In return, the change in the urban social structure determines new commuting conditions and a renewed environmental quality. Thus, the social structure of the city does not only influence the transportation conditions and structure and the environmental quality, but it can also be the consequence of these two factors. In this context, the planner's decision should not be limited to a short term prospect, since these choices can radically transform the whole structure of the city and unexpected effects may appear.

Keywords: Urban Economics, Urban Transportation, Urban Social Structures, Social Segregation, Urban Pollution, Externalities, Amenities, Location, Congestion

JEL Classification: R0, R14, R2, R4, R5, C02, C15, C31, D11, D31, D62, H21, H23, Q52, Q53

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	17
CHAPITRE 1 STRUCTURES SOCIALES, TRANSPORTS ET POLLUTION EN MILIEU URBAIN : UNE REVUE DE LITTERATURE	24
1.1 L'ECONOMIE URBAINE : L'USAGE DU SOL ET LA SEGREGATION SOCIALE.....	25
1.1.1 Typologie des modèles économiques urbains.....	27
1.1.2 Les modèles monocentriques.....	28
1.1.3 Les modèles dynamiques.....	58
1.1.4 Les modèles non-monocentriques.....	62
1.2 L'ECONOMIE DES TRANSPORTS URBAINS.....	65
1.2.1 La modélisation des systèmes de transports urbains.....	66
1.2.2 La demande de transports urbains.....	71
1.2.3 L'offre d'infrastructures de transports urbains	79
1.2.4 L'offre de transports publics.....	84
1.2.5 Les politiques tarifaires	85
1.2.6 Les politiques de transports urbains et l'équité sociale.....	94
1.2.7 L'impact des politiques de transports sur la structure urbaine	98
1.3 L'ECONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT.....	103
1.3.1 L'économie de l'environnement dans un contexte aspatial.....	103
1.3.2 L'impact écologique du secteur industriel dans une zone urbaine	108
1.3.3 L'impact environnemental du secteur des transports urbains.....	112
CHAPITRE 2 ANALYSE DE LA SEGREGATION SOCIALE DANS LES AGGLOMERATIONS FRANCAISES	122
2.1 INTRODUCTION	123
2.2 DEFINITION DES INDICES DE SEGREGATION	124
2.2.1 Les indices d'égalité (ou de distribution)	124
2.2.2 Les indices d'exposition	127
2.2.3 Les indices de concentration.....	128
2.2.4 Les indices de centralisation	129
2.2.5 Les indices de regroupement	130

2.3	LA SEGREGATION SPATIALE DES CATEGORIES SOCIO- PROFESSIONNELLES DANS LES AGGLOMERATIONS FRANCAISES.....	132
2.3.1	Les données.....	132
2.3.2	Une vue d'ensemble des agglomérations françaises d'aujourd'hui.....	133
2.3.3	Ile de France.....	135
2.3.4	L'agglomération lyonnaise	142
2.3.5	L'agglomération Marseille – Aix-en-Provence	147
2.3.6	L'agglomération lilloise	151
2.3.7	Les autres agglomérations françaises.....	154
2.4	SEGREGATION ENTRE NATIONALITES.....	159
2.4.1	Ile de France et Paris	159
2.4.2	La communauté urbaine Grand Lyon.....	160
2.4.3	Communauté urbaine de Marseille	161
2.4.4	Les autres agglomérations	162
2.5	AUTRES AGGLOMERATIONS EUROPEENNES.....	163
2.5.1	Genève.....	163
2.5.2	Bruxelles.....	164
2.6	CONCLUSIONS.....	167
	<i>ANNEXES 2.A : SEGREGATION SOCIO-PROFESSIONNELLE</i>	<i>169</i>
	<i>Annexes 2.A.1 Les principaux indices de ségrégation : un overview sur la France</i>	<i>169</i>
	<i>Annexes 2.A.2 Ile de France en cartes.....</i>	<i>172</i>
	<i>Annexes 2.A.3 Les indices de ségrégation : constats dans l'Ile de France</i>	<i>174</i>
	<i>Annexes 2.A.4 Les arrondissements parisiens</i>	<i>177</i>
	<i>Annexes 2.A.5 L'agglomération lyonnaise en cartes.....</i>	<i>179</i>
	<i>Annexes 2.A.6 Les indices de ségrégation : constats dans l'agglomération lyonnaise..</i>	<i>181</i>
	<i>Annexes 2.A.7 L'agglomération Marseille - Aix-en-Provence en cartes.....</i>	<i>186</i>
	<i>Annexes 2.A.8. Les indices de ségrégation : l'agglomération Marseille – Aix-en- Provence.....</i>	<i>188</i>
	<i>Annexes 2.A.9 L'agglomération lilloise.....</i>	<i>193</i>
	<i>Annexes 2.A.10 Les indices de ségrégation : l'agglomération lilloise.....</i>	<i>195</i>
	<i>Annexes 2.A.11 Les indices de ségrégation dans les autre agglomérations française... </i>	<i>198</i>
	<i>ANNEXES 2.B : SEGREGATION ETHNIQUE</i>	<i>204</i>
	<i>Annexes 2.B.1. Paris.....</i>	<i>204</i>
	<i>Annexes 2.B.2. Grand Lyon.....</i>	<i>206</i>

<i>Annexes 2.B.3. Communauté urbaine de Marseille</i>	208
<i>Annexes 2.B.4. Les autres agglomérations françaises</i>	210
ANNEXES 2.C : SEGREGATION SOCIALE DANS L'AGLOMERATION DE GENEVE	214
<i>Annexe 2.C.1. Analyses cartographiques</i>	214
<i>Annexe 2.C.2. Les indices de ségrégation</i>	215
ANNEXES 2.D : SEGREGATION SOCIALE DANS L'AGLOMERATION BRUXELLESOISE	
.....	216
<i>Annexe 2.D.1. La ségrégation en fonction du revenus des ménages</i>	216
<i>Annexe 2.D.2. La ségrégation ethnique</i>	217
CHAPITRE 3 L'IMPACT DES AMENITES SUR LA STRUCTURE SOCIO- SPATIALE DES VILLES	219
3.1 INTRODUCTION	220
3.2 LE MODELE	223
3.3 L'ETUDE DES EQUILIBRES STATIONNAIRES	229
3.3.1 Les fonctions d'aménités et d'enchères à l'état stationnaire	229
3.3.2 L'existence de l'équilibre de type américain.....	231
3.3.3 L'existence de l'équilibre de type européen	234
3.3.4 La possibilité d'équilibres multiples	237
3.4 COMPARAISONS EN TERMES D'OPTIMALITE.....	241
3.4.1 Comparaison du surplus dans le cadre d'une ville ouverte	241
3.4.2 Comparaison dans le cadre d'une ville fermée	243
3.4.3 Comparaison des villes ouvertes de même surface.....	247
3.5 EVOLUTION DYNAMIQUE DE LA VILLE	249
3.5.1 Le scénario de référence : structure sociale de type européen.....	249
3.5.2 Equilibre de type américain	252
3.6 L'IMPACT DES COUTS DE TRANSPORT DIFFERNTIES	254
3.7 CONCLUSIONS.....	255
<i>ANNEXES 3.A. LES RELATIONS ENTRE LES NIVEAUX D'UTILITE DES DEUX CATEGORIES SOCIALES</i>	257
<i>ANNEXES 3.B : LES RESULTATS GRAPHIQUES DES SIMULATIONS NUMERIQUES</i> ..	258
<i>Annexes 3.B.1. Le scénario de référence : structure sociale de type européen</i>	258
<i>Annexes 3.B.2. Structure sociale de type américain</i>	259
<i>ANNEXES 3.C LES PRINCIPALE PROCEDURES INFORMATIQUES</i>	260

<i>Annexes 3.C.1. Comparaison du surplus en villes ouvertes</i>	<i>260</i>
<i>Annexes 3.C.2. Comparaison des niveaux d'utilité en villes fermées</i>	<i>261</i>
<i>Annexes 3.C.3. Evolution dynamique de la ville</i>	<i>263</i>

CHAPITRE 4 L'IMPACT DES POLITIQUES DE TRANSPORTS SUR LA STRUCTURE SOCIO-SPATIALE ET LE FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE

D'UNE VILLE.....265

4.1	INTRODUCTION	266
4.2	LES QUESTIONS TRAITÉES ET LES ÉVOLUTIONS POSSIBLES	270
4.2.1	De quelques caractéristiques fondamentales du modèle actuel	270
4.2.2	Ce qu'on peut faire avec le modèle actuel	271
4.2.3	Les évolutions possibles	272
4.3	STRUCTURE DU MODÈLE	274
4.3.1	La structure géographique de la ville	274
4.3.2	La structure économique de la ville	275
4.4	LE FONCTIONNEMENT DU MODÈLE ET LA DÉTERMINATION DE L'ÉQUILIBRE	279
4.4.1	La boucle des déplacements.....	279
4.4.2	La boucle des localisations	281
4.4.3	La boucle de la pollution	282
4.5	LE MODÈLE ANALYTIQUE	284
4.5.1	Structure physique.....	284
4.5.2	Structure résidentielle.....	284
4.5.3	Les choix et les coûts de transport	285
4.5.4	La production de transport.....	289
4.5.5	L'équilibre	290
4.6	LA SIMULATION D'UN SCÉNARIO DE BASE	293
4.6.1	Introduction.....	293
4.6.2	Les paramètres et les formes fonctionnelles	293
4.6.3	La simulation du scénario de base.....	303
4.7	LES CHOIX DE TARIFICATION DES TRANSPORTS EN VOITURE	318
4.7.1	Taxation du stationnement ou péage zonal.....	319
4.7.2	Péage de congestion linéaire.....	334
4.7.3	Cordon en banlieue.....	343

4.7.4	Péage de type cordon localisé en périphérie	351
4.7.5	Taxation des carburants	355
4.7.6	Synthèse des instruments de tarification des déplacements privés	357
4.8	LES CHOIX DE TARIFICATION DES TRANSPORTS EN COMMUN	363
4.8.1	Tarification unique des transports en commun	363
4.8.2	Tarification différenciée des transports en commun.....	369
4.8.3	Confrontation des instruments de tarification des déplacements publics.....	373
4.9	LES POLITIQUES D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE	376
4.9.1	Choix en matière de superficie de stationnement au hyper-centre	376
4.9.2	Choix en matière de superficie de la voirie des transports en commun	381
4.9.3	Choix en matière de capacité de la voirie de transports en voiture.....	386
4.9.4	Choix en matière de superficie résidentielle en périphérie.....	390
4.9.5	Confrontation et synthèse des politiques d'aménagement.....	393
4.10	CONCLUSIONS.....	397
	<i>ANNEXES 4.A.1 L'IMPACT DE LA TAXATION DU STATIONNEMENT SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA VILLE.....</i>	<i>400</i>
	<i>ANNEXES 4.A.2 L'IMPACT DU PEAGE LINEAIRE SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA VILLE.....</i>	<i>412</i>
	<i>ANNEXES 4.A.3 L'IMPACT DU PEAGE CORDON EN BANLIEU SUR LA VILLE</i>	<i>422</i>
	<i>ANNEXES 4.A.4 L'IMPACT DU PEAGE CORDON EN PERIPHERIE SUR LA VILLE</i>	<i>431</i>
	<i>ANNEXES 4.A.5 CONFRONTATION DES INSTRUMENTS DE TARIFICATIONS DES TRANSPORTS PRIVES.....</i>	<i>437</i>
	<i>ANNEXES 4.A.6 L'IMPACT D'UNE POLTIQUE DE TARIFICATION UNIQUE DES TRANSPORTS EN COMMUN.....</i>	<i>442</i>
	<i>ANNEXES 4.A.7 L'IMPACT D'UNE POLTIQUE DE TARIFICATION DIFFERENTIEE DES TRANSPORTS EN COMMUN.....</i>	<i>451</i>
	<i>ANNEXES 4.A.8 CONFRONTATION DES INSTRUMENTS DE TARIFICATIONS DES TRANSPORTS EN COMMUN.....</i>	<i>456</i>
	<i>ANNEXES 4.A.9 L'IMPACT D'UNE POLTIQUE D'AMENAGEMENT DE LA SUPERFICIE DU STATIONNEMNT AU HYPER-CENTRE</i>	<i>458</i>
	<i>ANNEXES 4.A.10 L'IMPACT D'UNE POLTIQUE D'AMENAGEMENT DE LA SUPERFICIE DE LA VOIRIE DES TRANSPORTS EN COMMUN</i>	<i>463</i>
	<i>ANNEXES 4.A.11 L'IMPACT D'UNE POLTIQUE D'AMENAGEMENT DE LA VOIRIE DES TRANSPORTS PRIVES.....</i>	<i>468</i>

<i>ANNEXES 4.A.12 L'IMPACT D'UNE POLITIQUE D'AMENAGEMENT DE LA SUPERFICIE RESIDENTIELLE EN PERIPHERIE</i>	472
<i>ANNEXES 4.A.13 CONFRONTATION DES INSTRUMENTS D'AMENAGEMENT DU TERITOIRE</i>	478
<i>ANNEXES 4.A.14 PRINCIPALES PROCEDURES INFORMATIQUES</i>	481
<i>Annexes 4.A.14.1 Les équations de calcul de l'équilibre</i>	481
<i>Annexes 4.A.14.2 Principales procédures de simulation</i>	486
<i>Annexes 4.A.14.3 Un exemple de simulation</i>	492
CONCLUSION GENERALE	494
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	503

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Changements de nomenclature concernant la catégorie socioprofessionnelle	132
Tableau 3.1 : Valeurs des paramètres stationnaires	241
Tableau 3.2 : Valeurs des paramètres du scénario de référence	250
Tableau 3.3 : Changements des paramètres pour l'équilibre « américain »	252
Tableau 4.1: Effet de la taxation du stationnement sur les configurations d'équilibre	319
Tableau 4.2: Effet de la taxation du stationnement sur le surplus	322
Tableau 4.3: Niveaux de pollution pour une taxation optimale du stationnement	330
Tableau 4.5: L'effet du péage linéaire sur le surplus	337
Tableau 4.6: Niveaux de pollution au niveau efficace de péage linéaire	341
Tableau 4.7: Effet du cordon en banlieue sur les configurations d'équilibre	345
Tableau 4.8: L'effet du cordon en banlieue sur le surplus	345
Tableau 4.9: Niveaux de pollution par équilibre au niveau efficace de cordon en banlieue	349
Tableau 4.10: Effet du cordon en périphérie sur les configurations d'équilibre	351
Tableau 4.11: Effet du cordon en périphérie sur le surplus	352
Tableau 4.12: Le niveau de pollution pour un cordon en périphérie optimal	354
Tableau 4.13: Niveau annuel optimal de taxes par instrument, zone et type d'équilibre	357
Tableau 4.14: Surplus par instrument tarifaire par rapport au scénario de référence	358
Tableau 4.15: Niveau de pollution par instrument tarifaire	361
Tableau 4.16: Configurations d'équilibre pour une tarification unique des TC	364
Tableau 4.17: Configurations d'équilibre pour une tarification différenciée des TC	370
Tableau 4.18: Tarification annuelle optimale des transports en commun	373
Tableau 4.19: Surplus par politique de tarification des transports en commun	373
Tableau 4.20: Niveau de pollution par politique de tarification des transports en commun	374
Tableau 4.21: Configurations d'équilibre en fonction de la superficie du stationnement	376
Tableau 4.22 : Effet de la voirie des TC sur la structure socio-spatiale de la ville	382
Tableau 4.23 : Effet de la voirie des transports privés sur la structure socio-	387
Tableau 4.24 : Effet de la superficie résidentielle en périphérie sur la structure sociale	391
Tableau 4.25 : Superficie optimale pour chaque instrument d'aménagement	394
Tableau 4.26 : Surplus maximal pour chaque instrument d'aménagement	394
Tableau 4.27 : Niveau de pollution pour chaque instrument d'aménagement	396

Liste des cartes

Carte 2.1 : La population totale et densité de la population dans l’Ile de France	135
Carte 2.2: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’Ile de France	136
Carte 2.3 : La population totale et densité de la population à Paris	140
Carte 2.4: La distribution des cadres et des ouvriers à Paris	141
Carte 2.5 : La population totale et densité de la population dans l’agglomération lyonnaise	142
Carte 2.6: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Lyon	143
Carte 2.7: La distribution des cadres et des ouvriers dans la communauté urbaine Grand Lyon	146
Carte 2.8 : La population et la densité dans l’agglomération Marseille - Aix-en-Provence ..	147
Carte 2.9: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine Marseille – Aix	148
Carte 2.10: Les cadres et les ouvriers dans la communauté urbaine de Marseille.....	150
Carte 2.11 : La population et la densité de la population dans l’agglomération lilloise	152
Carte 2.12: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Lille	152
Carte 2.13: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Toulouse	154
Carte 2.14: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Nice	155
Carte 2.15: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Bordeaux.....	156
Carte 2.16: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Nantes.....	157
Carte 2.17: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Strasbourg.....	157
Carte 2.18: La distribution des cadres et des ouvriers dans l’aire urbaine de Toulon.....	158
Carte 2.19: La distribution des étrangers dans l’Ile de France	159
Carte 2.20: La distribution des cadres et des ouvriers dans le canton de Genève	163
Carte 2.21: Revenu moyen déclaré par ménage dans la région Bruxelles-Capitale	165

Liste des figures

Figure 1.1. L'espace de consommation et la courbe d'indifférence.....	30
Figure 1.2. Rente d'enchères et surface d'enchères	31
Figure 1.3. Les effets de la variation de la distance	33
Figure 1.4. Détermination de la localisation d'équilibre.....	34
Figure 1.5. L'équilibre foncier compétitif.....	36
Figure 1.6. L'ordre des localisations à l'équilibre.....	40
Figure 1.7. La configuration d'équilibre urbain	45
Figure 1.8. Le développement myope	60
Figure 1.9 : Les relations vitesse-flux-densité	67
Figure 1.10. L'allocation optimale du sol pour le système de transport urbain avec le CBD exogène	81
Figure 1.11. L'allocation optimale du sol pour le système de transport urbain avec le CBD endogène	82
Figure 1.12. La taxe pigouvienne en équilibre partiel.....	105
Figure 3.1 : Les fonctions d'enchères dans une situation sans aménités.....	224
Figure 3.2 : La fonction d'aménités à la deuxième période.....	227
Figure 3.3 : Les enchères et les aménités à l'équilibre de long terme de type américain	232
Figure 3.4 : Les enchères et les aménités à l'équilibre de long terme de type européen	235
Figure 3.5 : Les niveaux d'utilité pour lesquels les deux équilibres existent	240
Figure 3.6 : Différence des rentes différentielles entre les deux structures urbaines.....	243
Figure 3.7 Différence des niveaux d'utilité des ménages riches.....	245
Figure 3.8 Différence des niveaux d'utilité des ménages pauvres.....	246
Figure 3.9 : L'évolution de la ville dans le scénario de référence	251
Figure 3.10 : L'évolution de la ville dans le scénario « américain »	252
Figure 4.1. L'impact des politiques tarifaires sur la structure socio-spatiale de la ville	267
Figure 4.2. L'impact de l'aménagement du territoire sur la ville	268
Figure 4.3. La structure géographique de la ville.....	274
Figure 4.4. Les trois boucles du modèle	279
Figure 4.5. La boucle de déplacements	280
Figure 4.6. La boucle de localisation.....	281
Figure 4.7. La boucle de pollution	282
Figure 4.8: Effet de la taxation du stationnement sur le surplus.....	321
Figure 4.9 : Effets de la taxation du stationnement sur la pollution.....	329
Figure 4.10: Effet du péage linéaire sur le surplus.....	337
Figure 4.11 : Effets du péage linéaire sur la pollution	340
Figure 4.12: Effet du péage cordon en banlieue sur le surplus	346
Figure 4.13 : Effets du péage cordon en banlieue sur la pollution.....	348
Figure 4.14: Effet du péage cordon en périphérie sur le surplus	353
Figure 4.15 : Effets du cordon en périphérie sur la pollution	354
Figure 4.16 : Effets de la taxation unique des transports en commun sur le surplus	365
Figure 4.17 : Effets de la taxation unique des transports en commun sur la pollution	367
Figure 4.18 : Effets de la taxation différenciée des transports en commun sur le surplus.....	371
Figure 4.19 : Effet de la taxation différenciée des transports en commun sur la pollution.....	372
Figure 4.20: Effet de la variation de la superficie de stationnement sur le surplus	378
Figure 4.21: Effet de la variation de la superficie de stationnement sur la pollution.....	380

Figure 4.22: Effet de la variation de la capacité des transports en commun sur le surplus	383
Figure 4.23: Effet de la variation de la capacité des transports en commun sur la pollution .	385
Figure 4.24: Effet de la variation de la capacité des transports privés sur le surplus	388
Figure 4.25: Effet de la variation de la capacité des transports privés sur la pollution.....	389
Figure 4.26: Effet de la variation de la superficie résidentielle en périphérie sur le surplus..	391
Figure 4.27: Effet de la variation de la superficie résidentielle en périphérie sur la pollution	392

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Il y a aujourd'hui peu de connexions entre les analyses économiques des structures urbaines d'une part, et les travaux en économie des transports et de l'environnement d'autre part. Cependant, bien qu'en apparence disjoints, ces domaines entretiennent des liens substantiels qui sont la conséquence du fait que nos économies sont aujourd'hui presque totalement urbanisées et que, de ce fait, leur fonctionnement économique se traduit directement dans les structures économiques et sociales de leurs villes.

Quelques exemples permettent d'illustrer cette dépendance. Les mesures de contrôle de la circulation automobile en milieu urbain peuvent induire une modification des structures urbaines, conséquence des changements dans les coûts de transport qui sont un déterminant essentiel de ces structures. En retour, l'évolution de la structure urbaine modifie les conditions de circulation dans la ville et donc son impact environnemental, renforçant ou au contraire allant à l'encontre des mesures prises.

Si l'on tient compte du fait que les groupes sociaux ont dans la ville des localisations fortement différenciées, des mesures visant à réduire l'impact environnemental de la ville en modifiant les conditions de circulation peuvent poser des problèmes d'équité en frappant plus fortement des groupes sociaux déjà défavorisés par leur localisation. A l'opposé, des politiques en apparence purement sociales peuvent avoir un impact environnemental fort. L'exemple des politiques de renouvellement urbain est instructif à cet égard. En organisant le réinvestissement de zones urbaines laissées en friche par les mutations urbaines, on vise à produire une aire urbaine plus compacte, à freiner les tendances à la périurbanisation, avec des conséquences sur l'environnement qui ne peuvent être négligées.

En conséquence, l'objectif principal de cette thèse est d'étudier les liens entre les fondamentaux économiques urbains (demande d'espace des ménages, nature et importance des coûts objectifs et perçus des différents modes de transport), les structures urbaines et l'impact écologique de la ville, en débouchant sur une analyse du rôle des aménageurs publics et des politiques urbaines qu'ils mettent en place.

A cette fin, nous partirons du cadre général des modèles microéconomiques urbains, tel qu'il a été fixé par Alonso et Muth, et développé depuis par des auteurs comme Fujita, Papageorgiou, Brueckner, Henderson, et Thisse. Rappelons brièvement les deux grands principes de ce cadre. Le premier stipule que les différentes catégories d'agents économiques

sont caractérisées par leur capacité à enchérir pour les différents types de biens fonciers et immobiliers présents dans la ville, enchères qui résultent fondamentalement d'un arbitrage entre coûts de transport et coûts du foncier, déterminées par leurs besoins en espace, la nature et l'importance des coûts de transport, la sensibilité aux externalités de voisinage et le niveau des ressources. Selon le deuxième principe, la structure de la ville est le résultat de la concurrence pour l'occupation de l'espace, dont l'intensité est mesurée par les différences entre les fonctions d'enchères des différentes catégories d'agents, en particulier les membres de chacun des groupes sociaux. Chaque catégorie tend à occuper les zones où, du fait de l'intensité de ses préférences ou du niveau de ses ressources, elle est le plus fort enchérisseur.

Ainsi, les modèles théoriques qui analysent la localisation des ménages en milieu urbain prédisent une ségrégation complète entre les différentes classes de population. Cette ségrégation peut être le résultat d'un processus involontaire, qui est déterminé par les décisions économiques des agents. Une autre forme de ségrégation sociale est la ségrégation volontaire, i.e. quand les membres d'une catégorie sociale préfèrent se localiser à proximité des membres de sa classe, plutôt qu'à côté des ménages des autres catégories sociales. La présente thèse s'intéresse particulièrement aux processus de ségrégation involontaire des catégories sociales, dont résultent les décisions de localisation, compte tenu des caractéristiques spécifiques à chaque classe sociale (niveau de ressource, préférences), des caractéristiques environnementales (niveau d'aménités, niveau de pollution) et des conditions du système de transports urbains qui influencent les coûts réels et perçus des déplacements.

Les études empiriques ont montré qu'il n'existe pas un schéma de localisation « universel » vérifiable dans toutes les villes de la mappemonde. Des différences de structure sociale peuvent encore apparaître entre des villes qui se trouvent dans une même région, avec des conditions topographiques semblables. A contrario, s'il y a une forte hétérogénéité dans la structuration sociale de l'espace, des tendances comparables peuvent s'observer à l'échelle d'un pays, voir des continents. Par exemple, les villes nord-américaines se caractérisent généralement par une localisation centrale des ménages riches et une localisation périphérique des ménages pauvres. A l'opposé, les villes européennes ont habituellement une structure spatiale inverse : les ménages riches se localisent au centre tandis que les ménages pauvres se trouvent surtout en périphérie.

Un ménage qui doit choisir son lieu de résidence dans une ville est confronté en règle générale à un problème d'arbitrage entre trois facteurs de base : l'accessibilité au lieu de travail, l'espace de logement et les caractéristiques environnementales (qui constituent des externalités).

L'accessibilité au lieu du travail inclut à la fois les coûts monétaires, et le temps de transport. Ces coûts sont associés au déplacement de et vers le lieu de travail, pour faire les achats, pour les loisirs... Le facteur « espace » représente quant à lui le besoin de logement, i.e. la surface et la qualité du logement. Enfin, les caractéristiques environnementales incluent les caractéristiques naturelles, mais aussi historiques et sociales d'une localisation.

Un ménage effectuant son choix résidentiel doit arbitrer entre ces trois facteurs, sous contraintes de budget et de temps. Par exemple, une localisation bénéficiant d'une bonne accessibilité nécessitera de payer un prix plus élevé pour l'espace. Donc, le ménage devra sacrifier l'espace au profit de l'accessibilité. En plus, le ménage considérera que les localisations proposant des avantages d'accessibilité peuvent offrir un niveau de qualité environnementale faible.

Dans la théorie économique urbaine, si les ménages arbitrent seulement entre la consommation de logement (souvent exprimée en termes de superficie du logement) et l'accessibilité au lieu de travail (qui généralement se trouve au centre), les ménages riches se localisent en périphérie et les ménages pauvres en banlieue. Ce résultat est lié à l'hypothèse que le sol est un bien normal. Ainsi, les riches préfèrent les localisations périphériques où les coûts monétaires de transport sont plus élevés, mais en contrepartie la taille des logements est plus grande. Ce type de modèles explique bien la structure spatiale des villes nord-américaines, mais quels sont les facteurs qui déterminent le schéma de localisation inversé des villes européennes ?

La littérature fournit deux explications distinctes. Une explication possible est basée sur la théorie des aménités locales. Les villes européennes sont caractérisées par une plus longue histoire. Ainsi, leurs centres ont généralement un fort avantage en termes d'aménités face aux périphéries (des monuments, des parcs, des boulevards, architectures fines, etc.), qui sont la conséquence de cette histoire. Si la demande des riches pour les aménités est importante, un tel avantage peut être suffisant pour attirer les ménages riches vers les localisations centrales, ce qui correspond bien à la structure sociale des villes européennes.

Dans les modèles urbains standards, pour attirer les ménages riches aux localisations centrales de la ville, il faut que leurs coûts de transport soient beaucoup plus élevés par rapport aux ménages pauvres. Cette hypothèse est réaliste si on prend en compte non seulement les coûts objectifs de transport (les coûts monétaires) mais aussi les coûts subjectifs (valeur du temps). La somme des deux est connue sous le nom de coûts de transport généralisés. Ces coûts subjectifs correspondent aux coûts en temps nécessaire pour le déplacement. En sachant que le temps est évalué souvent à son coût d'opportunité, les riches

attribuent une valeur au temps plus élevée que les pauvres et donc leurs coûts de transport généralisés seront aussi plus importants. Ceci constitue la seconde explication possible de la structure sociale urbaine de type européen.

Dans une perspective de court terme, les décisions de déplacement sont contraintes par la localisation résidentielle et celle du lieu de travail, qui sont fixées, ainsi que par la possession d'un véhicule, et par la disponibilité des différents modes de transport à la localisation résidentielle.

L'individu confronté à un choix de mode de transport part des coûts généralisés de transport (la somme des coûts monétaires directs et de l'évaluation monétaire de la durée de déplacement). A l'étape du choix modal, il répartit ses déplacements entre véhicule individuel, transports collectifs et d'autres formes de transport en fonction de la différence de coûts généralisés de transport entre les modes.

L'agrégation des décisions individuelles pour chaque localisation permet de déterminer les flux entrant et sortant de chaque localisation pour chacun des modes de transport. Le passage des flux par mode de transport aux durées proprement dites de déplacement fait intervenir des phénomènes de congestion : à volume d'infrastructure donné, plus le flux partant de et transitant par une zone pour un mode de transport donné est important, plus la vitesse de ce mode de transport est réduite, et donc plus la durée de déplacement est grande.

La présente thèse s'intéresse aussi particulièrement aux aspects politiques des transports urbains. Le planificateur peut en effet influencer le fonctionnement de la ville de plusieurs manières. D'une part, il peut, par la tarification (et les subventions), modifier les prix sur la base desquels les consommateurs prennent leurs décisions. Ainsi, par exemple, en l'absence de péage ou de stationnement payant, un automobiliste considère que le coût de son déplacement est la somme du coût du carburant et du coût d'usage du véhicule. Il ajoutera le montant du péage ou celui de la place de stationnement si ceux-ci deviennent payants. D'autre part, le planificateur peut, par l'aménagement de surfaces de voirie ou de stationnement, modifier les conditions du déplacement, la congestion étant alors plus ou moins forte. Enfin, le planificateur est le responsable de la politique d'offre de transports publics.

D'autre part, dans le but de diminuer le niveau de pollution et de congestion urbaine, le planificateur urbain peut avoir mettre en place une politique de réduction de la consommation énergétique, par une politique des transports urbains approprié. Ces politiques visent d'habitude la différenciation des modes de transport, en favorisant les transports collectifs. Puisque dans leurs décisions de localisation, les ménages tiennent compte des

aspects d'accessibilité et de coûts de transport, ces politiques vont avoir un impact important sur la structure sociale d'une ville. Un autre point à souligner est que les groupes sociaux utilisent différemment les modes de transport, et cette politique de différenciation des modes de transport va donc affecter différemment chaque catégorie sociale, ce qui peut poser des problèmes d'équité.

Dans ce contexte, le but principal de cette thèse est d'analyser les effets des caractéristiques environnementales et des transports urbains, ainsi que les politiques afférentes, sur la structure spatiale des villes. La structure de la thèse découlera ainsi des différents aspects issus de notre problématique : étudier les structures urbaines réelles ; analyser l'impact des aménités sur la structure urbaine ; et examiner les relations qui existent entre les transports urbains, la qualité de l'environnement et la structure socio-spatiale des villes.

La thèse est donc divisée en quatre chapitres. Le premier est dédié à l'étude des outils théoriques nécessaires à la réalisation de l'objectif de cette thèse. La littérature économique impliquée relève de trois champs d'étude : l'économie urbaine, l'économie des transports et l'économie de l'environnement. Ce chapitre est structuré en trois sections. D'abord nous analysons les mécanismes de formation des villes et de leurs structures sociales à travers les concepts, les techniques de modélisation et les principaux modèles de l'économie urbaine, une branche récente de la littérature économique, mais aux racines anciennes. Puis, nous présentons le sujet des transports urbains, qui étudie le déplacement des biens et des personnes dans une zone métropolitaine ainsi que l'offre et la demande de déplacements et les infrastructures de transport. Enfin, l'apparition et l'accélération des phénomènes de pollution ont éveillé l'intérêt de la science économique pour la relation entre les activités humaines et l'environnement naturel. Ainsi, la dernière section du chapitre est consacrée aux aspects environnementaux des activités humaines en milieu urbain.

Nous avons constaté dans ce survol de littérature que même si en réalité ces trois domaines sont très liés, il y a très peu d'études économiques qui intègrent à la fois les choix de localisation résidentielle, le fonctionnement des transports urbains et les impacts écologiques qui en résultent. A partir de ce constat, une étude détaillée de ces connexions nous paraît pertinente et très utile, afin d'avoir une image plus proche de la réalité du fonctionnement des villes.

Avant de développer les facteurs de structuration de l'espace urbain et les conséquences des politiques urbaines, il est nécessaire d'abord d'examiner les structures sociales réelles des villes. Ainsi, le deuxième chapitre est consacré à une étude empirique de

la ségrégation spatiale des différentes classes sociales, dans les plus grandes agglomérations françaises, mais aussi pour deux autres exemples européens. Pour faire une analyse descriptive de la ségrégation sociale on utilise deux catégories d'outils : les indices de ségrégation et les analyses cartographiques. Après cette étude, même s'il y a des spécificités pour chaque agglomération, nous constatons qu'un schéma de localisation urbaine typiquement européen se dégage : les classes sociales ont une tendance à la ségrégation spatiale, avec une localisation centrale des catégories les plus riches et une localisation périphériques des catégories les plus pauvres.

Le troisième chapitre de la thèse analyse un premier facteur explicatif des structures urbaines constatées en Europe. Il s'agit du rôle joué par les aménités locales sur le choix de localisation des ménages. Nous avons construit un modèle qui permet d'examiner la formation des structures sociales des villes quand la répartition spatiale des aménités est modifiée de façon endogène par la distribution des classes sociales. L'originalité du modèle consiste dans la modélisation dynamique et endogène de la formation et de l'évolution des aménités dans un cadre urbain. Le principal résultat de ce chapitre réside dans le fait que le développement historique d'une ville, caractérisé par la formation d'aménités localisées, joue un rôle déterminant dans la structuration de l'espace urbain.

Le quatrième chapitre représente le « cœur » de cette thèse. L'objectif de ce chapitre est de relier les fondamentaux urbains qui gouvernent la formation des structures des villes aux consommations d'énergie et à l'impact environnemental de ces structures. Il s'agit d'un travail consistant à déduire de ces fondamentaux, en particulier de la structure des systèmes de transport, des mesures des coûts de transport et de leur impact énergétique et environnemental. A l'aide d'une maquette de simulation développée pour cette thèse, nous avons comparé différents scénarii de politiques tarifaires ou d'aménagement urbain, avec des variations de la tarification ou de l'offre de transports (importance des transports en commun, de la voirie et des capacités de stationnement, tarification du stationnement ou de la circulation, etc...). Cette comparaison porte sur plusieurs points : les différences entre structures urbaines d'équilibre induites par chacune des politiques urbaines et la localisation respective des différents groupes sociaux ; les différences résultantes entre structures et niveaux des déplacements ; enfin les différences qui en résultent entre niveaux de consommation énergétique et impacts écologiques.

CHAPITRE 1

STRUCTURES SOCIALES, TRANSPORTS ET POLLUTION EN MILIEU URBAIN : UNE REVUE DE LITTERATURE

1 STRUCTURES SOCIALES, TRANSPORTS ET POLLUTION URBAINE: UNE REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 L'ÉCONOMIE URBAINE : L'USAGE DU SOL ET LA SEGREGATION SOCIALE

Un des objectifs de l'économie urbaine est d'expliquer les mécanismes de formation des villes et de leurs structures sociales. La théorie moderne de l'usage du sol urbain, qui constitue le cœur de cette littérature, a comme fondement la théorie de l'usage de la terre agricole présentée par Von Thünen (1826). Plus d'un siècle plus tard, c'est Alonso (1964) qui généralise le concept central de Von Thünen à savoir la fonction de rente d'enchères (*bid rent function*) à un contexte urbain. Ensuite, la théorie économique urbaine a connu un développement rapide, en particulier avec les travaux de Anas, Beckmann, Brueckner, Fujita, Henderson, Mills, Miyao, Muth, Papageorgiou, Thisse, Wheaton...

Un ménage qui doit choisir une résidence dans une ville est confronté à un problème d'arbitrage entre trois facteurs de base : l'accessibilité, l'espace et les caractéristiques environnementales (externalités).

L'accessibilité inclut à la fois les coûts monétaires et le temps de transport. Ces coûts sont associés au déplacement de et vers le lieu de travail, pour faire les achats etc... Le facteur « espace » représente quant à lui le besoin de logement (la surface et la qualité du logement). Enfin, les caractéristiques environnementales incluent les caractéristiques naturelles, historiques et sociales d'une localisation.

Un ménage effectuant son choix résidentiel doit arbitrer entre ces trois facteurs, sous contraintes de budget et de temps. Par exemple, une localisation bénéficiant d'une bonne accessibilité nécessitera de payer un prix plus élevé pour l'espace. Donc, le ménage devra sacrifier l'espace au profit de l'accessibilité. En plus, les localisations proposant des avantages d'accessibilité offrent habituellement un faible niveau de qualité environnementale.

Rappelons brièvement les deux grands principes des modèles microéconomiques urbaines:

- les différentes catégories d'agents économiques sont caractérisées par leur capacité à enchérir pour les différents types de biens fonciers et immobiliers présents dans la ville, qui résulte fondamentalement d'un arbitrage entre coûts de transport et coûts du foncier. Cette

capacité est déterminée par leurs besoins d'espace, la nature et l'importance des coûts de transport, la sensibilité aux externalités, le niveau de ressources.

- la structure de la ville est le résultat de la concurrence pour l'occupation de l'espace dont l'intensité est mesurée par les différences entre les fonctions d'enchères des différentes catégories d'agents, en particulier les membres de chacun des groupes sociaux. Chaque catégorie tend à occuper les zones où, du fait de l'intensité de ses préférences ou du niveau de ses ressources, elle est le plus fort enchérisseur. Ainsi, la structure socio-spatiale de la ville se caractérise par une ségrégation entre les classes sociales. Notre travail s'intéresse particulièrement au rôle joué par les aménités dans cette structuration, dont on pense qu'il est essentiel, comme le montre les contrastes entre les villes nord-américaines et européennes.

A ce stade, on peut distinguer deux mécanismes de structuration socio-spatiale des villes : la ségrégation sociale involontaire et la ségrégation volontaire.

a) La ségrégation sociale involontaire

La ségrégation involontaire n'est pas recherchée pour elle-même, mais elle est le résultat de la concurrence pour le sol, décrite ci-dessus. Les ménages cherchent à trouver une localisation dans l'espace urbain, indépendamment des caractéristiques sociales de cette localisation.

Les modèles théoriques prédisent différentes structures sociales urbaines, selon les variables prises en compte. Si les ménages localisés dans un milieu urbain font un arbitrage seulement entre l'accessibilité au lieu de travail (les coûts de transport) et l'espace d'habitation, la ville est caractérisée par une localisation centrale des ménages pauvres et une localisation périphérique des ménages riches. Ce schéma correspond aux villes américaines, mais n'explique pas la structure sociale renversée des villes européennes.

Les villes européennes sont caractérisées par une plus longue histoire. Les centres de beaucoup de villes européennes sont caractérisés par un fort avantage en aménités par rapport aux périphéries (des monuments, des parcs, des boulevards, architectures fines, etc.). Si la demande des riches pour les aménités est importante, un tel avantage peut être alors suffisant pour attirer les ménages riches vers les localisations centrales, ce qui correspond bien à la structure sociale typique des villes européennes.

La connaissance précise de ces mécanismes théoriques nous permettra de comprendre comment la modification des coûts de transport, qui jouent un rôle central dans ces modèles, peut, via une modification des enchères des ménages, se traduire par des changements de localisation des différents groupes sociaux.

b) La ségrégation sociale volontaire

Un autre type de modèles, qui s'intéresse aux externalités de voisinage (externalités endogènes), prend en compte le processus de ségrégation volontaire entre classes sociales.

Les externalités positives sont la conséquence du bénéfice que retirent certaines catégories sociales de la présence dans leur voisinage d'habitants d'une catégorie sociale valorisée, ou de leur propre catégorie. Souvent cet effet de ségrégation volontaire peut être le résultat aussi de la spécialisation économique de l'espace. Par exemple la banlieue sud parisienne connaît une concentration d'universitaires et de chercheurs, qui trouvent un avantage à vivre à proximité les uns des autres, et profitent aussi de l'accessibilité dans cette zone à des nombreux centres de recherche et d'enseignement supérieur (Quinet, 1998).

A l'inverse, la localisation à proximité de catégories dont on refuse le voisinage génère des externalités négatives. On traite le plus souvent des externalités négatives, surtout des externalités raciales. L'existence de ces externalités de voisinage ressenties par les catégories les plus favorisées ont des conséquences sur les comportements de choix résidentiel et sur la structure sociale des villes.

Ce type d'analyse a été motivée par l'expérience urbaine américaine des années 60 et 70. Ainsi, on a constaté une migration des classes aisées et moyennes du centre des villes vers la périphérie. La première explication tient du processus de ségrégation involontaire, déterminée par la baisse des coûts de transport et l'augmentation du revenu des ménages. L'autre explication se concentre sur la détérioration des centres villes qui conduit à un processus de déclin cumulatif autour du principe des externalités de voisinage négatives.

Là encore, en modifiant l'attrait des localisations et les préférences des différentes catégories, les modifications de l'offre de transport produisent des changements dans les structures sociales urbaines, dont la théorie nous permettra de comprendre les mécanismes.

1.1.1 Typologie des modèles économiques urbains

Les modèles économiques urbains peuvent être classifiés en fonction de plusieurs critères. Le critère le plus souvent utilisé est la description spatiale de la ville. Ainsi, on distingue les modèles urbains monocentriques et les modèles non-monocentriques.

Dans les *modèles monocentriques* (Alonso, Mills, Muth, Wheaton...) la ville a un seul centre où sont concentrés toutes les opportunités d'emploi (CBD – Central Business District). Généralement ces modèles sont purement résidentiels et le CBD est représenté par un point dans l'espace. Ainsi la seule variable de localisation est la distance au centre. Les travaux développés ultérieurement dans cette thèse font partie de cette catégorie de modèles.

Les *modèles non-monocentriques* (Anas, Fujita, Ogawa, Pines, Wheaton) sont plus complexes. Le centre n'est plus exogène et on s'intéresse surtout aux processus endogènes de formation des agglomérations urbaines. Souvent dans ce type de modèles il y a plusieurs configurations spatiales d'équilibre, caractérisées par un ou plusieurs centres.

Un autre critère de classification des modèles urbains est la façon dont la variable temps est prise en compte. Ainsi, on trouve *les modèles statiques*, où le temps n'est pas pris en compte explicitement. Par contre dans les *modèles dynamiques* la structure de la ville est le résultat d'un processus qui se déroule dans le temps. Dans cette thèse seront développés deux modèles théoriques, l'un dans un cadre statique, et l'autre dans un cadre dynamique.

Une distinction entre les modèles urbains est empruntée à l'économie internationale et l'économie régionale selon le degré d'ouverture de la ville (ou selon le degré de mobilité des ménages). Dans *les modèles de ville fermée*, les coûts de migration sont importants, ce qui empêche la population de migrer d'une ville à l'autre. Ceci implique que la population de la ville est exogène. Ce cadre d'analyse correspond surtout à une situation de court terme. Quand l'analyse porte sur la longue durée, il est plus approprié d'utiliser *les modèles de ville ouverte*. Dans ces modèles, les coûts de migration sont nuls, ce qui entraîne une mobilité parfaite de la population. En conséquence, la population de la ville est endogène, tandis que le niveau d'utilité des ménages urbains est identique au niveau national. Les modèles développés ci-après s'inscrivent essentiellement dans le cadre d'une ville ouverte, bien que certaines analyses portent aussi sur les villes fermées. Il faut préciser que ces deux types de modèles sont très proches et ce qui les différencie et seulement la façon de les résoudre, avec la relation population - niveau d'utilité. Dans les modèles fermés pour une population donnée on détermine les niveaux d'utilité d'équilibre, et dans les modèles ouverts le processus est inverse : pour un niveau d'utilité exogène, on peut déterminer la population de la ville.

1.1.2 Les modèles monocentriques

Ces modèles sont inspirés par la configuration spatiale de la ville typique du 19-ème siècle, où quasi-totalité des opportunités d'emplois étaient concentrées autour d'un port ou d'un terminal ferroviaire. Les logements sont localisés autour de ce centre d'emploi. On place ce type de villes dans une plaine parfaitement plane, sans spécificités topographiques. Les coûts de transport sont identiques dans toutes les directions, ce qui implique une représentation unidimensionnelle de l'espace : la distance au centre est la seule variable de localisation. Mills et MacKinnon (1971) comparaient le rôle de la distance au centre avec la

variable « temps » dans les modèles de la théorie néoclassique de la croissance, parce que les outils mathématiques employés pour résoudre ces deux classes de modèles sont similaires.

Une autre justification de ce type de modèles est donnée par l'interprétation du centre comme une concentration de la densité de la population. Les premiers travaux sur la formation endogène des centres et de la densité ont été réalisés par Beckmann (1976) et Borukhov et Hochman (1977). Les deux articles sont très similaires et supposent que les ménages ont des interactions sociales par les « déplacements sociaux ». Ces deux modèles sont purement résidentiels. Dans ces analyses, une ville monocentrique émerge sans un centre d'emploi prédéterminé. Ainsi, la présence d'interactions spatiales entre les membres d'une population homogène est suffisante pour produire une ville monocentrique, où le centre est représenté par une concentration de la densité de la population.

Les modèles théoriques développés dans cette thèse s'inscrivent dans un cadre monocentrique, d'où la nécessité d'une analyse approfondie de ces modèles. Nous présenterons en détail une version simplifiée du modèle de base de choix résidentiel d'Alonso, et puis ses principales extensions, notamment par l'introduction de l'hétérogénéité de la population et des aménités.

1.1.2.1 Le modèle de base du choix résidentiel

Le modèle d'Alonso (1964) applique le modèle de von Thünen (1826) dans un espace urbain. Il suppose un jeu d'hypothèses sur les caractéristiques spatiales de la zone urbaine:

- la ville est monocentrique et toutes les opportunités d'emplois se trouvent dans le centre (CBD- Central Business District);
- il y a un système dense de transport radial, sans congestion. En plus, le seul déplacement retenu est celui entre résidences et lieux de travail (CBD). Les transports à l'intérieur du centre sont ignorés;
- le surface au sol est parfaitement plane et homogène (toutes les parcelles sont identiques, il n'y a pas de biens publics locaux, ni d'externalités).

Dans ce contexte, la seule caractéristique spatiale de chaque localisation qui entre en compte est la distance au centre, et donc l'espace urbain peut être traité comme unidimensionnel.

On suppose que les ménages sont homogènes, caractérisés par le revenu Y et une fonction d'utilité $U(z,s)$, où z représente la consommation du bien composite, dont le prix est normalisé à un, et s la consommation de sol (ou de surface d'habitation). Les courbes

d'indifférence ne coupent pas les axes et sont strictement convexes (voir la Figure 1.1). La fonction d'utilité est continue, deux fois différentiable et croissante en chaque argument.

La contrainte budgétaire est donnée par $z+R(x)=Y-T(x)$, où $R(x)$ est la rente foncière par unité de sol à la distance x , $T(x)$ est le coût de transport à x ; ainsi $Y-T(x)$ représente le revenu net d'un ménage localisé à la distance x du centre.

Dans ce type de modèle, il est supposé que la fonction $T(x)$ est continue, croissante en x , $0 \leq T(0) < Y$ et $\lim_{x \rightarrow \infty} T(x) = \infty$. Ces hypothèses vont être retenues pour les modèles ultérieurs.

Maintenant on peut écrire le programme de maximisation des ménages:

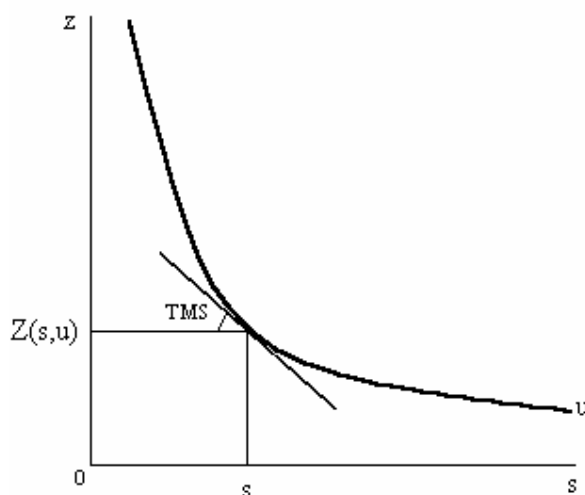
$$\max_{x,z,s} U(z,s) \quad \text{s.c.} \quad z+R(x)s=Y-T(x) \quad (1.1)$$

où $x \geq 0$ et $z > 0, s > 0$ (les deux biens sont désirables).

Une courbe d'indifférence pour un niveau d'utilité u peut être écrite sous la forme implicite: $u=U(z,s)$. En résolvant cette équation en z , la courbe d'indifférence avec le niveau d'utilité u peut être réécrite: $z=Z(s,u)$. Par définition, $Z(s,u)$ représente la quantité de bien composite nécessaire pour achever le niveau d'utilité u , quand la surface d'habitation est s (fig. 2).

Les propriétés de la fonction $Z(s,u)$ sont déterminées par le fait que les deux biens sont désirables (l'utilité marginale de chaque bien est positive): $\partial Z(s,u)/\partial u > 0$, $\partial Z(s,u)/\partial s < 0$ et $TMS = -\partial Z(s,u)/\partial s$, où TMS est le taux marginal de substitution entre z et s (Figure 1.1) :

Figure 1.1. L'espace de consommation et la courbe d'indifférence



On définit la rente d'enchères $\Psi(x,u)$ (*bid rent function*) comme la rente maximale par unité de sol que le ménage peut payer pour résider à la distance x , en atteignant un niveau d'utilité u :

$$\Psi(x,u) = \max_{z,s} \left\{ \frac{Y-T(x)-z}{s} \mid U(z,s)=u \right\} \quad (1.2)$$

Selon cette définition proposée par Alonso, la rente d'enchères est obtenue quand $(Y-T(x)-z)/s$ est maximisé par un choix approprié du panier de consommation (z,s) sous la contrainte d'utilité $U(z,s)=u$. Mais si on résout d'abord la contrainte $U(z,s)=u$ pour z , la fonction de rente d'enchères peut être redéfinie comme un problème de maximisation sans contrainte:

$$\Psi(x,u) = \max_s \left\{ \frac{Y-T(x)-Z(s,u)}{s} \right\} \quad (1.3)$$

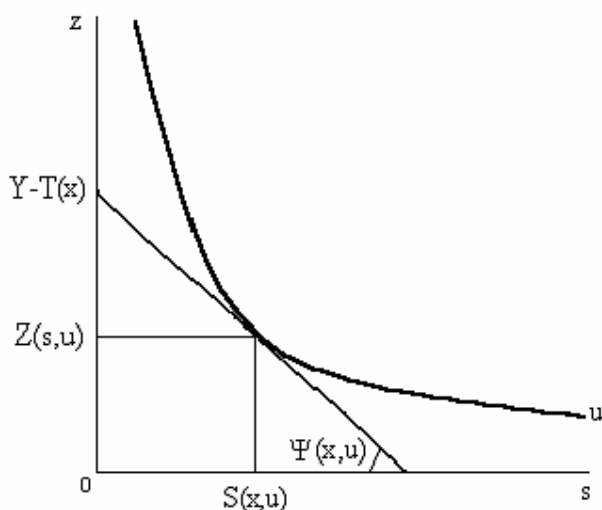
On obtient dans les deux cas la surface optimale $S(x,u)$, dénommée surface d'enchères (*bid-max lot size*).

Graphiquement, comme le montre la Figure 1.2, la rente d'enchères $\Psi(x,u)$ est donnée par la pente de la droite de budget à la distance x qui est juste tangente à la courbe d'indifférence u .

On obtient le même résultat par la condition de premier ordre du problème de maximisation (1.3):

$$\Psi(x,u) = -\frac{\partial Z(s,u)}{\partial s} = TMS$$

Figure 1.2. Rente d'enchères $\Psi(x,u)$ et surface d'enchères $S(x,u)$



Les notions de rente d'enchères et de surface d'enchères sont des concepts spécifiques de la théorie de l'usage du sol. Pour déterminer les propriétés de ces deux fonctions on utilise les outils de l'analyse économique duale.

C'est Sollow (1973a) qui introduit l'approche duale du consommateur pour analyser le choix de localisation des ménages. Cette approche a été développée ultérieurement notamment par Schweizer, Varaiya et Hartwick (1976) et Kanemoto (1980).

On considère le problème suivant de maximisation d'utilité pour une rente $\Psi(x,u)$ et un revenu net égal à $Y-T(x)$:

$$V = \max_{x,z,s} U(z,s) \quad \text{s.c.} \quad z + \Psi(x,u)s = Y-T(x)$$

Par résolution on obtient la demande Marshallienne de sol s_M et la fonction d'utilité indirecte V , qui représente l'utilité maximale qui peut être obtenue d'un revenu net $Y-T(x)$ et avec une rente $\Psi(x,u)$:

$$S(x,u) \equiv s_M(\Psi(x,u), Y-T(x)) \quad (1.4)$$

$$u \equiv V(\Psi(x,u), Y-T(x)) \quad (1.5)$$

Maintenant on va analyser le programme dual, c'est à dire le problème de minimisation des dépenses :

$$E = \min_{z,s} z + \Psi(x,u)s \quad \text{s.c.} \quad U(z,s) = u$$

Quand on résout ce problème on obtient la demande Hicksienne (compensée) de sol s_H et la fonction de dépenses E , qui représente les dépenses minimales nécessaires pour achever le niveau d'utilité u , avec une rente $\Psi(x,u)$:

$$S(x,u) \equiv s_H(\Psi(x,u), u) \quad (1.6)$$

$$Y-T(x) \equiv E(\Psi(x,u), u) \quad (1.7)$$

On va examiner les propriétés importantes des fonctions de rente d'enchères et de la surface d'enchères. Si on prend deux distances telles que $x_1 < x_2$, selon nos hypothèses $T(x_1) < T(x_2)$ et donc $Y-T(x_1) > Y-T(x_2)$. Rappelons que la rente d'enchères à la distance x est donnée par la pente de la droite budgétaire qui est tangente à la courbe d'indifférence u . Ainsi, on peut déduire graphiquement (Figure 1.3.) que $\Psi(x_1, u) > \Psi(x_2, u)$ et $S(x_1, u) < S(x_2, u)$. La rente d'enchères décroît avec la distance tandis que la surface d'enchères croît avec la distance au centre.

Cette propriété dérive de l'application du théorème de l'enveloppe à l'équation (1.3), avec le paramètre x :

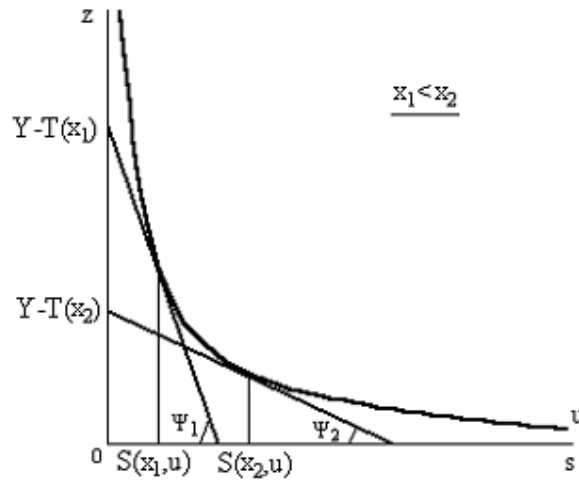
$$\frac{\partial \Psi(x, u)}{\partial x} = - \frac{T'(x)}{S(x, u)} < 0 \quad (1.8)$$

Ensuite, par la différentiation de l'identité (1.6), on peut déterminer :

$$\frac{\partial S(x, u)}{\partial x} = \frac{\partial s_H}{\partial R} \frac{\partial \Psi(x, u)}{\partial x} = - \frac{\partial s_H}{\partial R} \frac{T'(x)}{S(x, u)} > 0$$

qui est positif, parce que l'effet-prix propre sur la demande Hicksienne est toujours négatif ($\partial s_H / \partial R < 0$).

Figure 1.3. Les effets de la variation de la distance



On peut déterminer les effets de la variation du niveau d'utilité sur la rente d'enchères et la surface d'enchères. Par l'application du théorème de l'enveloppe à l'équation (1.3) avec le paramètre u , on obtient:

$$\frac{\partial \Psi(x, u)}{\partial u} = - \frac{1}{S(x, u)} \frac{\partial Z(s, u)}{\partial u} < 0$$

qui est négatif parce que $\partial Z / \partial u > 0$. Si on différentie l'identité (1.4) par rapport à u , on a:

$$\frac{\partial S(x, u)}{\partial u} = \frac{\partial s_M}{\partial R} \frac{\partial \Psi(x, u)}{\partial u} > 0$$

qui est positif parce que $\partial \Psi / \partial u < 0$ et on fait l'hypothèse de la normalité du sol (l'effet-revenu de la demande Marshallienne est positif) ce qui implique un effet-prix propre sur la demande Marshallienne négatif ($\partial s_M / \partial R < 0$).

Propriété 1

- la rente d'enchères $\Psi(x, u)$ est continue et décroissante en x et u , jusqu'à ce qu'elle devienne nulle;

- la surface d'enchères $S(x,u)$ est une fonction continue est croissante en x et u , et tend vers l'infini.

Si on suppose que la fonction de transport est non-convexe, ce qui est le cas le plus rencontré ($T''(x) \equiv d^2T(x)/dx^2 \leq 0$), par différentiation de la relation (1.8) on obtient:

$$\frac{\partial^2 \Psi(x,u)}{\partial x^2} = -\frac{T''(x)}{S(x,u)} + \frac{T'(x)}{S(x,u)^2} \frac{\partial S(x,u)}{\partial x} > 0$$

Propriété 2.

Si la fonction de coût de transports est linéaire ou concave, les rentes d'enchères sont strictement convexes.

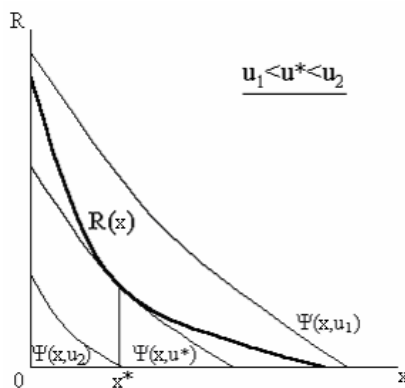
On sait par ailleurs que la fonction d'utilité indirecte est décroissante par rapport au prix du bien (la rente): $\partial V(R, Y-T(x))/\partial R < 0$. Si $R(x) = \Psi(x,u)$ alors $V(R(x), Y-T(x)) = V(\Psi(x,u), Y-T(x))$. Comme V décroît avec R , on peut en déduire également que $V(R(x), Y-T(x))$ est supérieure (inférieure) à $V(\Psi(x,u), Y-T(x))$ comme $R(x)$ est inférieur (supérieur) à $\Psi(x,u)$:

$$V(R(x), Y-T(x)) \gtrless V(\Psi(x,u), Y-T(x)) \quad (1.9)$$

On peut maintenant examiner la localisation d'équilibre du ménage en fonction de la rente foncière du marché qui est considéré comme un facteur exogène.

Tout d'abord on déduit graphiquement la localisation d'équilibre (Figure 1.4.) où se produit la tangence entre la courbe de la rente du marché et une courbe de rentes d'enchères. Quand un ménage décide de se localiser dans une ville, il est obligé de payer la rente foncière. Dans le même temps il va maximiser son utilité. En effet, l'utilité correspondante à chaque courbe de rentes d'enchères diminue quand on s'éloigne de l'origine, et ainsi l'utilité la plus élevée va être atteinte à la localisation où la rente d'enchères est tangente à la courbe de la rente de marché.

Figure 1.4. Détermination de la localisation d'équilibre



On appelle l'utilité d'équilibre du ménage u^* , l'utilité maximale qu'il peut atteindre dans la ville. L'utilité indirecte $V(R(x), Y-T(x))$ renvoie l'utilité maximale pour le ménage à chaque localisation x , la rente de marché étant donnée. Ainsi, u^* est l'utilité d'équilibre du ménage et x^* constitue sa localisation optimale si et seulement si:

$$u^* = V(R(x^*), Y-T(x^*)) \quad \text{et} \quad u^* \geq V(R(x), Y-T(x)), \quad \forall x.$$

A partir de (1.9) on peut récrire cette condition et on obtient:

Proposition 1.

Pour une rente de marché donnée $R(x)$, u^ est l'utilité d'équilibre du ménage et x^* est une localisation optimale si et seulement si:*

$$R(x^*) = \Psi(x^*, u^*) \quad \text{et} \quad R(x) \geq \Psi(x, u^*), \quad \forall x.$$

1.1.2.2 L'équilibre résidentiel urbain avec population homogène

Jusqu'à présent on a utilisé les concepts de rente d'enchères $\Psi(x, u)$ et de surface d'enchères $S(x, u)$, ainsi qu'ils ont été proposés par Alonso. Désormais on prend en compte l'hypothèse du marché foncier compétitif. Ainsi, tous les agents (ménages et propriétaires fonciers) ont une information parfaite sur les rentes dans la ville. En plus, aucun n'est capable d'exercer un pouvoir monopolistique. Cela signifie que tous les participants prennent les rentes foncières comme données (exogènes).

Traditionnellement, on classifie les modèles d'économie urbaine selon le degré d'ouverture de la ville. Ainsi dans le modèle de ville-fermée, la population de la ville est exogène, parce qu'il n'y a pas des migrations inter-villes. Dans le cas de ville-ouverte, les ménages sont mobiles. Ainsi, le niveau d'utilité des résidents va être égal au niveau du reste de l'économie, niveau considéré comme exogène, mais la population de la ville est déterminée de façon endogène. Les définitions des villes ouvertes et des villes fermées ont été introduites par Wheaton (1974). Les deux types de modèles sont identiques, sauf la façon de résoudre l'équilibre. Dans un premier temps nous présenterons le modèle d'une ville fermée, et puis les modifications de résolution pour une ville fermée.

On définit $L(x)$ la distribution de l'espace (l'espace disponible pour les maisons entre x et $x+dx$ est égale à $L(x)dx$) et $n(x)$ la distribution des ménages (le nombre des ménages situés entre x et $x+dx$ est égal à $n(x)dx$). On suppose que $L(x)$ est continu et positif.

Parce qu'on a N ménages identiques dans la ville, à l'équilibre, tous les ménages atteignent le même niveau d'utilité u^* (utilité d'équilibre), indépendamment de leur localisation:

$$u^* = \max_x V(R(x), Y-T(x))$$

On connaît les conditions d'équilibre individuel de localisation:

$$R(x) = \psi(Y-T(x), u^*) \quad \text{si } n(x) > 0$$

$$R(x) \geq \psi(Y-T(x), u^*) \quad \forall x$$

L'équilibre de l'activité agricole nécessite:

$$R(x) = R_A \quad \text{dans la zone agricole} \quad (1.10)$$

$$R(x) \geq R_A \quad \forall x \quad (1.11)$$

où R_A est la rente agricole. Les conditions (1.10) et (1.11) assurent que le profit agricole est zéro.

A l'équilibre il ne reste aucune parcelle de sol libre :

$$R(x) = \max\{\psi(Y-T(x), u^*), R_A\} \quad \forall x \quad (1.12)$$

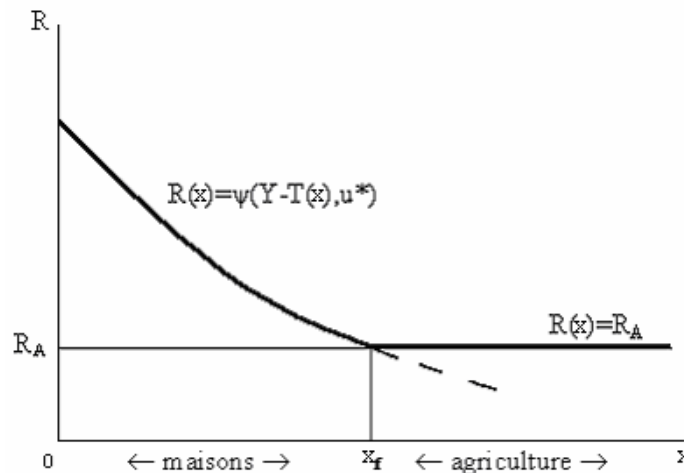
En toute localisation, la rente de marché coïncide avec le maximum de la rente d'enchères d'équilibre et de la rente agricole. Dans la Figure 1.5 la courbe de rente de marché est égale à l'enveloppe supérieure de $\psi(Y-T(x), u^*)$ et R_A . Attendu que la rente d'enchères $\psi(Y-T(x), u^*)$ est décroissante en x , de (1.12) on obtient:

$$R(x) = \begin{cases} \psi(Y-T(x), u^*), & \text{pour } x \leq x_f \\ R_A, & \text{pour } x \geq x_f \end{cases} \quad (1.13)$$

où x_f représente la frontière de la ville. A la distance x_f on déduit de (1.13) que:

$$\psi(Y-T(x_f), u^*) = R_A \quad (1.14)$$

Figure 1.5. L'équilibre foncier compétitif



Pour tout $x \leq x_f$, la surface d'équilibre $s(x)$ pour chaque ménage, coïncide avec la surface d'enchères:

$$s(x) = s(Y - T(x), u^*), \quad \text{pour } x < x_f \quad (1.15)$$

Etant donné qu'il ne reste pas de sol vacant, quel que soit $x < x_f$ on a:

$$n(x)s(Y - T(x), u^*) = L(x) \quad (1.16)$$

Ainsi, la distribution d'équilibre des ménages est donnée par:

$$n(x) = \begin{cases} L(x)/s(Y - T(x), u^*), & \text{pour } x \leq x_f \\ 0, & \text{pour } x \geq x_f \end{cases} \quad (1.17)$$

Comme N ménages habitent dans la ville, la contrainte de population s'écrit:

$$\int_0^{x_f} \frac{L(x)}{s(Y - T(x), u^*)} dx = N \quad (1.18)$$

On conclut ainsi que $R(x)$, $n(x)$, $s(x)$, u^* et x_f représentent un équilibre du marché foncier si et seulement si les conditions (1.13)-(1.18) sont vérifiées. Les deux inconnues u^* et x_f peuvent être déterminées de (1.14) et (1.18).

Attendu que la rente d'enchères d'équilibre $\psi(Y - T(x), u^*)$ est décroissante par rapport à x , de la relation (1.13) on déduit la propriété suivante:

Propriété 3.

La rente de marché $R(x)$ est forcément décroissante en x , jusqu'à la frontière de la ville. En plus, si la fonction transport $T(x)$ est linéaire ou concave en x , la courbe de la rente de marché est strictement convexe jusqu'à la frontière de la ville.

On définit la densité des ménages à la distance x , comme le nombre de ménages par unité d'espace. De (1.17) on peut déduire:

$$\rho(x) = \frac{n(x)}{L(x)} = \begin{cases} 1/s(Y - T(x), u^*), & \text{pour } x \leq x_f \\ 0, & \text{pour } x \geq x_f \end{cases} \quad (1.19)$$

Compte tenu de ce que la propriété 1 nous apprend que la surface d'enchères est croissante en x , la propriété suivante est triviale :

Propriété 4.

La densité des ménages $\rho(x)$ est décroissante en x jusqu'à la frontière de la ville, et à partir de là elle devient nulle.

Pour examiner l'équilibre dans le cadre du modèle de la ville ouverte, on définit d'abord le niveau d'utilité maximale dans la ville $u(Y)$ (pour une rente foncière et des coûts de transport minimaux) à partir de la relation:

$$\psi(Y-T(0), u(Y)) = R_A$$

Si le niveau d'utilité national est donné par la constante \bar{u} , la frontière de la ville x_f peut être déterminée par la relation:

$$\begin{cases} \psi(Y-T(x_f), \bar{u}) = R_A, & \text{si } \bar{u} < u(Y) \\ x_f = 0, & \text{si } \bar{u} \geq u(Y) \end{cases}$$

En connaissant x_f , on peut obtenir la rente foncière de marché $R(x)$, la surface d'habitation d'équilibre $s(x)$, la distribution des ménages d'équilibre $n(x)$ et la population d'équilibre de la ville. Ainsi nous avons un équilibre résidentiel dans une ville ouverte si les équations (1.20)-(1.23) sont respectées :

$$R(x) = \begin{cases} \psi(Y-T(x), \bar{u}), & \text{pour } x \leq x_f \\ R_A, & \text{pour } x \geq x_f \end{cases} \quad (1.20)$$

$$s(x) = s(Y-T(x), \bar{u}), \quad \text{pour } x < x_f \quad (1.21)$$

$$n(x) = \begin{cases} L(x)/s(Y-T(x), \bar{u}), & \text{pour } x \leq x_f \\ 0, & \text{pour } x \geq x_f \end{cases} \quad (1.22)$$

$$N^* = \int_0^{x_f} \frac{L(x)}{s(Y-T(x), \bar{u})} dx \quad (1.23)$$

Fujita (1989) montre que dans les deux modèles il existe un équilibre, et que celui-ci est unique. Le même auteur démontre que la solution d'équilibre des ces deux modèles est efficiente s'il n'y a pas d'externalités dans la ville. La méthode utilisée est la maximisation du surplus social, i.e. la différence entre revenus et coûts totaux (coûts de transport, coûts de consommation du bien banal et coûts d'opportunité du sol) sous contraintes de réalisation:

$$\max S = NY - C = \int_0^{x_f} [Y - T(x) - Z(s(x), u) - R_A s(x)] n(x) dx$$

$$\text{s.c. } s(x)n(x) \leq L(x) \quad \forall x \leq x_f$$

$$\int_0^{x_f} n(x) dx = N$$

1.1.2.3 Statiques comparatives avec population homogène

Les statiques comparatives de l'équilibre résidentiel avec population homogène ont été initialement étudiées par Wheaton (1974). La question est de savoir comment l'équilibre foncier sera affecté par des changements des paramètres, tels que la rente agricole, le coût de transport ou le revenu des ménages.

Fujita (1989) fait le point sur les effets de ces changements et en retire les conclusions suivantes :

Proposition 2

Une augmentation de la rente agricole a comme effets que :

- *la ville devient plus compacte (la frontière de la ville est plus proche du centre)*
- *le niveau d'utilité d'équilibre diminue*
- *la rente urbaine augmente en toutes les localisations*
- *la surface des logements diminue, et par conséquent la densité de la population s'intensifie*

Proposition 3

Quand la population de la ville augmente, les effets sont identiques à l'augmentation de la rente agricole, excepté le fait que la ville s'agrandit (la frontière de la ville s'éloigne de centre)

Proposition 4

Une diminution identique toutes localisations du coût marginal du transport (le coût fixe de transport restant constant) produit comme effets :

- *la ville devient plus large (la frontière de la ville est plus loin de centre)*
- *le niveau d'utilité d'équilibre augmente*
- *la rente urbaine diminue au centre et augmente en périphérie*
- *la surface des logements augmente au centre et par conséquent la densité de la population diminue*

Une analyse plus détaillée sur les effets des changements des coûts de transport est présentée dans la section 2.7.

1.1.2.4 Le modèle avec population hétérogène

Le sujet de la présente thèse est l'analyse des structures socio-spatiales des villes et la ségrégation sociale en milieu urbain. Ainsi, un intérêt particulier est porté à la localisation des ménages, quand la population est hétérogène.

Un des résultats les plus significatifs des modèles monocentriques est la localisation des différentes catégories sociales en fonction de leur revenu. Beckmann (1969) examine cette question dans une ville où les ménages sont différenciés seulement par leurs revenus, tandis que les préférences (définies sur la surface du logement consommée et sur le bien composite consommé au centre) et les coûts de transport sont identiques. Avec une distribution paréto-optimale du revenu, à l'équilibre, l'auteur montre que la distance au centre de la localisation d'un ménage augmente avec son revenu. Ce résultat explique le schéma typique de localisation présent dans les villes nord américaines.

Dans cette section, on étudie d'abord l'impact d'une différenciation des revenus et de la valeur du temps sur la localisation des ménages, puis l'équilibre résidentiel avec plusieurs catégories sociales. On conclut la section par des statiques comparatives.

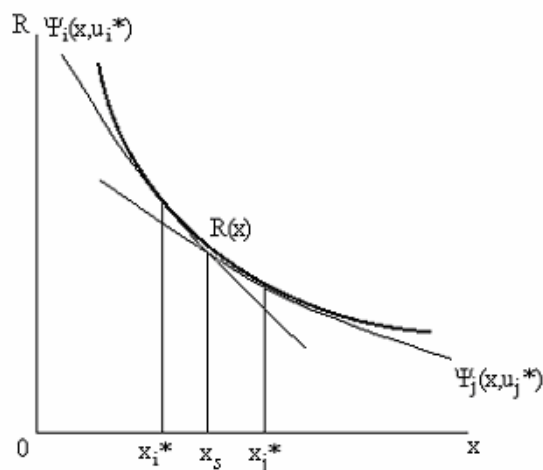
L'effet du revenu des ménages sur leur localisation

On suppose qu'il y a deux ménages i et j , qui ont les fonctions de rente d'enchères $\Psi_i(x, u)$ et $\Psi_j(x, u)$. Si les fonctions de rentes d'enchères Ψ_i et Ψ_j sont continues, la fonction Ψ_i est plus pentue que Ψ_j si et seulement si la condition suivante est respectée: s'il existe (x_s, u_i, u_j) tel que $\Psi_i(x_s, u_i) = \Psi_j(x_s, u_j) > 0$, alors:

$$\begin{aligned} \Psi_i(x_s, u_i) > \Psi_j(x_s, u_j) \quad \forall x, \quad 0 \leq x < x_s \\ \text{et } \Psi_i(x_s, u_i) < \Psi_j(x_s, u_j) \quad \forall x, \quad x > x_s \text{ et } \Psi_i(x_s, u_i) > 0. \end{aligned}$$

Si Ψ_i est plus pentue que Ψ_j , pour tout $x < x_s$, Ψ_i est supérieure à Ψ_j , donc le ménage i est plus fort enchérisseur dans cette zone que le ménage j . Par contre, pour $x > x_s$, $\Psi_i < \Psi_j$ et c'est le ménage j qui va enchérir plus pour l'espace. La distance x_s au centre représente le point de ségrégation entre les deux classes sociales. On en déduit la proposition suivante:

Figure 1.6. L'ordre des localisations à l'équilibre



Proposition 5.

Si la fonction de rente d'enchères du ménage i est plus pentue que celle du ménage j, la localisation d'équilibre du ménage i est plus près de centre que celle du ménage j (voir Figure 1.6).

Le concept de *relative steepness* (pente relative) entre les fonctions d'enchères a été introduit par Fujita (1985). Avec cette définition on peut montrer l'effet du revenu sur la localisation du ménage. On suppose dans le modèle de base (1.1) qu'il y a deux catégories sociales, différenciés seulement par leurs niveaux de revenu $Y_1 < Y_2$. Les deux ménages ont la même fonction d'utilité et sont confrontés à la même fonction de coût de transport. On suppose que les courbes de rente d'enchères $\Psi_1(x, u_1)$ $\Psi_2(x, u_2)$ se croisent à la distance x_s : $\Psi_1(x_s, u_1) = \Psi_2(x_s, u_2) = \check{R}$. Rappelons l'identité (1.4). Attendu que $Y_1 - T(x_s) < Y_2 - T(x_s)$, et selon l'hypothèse de normalité du sol, on obtient:

$$S_1(x_s, u_1) = S_M(\check{R}, Y_1 - T(x_s)) < S_M(\check{R}, Y_2 - T(x_s)) = S_2(x_s, u_2)$$

Cette relation combinée avec (1.8), implique:

$$-\frac{\partial \Psi_1(x_s, u_1)}{\partial r} = \frac{T'(x)}{S_1(x_s, u_1)} > \frac{T'(x)}{S_2(x_s, u_2)} = -\frac{\partial \Psi_2(x_s, u_2)}{\partial x}$$

Selon notre définition, ce résultat signifie que la fonction Ψ_1 est plus pentue que Ψ_2 . On peut en conclure que:

Proposition 6.

Les ménages avec des revenus moins élevés sont caractérisés par une fonction de rente d'enchères plus pentue que les ménages avec des revenus élevés. Les ménages ayant des revenus plus élevés se localisent plus loin du centre que les ménages avec des revenus faibles, toute chose égale par ailleurs.

Ce résultat est conforme au schéma résidentiel observé dans les villes des États-Unis, mais contraste avec celui des grandes villes d'Europe, d'Asie et de l'Amérique Latine. En plus dans les villes américaines, on trouve également des appartements de luxe près du centre urbain. Ces observations nous montrent qu'on peut avoir d'autres facteurs (pas seulement le revenu) qui affectent le choix résidentiel et le schéma spatial des villes (le coût du temps de déplacement, la structure de la famille, les externalités, les facteurs dynamiques).

L'effet de la valeur du temps sur la localisation des ménages

L'analyse précédente ignore le fait que probablement les ménages avec des revenus différents ont des préférences différentes. Wheaton (1977a) est parmi les premiers à

s'intéresser empiriquement à la relation entre revenu, préférences, rentes d'enchères et localisation. Les différences les plus importantes apparaissent surtout au niveau de la valeur du temps. Le même auteur (1976) réalise un modèle analytique, où les différences de revenu sont accompagnées par des différences en termes de valeur du temps, mais la fonction d'utilité reste la même. Ainsi, si les riches ont des fonctions d'enchères plus pentues, du fait d'une valeur du temps plus importantes que les pauvres, ils se localisent au centre-ville, ce qui correspond à la structure sociale typique des villes européennes. Une augmentation du revenu des riches se traduit par une augmentation de leur valeur du temps, ce qui implique des fonctions d'enchères encore plus pentues. Ainsi, la pression compétitive pour l'espace dans la zone pauvre diminue, ce qui améliore leur bien être. Au contraire, une augmentation du revenu des pauvres entraîne une pression compétitive pour les riches, ce qui diminue leur niveau d'utilité. Ces conclusions ont été cependant rapidement contredites par un article de Anott, MacKinnon et Wheaton (1978), où les auteurs trouvent deux contre-exemples numériques dans des simulations monocentriques.

Pour comprendre la démarche de Wheaton, on considère que les ménages maximisent une fonction d'utilité $U(z, s, t_d)$, où les variables z et s représentent la consommation de bien composite et de logement et t_d représente le temps de déplacement au centre. Ils ont une contrainte budgétaire $Y = z + \psi(x)s + T(x)$ et une contrainte temporelle $\bar{t} = t_d(x) + t_l(x)$, où \bar{t} est le temps maximal disponible et $t_l(x)$ est le temps consacré au loisir. La rente d'enchères $\psi(x)$ est une courbe d'indifférence entre distance et prix fonciers. Pour voir comment elle varie avec la distance, on impose les conditions $dU = 0$ et $dY = 0$ et on obtient :

$$\frac{d\psi}{dx} = - \left[\frac{dT}{dx} - \left(\frac{\partial U / \partial t_d}{\partial U / \partial z} \right) \frac{dt_d}{dx} \right] / s$$

Le terme $\left(\frac{\partial U / \partial t_d}{\partial U / \partial z} \right)$ représente la valeur du temps de déplacement, or le taux marginal de substitution entre le temps de déplacement et z est négatif parce que $\partial U / \partial t_d < 0$. Puisque dT/dx et dt_d/dx sont positifs, on en déduit que $d\psi/dx < 0$.

S'il y a deux catégories sociales i et j avec la même fonction d'utilité, où $U_i > U_j$, on obtient :

$$\left(\frac{\partial U / \partial t_d}{\partial U / \partial z} \right) \Big|_i = \left(\frac{\partial U / \partial t_d}{\partial U / \partial z} \right) \Big|_j$$

si la fonction d'utilité est évaluée pour le même z , s et t_d pour les ménages i et les ménages j . Si x_s est la frontière entre les riches et les pauvres ($\psi_i(x_s) = \psi_j(x_s)$) de l'équation $d\psi/dx$ et avec l'hypothèse de normalité du sol, il résulte que $s_i(x_s) > s_j(x_s)$ et donc la fonction d'enchères des riches est plus plate que celle des pauvres. Mais après une analyse plus détaillée, on reconnaît que les riches ont une valeur du temps plus importante que les pauvres pour le même z , s et t_d parce qu'ils ont des fonctions d'utilité différentes. Cela détermine des fonctions d'enchères des riches plus pentues, en favorisant une localisation centrale de ceux-ci, sauf si leurs préférences pour l'espace augmentent assez rapidement avec le revenu.

L'équilibre résidentiel avec plusieurs catégories sociales

Fujita (1989) définit l'équilibre résidentiel urbain sans aménités comme suit. On suppose qu'il y a m catégories différentes de ménages dans la ville, $i=1,2,\dots,m$. Le nombre des ménages de catégorie i est exogène N_i . Tous les ménages de type i ont la même fonction de rente d'enchère Ψ_i et la même fonction de surface d'enchères S_i . On fait l'hypothèse que toutes les fonctions Ψ_i et S_i ($i=1,2,\dots,m$) sont données.

Un équilibre du marché financier consiste dans un ensemble de niveaux d'utilité u_i^* , de distributions des ménages non-négatives $n_i(x)$ et une rente de marché $R(x)$, qui respectent les conditions suivantes (1.24)-(1.28)):

- a) pour la rente de marché, quel que soit $r \in [0, \infty)$:
- la courbe de la rente de marché $R(x)$ est l'enveloppe supérieure des courbes de rentes d'enchères d'équilibres $\Psi_i(x, u_i^*)$ de tous les ménages ($i=1,2,\dots,m$) et de la ligne de la rente agricole:

$$R(x) = \max_i \{ \max \Psi_i(x, u_i^*), R_A \} \quad (1.24)$$

Cette condition assure qu'aucun ménage ne peut atteindre un niveau d'utilité supérieur à u_i^* ($i=1,2,\dots,m$) et qu'aucun agriculteur ne réalise de profits positifs.

- si un ménage de type i réside à la distance r il achève l'utilité d'équilibre u_i^* :

$$R(x) = \Psi_i(x, u_i^*) \quad \text{si } n_i(x) > 0 \quad (1.25)$$

- en chaque localisation x , la demande totale d'espace ne peut pas dépasser l'espace disponible à cette localisation:

$$\sum_{i=1}^m S_i(x, u_i^*) n_i(x) \leq L(x) \quad (1.26)$$

- si la rente de marché en x est supérieure à la rente agricole, l'espace disponible dans cette localisation va être converti en habitations :

$$\sum_{i=1}^m S_i(x, u_i^*) n_i(x) = L(x) \quad \text{si } R(x) > R_A, \quad (1.27)$$

Les conditions (1.25)-(1.27) impliquent que chaque localisation est occupée par le plus fort enchérisseur.

b) la contrainte de population

$$\int_0^{\infty} n_i(x) dx = N_i \quad i=1,2,\dots,m \quad (1.28)$$

On suppose que les fonctions de rentes d'enchères peuvent être ordonnées selon leur pente relative (Ψ_1 est plus pentue que Ψ_2 , Ψ_2 est plus pentue que Ψ_3 , et ainsi en suite).

Par exemple si les ménages sont identiques à l'exception de leurs revenus et s'ils sont groupés en m classes telles que $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_m$: selon la proposition 7, Ψ_1 est la fonction la plus pentue, suivie par Ψ_2 et ainsi en suite.

A l'instar du modèle avec un seul type de ménage, à l'équilibre la rente de marché est continue et décroissante en x , jusqu'à la frontière de la ville x_f , qui est définie par $x_f = \min\{x \mid R(x) = R_A\}$.

Si Ψ_i est plus pentue que Ψ_j , on sait qu'à l'équilibre tous les ménages de type i vont habiter plus proche du centre que les ménages de type j . Ainsi, à l'équilibre, tous les ménages de type 1 vont résider plus proche du centre que les ménages de type 2, les ménages de type 2 seront situés plus proches du centre que les ménages de type 3, et ainsi de suite. Donc le modèle prédit à l'équilibre une ségrégation complète des catégories sociales.

Proposition 7.

A l'équilibre, les ménages de chaque catégorie sociale se ségréguent des autres catégories et forment des zones concentriques autour du centre de la ville. Ces zones sont distribuées en fonction de la pente de la rente d'enchères de chaque catégorie sociale.

Si dans la ville il y a m catégories de ménages différenciées seulement par leur niveau de revenus, si les coûts de transport sont identiques pour toutes les catégories sociales, à l'équilibre les ménages avec les revenus les plus modestes vont se localiser au centre de la ville. Ils vont être entourés par les ménages qui appartiennent à la catégorie suivante des revenus, et ainsi de suite. Les ménages les plus riches vont habiter à la périphérie de la ville.

Etant donné que la rente de marché est continue et décroissante jusqu'à la frontière de la ville et selon la condition (1.27), il ne reste plus de sol agricole dans l'intérieur de la ville. Ainsi, on peut définir la zone J_i de chaque type de ménages comme:

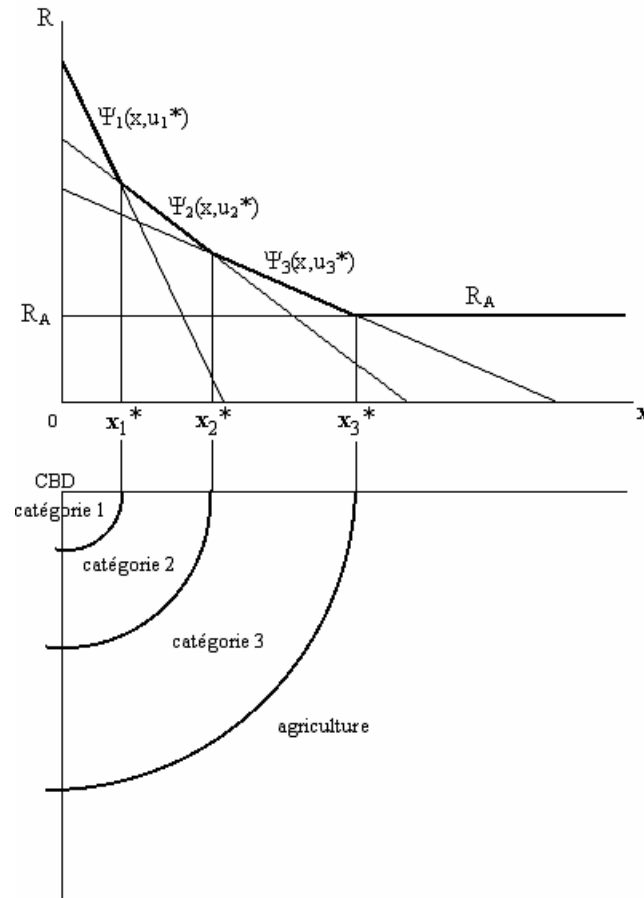
$$J_1 = [0, x_1^*), \quad J_i = [x_{i-1}^*, x_i^*), \quad i=2, 3, \dots, m$$

où $0 < x_1^* < x_2^* < \dots < x_m^* = x_f$, représentent les points de ségrégation entre les classes sociales.

La distribution de chaque type de ménage prend la forme suivante :

$$n_i(x) = \begin{cases} L(x)/S_i(x, u_i^*), & \text{si } x \in J_i \\ 0, & \text{si } x \notin J_i \end{cases}$$

Figure 1.7. La configuration d'équilibre urbain ($m=3$)



Maintenant on peut redéfinir les conditions de l'équilibre du marché foncier, dans le cadre du modèle avec plusieurs types des ménages. Ainsi un équilibre foncier consiste dans un ensemble d'utilités u_i^* , un ensemble de distances x_i^* telles que $0 = x_0^* < x_1^* < x_2^* < \dots < x_m^* = x_f$ et une rente de marché $R(x)$, qui respectent les conditions suivantes (1.29)-(1.32):

$$\Psi_i(x_i^*, u_i^*) = \Psi_{i+1}(x_{i+1}^*, u_{i+1}^*), \quad i=1, 2, \dots, m-1 \quad (1.29)$$

$$\Psi_m(x_m^*, u_m^*) = R_A, \quad (1.30)$$

$$R(x) = \begin{cases} \psi_i(x, u_i^*), & \text{pour } x_{i-1}^* \leq x \leq x_i^*, \quad i = 1, \dots, m \\ R_A, & \text{pour } x \geq x_m^* \end{cases} \quad (1.31)$$

$$\int_{x_{i-1}^*}^{x_i^*} \frac{L(x)}{S_i(x, u_i^*)} dx = N_i \quad i=1, 2, \dots, m \quad (1.32)$$

La Figure 1.7 représente la configuration spatiale d'un équilibre résidentiel urbain, comme définit auparavant, dans la situation quand il y a trois catégories sociales ($m=3$).

L'existence et l'unicité de l'équilibre sont liées à l'hypothèse que les rentes d'enchères peuvent être classées selon la pente relative. Si cette hypothèse n'est pas vérifiée il n'y a pas d'équilibre. Quoiqu'il en soit, Fujita (1989) démontre que s'il existe, l'équilibre compétitif sans externalités est optimal.

Statiques comparatives avec population hétérogène

Des statiques comparatives, ont été initialement menées par Wheaton (1976), Hartwick, Schweizer et Varaiya (1976) et Arnott, MacKinnon et Wheaton (1978) dans le cas de classes sociales multiples différenciées par leur revenu. En particulier Hartwick et al (1976) réalisent une caractérisation complète des statiques comparatives dans le cas général quand il y a n classes sociales différenciées selon le revenu. Leur résultat principal est compatible avec le modèle de Beckmann (1969): plus les ménages sont riches, plus ils se localisent loin du centre ville. Ces statiques comparatives s'intéressent aux effets induits par des changements dans les variables exogènes, telles que la structure de la population et le revenu des ménages.

Proposition 8

Une augmentation du nombre de ménages d'une catégorie sociale, quand le population des autres classes reste inchangé, produit les effets suivants :

- *une diminution du niveau d'utilité de toute la population*
- *pour toutes les classes localisées plus proche de centre, les points de ségrégation entre les classes sociales se rapprochent du centre, tandis que pour les classes situées plus en périphérie, les points de ségrégation s'éloignent du centre*
- *la rente urbaine augmente dans toutes les localisations*

Proposition 9

- une augmentation du revenu des riches leur permet d'augmenter leur zone d'habitation à l'extérieur de la ville, ce qui réduit la concurrence pour le sol dans les localisations centrales. Ainsi, les ménages pauvres connaissent eux aussi une augmentation de leur niveau d'utilité.

- au contraire, une augmentation du revenu des classes pauvres réduit le bien être des ménages riches, parce que ces derniers sont alors poussés vers la périphérie, ce qui augmente leurs coûts de transport.

1.1.2.5 Extensions au modèle de base

On peut envisager des modèles plus complexes, en introduisant de nouvelles variables : l'industrie du logement, le coût du temps de déplacement, une différenciation entre les revenus salariaux et non-salariaux, la structure de la famille. Dans un deuxième temps nous allons présenter le rôle joué par les aménités et les externalités de voisinage sur la structure socio-spatiale des villes.

Le modèle avec le secteur de production des logements

Dans le modèle de base (1.1) il est supposé implicitement que chaque ménage construit lui-même le logement. Mais il y a une autre classe de modèles, introduite par Muth (1969), dans lesquels les ménages consomment un bien agrégé appelée service de logement (*housing service*). Les ménages ont le comportement suivant :

$$\max_{x,z,h} U(z,h) \quad \text{s.c.} \quad z + R_h(x)h = Y - T(x) \quad (1.33)$$

où $R_h(x)$ est le prix du service de logement h en x et z représente le bien composite. Le service de logement est produit avec une fonction de production $F(L,K)$ où L est le sol et K le capital. Les entreprises dans le secteur des logements maximisent leur profit pour chaque localisation dans la ville:

$$\max_{L,K} R_h(x)F(L,K) - R(x)L - K \quad (1.34)$$

où le prix du capital est normalisé à 1. Les équations (1.33) et (1.34) peuvent être appelées comme le modèle de Muth. Il y a deux méthodes pour résoudre ce modèle. Une est de la reformuler dans une version du modèle de base. On peut définir l'input sol s et l'input capital k par ménage :

$$s \equiv \frac{h}{F(L, K)}L \text{ et } k \equiv \frac{h}{F(L, K)}K \quad (1.35)$$

Si $F(L, K)$ est une fonction avec des rendements d'échelle constants, on peut déterminer facilement que $h = F(s, k)$, ce qui représente la fonction de production de service de logement en termes des inputs et output par ménage. Puisque la fonction de production a des rendements d'échelle constants, les profits sont nuls et donc :

$$R_h(x) = \frac{R(x)s}{h} + \frac{k}{h} \quad (1.36)$$

En substituant (1.35) et (1.36) dans la maximisation (1.34), le modèle de Muth est équivalent au modèle réduit :

$$\max_{x, z, s, k} U(z, F(s, k)) \quad \text{s.c. } z + k + R(x)s = Y - T(x) \quad (1.37)$$

Sauf la variable supplémentaire k , le modèle (1.37) est essentiellement identique au modèle de base (1.1).

Une autre méthode est de retenir le contexte du modèle du Muth, qui est plus approprié pour l'étude du marché immobilier. Il faut introduire le concept de fonction de rente d'enchères pour le logement $\psi_h(x, u)$ comme :

$$\Psi_h(x, u) = \max_h \left\{ \frac{Y - T(x) - Z(h, u)}{h} \right\} \quad (1.38)$$

où $Z(h, u)$ est la solution de $u = U(z, h)$ pour z . Cette définition, sauf les changements de notation est identique à la maximisation (1.3) qui définit la fonction d'enchère pour le sol. Ainsi, avec les mêmes hypothèses que celles du modèle de base, nous obtenons les mêmes résultats.

Un résultat important dans le cadre du modèle de Muth est le suivant :

Proposition 10

Dans le contexte du modèle de Muth, à l'équilibre le taux capital-sol dans la production du service de logement, décroît avec la distance au centre.

On peut considéré ce taux capital-sol ou l'intensité du capital par rapport au sol comme la hauteur des bâtiments. Cette proposition suggère que la hauteur des logements décroît avec la distance au centre.

Brueckner (1987) réalise une statique comparative dans le cadre du modèle avec industrie des logements, pour une ville ouverte et une ville fermée, dont on obtient des résultats similaires avec le modèle de base, mais aussi quelques effets sur le secteur des logements:

Proposition 11

Dans une ville fermée, des changements dans les variables exogènes ont des effets spécifiques sur le secteur des logements :

- *une augmentation de la population, comme une augmentation de la rente agricole détermine une diminution de la taille des logements, une augmentation des rentes foncières et des prix fonciers et une augmentation de l'intensité du capital par rapport au sol (des bâtiments plus hauts) dans toutes les localisations*
- *une augmentation des revenus des ménages provoque une diminution des rentes foncières, des prix immobiliers et de l'intensité du capital au centre et une augmentation en périphérie*
- *une majoration du coût de transport a les effets inversés de l'augmentation du revenu : au centre les prix fonciers et immobiliers et l'intensité capitalistique augmentent, tandis qu'ils diminuent en périphérie*

Proposition 12

Dans une ville ouverte, des changements dans les variables exogènes ont les effets suivants sur le secteur des logements :

- *une augmentation de la rente agricole tronque la ville à une nouvelle frontière plus proche de centre, sans altérer la structure de la ville*
- *une augmentation des revenus des ménages provoque une majoration des prix fonciers et immobiliers et de l'intensité du capital, tandis que la taille des logements est en baisse, dans toutes les localisations*
- *une majoration du coût de transport a les effets inversés de l'augmentation du revenu : les prix fonciers et immobiliers et l'intensité capitalistique diminuent et les logements ont une surface plus grande, dans toutes les localisations*

Le modèle avec coût du temps de déplacement

Les modèles concernant l'impact du temps sur le choix de localisation ont été introduits par des auteurs comme Beckmann (1974), Henderson (1977) et Hochman et Ofek (1977), qui prennent en compte que le coût en temps du transport, en négligeant les coûts monétaires. Un modèle avec des coûts monétaires de déplacement a été proposé par Fujita (1986).

Si on introduit la variable temps dans notre modèle, le ménage va chercher à maximiser une utilité $U(z,s,t_l)$, où z et s sont les mêmes variables comme avant, et t_l représente le temps pour le loisir. Le temps total disponible \bar{t} est utilisé pour le loisir t_l , pour le travail t_w

et pour le déplacement bx , où b est une constante qui représente le temps de déplacement par unité de distance. Le revenu du ménage est constitué seulement par le revenu salarial Wt_w , où W est le taux de salaire. On suppose que le coût de transport est linéaire $T(x)=ax$, où a est une constante qui représente le coût monétaire de transport par unité de distance. Ainsi, le choix résidentiel du ménage peut être présenté :

$$\max_{x,z,s,t_l,t_w} U(z,s,t_l) \quad \text{s.c.} \quad z+R(x)s+ax=Wt_w \quad \text{et} \quad t_l+t_w+bx=\bar{t} \quad (1.39)$$

De la contrainte temporelle on déduit $t_w=\bar{t}-t_l-bx$. On définit le revenu salarial potentiel $I_w(x)\equiv W(\bar{t}-bx)$ et le revenu net potentiel $I(x)\equiv I_w(x)-ax$. On fait l'hypothèse que le coût du loisir est égal au taux de salaire (son coût d'opportunité). Maintenant on peut définir le coût total de déplacement à la distance x : $T(x)=ax+Wbx$. Le programme de maximisation (1.39) peut être réécrit :

$$\max_{x,z,s,t_l} U(z,s,t_l) \quad \text{s.c.} \quad z+R(x)s+Wt_l=I(x)$$

La rente d'enchères va être définie comme :

$$\Psi(x,u) = \max_{s,t_l} \left\{ \frac{I(x) - Z(s,t_l,u) - Wt_l}{s} \right\}$$

où $Z(s,t_l,u)$ est la solution de l'équation $U(z,s,t_l)=u$.

Ces conditions indiquent que le choix optimal nécessite un taux marginal de substitution entre chaque paire de biens égal au ratio des prix correspondants (rappelons que le prix du z est unitaire).

On définit l'élasticité revenu-potential-net de la demande de sol η et l'élasticité-croisée de la demande de sol au prix du loisir ε :

$$\eta = \frac{\partial s_M}{\partial I} \cdot \frac{I(x)}{s_M}, \quad \varepsilon = \frac{\partial s_M}{\partial W} \frac{W}{s_M}$$

Proposition 13.

Si les coûts monétaires de transport sont positifs ($a>0$) alors:

(i) *si $\eta+\varepsilon \geq 1$, la localisation d'équilibre du ménage est plus éloignée de centre pour des salaires plus élevés,*

(ii) *si $0<\eta+\varepsilon <1$, dans un premier temps l'augmentation des salaires détermine une localisation vers la périphérie, mais après un certain seuil pour le taux de salaire, toute augmentation des salaires va conduire les ménages à se localiser plus près du centre.*

Selon cette proposition, on va trouver au centre de la ville les ménages avec des revenus bas et en même temps les ménages avec des revenus élevés, et vers la périphérie les ménages avec des salaires moyens. Ce schéma est souvent retrouvé en Amérique du Nord. Des études aux Etats-Unis ont montré que $\eta+\varepsilon$ est considérablement moins que l'unité (Muth 1971, Wheaton 1977b).

Proposition 14.

Si les coûts monétaires de transport sont nuls ($a=0$) alors:

(i) si $\eta+\varepsilon > 1$, les ménages avec des revenus salariaux élevés vont se localiser vers la périphérie de la ville

(ii) si $\eta+\varepsilon < 1$, plus les revenus salariaux sont élevés, plus les ménages vont habiter vers le centre de la ville

(iii) si $\eta+\varepsilon = 1$, le taux de salaire n'affecte pas la localisation.

Un résultat similaire a été trouvé également par Hochman et Ofek (1977). En Europe et aux Etats-Unis, cette proposition est inapplicable, parce que les coûts monétaires de transport ne sont pas négligeables. Mais, au Japon, ces coûts sont souvent payés par les employeurs ($a=0$), et la proposition 11 nous aide à expliquer la tendance générale dans la plupart des villes japonaises à une concentration des ménages plus riches vers le centre ($\eta+\varepsilon < 1$ est habituellement vérifiée).

Une version plus complexe du modèle a été réalisée par Yamada (1972), qui introduit d'autres facteurs comme la désutilité du temps de travail et de déplacement.

Le modèle avec différenciation entre les revenus salariaux et non-salariaux

Si les ménages disposent d'un revenu supplémentaire Y_N par rapport au salaire, le programme des ménages (1.39) devient :

$$\max_{x, z, s, t_l, t_w} U(z, s, t_l) \quad \text{s.c.} \quad z + R(x)s + ax = Y_N + Wt_w \quad \text{et} \quad t_l + t_w + br = \bar{t} \quad (1.40)$$

En utilisant les mêmes outils que dans les sections précédentes, on obtient les résultats suivants¹:

Proposition 15.

Les ménages avec des revenus non-salariaux plus élevés vont se localiser plus loin du centre de la ville, toute chose égale par ailleurs.

¹ voir M. Fujita 1989, pag. 32-38

Un modèle avec la structure de la famille

Beckmann (1973) fait une différenciation entre les membres actifs et non-actifs dans un ménage. Cela a une importance particulière parce que seulement les membres actifs font le déplacement au CBD pour le travail. Dans le modèle de Beckmann, les coûts monétaires de transport sont nuls et le temps de travail est fixe. Ces deux hypothèses sont relâchées dans le modèle avec structure de la famille de Fujita (1989).

Cet auteur suppose que la structure du ménage est caractérisée par le nombre de membres dépendants d , et le nombre de membres qui travaillent n . On traite d et n comme des paramètres. Le modèle (1.40) devient :

$$\max_{x,z,s,t_l,t_w} U(z,s,t_l;d,n) \quad \text{s.c.} \quad z+R(x)s+nax=Y_N+nWt_w \quad \text{et} \quad t_l+t_w+br=\bar{t}$$

Proposition 16.

Dans le contexte du modèle avec la structure de la famille on obtient :

- (i) plus le nombre de dépendants est élevé, plus la localisation d'équilibre est loin du centre de la ville*
- (ii) si les ménages ne disposent que de revenus salariaux, les localisations peuvent être classées selon le ratio $n/(d+n)$; plus ce ratio est bas, plus la localisation se fait vers la périphérie.*

Cette proposition est également souvent vérifiée dans les villes des Etats-Unis.

Le modèle avec aménités

Par aménités, on comprend les caractéristiques environnementales de chaque localisation dans la ville, qui peuvent influencer de manière décisive le choix de localisation des ménages. On peut, à l'instar de Brueckner, Thisse et Zenou (1998), diviser les aménités urbaines en trois catégories. Les *aménités naturelles* sont générées par les caractéristiques topographiques de la zone. Les *aménités historiques* sont générées par des monuments, des bâtiments, des parcs et des autres infrastructures urbaines qui tiennent du passé. Les aménités naturelles et historiques sont considérées comme exogènes. La dernière catégorie représente les *aménités modernes*, qui sont endogènes et dépendent des conditions économiques courantes des quartiers, notamment le niveau du revenu.

On suppose que le niveau des aménités est donné par une fonction $A(x)$ qui est continue en x , et que le niveau d'utilité des ménages augmente avec les aménités ($\partial U/\partial A > 0$). Le choix de localisation des ménages se présente sous la forme suivante:

$$\max_{x,z,s} U(z,s,A(x)) \quad \text{s.c.} \quad z+R(x)s=Y-T(x)$$

Par la résolution de l'équation $u=U(z,s,A(x))$ on obtient $z=Z(s,u,A(x))$. En remplaçant z par $Z(s,u,A(x))$ en $u=U(z,s,A(x))$ et en différentiant par rapport à A on obtient la relation suivante :

$$-\frac{\partial Z}{\partial A} = \frac{\partial U / \partial A}{\partial U / \partial Z} = \frac{\partial V(Y-T(x), R(x), A(x))}{\partial A} > 0$$

Le taux marginal de substitution se réécrit comme la dérivée par rapport au niveau d'aménité de la fonction d'utilité indirecte $V(Y-T(x), R(x), A(x))$. Il faut noter que $\partial V / \partial A$ donne la valeur marginale du niveau des aménités, après l'ajustement optimal de la consommation d'espace.

On définit la fonction de rente d'enchères comme auparavant :

$$\Psi(x, u, A(x)) = \max_s \left\{ \frac{Y - T(x) - Z(s, u, A(x))}{s} \right\}$$

En appliquant le théorème de l'enveloppe, on obtient :

$$\frac{\partial \Psi}{\partial A} = -\frac{1}{s} \frac{\partial Z}{\partial A} > 0$$

Ainsi, la disposition des ménages à payer pour le sol croît avec le niveau de la qualité de l'environnement. Pour voir quels sont les effets de la variation du revenu sur le choix résidentiel des ménages, il faut analyser la pente de la courbe de rente d'enchères, c'est-à-dire la dérivée par rapport à la distance :

$$\Psi_x(x, u, A(x)) = -\frac{T'(x)}{S(x, u, A)} - A'(x) \frac{\partial Z / \partial A}{S(x, u, A)} = -\frac{T'(x)}{S(x, u, A)} + A'(x) \frac{\partial V / \partial A}{S(x, u, A)}$$

On voit que Ψ_x peut être positif si $A'(x) > -T'(x) / (\partial Z / \partial A) > 0$. Dans ce cas il n'y a pas un équilibre de l'usage du sol parce que tous les ménages cherchent à s'éloigner du centre de la ville et donc il n'y a aucun processus de formation des agglomérations urbaines.

On va supposer que $\Psi_x < 0$ (les rentes d'enchères sont décroissantes en x). Dans ce cas, on va analyser les effets d'un changement de revenu sur la localisation des ménages.

On prends deux ménages tels que $Y_1 < Y_2$ et les courbes de rente d'enchères $\Psi_1(x, u_1)$ et $\Psi_2(x, u_2)$ se croisent à la distance x_s : $\Psi_1(x_s, u_1) = \Psi_2(x_s, u_2) \equiv \check{R}$. Pour voir quelle fonction est plus pentue, on s'intéresse au signe de la différence :

$$\Delta = \Psi_{x_2} - \Psi_{x_1} = \frac{T'(x_s)}{s_{M_1}} - \frac{T'(x_s)}{s_{M_2}} + A'(x_s) \left(\frac{\partial V(Y_1 - T(x_s), \check{R}, A(x_s)) / \partial A}{s_{M_2}} - \frac{\partial V(Y_2 - T(x_s), \check{R}, A(x_s)) / \partial A}{s_{M_2}} \right) \quad (1.41)$$

Selon les propriétés de la demande Marshallienne, $S_1(x, u, A) = s_{M1} < s_{M2} = S_2(x, u, A)$. On suppose que $\partial V / \partial A$ croît avec le revenu, et cette croissance est plus rapide que l'augmentation de la consommation de l'espace². Cela veut dire que l'utilité marginale des aménités (après l'ajustement optimal de s) croît plus vite que la consommation de l'espace. Cette hypothèse signifie que la différence entre les rapports $\frac{\partial V / \partial A}{s}$ est positive.

Avec ces hypothèses on va examiner les effets des aménités sur la localisation des ménages dans la ville. Si $A'(x)$ est petit en valeur absolue (il peut être positif ou négatif), le signe positif de la première partie de l'équation (1.41) va dominer ($\Delta > 0$). Selon notre définition, ce résultat signifie que la fonction Ψ_1 est plus pentue que Ψ_2 . On peut conclure que :

Proposition 17.

Dans le cadre du modèle avec aménités, si la variation du niveau des aménités en espace est faible, on retrouve le schéma de localisation traditionnel : les ménages les moins riches vont habiter vers le centre de la ville et les ménages les plus aisés vont se localiser vers périphérie.

Si $A'(x)$ est négatif est grand en valeur absolue, le signe négatif de la deuxième partie de l'équation (1.41) va déterminer $\Delta < 0$ (la fonction Ψ_1 est moins pentue que Ψ_2). Dans ce cas, les aménités peuvent renverser les forces conventionnelles et on peut énoncer la proposition suivante:

Proposition 18.

Dans le cadre du modèle avec des aménités, si le centre a un fort avantage de point de vue du niveau des aménités, et si celui-ci baisse rapidement avec la distance, le schéma de localisation est renversée : les ménages les plus riches vont habiter dans le centre de la ville et les ménages pauvres vont se localiser vers la périphérie.

Cette situation correspond bien aux grandes villes européennes, qui sont caractérisées par une plus longue histoire. Les centres de nombreuses villes européennes sont caractérisés par un fort avantage en aménités face aux périphéries (des monuments, des parcs, des boulevards, une architecture fine, etc.). Ainsi, si la demande des riches des aménités est importante, un tel avantage peut être suffisant pour attirer les ménages riches vers les localisations centrales. A l'opposé, les villes nord-américaines n'ont pas une histoire aussi

² Par exemple la fonction d'utilité de type CES respecte cette hypothèse (voir Brueckner, Thisse et Zenou (1998), pp 105-106)

riche, et l'infrastructure centrale n'offre pas de bénéfices esthétiques appréciables. Cela signifie que les aménités ne peuvent pas contrarier les forces conventionnelles qui poussent les ménages riches vers la périphérie.

Il faut considérer le cas où le niveau des aménités croît avec la distance, de telle façon que $E'(x) > -T'(x)/(\partial Z/\partial A) > 0$. Dans cette situation la disposition marginale à payer pour le sol est décroissante par rapport à la distance: $\partial\Psi/\partial x > 0$. On peut interpréter $A(x)$, comme une fonction des désaménités qui constituent un bien non-désirable (pollution, bruit, congestion).

Le modèle avec externalités de voisinage

Jusqu'ici, dans les modèles étudiés, la ville est caractérisée par une ségrégation entre les classes sociales, mais cette ségrégation n'était pas cherchée pour elle-même, elle était le résultat des processus économiques de localisation des ménages dans l'espace urbain.

Une autre catégorie de modèles s'intéresse au rôle joué par les externalités de voisinage sur la structure sociale de la ville. Les externalités de voisinages les plus étudiées sont les externalités raciales aux Etats-Unis.

Avant d'analyser ces modèles, il est important de faire la distinction entre plusieurs termes utilisés dans la littérature concernant les externalités raciales. Yinger (1976) définit le *préjudice* comme une attitude ou une préférence d'un individu pour un groupe social. La *discrimination* est au contraire, un comportement qui nie les opportunités et les droits d'un groupe social. Enfin, la *ségrégation* est la séparation physique entre différentes catégories sociales.

Plusieurs modèles ont été bâtis pour étudier les mécanismes raciaux de structuration de l'espace urbain. L'hypothèse habituelle est que la population de la ville est composée par deux groupes sociaux et l'un des deux ressent une aversion pour l'autre. Le résultat général est celui d'une séparation spatiale des populations par catégorie.

On suppose que dans la ville il y a deux classes de population i et j . Les ménages de la catégorie i ont une aversion à habiter au voisinage de la seconde classe, tandis que les ménages de la catégorie j sont indifférents par rapport à la localisation des autres ménages. Ainsi, l'utilité des deux catégories peut être définie comme $U_i(z, s, E(x))$ et $U_j(z, s)$. $E(x)$ représente la qualité environnementale ressentie par les ménages i en fonction de la répartition spatiale des ménages j . Comme dans le modèle avec aménités, qui représentent également la qualité environnementale, on suppose que $\partial U_i/\partial E > 0$, ce qui implique que $E(x)$ diminue si les ménages i ressentent des externalités fortes vis-à-vis des ménages j .

Les programmes de maximisation des deux catégories sociales peuvent être écrits :

$$\max_{x,z,s} U_i(z, s, E(x)) \quad \text{s.c.} \quad z + R(x)s = Y_i - T_i(x)$$

$$\max_{x,z,s} U_j(z, s) \quad \text{s.c.} \quad z + R(x)s = Y_j - T_j(x)$$

où les notations sont identiques aux sections précédentes. Comme dans le modèle de base, nous pouvons déterminer la fonction d'enchères de chaque catégorie comme un problème de maximisation sans contrainte :

$$\psi_i(Y_i - T_i(x), u_i, E(x)) = \max_s \frac{Y_i - T_i(x) - Z_i(s, u_i, E(x))}{s}$$

$$\psi_j(Y_j - T_j(x), u_j) = \max_s \frac{Y_j - T_j(x) - Z_j(s, u_j)}{s}$$

où $Z_i(s, u_i, E(x))$ est la solution de l'équation $U_i(z, s, E(x)) = u_i$ et $Z_j(s, u_j)$ est la solution de l'équation $U_j(z, s) = u_j$.

Trois types de modèles ont été introduits concernant les externalités de voisinage, qui diffèrent dans la spécification de la fonction de qualité environnementale $E(x)$: les modèles de frontière, les modèles d'externalités locales et les modèles d'externalités globales.

a) Les modèles de frontière

Les modèles de frontière (*border models*) ont été développés initialement par Bailey (1959) et Rose-Aackerman (1975, 1977). Dans ces modèles il est supposé que les deux catégories sociales sont complètement ségréguées et que la catégorie j (interprétée comme la population noire) occupe le centre, tandis que les ménages de catégorie i (les ménages blancs) habitent en périphérie. Ainsi, $E(x)$ est une fonction croissante avec la distance au point de ségrégation entre les deux classes : $E(x) = E(x - x_s)$ pour $x \geq x_s$ et $E'(x - x_s) = dE(x - x_s)/d(x - x_s) > 0$. Souvent, par souci de simplification il est supposé que $0 < E_{\min} \equiv E(0) < \lim_{x \rightarrow \infty} E(x - x_s) \equiv E_{\max} = 1$.

Dans ces modèles on montre que l'introduction des externalités de voisinage a un impact sur la structure sociale de la ville. Le point de ségrégation entre les deux classes sociales s'éloigne de centre et la rente foncière dans le voisinage de ce point diminue. Cela s'explique par le fait que la zone périphérique devient plus attractive pour les ménages blancs, ce qui diminue la concurrence pour le sol autour de l'ancien point de ségrégation. Cette attractivité conduit les ménages blancs à avoir des enchères plus fortes dans la périphérie que

dans la situation sans externalités de voisinage. Tous ces résultats impliquent une ville avec externalités de voisinage plus large et moins dense que la ville sans externalités. En termes d'équité, l'introduction des externalités de voisinage diminue la satisfaction des ménages blancs (ils doivent subir une externalité négative, ils sont obligés d'enchérir plus pour des localisations plus éloignées du centre, donc des coûts de déplacement plus élevés) tandis que les ménages noirs connaissent une amélioration de leur bien être, due à une concurrence foncière moins forte au centre-ville et donc des résidences plus grandes.

b) Les modèles d'externalités locales et globales

Les modèles de frontière ont été critiqués à cause de deux faits : d'une part, la ségrégation entre les deux classes est supposée, et non pas endogène ; d'autre part, si les ménages noirs ont des revenus supérieurs à certains ménages blancs, le schéma de localisation complètement ségrégué n'est pas soutenable dans le contexte des modèles de frontières. Comme réponse à ces critiques, deux classes de modèles sont apparues : les modèles d'externalités locales et les modèles d'externalités globales.

Dans les modèles d'externalités locales, il est supposé que la qualité environnementale $E(x)$ est une fonction décroissante par rapport à la proportion des ménages j (noirs) localisés en x . Cela signifie que les ménages blancs sont affectés par la composition raciale de leur localisation, mais pas par celle des autres localisations dans la ville. Le modèle d'externalités locales a été proposé par Yinger (1976) et Schnare (1976), et développé ultérieurement par Kern (1981).

Dans les modèle d'externalités locales, la fonction de qualité environnementale est définie en fonction de la proportion des ménages j (noirs) localisés à la distance x : $E(x) \equiv E[N_j(x)]$ et $E'(N_j(x)) = dE(N_j(x))/dN_j(x) < 0$. Si on suppose que la fonction d'enchères des ménages i (blancs) est moins pentue que celle des ménages j , le seul équilibre stable de l'usage du sol est caractérisé par une ségrégation complète entre les deux catégories, les ménages blancs occupant le centre et les ménages noirs la périphérie.

Les problèmes raciaux constatés dans beaucoup de villes américaines, font penser que les externalités raciales ne sont cependant pas locales. Ainsi, des modèles plus généraux sont apparus (les modèles d'externalités globales), où les externalités ressenties par les ménages blancs sont une somme pondérée des externalités générées par l'ensemble de la population noire de la ville.

Les modèles d'externalités globales, supposent que la fonction $E(x)$ est une fonction décroissante par rapport aux externalités totales ressenties par les ménages i en x , qui sont égales à une somme pondérée des externalités dégagées par l'ensemble des ménages j localisés dans la ville. Le poids de chaque externalité dégagée est fonction décroissante par rapport à la distance qui sépare les ménage i et j :

$$E_i(x) = \int_{R^2} a|x-y|n_j(y)dy$$

$E_i(x)$ représente la totalité des externalités ressenties par un ménage i par rapport à tous les ménages j qui sont localisés dans la ville. Le modèle d'externalités globales suppose que $E(x) \equiv E[E_i(x)]$ et $E'(E_i(x)) = dE(E_i(x))/dE_i(x) < 0$.

Le modèle est plus général que les deux autres types de modèles qui traitent les externalités de voisinage, mais dans le même temps plus complexe et peu de résultats ont été obtenus.

Ces modèles ont été développés par Yellin (1974), Papageorgiou (1978a, 1978b), Kanemoto (1980). En particulier, ce dernier auteur examine en détail les caractéristiques de l'équilibre de marché dans un modèle d'externalités globales et démontre la possibilité de l'instabilité dynamique des villes avec une structure raciale mixte. Par exemple, une augmentation faible du nombre des ménages noirs dans une zone peut déterminer les ménages blancs à se délocaliser, ce qui cause un changement dans la composition raciale. Ce phénomène, intitulé processus cumulatif de détérioration sociale (*cumulative decay process*) a été approfondi par Miyao (1978a, 1978b), Schnare et MacRae (1978) et Anas (1980). Un survol détaillé de ces modèles sur les externalités raciales a été réalisé par Kanemoto (1987).

1.1.3 Les modèles dynamiques

Les modèles dynamiques peuvent être regroupés en deux catégories : les modèles dynamiques de production et les modèles dynamiques résidentiels.

En littérature, une majorité des modèles de croissance urbaine sont orientés vers la production. Généralement ces modèles sont agrégés spatialement et s'intéressent plutôt à la croissance urbaine qu'aux schémas spatiaux de localisation. Les modèles spatiaux de production sont inspirés par le modèle de von Thünen (1826) avec une région monocentrique. On distingue deux sous-catégories de modèles : les modèles orientés vers l'offre, de nature néoclassique (Miyao 1977b, 1981) et les modèles qui s'intéressent aussi au côté demande. Par exemple le modèle d'Engle et al. (1972) prend en compte non seulement la production, mais aussi le secteur des logements, le décideur public, etc...

Dans la présente thèse nous sommes intéressés surtout par les modèles dynamiques qui étudient la répartition spatiale des ménages dans une zone urbaine. Selon Miyao (1987), il y a deux types de modèles dynamiques urbains résidentiels : les modèles purement résidentiels sans durabilité des logements et les modèles qui prennent en compte la durabilité des bâtiments.

1.1.3.1 Les modèles avec durabilité du logement

Les modèles avec durabilité des maisons peuvent être regroupés en fonction des hypothèses prises en compte (Brueckner, 2000).

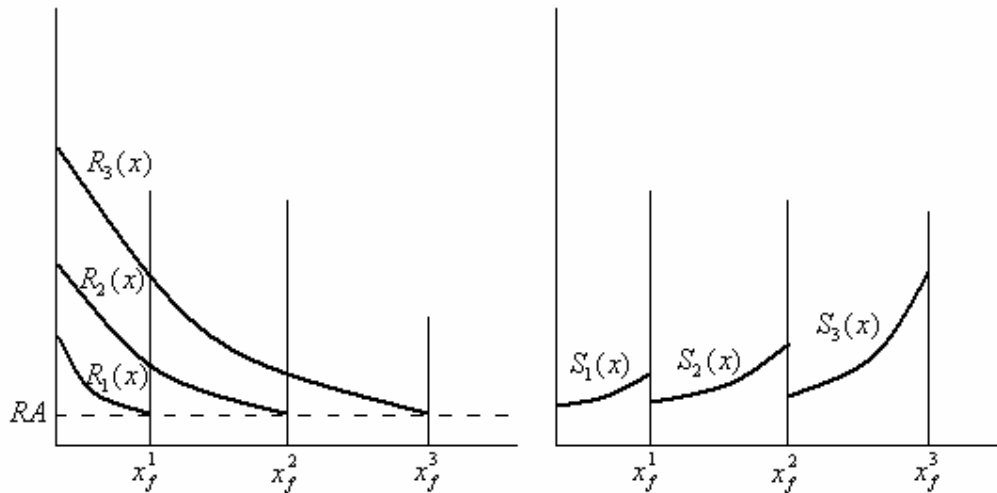
i) Les modèles avec durabilité du logement et développement irréversible

Les modèles avec développement irréversible supposent que les structures ne se détériorent et ne peuvent pas être démolies et remplacées. Cette hypothèse est justifiée parce qu'en réalité les bâtiments présentent une grande longévité. Dans cette catégorie de modèles, il y a les modèles avec prévisions myopes, dans lesquels le développeur espère que la rente immobilière reste constante dans le temps (Anas, 1978) et les modèles avec prévisions parfaites, où il anticipe correctement l'évolution future de la rente agricole et urbaine (Capozza et Hesley, 1989).

a) Les modèles avec prévisions myopes

Dans les modèles avec prévisions myopes les acteurs économiques s'attendent à ce que les prix et les revenus restent constants. Le capital est parfaitement durable (il n'y a pas de dépréciation). Dans la Figure 1.8 est présenté le développement d'une ville quand les prévisions sont myopes. A la première période la rente foncière sera $R_1(x)$ et la frontière de la ville est x_f^1 . La surface des logements est endogène $S_1(x)$. A la deuxième période, avec une population et des revenus augmentés, la rente foncière augmente aussi $R_2(x)$. Mais puisque le développement a déjà eu lieu entre le centre et la première frontière de la ville, et que les bâtiments existants ne peuvent pas être modifiés ou démolis, le nouveau développement se réalise seulement entre x_f^1 et la nouvelle frontière de la ville x_f^2 . La surface des logements entre x_f^1 et x_f^2 est donnée par $S_2(x)$. Le développement pour la troisième se fait entre x_f^2 et x_f^3 , pour une rente foncière $R_3(x)$ et une surface de logement $S_3(x)$. Ce schéma se poursuit de période en période. En termes de densité de la population (qui est l'inverse de la surface des logements), on obtient une ville caractérisée par une densité discontinue :

Figure 1.8. Le développement myope



b) Les modèles avec prévisions parfaites

Des modèles avec durabilité du capital avec des prévisions parfaites ont été développés initialement par Arnott (1980), Fujita (1982), Mills (1983) et Wheaton (1983). Les hypothèses habituelles dans cette classe de modèles sont les suivantes : la population de la ville augmente avec un taux exogène, le revenu initial et son taux de croissance sont également exogènes, et le taux d'escompte est constant. Il n'y a pas de changement technologique dans le secteur immobilier. Le marché de développement est caractérisé par des prévisions parfaites et par une concurrence pure et parfaite. Le capital est parfaitement durable et immobile, et ainsi le niveau de services de logement par unité de logement est constant. Finalement, le redéveloppement n'est pas possible.

Les développeurs choisissent dans chaque localisation le capital, la surface du logement et le moment de la construction du bâti. Ils maximisent le profit actualisé à la période présente. Avec un investissement irréversible, le capital est investi jusqu'à un niveau où le coût marginal à la période t égalise tous les revenus marginaux futurs. La construction du logement a lieu quand la perte de revenu causée par une attente d'une période supplémentaire égalise les coûts d'opportunité du capital. Enfin, la surface est choisie pour que la valeur présente de tous les revenus marginaux futurs égalise le coût marginal. Ainsi, en concurrence pure et parfaite le prix par unité de sol à la période initiale sera égal aux profits par unité de sol à la période initiale.

Dans ce cadre de modélisation les économistes ont essayé de répondre à certaines questions : est-ce que le développement se fait du centre-ville vers la périphérie de façon

continue, et ainsi l'usage du sol le plus intensif sera au centre ? ou ce sont des localisations plus périphériques qui sont développées en premier, pour laisser temporairement du sol vacant (pour des spéculations) ? Les résultats dépendent fortement des hypothèses prises en compte, et Fujita (1982) montre que le choix du moment de construction est fortement influencé par l'évolution du revenu, des niveaux d'utilité, mais aussi par le coût de déplacement.

ii) Les modèles avec développement réversible et les modèles en incertitude

Une autre catégorie de modèles avec durabilité des logements est formée par les modèles avec re-développement. Dans ces modèles, les bâtiments souffrent d'une détérioration en temps ce qui diminue les rentes immobilières et les aménageurs sont obligés de redévelopper les structures. Le premier modèle avec durabilité des constructions est celui de Brueckner (1981), qui suppose que l'économie est située à l'équilibre stationnaire, ce qui signifie que les revenus, les coûts de transport et le niveau d'utilité sont constants dans le temps. Comme dans le cas des modèles sans redéveloppement, on retrouve des modèles avec anticipations myopes (Brueckner, 1980a, 1980b) et avec anticipations parfaites (Amin et Capozza, 1993).

Une classe à part est constituée par les modèles en incertitude, qui font l'hypothèse que les rentes évoluent de façon aléatoire. On peut citer le papier de Capozza et Helsley (1990) où le développement est irréversible, et celui de O'Flaherty (1993) où il y a redéveloppement et où la composante aléatoire des rentes est une variable binaire : de « bonnes » et « mauvaises » périodes.

1.1.3.2 Les modèles sans durabilité du capital

Une autre catégorie est constituée par les modèles sans durabilité du capital. Ce type de modèles a été développé initialement par Alonso (1964), Mills (1967) et Muth (1969) dans un cadre statique. Miyao (1979) introduit un processus dynamique d'ajustement du mouvement des ménages vers ou en provenance d'une ville ouverte. L'auteur montre que s'il y a des externalités de voisinages, l'équilibre devient instable.

Miyao (1981) développe un modèle « néoclassique » de développement résidentiel dans le cadre d'une ville fermée, avec une croissance exogène de la population et une amélioration endogène du transport. Il analyse aussi quand il y a deux classes sociales qui ont les mêmes préférences de type Cobb-Douglas et des revenus différenciés. Les résultats obtenus confirment le schéma de localisation traditionnel : les ménages riches sont localisés en périphérie et les ménages pauvres au centre. L'équilibre stationnaire avec deux classes

existe, il est unique et globalement stable. Un modèle similaire mais dans une ville ouverte est réalisé par Papaheorgiou (1980). Myiao (1983) incorpore la croissance naturelle de la population et la migration entre le secteur rural et urbain.

Un travail majeur dans le cadre des modèles sans durabilité du bâti a été réalisé par Fujita et Kashiwadani (1984a) et (1984b). Les auteurs traitent la région de Tokyo comme une zone monocentrique divisée en 21 zones concentriques discrètes. Dans ce modèle il y a trois catégories d'acteurs: les ménages (divisés en trois classes), les entreprises manufacturières et les entreprises de services. Comme dans le modèle théorique de Fujita (1976), les auteurs supposent qu'il y a une correspondance entre les différents types d'activité et les types des bâtiments. Les interactions spatiales entre les usages du sol sont modélisées en définissant des « complexes d'activité ». Chaque complexe consiste en un ensemble d'activités qui se localisent toujours conjointement en proportions fixes. La première simulation sur l'agglomération de Tokyo présente le schéma de développement spatial efficient *ex post facto*. La deuxième simulation est similaire, excepté l'introduction des pratiques institutionnelles de Tokyo, où les employeurs du CBD payent eux-mêmes les coûts de déplacement des employés (plus de moitié des employés de cette région se trouvent dans cette situation). Le modèle génère des zones désertes parce que les complexes sont développés à l'extérieur de centre. En comparant leur résultat avec le développement réel constaté dans la région de Tokyo, les auteurs trouvent que le schéma actuel de développement présente plus de zones désertes que le schéma optimal et ainsi les prix fonciers dans les zones suburbaines sont surévalués.

1.1.4 Les modèles non-monocentriques

En réalité, très souvent les aires urbaines ne sont pas caractérisées par un centre unique, mais plutôt comme des zones polycentriques ou non-monocentriques. Anas, Arnott et Small (1998) mettent en évidence des résultats empiriques qui montrent la tendance au polycentrisme des villes au 20-ème siècle : les sous-centres sont caractéristiques non seulement des « nouvelles villes », mais aussi pour les « anciennes villes » qui un siècle plus tôt étaient caractérisées par un développement monocentrique. Des études empiriques qui montrent l'existence des sous-centres ont été réalisées surtout pour les villes nord-américaines : Los Angeles (Giuliano et Small, 1991), Chicago (McMillen et McDonald, 1998), San Francisco (Cervero et Wu, 1997). Toutefois l'existence de ces sous-centres n'élimine pas l'importance du centre principal, en termes d'emploi, de densité de la population et des prix fonciers : McDonald et Prather (1994), McMillen (1996), etc.

Selon Ogawa et Fujita (1980) il y a deux approches distinctes pour relâcher l'hypothèse de ville monocentrique. Une approche possible est d'introduire plusieurs centres prédéfinis, ce qu'on définit comme les modèles multicentriques, dont les premiers articles ont été réalisés par Papageorgiou et Casetti (1971), Hartwick et Hartwick (1974), White (1976). Une autre approche est de construire un modèle plus général, sans centres prédéfinis (centres endogènes), ce qu'on appelle modèles non-monocentriques : Beckmann (1976), Borukhov et Hochman (1977), Ogawa et Fujita (1980).

Les articles de Beckmann (1976) et de Borukhov et Hochman (1977) montrent que les centres uniques peuvent apparaître de façon endogène, comme une concentration de la population. Fujita et Ogawa (1982) approfondissent la formation endogène des centres, dans un modèle où il y a deux secteurs (les ménages et les entreprises) dans un espace linéaire uniforme. Les ménages choisissent leur consommation de logement, la localisation de résidence et le lieu emploi, mais il n'y a pas d'interactions sociales. Les entreprises sont compétitives et utilisent le travail et le sol, en quantités fixes, pour produire un bien composite. La productivité de chaque entreprise est influencée par un effet d'agglomération qui est une fonction de la densité des entreprises qui se trouvent en proximité.

Ce type de modèle n'est pas solvable analytiquement et les auteurs ont fait appel à des simulations numériques pour montrer la présence d'équilibres multiples, selon différents schémas de localisation :

- configuration spatiale monocentrique, avec les firmes localisées au centre
- configuration duo-centrique, avec deux concentrations des entreprises entourées par les zones résidentielles
- configuration complètement mixte, où il n'y a plus de déplacements
- configuration incomplète mixte, un mélange entre les configurations précédentes
- configuration tricentrique de l'aire urbaine

D'autres équilibres polycentriques sont possibles, mais ils ne sont pas examinés par les auteurs. Le type d'équilibre qui va émerger dépend fortement des valeurs de deux paramètres : l'intensité de l'effet de l'agglomération et le coût de déplacement des ménages. Par exemple, pour un coût de déplacement très important et des effets d'agglomération faibles, la configuration complètement mixte sera l'équilibre spatial de la ville. A l'opposé, pour des coûts de déplacement très faible, et pour des effets d'agglomération très importants, la configuration monocentrique va l'emporter.

* * *

Dans ce chapitre nous avons analysé les principaux thèmes étudiés dans la littérature d'économie urbaine. Il existe ainsi une multitude de modèles, avec des hypothèses spécifiques, mais le thème central reste la localisation des ménages et des activités économiques dans le milieu urbain. Nous avons mis l'accent sur la localisation résidentielle, puisque le sujet central de cette thèse est celui des structures sociales urbaines.

Même avec des hypothèses souvent très restrictives, les modèles urbains réussissent à capturer l'essence du mécanisme résidentiel urbain, pour démontrer des faits souvent conformes à la réalité. Egalement, la littérature urbaine explique en fonction des différents facteurs, les causes des différences de structures urbaines constatées dans les villes des différentes régions du monde.

Ce qui reste assez sommaire dans cette littérature est la modélisation du système des transports urbains, ce qui constitue le « système sanguin » des villes contemporaines. Généralement utilisée, une simple spécification fonctionnelle des coûts de transports est très *_trop_ simpliste*. En réalité, un individu est confronté avec un choix complexe concernant les déplacements en milieu urbain. Ces choix ont un fort impact sur les décisions de localisation des ménages, et par la suite sur la structure sociale de la ville. Ainsi, des modèles de transports se sont développés, dans un cadre urbain, qui ont comme but surtout de détailler le fonctionnement du système de transports urbains. De ce fait, ces modèles ne prennent en compte le plus souvent que partiellement les autres aspects urbains, mais ils complètent les analyses d'économie urbaine. Un survol de cette littérature est présenté dans le chapitre suivant. La dernière section du chapitre présente les principales contributions dans le domaine qui font un lien direct entre les transports et la structure urbaine.

1.2 L'ECONOMIE DES TRANSPORTS URBAINS

Le sujet des transports urbains est concerné par le déplacement des biens et des personnes dans une zone métropolitaine ainsi que par l'offre et la demande de déplacements et des infrastructures de transport.

Dans une perspective de court terme, les décisions de déplacement sont contraintes par la localisation résidentielle et celle du lieu de travail, qui sont fixées, également par la possession d'un véhicule, et par la disponibilité de différents modes de transport à la localisation résidentielle.

L'individu confronté à un choix de mode de transport considère les coûts généralisés de transport, i.e. la somme des coûts monétaires directs et de l'évaluation monétaire de la durée de déplacement. A l'étape du choix modal, il répartit ses déplacements entre véhicule individuel, transports collectifs et d'autres formes de transport en fonction de la différence de coûts généralisés de transport entre les modes.

L'agrégation des décisions individuelles pour chaque localisation permet de déterminer les flux entrants et sortants de chaque localisation pour chacun des modes de transport. Ensuite, le passage de ces flux par mode de transport aux durées de déplacement fait intervenir des phénomènes de congestion : à volume d'infrastructure donné, plus le flux partant de et transitant par une zone pour un mode de transport donné est important, et plus la vitesse de ce mode de transport est réduite, et donc plus la durée de déplacement est importante.

Nous sommes particulièrement intéressés par les aspects politiques des transports urbains. Le planificateur peut en effet influencer le fonctionnement de la ville de deux manières. D'une part, il peut, par la tarification, modifier les prix sur la base desquels les consommateurs prennent leurs décisions. Ainsi, par exemple, en l'absence de péage ou de stationnement payant, un automobiliste considère que le coût de son déplacement est la somme du coût du carburant et du coût d'usage du véhicule. Il ajoutera le montant du péage ou celui de la place de stationnement si ceux-ci deviennent payants. D'autre part, le planificateur peut, par l'aménagement de surfaces de voirie ou de stationnement, modifier les conditions du déplacement, la congestion étant plus ou moins forte. Egalement, le planificateur est le responsable de l'offre des transports publics.

Dans le but de diminuer le niveau de pollution et de congestion urbaine, le planificateur urbain peut avoir comme objectif la réduction de la consommation énergétique, par une politique de transports urbains appropriée. Ces politiques visent d'habitude la

différentiation des modes des transports, en favorisant les transports collectifs. Comme dans les décisions de localisation, les ménages tiennent compte des aspects d'accessibilité et des coûts de transport, et ces politiques vont avoir un impact important sur la structure sociale d'une ville. Un autre point à souligner est que les groupes sociaux utilisent différemment les modes de transport, et que cette politique de différenciation des modes de transport va affecter diversement chaque catégorie sociale, ce qui peut poser des problèmes d'équité.

En respectant l'évolution décrite précédemment, nous allons étudier les problématiques spécifiques de l'économie des transports urbains : d'abord la modélisation des systèmes de transports urbains, la demande de déplacements, l'offre de transports (publiques et privées), l'application des politiques de transport (aménagement du territoire et politiques tarifaires) et les effets des transports et des politiques spécifiques sur la ville (problèmes d'équité, structure socio-spatiale).

1.2.1 La modélisation des systèmes de transports urbains

Les systèmes de transports urbains sont caractérisés par le phénomène de congestion du trafic. Cette congestion apparaît parce que des ménages qui habitent à différentes distances du centre arrivent sur le lieu de travail (CBD) et reviennent au lieu de résidence au même moment de la journée. Ainsi, le système de transport urbain devient rapidement saturé, ce qui implique des vitesses de déplacement réduites. La congestion représente une externalité négative, parce qu'à partir d'un certain seuil, chaque nouveau véhicule entrant dans le système de transport a un impact négatif sur la vitesse de circulation de tous les usagers du système.

Cette congestion affecte négativement la satisfaction des ménages, directement (un temps de déplacement élevé) et indirectement (niveau de pollution élevé, augmentation des risques d'accident sur la route...). Ces effets peuvent avoir un impact significatif sur le choix de localisation des ménages dans l'espace urbain. Par exemple, si la capacité du système de transport urbain est très faible par rapport à la demande de transport, ce système devient rapidement sur-congestionné. Ainsi, pour une durée de déplacement très élevée et une valeur importante du temps pour les ménages riches, ces individus peuvent être amenés à choisir une localisation centrale, contrairement au schéma habituel, où les riches occupent les zones périphériques de la ville.

Selon Henderson (1985), il y a trois moyens pour modéliser les systèmes de transport congestionnés : les modèles où la demande de transport dépend des conditions passées et futures de déplacement (Henderson, 1985), les modèles où les vitesses présentes de

déplacement dépendent des conditions futures et passées (Agnew 1976, 1977) et le modèle traditionnel (une version « statique » où les flux et la densité sont considérés comme uniformes pendant une période de temps). Nous allons nous intéresser d'abord au modèle traditionnel, qui est appliqué aussi dans le modèle théorique qui est développé dans la quatrième partie de cette thèse.

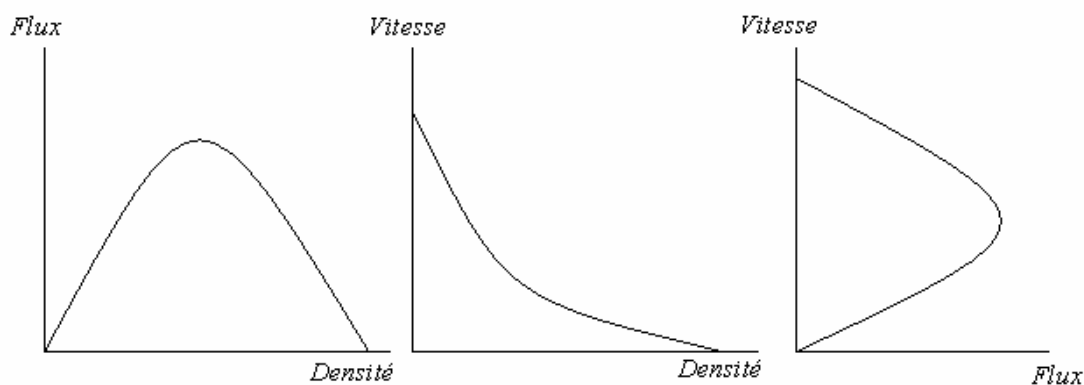
1.2.1.1 Modélisation statique de la congestion

Le sujet de la congestion a été introduit dans les analyses de transports par Beckmann et al. (1955). C'est une analyse dans un cadre statique, où on modélise la relation entre le flux de transport (ou le volume) en fonction de la densité spatiale des déplacements (nombre de véhicules par unité de distance) et de la vitesse moyenne (ou l'inverse de la durée) de déplacement :

$$\text{Flux} = \text{Densité} \times \text{Vitesse} \quad (1.42)$$

La congestion peut être exprimée comme une relation fonctionnelle additionnelle entre deux des trois variables de l'expression (1.42). Haight (1963) introduit *le diagramme fondamental du flux de trafic* comme la relation entre le flux et la densité de trafic. Selon l'identité (1.42) la relation entre le flux et la densité peut être exprimée comme une relation entre la vitesse moyenne et la densité ou entre la vitesse et la densité :

Figure 1.9 : Les relations vitesse-flux-densité



Graphique repris de Small (1992)

Des études empiriques statiques ont été menées pour estimer la forme exacte de ces courbes. On peut rappeler l'étude de Walters (1961) qui estime la relation vitesse-densité dans la zone de New York, en utilisant une fonction $Vitesse = -V_m \log(Densité/D_m)$ où V_m et D_m sont des paramètres. Payne (1984) utilise la méthode des moindres carrés pour estimer une relation discontinue entre la vitesse et la densité. La relation entre le flux du trafic et la densité a été étudiée sur la région de Washington par Boardman et Lave (1977) avec une fonction

quadratique et par Inman (1978) qui estime une forme fonctionnelle plus complexe en utilisant des transformations Box-Cox. Ces études analysent la relation entre vitesse, flux et densité pour une période de temps très court, qu'on appelle relation instantanée. D'autres études s'intéressent aux relations entre agrégés (moyennes) dans un réseau urbain sur une certaine période de temps : Coleman (1961), Smeed (1968), Keller et Small (1977) et Ardekani et Herman (1987).

Analytiquement, le phénomène de congestion dans une ville monocentrique est modélisé comme suit. On suppose que chaque ménage génère un seul déplacement en véhicule. Si $n(x)$ est le nombre de ménages qui sont localisés à la distance x de centre, on peut définir le flux du trafic qui passe par le cercle de rayon x comme le nombre de ménages qui habitent à une distance supérieure à x :

$$N(x) = \int_x^{x_f} n(x) dx$$

où x_f est la frontière de la ville.

Quand il y a congestion du trafic, le coût de transport dépend de la quantité de sol disponible pour le réseau routier (ou capacité de la route). Généralement dans la littérature, le temps moyen (ou le coût moyen) privé encouru par chaque véhicule qui traverse x est défini par une fonction de la forme :

$$t(x) = a_0 + a_1 \left[\frac{N(x)}{B(x)} \right]^{a_2} \quad (1.43)$$

où $t(x)$ est le temps (ou le coût) de transport par unité de distance, $B(x)$ est la quantité de sol allouée aux routes à la distance x (la capacité de la route) et a_0 , a_1 et a_2 sont des constantes positives. Le coût ou le temps de déplacement est une fonction croissante convexe par rapport au volume de trafic $N(x)$ si $a_2 > 1$. Cette fonction est très répandue dans la littérature, et correspond à la fonction du Bureau of Public Roads employée dans les modèles d'équilibre des réseaux.

Une exception à cette formalisation a été introduite par Arnott et MacKinnon en 1978, en utilisant une fonction exponentielle :

$$t(x) = a_0 + \exp \left\{ a_1 \left[\frac{N(x)}{B(x)} \right]^{a_2} \right\}$$

Ils utilisent cette fonction parce que l'élasticité de la congestion privée par rapport au volume du trafic est supérieure à 1, et le taux de l'externalité de congestion marginale par rapport à la congestion privée est une fonction croissante par rapport au flux.

Dans le cas général, le coût de transport par voyageur et par unité de distance à la distance x , ou le coût marginal de transport en x , est une fonction du rapport trafic – capacité $t(N(x)/B(x))$. Le coût total de transport à chaque distance x sera :

$$T(x) = \int_{x_c}^{x_f} t \left(\frac{N(x)}{B(x)} \right) dx$$

où x_c est la frontière du CBD. Dans cette catégorie de modèles les transports à l'intérieur du CBD sont ignorés. Dans la littérature, la fonction $t(\cdot)$ est supposée positive, croissante et strictement convexe.

Avec cette formalisation nous pouvons mettre en évidence l'effet de la congestion sur l'ensemble du trafic du réseau. Ainsi, un voyageur supplémentaire qui habite à la distance x et qui se déplace au centre en traversant chaque distance $\ell < x$, cause un coût de congestion supplémentaire de :

$$\frac{\partial t(N(x)/B(x))}{\partial N(x)}$$

Ce coût (ou cette augmentation de la durée de déplacement) sera supporté par l'ensemble des usagers du réseau, ce qui détermine la nature d'externalité de la congestion. Cela a des implications sur l'efficacité de la ville, puisqu'en présence d'externalités il est nécessaire d'introduire une taxe pour internaliser ces effets. Les possibilités d'intervention du décideur public seront développées dans la section 2.5.

En particulier durant les périodes creuses, les différences de vitesses de déplacement des usagers d'une route représentent probablement une des principales causes de la congestion. Verhoef et al. (1999) analysent la congestion créée par ces différences de déplacement : les véhicules plus lents ralentissent les autres usagers.

Une modélisation alternative pour expliquer la congestion comme relation entre vitesse et flux de trafic a été proposée par Verhoef et Rouwendal (2004). Dans les modèles conventionnels, on considère la relation vitesse-flux comme une relation technique. Les auteurs développent un modèle comportemental de congestion de trafic, dans lequel les usagers optimisent leurs vitesses de déplacement, en arbitrant entre coûts en temps, accidents attendus et coûts des carburants. La présence des autres usagers influence non seulement les coûts en temps comme dans les modèles traditionnels, mais aussi les coûts en termes d'espérance d'accidents et les coûts de consommation de carburants. Les auteurs montrent que l'obtention d'un optimum de premier rang nécessite l'application d'un péage, accompagné d'une politique de régulation des vitesses de déplacement.

1.2.1.2 Modélisation dynamique de la congestion

On reproche à la modélisation statique de la congestion de ne pas tenir compte du fait qu'en réalité la congestion n'est pas constante en temps mais elle varie fortement entre les périodes de pointe (quand le système de transport devient hyper-congestionné) et les périodes creuses quand le trafic est quasiment fluide et donc il n'y a pas du tout d'encombrement.

Quand on prend en compte le temps dans la modélisation de la congestion, le problème devient complexe : les usagers avec des horaires de travail fixes varient leur moment de départ et d'arrivée (comme dans l'analyse de Vickrey, 1969) ou ils peuvent choisir leur emploi en fonction de leurs préférences pour l'horaire du travail (Henderson, 1981 ; Wilson, 1988). Les employés comme les employeurs peuvent eux aussi répondre à la congestion avec des horaires flexibles (Moore et al, 1984), ou ils peuvent introduire le télétravail (Salomon, 1986).

Le modèle le plus utilisé dans la littérature est le modèle de goulot d'étranglement (*bottleneck model*). Ce modèle développé par Arnott, de Palma et Lindsey (1993), constitue une façon de prendre en compte les possibilités de réorganisation des horaires de départ, reprenant l'idée avancée par Vickrey (1969) selon laquelle la durée de congestion est endogène : l'utilisateur souhaitant arriver à une certaine heure est amené, en période de pointe, à arbitrer entre le temps du trajet et le temps d'avance ou de retard à l'arrivée s'il décale son départ. Dans ce cadre, la congestion se manifeste par le fait qu'un accroissement du nombre d'utilisateurs aura pour conséquence un plus fort étalement de cette pointe.

Dans ce modèle, l'arrivée est régulée par l'intermédiaire d'un goulot ponctuel de débit maximum fixé, en amont duquel une queue se forme, dont la longueur détermine le temps d'attente.

Les hypothèses standard dans les modèles de bottleneck sont les suivantes :

- le goulot permet un certain débit et quand le taux d'arrivée des véhicules dépasse cette valeur, une queue se développe. Les usagers passent à travers le goulot dans leur ordre d'arrivée ;

- les usagers se déterminent en fonction du coût généralisé de transport qui, en plus des coûts monétaires, incorpore le temps d'attente passé dans la queue, le temps de retard (ou d'avance) à l'arrivée par rapport à un objectif d'heure d'arrivée.

Le nombre d'utilisateurs de la pointe est supposé fixe. A l'équilibre de marché les flux de départ s'établissent de manière à égaliser les coûts généralisés de chaque usager puisque ceux-ci sont homogènes. Dans ce modèle, à l'équilibre, le coût global d'attente dans la queue représente finalement la moitié du coût total de transport. Ceci signifie que l'équilibre de

marché est largement sous-optimal. En effet, le temps passé dans la queue représente une pure perte : si les usagers ne prenaient le départ qu'une fois que ceux qui les précèdent sont déjà passés dans le goulot, les heures d'arrivée seraient les mêmes, mais les temps de queue seraient annulés.

La situation optimale ne constitue pas un équilibre sans intervention d'un régulateur : les usagers modifieront leur comportement pour rapprocher leur départ, recréant ainsi le phénomène de queue. Cet optimum peut être réalisé grâce à un péage de congestion variable, d'autant plus élevé que l'on se rapproche de l'heure d'arrivée cible. Les possibilités de péage urbain variable seront discutées dans la section 2.5.1.

Verhoef (2001) présente une version dynamique du modèle statique standard de la congestion du trafic. Pour des taux d'arrivée inférieurs à la capacité maximale de la route, les équilibres stationnaires du modèle reproduisent les résultats du modèle standard (la relation inverse entre densité et vitesse). L'auteur montre que pour des taux d'arrivée dans le système routier supérieur à la capacité maximale de la route, l'équilibre « hypercongestionné » est dynamiquement instable, résultat cohérent avec le modèle de bottleneck de Vickrey.

On peut envisager des modèles de congestion de type bottleneck plus complexes. Par exemple, Tabuchi (1993) introduit un mode de transport public alternatif à la route congestionnée. Ce mode alternatif présente des économies d'échelle par une diminution du coût moyen en fonction du nombre d'usagers. L'introduction du mode public est justifiée également par la réduction des externalités négatives de congestion.

1.2.2 La demande de transports urbains

Chaque consommateur fait un ensemble complexe de décisions de déplacement en fonction de ses ressources, de ses besoins et de son environnement. Ces décisions incluent l'objectif, la fréquence, le timing, la destination et le mode de déplacement. En plus de ces aspects à court terme, il faut prendre en compte des décisions à plus long terme, comme la possession d'un véhicule, la localisation de la résidence et du lieu de travail. Il faut souligner que le transport n'est pas en soi un bien de consommation, mais il est consommé concomitamment avec d'autres activités comme le travail, les courses, les loisirs ...

Une des caractéristiques communes des modèles de demande de transports urbains est de répondre aux objectifs des politiques de transport urbain. Les modèles de transports urbains doivent répondre aux questions politiques habituelles : quel est l'effet de l'augmentation de la population et des revenus sur la demande de déplacements et par conséquent sur la congestion future sur chaque mode de transport ? Quels sont les effets des

changements de la structure des coûts ou de temps de déplacement sur la demande totale et par mode de transport ? Quels sont les effets de la distribution socio-spatiale et de l'emploi sur les flux de trafic et inversement quels sera l'impact d'un changement du système de transport sur la structure spatiale de la ville ? Comment la distribution des déplacements sera changée par des changements d'infrastructures ? Quel est l'impact de l'introduction des différentes taxes sur les transports privés, ou de subventions pour les transports publics sur les déplacements dans l'espace urbain ?

1.2.2.1 Les modèles conventionnels de planification des transports urbains

Les premiers modèles qui s'intéressent aux déplacements dans un contexte urbain sont les modèles appelés modèles de planification des transports urbains (*urban transportation planning*). Ces modèles ont été souvent critiqués parce qu'ils ne sont pas comportementaux et ils ne répondent pas aux besoins de politiques de transport urbain, mais ils constituent des travaux fondamentaux dans l'analyse des transports urbains. Ils ont été développés aux Etats-Unis dans les années 50, dans le contexte des études des transports de Chicago et Detroit, et puis « importés » en Grande Bretagne dans les années 60.

Les modèles conventionnels de demande de transports urbains séparent la fonction de demande en génération de déplacement (*trip generation*) et attraction de déplacement (*trip attraction*), distribution des déplacements (le modèle de gravitation), choix modal (*modal split*) et choix d'itinéraires ou affectation des routes (*route assignment*). Ces modèles sont connus sous le nom de modèles de transport en quatre étapes. Dans ces modèles on essaye de répondre aux questions suivantes : combien de déplacements auront lieu, quelles seront les origines et les destinations de ces déplacements, quel mode de transport sera choisi et enfin, quelle route sera utilisée ?

Dans les ***modèles de génération de déplacement***, l'aire d'étude est divisée en petites zones de « trafic », généralement plusieurs centaines par aire urbaine. Le nombre de déplacements qui ont leur origine dans la zone i est modélisé comme une fonction des caractéristiques socio-économiques de cette zone : $N_i = f(z_i)$. Le modèle est estimé le plus souvent avec des méthodes de régressions linéaires multiples, en utilisant des moyennes zonales (Fleet et Robertson, 1968) ou plus rarement des observations individuelles sur un échantillon de ménages. Généralement, les variables de transport ne sont pas incorporés dans le modèle et donc par hypothèse la fréquence de déplacement est totalement indépendante des changements dans le système de transport. C'est un modèle non-causal et non-comportemental.

Dans le *modèle d'attraction des déplacements*, le nombre de voyage qui ont comme destination la zone j est typiquement une fonction des caractéristiques de cette zone (notamment l'emploi) : $N_j = f(z_j)$. Comme le modèle précédent, il ne correspond pas aux besoins de politiques urbaines, parce qu'il ne prend pas en compte les variables de transport.

Le modèle de gravitation ou de distribution des déplacements, est une combinaison entre le modèle de génération et d'attractivité des déplacements. Habituellement, ce modèle prédit le nombre de déplacements entre chaque zone d'origine i et chaque zone de destination j . La distribution est basée sur l'attractivité relative de la zone j mesurée avec les variables d'attraction de déplacements et les variables de qualité des services de transports t_{ij} entre la zone i et j : $N_{ij} = f(z_i, z_j, t_{ij})$. Des procédures d'estimation itératives sont utilisées. Les variables t_{ij} décrivent les conditions de déplacement entre deux zones, notamment le temps de déplacement, ou les coûts de transport généralisés, c'est-à-dire la somme des coûts monétaires et des coûts de temps évalués en unités monétaires.

Les modèles de gravitation forment les interactions spatiales en analogie avec la loi de gravitation de Newton. Ainsi, le modèle est peu justifié théoriquement, mais Wilson (1967) en utilisant des outils mathématiques et statistiques démontre que certaines catégories de modèles gravitationnels assurent une bonne représentation du comportement agrégé des voyageurs, sous la condition que le coût total de transport de l'aire urbaine (incluant les coûts en temps) est constant. Niedercorn et Bechdolt (1969) et Golob et Beckmann (1971) ont réalisé des modèles gravitationnels avec des spécifications de la théorie économique.

La première modélisation de distribution des déplacements urbains a été fortement inspirée par la loi de la gravitation de Newton pour déterminer tous les déplacements entre les zones i et j d'une aire urbaine : $N_{ij} = z_i z_j t_{ij}$ avec $t_{ij} = d_{ij}^{-2}$, où d_{ij} représente la distance entre les deux zones. Ce qu'il reste à estimer correctement sont les variables t_{ij} . Si dans les premières versions du modèle on utilisait une pondération de la population ou de l'emploi zonal z_i et z_j et des formes simples de t_{ij} en fonction de la distance, le développement de la notion de coût généralisé a conduit à une réflexion sur la forme fonctionnelle des variables définissant les services de transport t_{ij} . Une des formes la plus utilisée est $t_{ij} = \exp(-\lambda c_{ij})$ où c_{ij} est le coût généralisé de transport entre les zones i et j , et λ est un paramètre positif appelé paramètre de concentration ou d'échelle. Cette forme a été dérivée par Wilson (1967) en utilisant les considérations de l'entropie, et puis Ben-Akiva et Lerman (1985) montrent

qu'elle est compatible avec le modèle logit, qui fait partie des modèles probabilistiques de choix discrets.

Les modèles de *choix modal* introduisent deux modes de transport dans la fonction de distribution des déplacements. Ce sont les seuls modèles conventionnels qui sont comportementaux et qui peuvent répondre aux questions de politique urbaine. Dans ces modèles, le nombre de déplacements entre deux zones i et j est alloué entre le transport privé (la voiture) et le transport public (les transports en commun) en fonction des temps et des coûts de déplacements relatifs entre les deux modes de transport, mais aussi, dans certains cas, en fonction des caractéristiques socio-économiques de la zone d'origine et de destination :

$$\frac{N_{ij}^{auto}}{N_{ij}^{public}} = f(z_i, z_j, t_{ij}^{auto}, t_{ij}^{public})$$

La diversité des modes est souvent ignorée ou incorporée en combinant les modes en deux modes dichotomiques : les transports privés et les transports publics. Le désir de généraliser le modèle de choix modal à plus de deux modes de transport a conduit à une préférence pour le modèle logit multinomial. Sa forme la plus simple est

$$\frac{N_{ij}^m}{N_{ij}} = \frac{\exp(-\lambda t_{ijm})}{\sum_{r \in \{m\}} \exp(-\lambda t_{ijr})}$$

où $\{m\}$ représente l'ensemble des modes possibles. Quand des modes sont similaires (par exemple métro et bus ont plus de similitudes entre eux par rapport à la voiture), l'utilisation du modèle logit multinomial n'est pas toujours souhaitable. Un modèle plus approprié est le modèle logit arborescent (*nested logit model*). Dans ce modèle il y a plusieurs niveaux de prise de décision. D'abord on choisit entre le transport public et le transport privé, avec un deuxième niveau à l'intérieur de chaque mode agrégé (par exemple pour le transport un commun, le choix entre le métro et le bus). Une analyse détaillée de ces modèles est présentée dans la section suivante, qui traite des modèles probabilistiques.

Dans les *modèles d'affectation des routes* les déplacements entre deux zones i et j pour un mode spécifique sont assignés par une représentation simplifiée de la structure de transport (public ou privé). Pour les déplacements en véhicule privé, les déplacements de personnes doivent être d'abord convertis en déplacements des véhicules en utilisant une moyenne d'occupation des véhicules. Les déplacements privés sont assignés aux routes alternatives d'une manière probabilistique, en prenant en compte les temps ou les coûts de déplacement. Les contraintes de capacité de chaque route du réseau urbain, basées sur des relations vitesse/trafic déterminées empiriquement, sont introduites avec une procédure

itérative pour équilibrer les flux de véhicules et les vitesses pour chaque route du réseau. L'affectation des transports en commun est similaire mais souvent traitée plus simplement.

Même si l'affectation est considérée dans une seule étape, en réalité elle résulte de plusieurs processus séparés : le choix de la route pour chaque combinaison de zones i et j ; l'agrégation des flux entre i et j selon les chemins choisis ; l'introduction des contraintes de capacité ; la détermination du coût (monétaire, temporel ou généralisé) pour chaque combinaison i - j .

La plupart des études sur les transports urbains utilisent les quatre étapes du modèle conventionnel. En Europe, les applications les plus utilisées du modèle en quatre étapes sont les modèles TRIPS, STEMM (Strategic European Multi-Modal Modelling), STREAMS, SATURN (Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks) etc... Aux Etats-Unis, on trouve notamment les modèles UTPS, SYSTEM II, MINUTP, TRANPLAN, EMME/2 et SACMET 94.

1.2.2.2 Les modèles probabilistiques

Dans cette branche de la littérature, on modélise la probabilité de faire un choix de déplacement, sans répondre à la question si le déplacement a lieu ou non. Ainsi, ces modèles ne peuvent pas fournir des analyses sur le nombre d'usagers du système de transport urbain, mais ils prédisent, en valeurs relatives, le pourcentage de l'ensemble de la population qui va prendre un certain mode de transport. C'est pour cette raison que ces modèles sont appelés aussi modèles de choix modal (ou de choix discrets).

Les modèles de choix discrets tirent leurs fondements théoriques des modèles de fonctions d'utilité aléatoires (McFadden, 1973). On suppose qu'un agent de catégorie n doit choisir entre les alternatives discrètes $i=1..I$. La fonction d'utilité est composée d'une partie déterministique (connue comme utilité systématique) et d'un terme aléatoire :

$$U_n^i = V_n^i(z_n^i, s_n, \beta) + \varepsilon_n^i$$

où z_n^i est un vecteur d'attributs de l'alternative i comme ils sont perçus par l'agent n , s_n un vecteur des caractéristiques démographiques ou socio-économiques de l'agent n , β un vecteur des paramètres inconnus et ε_n^i est la composante non-observée de l'utilité qui capture la dispersion des choix observés faits par les agents de catégorie n . U_n^i et V_n^i sont connues comme fonctions d'utilité indirecte conditionnelle, parce qu'elles sont conditionnées par le choix i et, comme dans la théorie standard du consommateur, elles incorporent la contrainte budgétaire.

Le modèle est complet si on spécifie la distribution de la variable ε_n^i , pour $i=1..I$. On peut alors calculer la probabilité du choix de l'alternative i :

$$\begin{aligned} P_n^i &= \text{Prob}\left(U_n^i > U_n^j, \forall j \neq i\right) \\ &= \text{Prob}\left(\varepsilon_n^j - \varepsilon_n^i < V_n^i - V_n^j, \forall j \neq i\right) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} F_i\left(V_n^i - V_n^1 + \varepsilon_n^1, \dots, V_n^i - V_n^I + \varepsilon_n^I\right) d\varepsilon_n^i \end{aligned}$$

où F est la fonction de distribution cumulative des termes aléatoires et F_i est sa dérivée partielle par rapport au i -ème argument.

Les principaux modèles probabilistiques utilisés dans la littérature

En fonction de la forme de la distribution des termes aléatoires on peut distinguer plusieurs modèles de choix discret. Si la distribution F suit une loi normale, nous avons un **modèle probit multinomial**. Dans le cas particulier où les termes aléatoires sont identiquement et indépendamment distribués (connue comme la condition iid) nous avons le **modèle iid probit**. Par exemple, le modèle probit binaire est :

$$P_n^1 = \Phi\left(\frac{V_n^1 - V_n^2}{\sigma}\right)$$

où Φ est la fonction de distribution normale cumulative standard et σ est la déviation standard de $\varepsilon_n^1 - \varepsilon_n^2$. Puisque σ ne peut pas être déterminé empiriquement, il est habituellement normalisé à l'unité.

Dans le **modèle logit multinomial** (connu aussi comme logit conditionnel) les termes aléatoires respectent la condition iid et leur distribution suit une loi Gumbel, Weibull ou double-exponentielle. La distribution est définie comme :

$$\text{Prob}\left(\varepsilon_n^j < x\right) = \exp\left(-e^{-\mu x}\right)$$

pour tous les chiffres réels x , où μ est un paramètre d'échelle. Comme dans le cas du modèle probit, μ est normalisé à 1. McFadden (1973) montre que les probabilités résultantes sont logit :

$$P_n^i = \frac{\exp(V_n^i)}{\sum_{j=1}^I \exp(V_n^j)}$$

La condition d'indépendance des alternatives non pertinentes est respectée parce que les rapports P_n^i/P_n^j dépendent seulement de V_n^i et V_n^j et non pas des utilités des autres alternatives.

Il y a également des situations quand les alternatives peuvent être corrélées, par exemple quand l'agent doit faire un choix entre plusieurs modes de transport, dont certains sont des transports en commun. Dans cette situation les modèles décrits précédemment ne peuvent pas être utilisés à cause de la condition iid (indépendance entre les modes). Ainsi, une nouvelle classe de modèles est apparue, les *modèles logit structuré, arborescent ou emboîté* (*structured logit, tree logit* ou *nested logit*).

Le modèle logit emboîté, comme le modèle logit multinomial, appartient à une catégorie plus générale : les modèles à valeurs extrêmes généralisées. Cette catégorie a été définie par McFadden (1978) au moyen d'un théorème qui donne une condition suffisante sur la forme des probabilités de choix entre plusieurs alternatives pour que ces probabilités dérivent de la maximisation d'une utilité aléatoire.

Dans ces modèles il est supposé que certains groupes d'alternatives ont des termes aléatoires corrélés. L'individu fait d'abord un choix entre les classes d'alternatives, et puis un choix à l'intérieur de ces classes par une procédure de type logit. Le modèle logit emboîté a été développé par Ben-Akiva (1974), Williams (1977) et Daly et Zachary (1978).

D'autres formes généralisées du modèle logit sont le dogit (Gaudry et Dagenais, 1979), le logit ordonné (Amemiya, 1981) et le logit séquentiel (Kahn et Morimune, 1979). Même si ces modèles ne sont pas dérivés de la fonction d'utilité aléatoire, ils peuvent être utilisés dans des circonstances particulières et ils ont connu un certain succès empirique.

Estimation des modèles probabilistiques

Avant l'estimation proprement dite il est nécessaire d'établir une forme fonctionnelle pour la fonction d'utilité. La forme linéaire est la forme la plus utilisée mais des formes plus générales comme les transformations Box-Cox et Box-Turkey sont étudiées par Gaudry et Wills (1978), Hensher et Johns (1981) et Gaudry et al. (1989).

Pour un modèle donné, les données sur les choix réalisés en réalité, en fonction des attributs z_n^i et s_n permettent d'estimer les valeurs des paramètres inconnus β et de réaliser des tests statistiques sur la validité des formes fonctionnelles. Les paramètres sont habituellement estimés en maximisant le logarithme de la fonction de vraisemblance :

$$L(\beta) = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I d_n^i \log P_n^i(\beta)$$

où N est la taille de l'échantillon. Les variables d_n^i sont des variables binaires de choix (dummy) qui sont égales à 1 si l'agent n choisit l'alternative i et égales à 0 sinon. Manski et Lerman (1977) introduisent une correction en introduisant le poids de chaque terme de la vraisemblance en fonction de la probabilité de chaque membre dans l'échantillon. Les variables d_n^i décrivent une mesure des *préférences révélées* des décisions qui sont déjà faites.

L'avantage principal du modèle logit est sa simplicité de calcul : McFadden (1973) montre que si la fonction d'utilité est linéaire par rapport aux paramètres β , le logarithme de la fonction de vraisemblance est globalement concave en β et ainsi le maximum est unique.

Il y a un intérêt de plus en plus grand pour les méthodes qui utilisent *les préférences exprimées (études comportementales)*, basées sur les réponses concernant des situations hypothétiques. La première application de cette méthode dans les transports a été réalisée par Davidson (1973) pour estimer la demande dans les transports aériens.

L'avantage de ces méthodes repose d'abord sur le fait que les données sont collectées plus facilement et sont moins coûteuses. Egalement, ces méthodes permettent de mieux contrôler les intervalles des variables indépendantes et les corrélations entre elles. Les méthodes des préférences exprimées sont cependant critiquées pour leur correspondance avec la réalité. Ben-Akiva et Morikawa (1990) combinent les données obtenues à la fois par des préférences exprimées et des préférences révélées dans une seule procédure d'estimation.

Dans l'estimation des paramètres de la fonction d'utilité, le plus souvent le vecteur des paramètres contient des constantes spécifiques des alternatives. Puisque l'utilité est ordinale, une de ces constantes est normalisée (habituellement à zéro). Ainsi l'alternative correspondante sert d'alternative de base pour des comparaisons. Ces constantes peuvent être interprétées comme l'utilité moyenne des caractéristiques non-observées de chaque alternative relativement à l'alternative de base.

L'estimation des modèles des choix discrets permet de déterminer usuellement des rapports de coefficients, qui sont interprétés comme des taux marginaux de substitution. L'application la plus utilisée est le calcul du taux marginal de substitution entre l'argent et le temps, ce qu'on appelle la valeur marginale du temps. Cette variable représente la valeur monétaire que les voyageurs accorde au temps. Elle est très importante dans l'évaluation des améliorations du système de transport, qui souvent ont comme objectif d'améliorer la mobilité

de la population. Un élément important est le fait que la valeur du temps varie entre classes sociales en fonction de leur revenu.

1.2.3 L'offre d'infrastructures de transports urbains

L'offre d'infrastructure de transport est définie souvent comme la capacité du système de transport. Ainsi, pour étudier l'offre d'infrastructures de transports urbains, les modèles économiques urbains s'intéressent surtout à l'allocation optimale du sol pour le système de transport urbain. La question est de déterminer comment le sol consacré aux routes devrait varier avec la distance au centre-ville. Le planificateur doit faire un arbitrage entre les coûts marginaux croissants de l'investissement quand on s'approche du centre (le coût d'opportunité du sol augmente) et les bénéfices marginaux croissants potentiels du fait des véhicules additionnels et l'augmentation potentielle de la congestion. Nous allons distinguer les analyses de l'optimum de premier rang (*first best*) et de second rang (*second best*).

Dans les analyses de l'optimum de premier rang, le décideur peut jouer simultanément sur deux instruments possibles : l'allocation du sol et la tarification. Ces deux instruments sont complémentaires, mais en réalité il s'avère souvent impossible de les utiliser dans le même temps. Ainsi, une autre classe de modèles s'intéresse à l'optimum de second rang. On peut prendre une allocation raisonnable du sol pour les routes, décrite par une fonction $B(x)$, et pour ce $B(x)$ prédéterminé, on résout alors l'équilibre de l'usage du sol pour déterminer le niveau optimal de taxation (voir section 2.5.1.). Une autre forme d'optimum de second rang apparaît quand on détermine l'allocation optimale du sol quand le prélèvement d'une taxation au coût marginal de congestion est impossible.

1.2.3.1 La capacité du système de transport urbain dans une optique d'optimum de premier rang

Les premiers travaux analytiques ont été réalisés par Strotz (1965), Mills et DeFerranti (1971), Sollow et Vickery (1972) et Livesey (1973). Strotz examine le péage optimal de premier rang et le problème de l'allocation dans une ville découpée en zones concentriques discrètes. Mills et DeFerranti (1971) posent le problème d'optimalité de premier rang, comme une minimisation des coûts totaux de développement de la zone résidentielle d'une ville monocentrique, en supposant que tous les ménages consomme la même surface fixée de logement. Dans ce modèle, la fonction $B(x)$ devient un instrument de politique urbaine. Solow et Vickrey examinent en 1971 le problème de « first best » optimum dans un CBD rectangulaire, et Livesey reformule en 1973 le modèle de Mills et DeFerranti en prenant en

compte la congestion à l'extérieur mais aussi à l'intérieur du centre (en plus, dans ce modèle, le rayon du CBD devient endogène).

Nous allons synthétiser les résultats de ces premiers travaux, qui ont été confirmés par des articles apparus ultérieurement. On va noter \bar{x}_c la frontière exogène du CBD. Le secteur des transports, comme les autres activités dans la ville, est caractérisée par sa capacité à enchérir pour le sol. La fonction d'enchères du secteur des transports est définie comme le bénéfice marginal du sol pour le transport en chaque localisation x :

$$\psi\left(\frac{N(x)}{B(x)}\right) = -\frac{\partial t(N(x)/B(x))}{\partial B(x)} N(x)$$

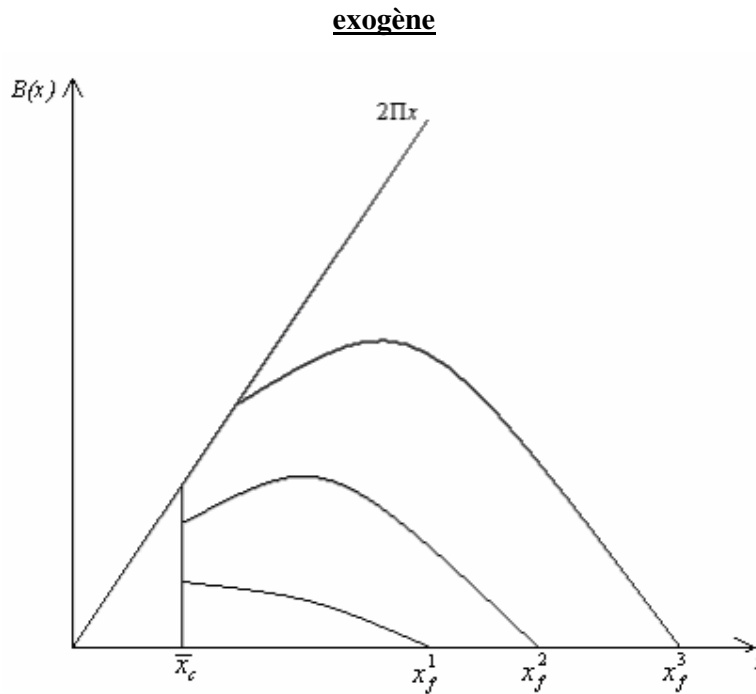
Cette expression nous dit que si une unité supplémentaire de sol est ajoutée au système de transports à la distance x , le coût marginal de transport en x diminue de $\partial t(\cdot)/\partial B(x)$, diminution qui profite à tous les usagers qui traverse le système routier à cette distance $N(x)$.

A partir de cette définition des enchères du système de transport et selon le principe du plus fort enchérisseur, nous pouvons déterminer *la règle coût-bénéfice* de l'allocation optimale du sol pour les transports : quand le secteur des transports ajoute une unité supplémentaire de sol pour le transport à la distance x , il doit payer le coût du sol (la rente foncière) $R(x)$. Il suit que l'allocation optimale du sol pour les transports doit être choisie de manière à égaliser le coût marginal et le bénéfice marginal du sol dans le secteur des transports :

$$R(x) = -\frac{\partial t(N(x)/B(x))}{\partial B(x)} N(x)$$

Dans la Figure 1.10, sont représentées les formes optimales de la fonction $B(x)$ qui émergent en trois cas de figure. Pour une ville petite (de taille x_f^1), l'allocation optimale du sol pour le système de transport est une fonction concave décroissante qui est nulle à la frontière de la ville (x_f^1). Pour une ville moyenne (de taille x_f^2) la courbe reste concave, mais elle est d'abord croissante et puis décroissante, jusqu'à ce qu'elle devienne nulle, à la frontière de la ville. Pour des grandes villes (de taille x_f^3), le sol peut être alloué même en totalité pour les routes dans une couronne entourant le CBD. Après un certain seuil, $B(x)$ reprend une forme concave, croissante dans un premier temps et puis décroissante jusqu'à la frontière de la ville, où elle est nulle.

Figure 1.10. L'allocation optimale du sol pour le système de transport urbain avec le CBD

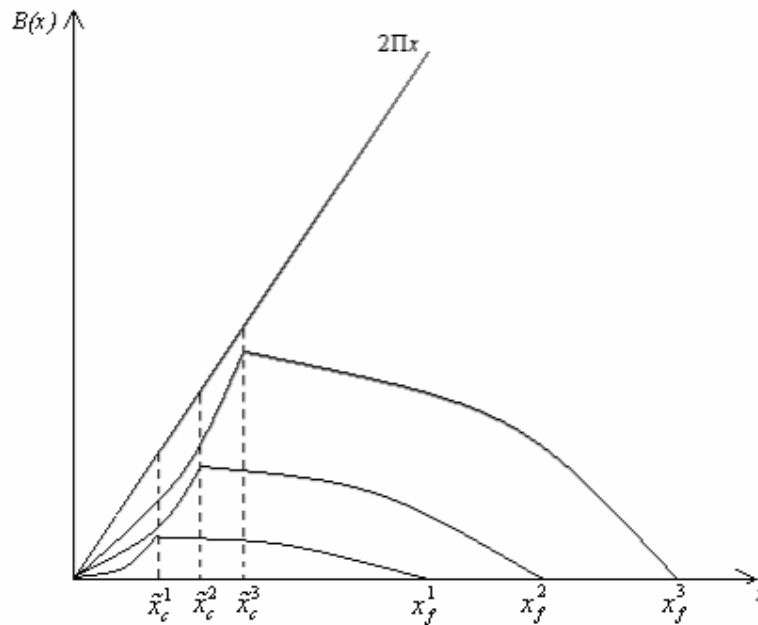


Kanemoto (1980) fait des comparaisons entre l'équilibre de marché sans taxation et l'optimum de premier rang dans le cas d'une ville fermée et d'une ville ouverte. On constate que la ville optimale est plus dense et par conséquent également la part du sol alloué aux transports, parce que les taxes de congestion impliquent des rentes foncières plus élevées. Les coûts totaux de transport sans inclure la taxe de congestion sont inférieurs dans la ville optimale.

Livesey apporte une contribution importante au débat, en utilisant une frontière endogène du CBD \bar{x}_c . Ainsi, selon lui, la fonction de capacité du système de transport n'est pas globalement concave, mais elle devient convexe à l'intérieur du CBD (voir Figure 1.11). Cette fonction arrive au maximum toujours à la frontière du CBD et le système routier ne prend jamais la totalité du sol à une certaine localisation.

Selon Livesey, une ville avec un système de taxation de la congestion est plus compacte (une surface totale de la ville plus faible) et avec une population plus dense (dû à l'augmentation du coût de déplacement). Un autre résultat analytique important est le fait qu'il est optimal de laisser une faible congestion autour du CBD, ce qui contredit une hypothèse plus ancienne de Beckmann (1968), qui soutenait qu'à l'optimum la congestion doit avoir le même niveau pour toute la ville.

Figure 1.11. L'allocation optimale du sol pour le système de transport urbain avec le CBD endogène



1.2.3.2 Analyse de l'optimum de second rang

Quand le décideur public ne peut pas appliquer un péage de congestion optimal, la capacité du système de transport optimal de second rang peut être supérieure ou inférieure à la capacité optimale de premier rang (quand un péage optimal est mis en place). Cela dépend d'un paramètre crucial qui est l'élasticité de la demande (Wilson, 1983 ; d'Ouille et McDonald, 1990 ; Gronau, 1994).

Kanemoto (1980) souligne qu'à l'équilibre de marché (quand il n'y a pas de taxes de congestion), le planificateur continue de choisir l'allocation du sol au système de transport selon le critère coût-bénéfice, mais en absence de taxes de congestion, cela aboutit à une allocation inefficace du sol. Ainsi, il y a besoin d'examiner les effets des différentes distorsions sur le fonctionnement de la ville et de faire des comparaisons entre les différentes solutions de second rang, mais aussi par rapport à l'optimum de premier rang. Malheureusement, ce type d'analyse ne peut pas être solvable analytiquement, et les économistes ont utilisé les simulations numériques pour répondre à ces questions.

Parmi les premières simulations réalisées, la plus complète est peut être celle de Dixit (1978). Dans son modèle, l'auteur s'intéresse à la taille optimale en terme de population d'une ville fermée. La production est concentrée dans le CBD et est caractérisée par des rendements d'échelle croissants par rapport à deux facteurs de production : le sol et le travail. Comme

dans le modèle de Livesey, la taille du CBD est endogène, mais le transport à l'intérieur est négligé. Les ménages ont une fonction d'utilité Cobb-Douglas définie sur un bien composite et la surface du logement, qui est maximisée sous contrainte budgétaire et de temps. L'auteur utilise une fonction de congestion comme définie dans la relation (1.43) et il suppose que le bien composite produit au CBD est consommé localement et les rentes sont distribuées équitablement entre les résidents.

Avec des salaires égaux à la productivité marginale du travail, et selon l'hypothèse de rendements d'échelle croissants, la ville aurait une taille infinie s'il n'y avait pas de coûts de déplacement. Même sans congestion du trafic, l'utilité d'équilibre des ménages va atteindre un niveau maximal pour une population finie de la ville, parce que les coûts de déplacement vont l'emporter à partir d'un certain seuil sur l'augmentation des salaires due à une augmentation de la population. La congestion du trafic augmente encore les coûts de déplacement, ce qui détermine une population optimale encore plus petite. Avec des paramètres plausibles, Dixit obtient une population optimale d'approximativement 200.000 ménages, mais ce résultat est très sensible aux valeurs des paramètres de la fonction de congestion (1.43). Un résultat de cette modélisation contredit l'analyse comparative de Wheaton (1974) : les frontières du CBD et de la ville ne sont pas des fonctions monotones croissantes par rapport à la population, mais elles atteignent un niveau maximal, une fois que la population optimale est dépassée.

Un défaut du modèle de Dixit est le fait de négliger la congestion à l'intérieur du CBD. Un modèle, qui incorpore ce problème et qui développe les résultats analytiques de Livesey (1973), est proposé par Sullivan (1983a) et (1983b). Dans ce modèle les ménages choisissent le lieu de résidence dans la zone résidentielle qui entoure le centre et le lieu de travail à l'intérieur du CBD. La ville optimale de premier rang (avec taxation de congestion et capacité du système routier optimales) est caractérisée par une distribution plus dispersée de l'emploi (un centre plus large) et une distribution plus concentrée des résidences que l'équilibre sans taxation de la congestion mais avec allocation optimale du sol.

Une partie de ces résultats a été obtenue par d'autres analyses et simulations menées dans les années 70: Mills (1972a), Muth (1975), Solow (1973b), Henderson (1975) et Arnott et MacKinnon (1978).

1.2.4 L'offre de transports publics

Par transports publics on entend les transports en commun. L'intérêt d'inciter les voyageurs à utiliser les transports en commun est justifié par une réduction de la congestion du trafic urbain et une réduction de la pollution émise par les transports urbains.

Dans les analyses économiques, l'offre de transports publics se traduit en produit final (déplacements des passagers) et en produits intermédiaires comme routes-kilomètres, véhicules en services dans les périodes de pointe, véhicules-heures, véhicules-kilomètres, etc... L'offre de ces produits est en lien avec les coûts des transports publics.

On distingue plusieurs approches dans la modélisation des coûts et de l'offre de transports publics. Les études des coûts de comptabilité (*accounting cost studies*) supposent que les coûts sont linéaires par rapport aux produits intermédiaires énoncés (Allport, 1981, Cervero, 1982, Caudill et al. 1983, etc..).

Les études des coûts technologiques (*engineering cost studies*) prennent en compte les spécifications techniques détaillées des différents moyens de transports publics en addition des investigations statistiques et comptables (Meyer et al. 1965).

Les études des coûts statistiques (*statistical cost studies*) permettent de relâcher l'hypothèse de rendements d'échelle constants, spécifiques à la formalisation linéaire de la fonction des coûts dans les études comptables. Viton (1980, 1981) et Button et O'Donnell (1985) utilisent des fonctions translog pour estimer les coûts des transports publics, en fonction de l'output, des prix de certains facteurs de production et du stock du capital fixe. Viton détermine le stock de capital optimal (le parc de bus) quand il y a seulement des coûts opérationnels.

Berechman (1983) et Berechman et Giuliano (1984) utilisent des données temporelles pour estimer des fonctions de coûts pour le service des bus. Ils trouvent des rendements d'échelle croissants quand ils utilisent des mesures d'output final, et des rendements décroissants quand il s'agit des outputs intermédiaires.

Nelson (1972) note que les volumes de passagers doivent être endogènes, puisque la demande de déplacements est sensible à la qualité du service. Ainsi, il faut tenir compte des inputs des usagers, notamment le temps total de déplacement. Ce qui constitue le temps d'un déplacement en transports publics est constitué du temps pour accéder au système des transports publics, pour attendre les véhicules, pour le voyage, et éventuellement pour le transfert entre plusieurs véhicules de transport en commun.

En introduisant le temps d'attente dans la fonction de coûts, Mohring (1972) montre que les transports en commun ont une technologie caractérisée par des rendements d'échelle croissants (en termes de produit final ou produit intermédiaire). Cela a un effet important sur la taxation optimale des transports publics. Dans ce modèle on obtient qu'une fréquence optimale des bus (véhicules par heure de pointe) est proportionnelle à la racine carrée de la densité des passagers (le nombre de passagers par heure de pointe) connue comme *la règle de la racine carrée* pour les politiques d'opération des transports publics. Les rendements d'échelle croissants impliquent que la tarification optimale ne couvre pas entièrement le coût total du fournisseur des transport en commun. En fait, le prix optimal est nul, parce que les véhicules ne sont pas remplis et donc il n'y a pas de coûts supplémentaires à prendre un passager supplémentaire. La subvention totale sera égale à la valeur totale du temps d'attente pour tous les passagers.

Si on considère l'effet d'un passager à la montée et à la descente du véhicule sur la vitesse moyenne de déplacement, on obtient alors une tarification optimale positive, même quand les véhicules ne sont pas remplis. Kraus (1991) montre que cet effet peut avoir un impact important sur le prix optimal.

Si la capacité des véhicules est endogène, avec un paramètre de coût spécifique, on peut déterminer la taille optimale des véhicules. Cette approche a été utilisée par Jansson (1980) et Glaister (1986). Ces auteurs concluent que la taille optimale des bus est beaucoup plus petite que celle constatée en Suède et Grande Bretagne.

Un autre aspect étudié dans la littérature est l'effet de l'encombrement des usagers dans les véhicules de transport en commun. Quand les véhicules sont pleins, les usagers sont obligés de rester debout, le temps pour monter et descendre augmente, ce qui peut pousser les usagers à attendre le véhicule suivant, ou même à s'orienter vers un autre mode de transport. Turvey (1975), et plus récemment et d'une manière plus formelle Kraus (1991), montrent que cet encombrement impose des coûts qui s'ajoutent aux coûts sociaux marginaux, ce qui a un impact sur la tarification.

1.2.5 Les politiques tarifaires

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, le décideur public peut intervenir sur le fonctionnement des transports urbains comme un aménageur urbain, en répartissant l'allocation du sol entre différents usages, notamment pour l'infrastructure de transports. Pour réguler l'utilisation des transports, afin de réduire la congestion et la pollution, le planificateur dispose d'une autre catégorie d'outils, que sont les outils tarifaires : le péage urbain (pour le

prix de congestion), la tarification des transports en commun, la taxation des carburants et le stationnement payant. Parmi ces outils, le plus étudié dans la littérature est le péage urbain (ou taxe de congestion).

1.2.5.1 Le péage de congestion

Plusieurs types de péages urbains sont appliqués dans les grandes villes. Les charges zonales ont été introduites récemment à Londres : chaque véhicule qui circule dans la zone est taxé d'un montant unique indépendamment de la distance parcourue. Une taxation « proportionnelle » (*flat*) a été considérée aux Pays-Bas, et représente une taxation fixe par kilomètre parcouru, qui n'est pas différenciée en temps : $\tau = \tau_{km}x$, où x est la distance parcourue (ce qui dans un contexte monocentrique constitue aussi la variable de localisation) et τ_{km} est la taxe unitaire par kilomètre. Avec un péage de type « cordon », comme celui appliqué à Singapour, chaque usager des routes qui passe le « cordon », paye la même charge indépendamment de la distance parcourue avant et après le passage du « cordon ». Les usagers qui restent en dehors ou à l'intérieur du cordon ne payent pas de taxes. Dans un contexte monocentrique, ce péage est défini comme suit :

$$\tau = \begin{cases} \tau_{cor}, & \text{si } x \geq x_{cor} \\ 0, & \text{si } x < x_{cor} \end{cases}$$

Les économistes ont appliqué longtemps le principe de la taxation au coût marginal pour la congestion routière (Pigou 1920, Knight 1924). Les modèles de péage urbains ont été élaborés et développés par Mohring et Harwitz (1962), Vickrey (1963, 1968), Johnson (1964), Mohring (1965, 1970).

Rappelons que la congestion crée une différence entre le coût moyen et le coût marginal de transport. Ainsi, il est nécessaire de taxer les usagers pour que chaque voyageur prenne en compte le coût marginal social de son déplacement. Dans une optique pigouvienne, cette taxe est égale à la différence entre le coût marginal et la partie du coût moyen déjà supportée par l'utilisateur. Si la seule externalité présente est la congestion (sans externalités environnementales), le coût moyen variable est supporté intégralement par le voyageur. Avec une taxe de congestion, on internalise l'externalité de congestion, ce qui conduit à une répartition Pareto-optimale du trafic.

Les analyses de l'optimum de premier rang (quand le décideur public peut intervenir simultanément sur l'allocation du sol et la taxation) montrent que chaque usager devrait supporter non seulement son coût moyen $t(x)$, mais le coût marginal total induit :

$$t(x) + N(x) \frac{\partial t(x)}{\partial N(x)}$$

Dans une optique de second rang, dans une ville avec une population homogène, la stratégie de taxation au coût marginal maximise le niveau d'utilité d'équilibre à long terme, pour une fonction de capacité de la route $B(x)$ donnée.

Il est important de noter que le but du décideur public est l'allocation efficace des ressources et pas l'élimination totale de la congestion. Ainsi, une taxe de congestion optimale n'élimine pas la congestion. Le niveau optimal de congestion dépend de plusieurs facteurs, notamment les coûts du secteur du transport. En particulier dans les centres des agglomérations urbaines, ces coûts peuvent être très importants (par exemple une unité supplémentaire de sol alloué aux routes induit un coût foncier très élevé). Ainsi l'infrastructure de transports dans la zone centrale d'une ville doit être utilisée intensivement à cause de son coût d'opportunité très élevé.

Ferrari (1995, 1997) s'intéresse à la taxation optimale d'un réseau routier urbain, quand il y a des contraintes de capacité (physiques ou environnementales). Dans un cadre d'équilibre statique déterministe, l'auteur montre que le modèle peut ne pas avoir de solutions qui satisfont les contraintes de capacité. L'introduction de coûts additionnels permet d'obtenir toujours une solution qui satisfait ces contraintes de capacité. Ces coûts additionnels peuvent être utilisés comme un péage urbain, afin de prévenir l'instabilité du flux de trafic et/ou la production d'un dommage environnemental inacceptable.

Hyman et Mayhew (2002) comparent trois alternatives de péage urbain en appliquant le modèle sur l'aire urbaine de Londres. Les alternatives de péage analysées sont : le péage zonal (les usagers payent pour rester ou rentrer dans une zone), le péage au terminus (tarification supplémentaire de stationnement dans les localisations résidentielles et non-résidentielles) et péage proportionnel à la distance parcourue. Les auteurs montrent que le péage zonal fournit les moindres bénéfices à l'opposée d'une politique hybride basée sur le péage au point terminus et variable avec la distance. Par rapport aux charges zonales, qui sont actuellement appliquée à Londres, la politique hybride génère les même revenus et dans le même temps offre des bénéfices supérieurs aux usagers de la route en terme de durée de déplacement.

Mun et al. (2003) analysent le péage optimal de type cordon dans une ville monocentrique qui pose deux problèmes : la localisation du cordon (la distance au CBD) et le montant du péage, qui maximisent le surplus social total de la ville. Avec un péage de type cordon optimal, les déplacements originaires de l'intérieur du cordon sont sous-taxés, ceux

juste à l'extérieur du cordon sont sur-taxés et ceux de la périphérie de la ville sont sous-taxés. Une simulation numérique calibrée sur le Japon montre que le bien-être obtenu avec une politique de péage de type cordon est très proche de l'optimum de premier rang. Au contraire, Zhang et Yang (2004) montrent que le péage cordon dans un réseau de type graphe, soit sous une forme d'un cordon simple ou double, présente de fortes pertes en termes de surplus social par rapport à l'optimum de premier rang.

Verhoef (2005) analyse les politiques de péage urbain optimal de second rang dans une ville monocentrique, avec densité résidentielle et offre de travail endogène. L'auteur développe un modèle d'équilibre général, qui prend en considération les interactions entre densité urbaine, congestion du trafic et offre de travail. Avec des fonctions d'utilité CES et Cobb-Douglas, les analyses suggèrent que la perte relative de l'application des péages de second-best par rapport au péage first-best sont très faibles.

Le péage optimal des routes urbaines dans un cadre multi-modal a été étudié par Small (1983) en assumant comme exogène le prix des transports publics, tandis que Kraus (1989) a développé une simulation pour déterminer la tarification optimale des deux usages simultanément. En plus, cet auteur fournit des analyses sur l'efficacité relative des différentes politiques tarifaires (notamment taxation des carburants et différentes formes de péage urbain).

Toujours dans un cadre multi-modal, Mirabel (1999) analyse la répartition des usagers entre l'automobile et les transports en commun en mettant en lumière deux types d'externalités : les externalités « classiques » de congestion et les externalités « modales croisées » que les usagers des voitures imposent indirectement aux utilisateurs des transports collectifs du fait de la présence de rendements d'échelle de « densité de trafic » dans le secteur des transports publics. La présence de telles externalités doit inciter les autorités à mettre en place un mécanisme de taxes-subsidations pour restaurer l'optimum collectif.

Un modèle de simulation très détaillé a été réalisé par De Borger et al. (1997). Ainsi, les auteurs ne se contentent pas d'une représentation traditionnelle en deux modes de transport, mais ils incluent plus de 20 modes différents (différents types de voitures, types de carburant, etc...). De plus ils font la distinction entre le transport de passagers et de fret, et entre le transport en conditions urbaines et non-urbaines. Enfin, en plus de la taxation et de la tarification des transports publics, les auteurs considèrent aussi la régulation des technologies automobiles comme un instrument de politique.

Si on modélise la congestion dans un cadre dynamique (voir section 2.1.2), le péage de congestion n'est plus constant en temps. L'introduction d'un péage variable qui est plus élevé

quand on s'approche des périodes de pointe, peut aboutir à une situation optimale, parce que les coûts d'attente dans une queue générée par un goulot d'encombrement seront supprimés.

Le péage optimal dynamique peut être déterminé selon deux méthodes. La première est de déterminer d'abord le schéma optimal des départs et puis de déterminer le péage variable qui permette que le schéma optimal soit un équilibre. Une deuxième méthode est de déterminer le coût marginal d'un usager additionnel et puis de déterminer la forme du péage qui amène chaque usager du système de transport à percevoir un prix égal au coût marginal. Enfin il faut résoudre ce nouvel équilibre avec la formule de péage variable.

Un modèle dynamique de simulation très complexe a été réalisé par De Palma et al. (2005) pour comparer différents schémas de péage urbain. Les auteurs utilisent un simulateur dynamique de réseau qui permet de traiter de manière endogène les décisions concernant le moment du départ et aussi les choix de mode et de route. Les simulations sont faites pour un réseau de transport urbain qui est formé par des artères radiales et par des routes circumférentielles et avec des origines et destinations des déplacements qui sont distribuées dans tout le réseau. Parmi les six scénarios de péage analysés, les résultats montrent la supériorité des péages d'étape (*step tolls*) par rapport aux péages invariables (*flat tolls*). De Palma et Lindsey (2006) appliquent le même modèle sur la région Ile de France. Comme dans le cas précédent, les péages variables en temps s'avèrent plus efficaces.

Des modèles s'intéressent au problème de tarification optimale dans un cadre temporel quand il y a deux routes alternatives pour se rendre au lieu de travail. Par exemple Braid (1996) analyse le cas de deux routes qui sont toutes deux sujets d'un phénomène de congestion de type bottleneck. Si le péage de congestion de pointe peut être appliqué pour les deux routes, l'optimum de premier rang est atteint. Par contre, si une des routes est sous-tarifée, l'autre route doit avoir un péage optimal de second rang variable en temps, qui est négatif ou positif en fonction de la période de la journée, mais avec une moyenne nulle.

Dans le même cadre, Arnott et al (1992) s'intéressent à l'interaction entre deux aspects des transports routiers urbains, traités habituellement séparément : l'hétérogénéité des usagers et le choix de la route. Dans la forme réduite du modèle dans une situation statique, les auteurs considèrent deux types d'usagers et deux routes alternatives. Dans ce cas, les usagers peuvent se répartir entre les deux routes. Dans le cas dynamique, il y a une seule route et la ségrégation est temporelle. Les auteurs montrent que l'introduction du péage peut améliorer l'efficacité de la séparation temporelle et spatiale des usagers du système routier urbain.

D'autres auteurs analysent le problème de péage optimal quand il y a deux routes alternatives, dont une n'est pas payante. Liu et McDonald (1998) réalise une simulation pour

la Route 91 de l'Etat de Californie, qui présente la particularité d'avoir deux voies payantes sur six disponibles. Le modèle combine les théories économiques de la taxation optimale de second-best des infrastructures de transport et du péage en périodes de pointe, et considère les deux cas de maximisation : bien-être ou profits. Les résultats montrent que le péage optimal de second rang en période de pointe est relativement faible et les gains de bien-être de la taxation sont modestes par rapport à un régime où toutes les voies seraient payantes. Dans un article de 1999 et dans un même cadre, les deux auteurs montrent que : le schéma de second-best est moins efficace que le schéma de first-best ; les péages de second-best sont considérablement plus faibles que ceux de premier-rang ; les gains de bien-être des politiques de second rang sont beaucoup plus faibles que l'application d'un ensemble complet de péages de premier rang.

Si la majorité des études sur le cas des deux routes alternatives les considèrent comme substituts parfaits, Rouwendal et Verhoef (2003) analyse le problème de péage optimal de second rang quand les routes ou les modes compétitifs sont des substituts imparfait, ce qui correspond mieux à la réalité. Le modèle considère que le péage ne peut pas être appliqué pour une des deux routes. Les résultats montrent qu'il y a des différences importantes en termes d'efficacité entre les politiques avec contraintes de capacité et les politiques qui peuvent faire varier aussi la capacité des routes. Un autre résultat marquant est le fait que si la capacité des routes est variable il existe deux équilibres : un avec un nombre d'utilisateurs substantiel pour chaque route ou mode, et un autre où le nombre des utilisateurs d'une des routes est négligeable.

Une catégorie de modèles s'intéresse au péage urbain optimal dans le cas d'une configuration spatiale de la ville non-monocentrique. Par exemple Mun et al. (2005) examinent l'effet d'un péage de type cordon dans une ville non-monocentrique où les déplacements peuvent se faire entre toutes les localisations de la ville. Les auteurs analysent trois scénarios différents : pas de péage, péage optimal de premier rang et péage cordon optimal. Le péage de type cordon est défini comme une combinaison de la localisation du cordon et du montant du péage qui maximise le surplus social de la ville. Contrairement à la situation d'une ville monocentrique (Mun et al. 2003), le péage de type cordon n'est pas toujours optimal. Plus la structure de la ville est monocentrique, plus ce type de péage devient efficace.

1.2.5.2 Tarification des parkings

Les parkings représentent une partie majeure des coûts sociaux d'un déplacement en automobile dans une zone avec une forte densité urbaine (Small, 1992), et sont souvent subventionnés par les pouvoirs publics locaux et par les employeurs. L'introduction d'un péage du parking au coût marginal ou au coût moyen peut affecter le comportement de déplacement, notamment dans le choix du mode de transport : il y aura un switch modal entre les voitures et les autres modes de transport, spécialement le carpool (voyage des plusieurs personnes dans un seul véhicule).

Plusieurs études confirment l'importance du péage du parking sur le comportement de déplacement (une revue de cette littérature est réalisée par Young et al, 1991). Gillen (1977) introduit explicitement les prix du parking dans un modèle de choix modal et trouve que leur effet sur le choix modal est non négligeable et plus important qu'une augmentation identique des coûts variables de déplacement.

D'autres d'études comparent directement les choix de déplacement dans deux situations : présence ou absence du péage des parkings. Selon Surber et al (1984) et Willson et Shoup (1990), l'élimination des parkings gratuits réduit considérablement les déplacements en voiture avec un seul occupant. Shoup (1982) affirme que les parkings gratuits représentent un facteur majeur de distorsion des choix modal dans les zones urbaines avec une forte densité. Cette distorsion a un effet pervers, parce qu'une subvention des parkings utilisés par les employés détermine non seulement une allocation inefficace des ressources en créant trop des facilités de parking, mais aussi une exacerbation des effets de congestion, en réduisant les coûts d'utilisation des déplacements privés.

Glazer et Niskanen (1992) montrent que la congestion urbaine peut être réduite par l'introduction de la tarification du stationnement. Ainsi, quand l'usage des routes est tarifé de manière sous-optimale, un péage forfaitaire du parking peut augmenter le bien être, contrairement à un péage par unité de temps. En effet, une augmentation du prix de parking conduit chaque usager à stationner moins de temps, ce qui permet l'usage d'un plus grand nombre des places de stationnement et ainsi augmente le trafic. C'est pour cette raison que les usagers eux-mêmes peuvent préférer que le parking ne soit pas gratuit.

D'Acerno et al. (2006) insistent sur le fait que la tarification du stationnement peut être un outil efficace pour influencer la division modale entre voiture privée et transports en commun dans les zones urbaines. En effet, les niveaux élevés de congestion sont principalement le résultat des préférences des usagers pour les voitures. Afin d'obtenir une répartition modale plus équilibrée, en plus d'une amélioration du système des transports en

commun, les autorités peuvent mettre en place un système de péages de congestion et de tarification du stationnement. Le parking payant présente les avantages d'être plus simple, moins coûteux et plus facile à implémenter. Dans leur article, les auteurs suggèrent plusieurs stratégies optimales de tarification du stationnement.

Une modélisation de la congestion des parkings de type bottleneck a été proposée par Arnott et al. (1991) en analysant l'effet de l'introduction d'un péage variable en temps. Sans péage, les usagers occupent les places de parking en ordre décroissant de la distance au CBD. Le péage variable peut prévenir la formation des queues, mais n'affecte pas l'ordre dans lequel les places de parkings sont occupées.

Calthrop et Proost (2006) se concentrent sur la tarification du stationnement quand il y a deux possibilités de parkings : les parkings privés sous-terrains qui sont plus chers et les parkings dans les rues, qui sont moins chers. Ils montrent que le péage optimal du parking dans les rues doit être égal au coût marginal de l'offre optimal de stationnement sous-terrain.

Un article récent d'Arnott et Inci (2006) propose une analyse structurale de la congestion du CBD dérivée de la densité des voitures en transit et en recherche d'une place de parking. Le modèle traite des parkings saturés, ce qui constitue une hypothèse réaliste des parkings centraux et qui simplifie l'analyse. La demande agrégée de déplacements est une fonction du coût total d'un déplacement. Sans péage, ce coût est égal au coût monétaire et en temps du déplacement, augmenté du coût en temps nécessaire pour trouver une place de parking. Dans une analyse de l'optimum de premier rang, il faut augmenter le nombre de places de parking, jusqu'à ce que le péage efficace du parking égalise l'externalité de congestion. L'analyse de l'optimum de second rang, quand le péage du parking est fixe, montre que le nombre de places de parking optimal détermine un parking saturé, mais le temps nécessaire pour la recherche d'une place est éliminé. Dans cette situation, le coût généralisé de transport reste inchangé.

Un modèle stochastique de l'usage des parkings a été réalisé par Arnott et Rowse (1999). Dans ce cadre, l'effet d'un péage est complexe parce qu'une multitude d'équilibre existe. Comme dans les cas habituels, le péage devrait être fixé à une valeur égale à l'externalité de congestion du parking. Dans le même cadre stochastique Petiot (2002) propose une analyse économique du comportement frauduleux au stationnement payant sur la voirie. L'originalité de l'article est de lier le tarif de stationnement, le montant de l'amende, le comportement de fraude, le partage modal et le niveau de mobilité. Les résultats montrent qu'il existe des états théoriques de congestion du stationnement pour lesquels, paradoxalement, l'usager neutre vis-à-vis du risque, éprouve un avantage à frauder et utiliser

la voiture particulière lorsque le niveau d'amende augmente. Dans un état d'hypercongestion du stationnement, l'augmentation de l'amende n'est pas nécessairement la meilleure politique lorsque l'objectif collectif est de réduire l'usage de la voiture et de dissuader la fraude.

Pour conclure cette section, nous avons constaté que selon la majorité des études s'intéressant aux problèmes liés à la congestion du stationnement, l'élimination des parkings subventionnés dans les centres des agglomérations urbaines est une priorité pour améliorer l'efficacité des transports urbains : réduction des coûts des facilités de parking, libération du sol pour d'autres usages et une modification souhaitable du choix modal, avec une réduction des coûts sociaux (congestion, pollution).

1.2.5.3 Tarification des transports en commun

En s'intéressant à la tarification des transports en commun, nous analysons deux sujets importants : le niveau moyen de la tarification (et des subventions) et la structure des prix des transports publics.

Comme nous l'avons vu dans la section 2.4 quand il y a des rendements d'échelle et que la valeur du temps est prise en compte, la tarification optimale des transports en commun est nulle. Cela est vrai si un passager supplémentaire n'implique pas d'effets externes sur les autres passagers.

Le problème s'avère plus complexe s'il y a un autre mode de transport qui n'est pas tarifé au niveau optimal. C'est le cas notamment des déplacements en voiture privée. Henderson (1977) dérive des solutions de second-best et confirme l'intuition qu'une subvention des transports en commun est nécessaire. L'analyse de Dodgson et Topham (1987) incorpore des éléments supplémentaires comme des préférences distributionnelles et différentes taxes. Les auteurs montrent que la subvention optimale du point de vue des usagers est légèrement influencée par la sous-tarification du mode privé (l'automobile). Des modèles similaires de second-best ont été appliqués pour l'Australie (Dodgson, 1986), Londres (Glaister, 1987) et Barcelone (Verges, 1989). Glaister et Lewis (1978) étudient la tarification optimale des transports publics en périodes de pointe et périodes creuses, en prenant le coût de l'usage de la voiture comme exogène. Dodgson (1986) détermine aussi le niveau optimal des services de transports en commun, et il conclue que certains opérateurs de transports en commun australiens offrent un niveau trop élevé de fréquence du service et à une tarification trop élevée, vu leur niveau de subvention.

1.2.5.4 Taxation des carburants

Les taxes sur les carburants représentent une part de la politique des transports. Ces taxes augmentent le prix du déplacement en voiture et peuvent internaliser une partie des externalités que sont la pollution et la congestion. En augmentant les coûts de déplacement en voiture, ces taxes peuvent avoir un impact sur le choix modal, avec une augmentation de l'utilisation des transports un commun.

Cependant, les taxes sur le carburant sont un substitut inadéquat pour le péage de congestion. Dans une fourchette de vitesse habituelle dans les zones urbaines, la consommation des carburants varie peu, tandis que le niveau de congestion peut varier considérablement. Ainsi, la taxe de congestion optimale doit également varier. Le problème des taxes sur les carburants est qu'elles augmentent identiquement le prix de déplacement pour des routes différentes, même si le niveau de congestion peut y être différent.

Mohring (1970) s'intéresse au niveau optimal de la taxation des carburants quand il y a deux routes avec des niveaux différents de congestion. L'auteur conclue que la taxe est optimale seulement si elle est supérieure à l'externalité de congestion dans la route la moins encombrée et inférieure à l'externalité de congestion dans la route la plus encombrée. Finalement, la taxe optimale sur les carburants est à un niveau de compromis, qui arbitre entre la pénalisation des usagers qui utilisent la route moins congestionnée et la sous-taxation des usagers de la route congestionnée.

1.2.6 Les politiques de transports urbains et l'équité sociale

Un des problèmes soulevés par la mise en place des politiques de transports urbains est lié à leur impact sur l'équité sociale. L'instrument le plus utilisé et le plus étudié dans la littérature est le péage urbain. Souche (2003) présente une revue de la littérature très complète concernant l'équité et l'introduction des péages des structures et des transports privés urbains.

Le péage urbain est considéré comme une solution tarifaire à la congestion urbaine et à la pollution engendrée par les transports. En tant que politique publique urbaine, le péage a deux grands objectifs : il doit financer l'offre d'infrastructures de transport et permettre une régulation de la demande, en diminuant la congestion.

Malgré la reconnaissance des bienfaits du péage du point de vue de l'analyse économique depuis les travaux initiateurs de Dupuit (1849) et Pigou (1920), l'impact du péage sur le bien-être de la population reste très ambigu. Concernant le problème de l'équité du péage urbain, dans la théorie comme dans les études empiriques, on constate deux courants, qui soutiennent deux propos complètement opposés. Cette dualité des effets du

péage a été synthétisée par Emmerink et al (1995). Ainsi, le péage urbain serait équitable parce qu'il permettrait de payer pour gagner du temps sans demander de participation financière aux autres membres de la société. Dans le même temps cette situation serait jugée inéquitable puisque seuls ceux qui auraient des revenus suffisants pourraient utiliser cette infrastructure.

1.2.6.1 L'iniquité du péage urbain

Initiée par les travaux de Richardson (1974), beaucoup d'auteurs considèrent que le péage urbain est une mesure tarifaire régressive puisqu'elle tend à favoriser les individus ayant une valeur du temps élevée, caractéristique des groupes sociaux aux revenus les plus hauts : Glazer (1981), Niskanen (1987), Evans (1992), Emmerink et al (1995), Langmyhr (1997)...

Papon (1988) compare la situation avec péage et la situation avec gratuité. Il répartit les usagers en plusieurs groupes en fonction de leurs revenus et de leur usage ou non du système routier urbain. Pour l'auteur, les usagers dont la valeur du temps est la plus faible subissent une perte économique et ceux dont la valeur du temps est la plus élevée réalisent un gain économique. Le péage peut ainsi avoir un effet dissuasif sur les utilisateurs à bas revenus et modifier durablement le portefeuille et la répartition du budget des ménages entre les différentes consommations. Cet effet sera d'autant plus important que la demande pour ce bien sera inélastique (si les usagers sont des captifs de la voiture). Ce faisant, la tarification peut entraîner une distorsion indirecte en modifiant la répartition des propensions à travailler, à consommer ou à épargner. Dans cette optique, Cohen (1987) a montré que si les recettes du péage de congestion ne sont pas redistribuées alors ce péage aboutira à un gain pour les groupes de revenus les plus élevés mais à une perte pour les groupes de revenus les plus faibles.

Wardman et al (2002) réalisent une étude empirique sur l'introduction du péage à Londres et à Leeds. Ils montrent que non seulement les revenus, mais aussi les caractéristiques personnelles de l'individu (âge, sexe) et les caractéristiques du déplacement (mode, captivité, localisation) sont significatives dans l'acceptabilité de la tarification des usagers de la route.

Banister (1994) s'intéresse au cas particulier de la fiscalité du carburant. Il constate que celle-ci est davantage supportée par les revenus moyens et élevés, mais que la modification de la consommation qu'elle engendre touche davantage les revenus les plus faibles. En effet, environ la moitié de la population motorisée ne pourrait faire face aux

niveaux de prélèvement évoqués sans modifier de manière substantielle ses choix d'activité, de déplacement et de mode de vie.

L'introduction d'un péage en milieu urbain conduirait également à accroître le coût de la localisation des villes qui le mettraient en œuvre, créant ainsi une iniquité territoriale (Emmerink et al, 1995).

En suivant les analyses précédentes, l'introduction du péage en milieu urbain serait inéquitable puisqu'elle toucherait les catégories de revenus les plus défavorisées mais également parce qu'elle créerait une iniquité territoriale entre les différentes zones de l'agglomération. L'iniquité du péage semble toutefois moindre si ce dernier concerne une infrastructure nouvelle qui accroît durablement l'offre de déplacement (Dericke ; 1997, 2000).

1.2.6.2 L'équité du péage urbain

Un autre groupe d'auteurs soutient que l'introduction du péage urbain est efficace et équitable. Le point de départ est que les utilisateurs ayant les valeurs du temps les plus élevées sont ceux qui souffrent le plus de la congestion urbaine, ce qui est un frein à l'activité économique. Dans cette perspective, la mise en place d'un péage urbain apparaît comme une mesure progressive permettant de réduire la perte de surplus inhérente à l'absence de régulation de la congestion.

Ainsi les usagers avec les revenus les plus faibles ne vont pas obligatoirement être perdants à l'introduction du péage urbain. Par exemple, les voyageurs aux revenus les plus faibles qui, en règle générale, se déplacent en transports collectifs ou à pied, seraient finalement gagnants à l'introduction du péage urbain : amélioration de la vitesse des transports collectifs grâce à une meilleure fluidité du trafic, et affectation partielle des recettes du péage en direction des transports collectifs et des piétons.

Dans une étude sur le réseau routier de Los Angeles, Poole (1992) montre que la réduction du niveau de congestion et l'augmentation de la vitesse des déplacements permises par le péage bénéficient en priorité aux utilisateurs du transport public. Puisque les ménages aux revenus faibles sont les principaux utilisateurs du transport public, le péage urbain est une étape vers une méthode plus équitable pour payer les systèmes de transport.

Small (1983) montre que le bénéfice net pour toutes les classes de revenu est possible si les recettes du péage sont redistribuées en fonction des classes de revenus, ou au moins en fonction du montant de contribution au péage. Précisément, l'incidence du bénéfice net parmi les groupes de revenus dépend du niveau de congestion, et c'est ce dernier qui détermine le

niveau du péage. Plus le tarif du péage est élevé, plus grandes seront les différences dans les bénéfices nets entre les classes de revenus, et plus la compensation devra intervenir.

Giuliano (1992) identifie différentes catégories dites « gagnantes » ou « perdantes » à l'introduction d'un péage de congestion. Les gagnants sont surtout les ménages qui continuent à utiliser l'infrastructure après l'introduction du péage et qui ont une valeur du temps supérieure au péage, et les ménages qui sont bénéficiaires des recettes du péage. Les perdants sont surtout les ménages avec une valeur du temps faible, et ceux qui se reportent sur d'autres infrastructures. Les catégories dites « perdantes » sont fortement influencées par le niveau du tarif de péage et par les alternatives à son paiement.

Langmyrh (1997) identifie les critères de justice qui peuvent émerger de la mise en place du péage urbain, sur la base de quelques cas de tarification de la congestion en Norvège : *le principe d'égalité de traitement* (la nouvelle mesure doit être appliquée à tous de manière égale), *le principe du bénéfice social* (le coût de la nouvelle mesure est faible et procure des bénéfices supérieurs issus d'une affectation particulière des recettes et d'une tarification différenciée), *le principe de garantie des besoins de base* (la route serait un besoin de base dont la responsabilité ne devrait incomber qu'à l'Etat), *le principe du bien-être* (distribution des bénéfices vers les plus défavorisés), *le principe de la responsabilité* (faire payer plus ceux qui circulent aux heures de pointes puisqu'ils sont les responsables de la congestion), *le principe du mérite* (nécessité de prendre en compte le prix qui est déjà payé par les automobilistes), *le principe de la contribution et du statut* (faire payer les individus en fonction de leur contribution à la valeur sociale), *le principe des attentes* (l'intérêt moral de la planification publique), *le principe de la soutenabilité* (affectation des recettes en direction des modes de transport les plus respectueux de l'environnement) et *le principe de la justice procédurale* (référendum pour décider ou non de la mise en œuvre du projet).

Selon Else (1986) et plus récemment Verhoef et al (1996), il semble possible de laisser le choix aux utilisateurs de la route entre payer un péage pour gagner du temps ou demeurer avec une route congestionnée. Mais cette liberté de choix nécessite une redistribution des recettes du péage vers les automobilistes. Précisément, Verhoef et Rietveld (1998) analysent la tarification à l'image d'une nouvelle taxe. Ils constatent qu'elle ne ferait qu'accroître le prix payé par l'automobiliste ainsi que les recettes collectées par l'Etat : à qualité constante, elle tarifie un service auparavant gratuit. Puisque la tarification routière a un impact négatif sur le bien-être des automobilistes, les auteurs soulignent que leur bien-être peut s'améliorer si le gouvernement leur redistribue les recettes du péage.

En réalité, l'équité est non seulement un concept multidimensionnel mais les travaux présentés soulignent que ses différentes dimensions apparaissent le plus souvent contradictoires. Et ainsi il est difficile de conclure sur les bienfaits de l'introduction du péage urbain : il y a des effets positifs surtout s'il y a une redistribution des recettes collectées, mais il y a aussi une discrimination qui peut affecter surtout les classes sociales défavorisées.

1.2.7 L'impact des politiques de transports sur la structure urbaine

Par exemple la création d'une nouvelle voie, qui détériore l'environnement dans la proximité de cette voie, va entraîner une tendance au départ des habitants et une baisse des prix fonciers. Les nouveaux habitants auront dans l'ensemble des revenus plus faibles : constatant ou anticipant cette évolution, les promoteurs vont développer des logements de moindre qualité, et ceux qui s'en porteront acquéreurs ou locataires, auront aussi des revenus plus faibles. Ainsi, un effet de ségrégation par les revenus va se développer.

Un paradoxe de la ségrégation socio-spatiale est que, résultant de l'existence des coûts de transport, elle peut être accentuée par une réduction de ces coûts : c'est ainsi l'amélioration des transports urbains qui a provoqué et accentué la répartition en zones de logements et zones d'activités.

Une première catégorie d'articles s'intéresse à l'impact d'une amélioration équi-proportionnelle du transport (traduite par une baisse des coûts de transports) sur la structure de la ville. On peut citer le papier d'Arnott et al. (1983) où les auteurs analysent l'impact de la baisse proportionnelle des coûts de transports sur les rentes agrégées et les coûts totaux de transport dans une ville monocentrique fermée. Wheaton (1974) réalise une analyse dans un cadre d'une ville ouverte.

Généralement, une diminution identique dans toutes les localisations du coût marginal du transport a comme effets un élargissement de la ville, une augmentation du niveau d'utilité à l'équilibre, une augmentation au centre de la rente foncière et une diminution en périphérie, et enfin une augmentation de la surface des logements et donc une diminution de la densité de la population. Ces résultats sont confirmés si les entreprises sont présentes dans la ville (Sasaki et Kaiyama, 1990).

Kanemoto (1980) construit le modèle standard de congestion du trafic urbain avec structure spatiale de la ville par une combinaison entre le modèle de ville monocentrique et le modèle de congestion standard. L'effet d'un péage de congestion optimal est d'accroître les coûts de transport dans les localisations les moins accessibles (la périphérie) ce qui accentue la

penne des rentes foncières et la penne de la densité de la population. Le résultat est une ville plus dense, avec une structure spatiale urbaine plus concentrée.

Wheaton (1998) crée un modèle urbain monocentrique avec congestion. L'auteur montre que l'optimum peut être atteint avec l'introduction du péage urbain. Ce péage peut jouer un rôle de régulateur de la densité de la population. Par rapport aux modèles standards la démarche utilisée pour calculer l'optimum n'est pas la maximisation de l'utilité (Kanemoto, 1980) ou de la rente privée (Fujita, 1989), mais la maximisation de la rente agrégée. Les simulations réalisées suggèrent que l'introduction d'un péage optimal détermine une augmentation différenciée de la densité de la population, par rapport à l'équilibre de marché. Ainsi, l'ajustement de la densité est maximum au centre et zéro à la frontière de la ville.

Dans le modèle standard, le péage urbain influence le choix du consommateur par deux variables : la surface des logements et la localisation résidentielle. Arnott (1998) introduit pour la première fois une modélisation dynamique de la congestion de type goulot d'encombrement dans un modèle de structure spatiale urbaine. Dans cette situation, on introduit une nouvelle variable dans le choix des consommateurs : le moment pour effectuer le déplacement.

En contraste avec le modèle standard, le péage de congestion dans un modèle de goulot d'encombrement peut déterminer une structure spatiale urbaine moins concentrée. L'explication résulte du fait qu'un péage optimal variable en temps peut déterminer les consommateurs de changer leur moment de déplacement et ainsi l'effet du péage est très faible sur la structure de la ville.

Dans un article de 1996, Anas et Kim construisent un modèle d'équilibre général calculable avec congestion du trafic et formation des centres d'emploi endogènes. Une série d'équilibres multiples sont trouvés, le nombre de centres dépendant de l'arbitrage entre les forces d'agglomération et l'accessibilité. Les auteurs montrent que le niveau de la congestion du trafic peut jouer un rôle significatif sur la structure de l'aire urbaine.

Toujours dans un contexte polycentrique, Anas et Xu (1999) examinent l'effet de l'introduction d'un péage de congestion sur l'usage du sol dans un modèle avec formation endogène des centres d'emplois et avec congestion du trafic endogène. Par rapport aux modèles monocentriques standard, cet article permet de montrer l'effet du péage sur la dispersion de l'emploi et des résidences dans la zone urbaine. Dans ce modèle, la distribution spatiale des emplois est relativement plus centralisée autour du centre géométrique que la distribution résidentielle. L'introduction du péage de congestion a deux effets principaux. D'abord, pour une structure résidentielle inchangée, le péage augmente les coûts de

déplacement, les rentes urbaines et les salaires dans la zone centrale. Comme réponse, les firmes vont délocaliser, en résultant une distribution des emplois moins centralisée. D'un autre côté, si la distribution spatiale des firmes reste inchangée, les ménages vont répondre à l'introduction du péage par une localisation plus centrale, afin de réduire leurs coûts de déplacement.

L'impact des transports et des politiques correspondantes sur la structure sociale de la ville (quand la population est hétérogène) est très peu étudié dans la littérature. Dans un article qui date de 1977, Arnott et MacKinnon s'intéressent aux effets des changements de la structure des coûts des différents mode de transport sur la répartition de la population entre ces modes et indirectement sur le bien être de la population et sa répartition dans l'espace urbain. Dans ce modèle, il y a deux classes sociales, différenciées par leurs revenus et leurs préférences, qui sont définies sur la consommation de logement, de bien composite et le loisir. Les coûts de transport incluent les coûts monétaires et le coût du temps. Il y a quatre modes distingués de transport : pédestre, bus (transport public), voiture premier prix et voiture chère. Les auteurs font une distinction attentive entre les coûts et le temps de déplacement spécifique au chaque mode de transport, mais ils ignorent la congestion. Dans le calcul de l'équilibre chaque catégorie sociale a un revenu fixé, mais les niveaux d'utilité sont déterminés dans le modèle. Les auteurs calculent également un équilibre compensé, où les revenus des ménages peuvent varier pour atteindre un niveau d'utilité fixé au même niveau qu'au scénario de base.

Dans le scénario de référence, le schéma de localisation correspond au schéma habituel, avec les ménages pauvres situés près de centre, en utilisant le mode pédestre ou le transport public, tandis que les ménages riches sont localisés à la périphérie et utilisent le transport privé (voiture) comme moyen de déplacement. Ce résultat reste très sensible à la structure des coûts de chaque mode de transport, et des changements en termes de coûts monétaires ou de temps peuvent perturber fortement ce schéma de localisation. Par exemple, une forte taxation du parking peut provoquer une partie des ménages riches de délocaliser vers le centre et de changer le mode de transport, en passant au mode pédestre ou au transport public. Il en résulte ainsi une ville structurée en trois zones occupées respectivement par les riches, les pauvres et les riches. D'autres schémas de localisation plus complexes peuvent être générés.

Un autre article qui analyse le lien entre les transports urbains et la structure socio-spatiale de la ville avec population hétérogène a été écrit par DeSalvo et Huq (1996). Les auteurs s'intéressent au lien qui existe entre le choix modal et la localisation en fonction des revenus des ménages. Ils définissent les modes de transport en termes de vitesse moyenne et

de temps de déplacement associés, les deux comme variables continues. C'est une modélisation dans l'esprit du concept de mode abstrait de Quandt et Baumol (1966). Un mode de transport abstrait est caractérisé par les valeurs des différentes variables qui influencent la désirabilité d'un mode de transport : vitesse, fréquence du service, confort et coût. Ainsi, on peut définir un continuum de modes abstraits, dont une partie peuvent correspondre à la réalité présente ou future. DeSalvo et Huq utilisent la vitesse, le temps de déplacement et le coût associé comme variables de caractérisation des modes de transport.

Dans ce contexte, les auteurs montrent que l'effet du revenu sur la localisation des ménages est une question de magnitude des élasticités revenu du coût de déplacement et de la demande de logement. Si l'élasticité du coût marginal de déplacement est croissante par rapport au revenu et est située entre zéro et un et si l'élasticité de la demande de logement est constante et supraunitaire, les ménages plus riches se localisent plus loin de centre que les ménages pauvres. Si l'élasticité de la demande de logement est entre zéro et un, les schémas de localisation deviennent plus compliqués.

Si le choix modal est introduit, l'élasticité de coût de déplacement peut être positive ou négative. Si elle négative et le logement est un bien normal, les ménages avec revenus plus élevés se localisent vers la périphérie. Si elle positive et décroissante par rapport au revenu l'analyse est plus complexe. Pour un certain niveau seuil de revenu, les deux élasticités peuvent être égales. Parmi les ménages avec des revenus inférieurs (supérieurs) à ce seuil, ceux qui ont les revenus les plus faibles (élevés) seront localisés plus loin de centre-ville.

Cette analyse permet d'expliquer les changements des schémas de localisation en temps ou dans l'espace. Par exemple aux Etats-Unis, les ménages riches habitaient avant dans le centre des villes (voir LeRoy et Sonstelie, 1983). Avec l'introduction généralisée de l'usage des automobiles, ce schéma a été rapidement changé. Egalement, les schémas de localisation résidentielle diffèrent selon les villes, même si aux Etats-Unis, le schéma prédominant est caractérisé par une localisation centrale de ménages pauvres. Ainsi, une explication pour toutes ces variations peut être fournie par la variation temporelle ou spatiale des magnitudes relatives des deux élasticités revenu présentés précédemment.

* * *

Dans cette section nous avons vu comment la littérature économique analyse les transports urbains. Souvent, les modèles de transports urbains ont un objectif de politique urbaine et offrent différentes solutions pour résoudre un des problèmes majeurs des villes contemporaines : la congestion. Il y a un éventail d'instruments qui sont à la disposition du décideur public, comme les instruments tarifaires et l'offre d'infrastructures de transport et de services de transports en commun. Même si ces instruments devraient être utilisés simultanément afin d'arriver à un fonctionnement optimal du système de transport, à cause de difficultés techniques importantes, ils sont fréquemment analysés individuellement. En plus, les interventions publiques possibles sont tellement nombreuses qu'il est pratiquement impossible de les analyser toutes dans un seul modèle.

Un aspect important des modèles présentés dans ce chapitre n'a pas été développé. Il s'agit de la pollution urbaine, dont les transports sont le principal émetteur. L'impact écologique a des conséquences significatives sur l'évaluation des politiques de transport, parce qu'il atteint le bien-être des individus. Également, les effets de pollution affectent les décisions de localisation des ménages, et ainsi, nous constatons que les structures urbaines sont très liées non seulement aux transports mais aussi à l'écologie. Le chapitre suivant est consacré à l'économie de l'environnement, en se concentrant notamment sur les aspects spatiaux de la pollution émise par les activités humaines en milieu urbain.

1.3 L'ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT

L'apparition ou l'accélération des phénomènes de pollution, l'épuisement des ressources naturelles, l'effet de serre... ont contribué à l'émergence des préoccupations environnementales dans les débats publics, et ont réveillé l'intérêt de la science économique pour la relation entre les activités humaines et l'environnement naturel. C'est ainsi que s'est constituée la branche de l'économie dite économie de l'environnement. L'économie de l'environnement s'intéresse surtout à l'impact écologique de l'activité économique (pollution des industries et des transports) et propose des solutions économiques aux problèmes environnementaux qui deviennent de plus en plus graves. Elle puise ses fondements dans des théories plus « anciennes » : la théorie des externalités (la pollution) et la théorie des biens publics (l'environnement naturel).

Nous allons d'abord nous intéresser aux effets de la pollution et aux politiques environnementales dans un cadre aspatial (qui représente la grande majorité de la littérature). Dans la deuxième section, nous analyserons les aspects spatiaux de l'économie de l'environnement, notamment dans un cadre urbain, i.e. l'impact de l'activité économique et des transports sur le fonctionnement écologique de la ville.

1.3.1 L'économie de l'environnement dans un contexte aspatial

La majorité de la littérature environnementale se situe dans un cadre aspatial. Les thèmes centraux de l'économie de l'environnement sont la définition et l'analyse des externalités environnementales, et des différentes formes de politiques environnementales comme réponse à ces externalités. Puisque cette partie n'est pas le sujet de la thèse, il ne sera présenté que les grands principes de l'économie environnementale spatiale.

1.3.1.1 Les externalités environnementales et le niveau optimal de pollution

Dans cette sous-section nous allons rappeler brièvement la définition des externalités environnementales, et les solutions théoriques proposées par la littérature économique : la taxe pigouvienne et la théorème de Coase.

Définition des externalités environnementales

L'externalité apparaît dans une situation quand les décisions d'un agent économique affectent un autre agent en dehors du marché. Ainsi, l'externalité n'est pas prise en compte par le système de prix et elle n'est pas non plus intégrée dans les décisions de l'agent

responsable. Les externalités peuvent être positives (se traduisant par des avantages bénéficiant à des agents qui ne font pas l'objet d'une contrepartie monétaire) ou négatives (sous forme de dommages : perte de bien-être, diminution des profits). Les externalités environnementales (la pollution) font partie de cette dernière catégorie.

La présence d'externalités fait obstacle à l'allocation optimale des ressources, parce qu'elles ne sont pas prises dans les décisions des agents et dans le circuit marchand. Si le marché fonctionne parfaitement, tous les coûts et tous les bénéfices sont pris en compte par le mécanisme des prix, qui joue un rôle d'information pour tous les agents. Sur un marché parfait, les prix orientent les décisions des agents de telle sorte qu'ils maximisent soit leur satisfaction (les consommateurs) soit les profits (les entreprises).

Par contre, la pollution, comme externalité qui échappe au système de prix, est une source de divergence entre les coûts privés et les coûts sociaux. Ces derniers sont supérieurs, parce que le dommage engendré par la pollution est un coût supplémentaire qui s'ajoute aux coûts privés (ou coûts internes). Le calcul économique des producteurs ignore cette partie du coût social qu'il inflige à la société parce qu'il n'est pas tenu de payer des dédommagements.

La solution face à cette source d'inefficacité est l'internalisation des effets externes, qui permettrait de réaliser l'optimum social. Cette internalisation peut se réaliser par plusieurs voies : donner un prix aux ressources gratuites, taxer les pollueurs, réglementer, attribuer des droits de propriété aux biens environnementaux,...

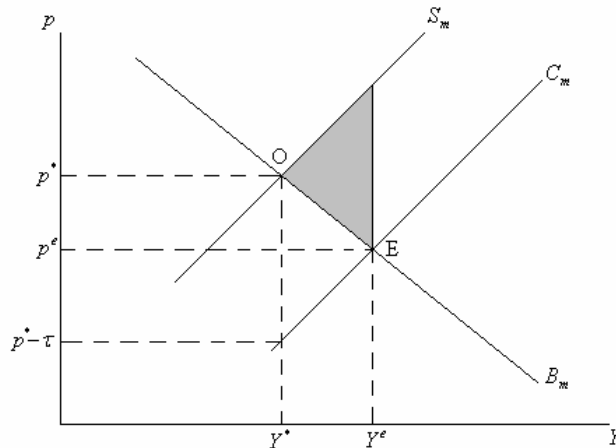
Les modèles économiques permettent de déterminer un niveau de pollution optimale résultant de l'arbitrage entre les avantages et les coûts respectifs de la dépollution et la pollution. Il est important de souligner que l'optimum économique n'implique pas nécessairement l'absence totale de pollution. Économiquement, une pollution nulle implique des efforts importants. De point de vue écologique, la pollution inférieure à un certain seuil peut être absorbée par l'environnement sans conséquences écologiques.

Pour atteindre l'optimum, il est nécessaire d'internaliser les effets externes, pour qu'ils soient pris en compte dans les décisions des agents économiques. Deux solutions classiques sont proposées par l'analyse économique : imposer une taxe pigouvienne (analyse de Pigou), ou instaurer un marché d'externalités (analyse de Coase).

La taxe pigouvienne

Cette solution, qui consiste à combler l'écart entre les coûts sociaux et les coûts privés au moyen d'une taxe, a été proposée par Pigou (1920). La taxe pigouvienne est une solution publique pour internaliser les externalités environnementales.

Figure 1.12. La taxe pigouvienne en équilibre partiel



Dans la Figure 1.12, on montre un cas simple de calcul de cette taxe, dans une analyse d'équilibre partiel. En présence d'une externalité négative engendrée par la production du bien Y , le coût marginal social S_m est supérieur au coût marginal privé C_m . L'équilibre de marché sans taxation correspond au point E, où on égalise le bénéfice marginal B_m et le coût marginal privé C_m . Il est caractérisé par une quantité d'équilibre Y^e et un prix p^e . La production d'équilibre est alors supérieure à celle qui correspond à l'optimum social Y^* , où les bénéfices marginaux égalisent les coûts marginaux sociaux. Il en résulte une perte de bien-être social, représentée par la surface grise.

Cet échec de marché peut être corrigé par l'application d'une taxe τ égale à la différence entre le coût marginal social et le coût marginal privé. L'écart entre le prix payé par les consommateurs p^* et celui perçu par le producteur $p^* - \tau$ est égal au montant prélevé aux entreprises. Ainsi la taxe est un mécanisme d'incitation par les prix, qui en modifiant le comportement des agents, permet de rétablir l'optimum en ramenant le volume de production de Y^e à Y^* . Maintenant la surface grise représente le gain d'efficacité engendrée par cette mesure correctrice. Pour obtenir la réalisation de l'optimum, la taxe doit être optimale, c'est-à-dire équivalente au dommage social marginal.

Si on raisonne en termes d'équilibre général, en l'absence de prélèvements créateurs de distorsions, la taxation internalisante implique que tous les pollueurs paient une taxe égale au dommage social marginal engendré par une unité supplémentaire de production. A l'optimum cette taxe est égale au coût marginal de dépollution. En présence d'externalités positives, une politique de subventions découlerait de même raisonnement.

La taxation pigouvienne, qui inspire la fiscalité écologique a de nombreuses applications pratiques, qui seront développées dans la section 3.2.2.1.

L'analyse de Coase : création d'un marché d'externalités

Coase (1960) a suggéré qu'aucune institution n'est véritablement nécessaire pour que les agents parviennent à une allocation efficace des ressources s'ils peuvent négocier directement entre eux. Pour Coase, les externalités ne sont forcément un échec de marché mais la conséquence de l'absence de droits de propriété sur le bien public qu'est l'environnement.

La « théorème » de Coase peut être formulé comme suit : si les droits de propriété sont bien définis, condition préalable à toute possibilité de transaction, et s'il n'y a pas de coûts de transaction, les agents corrigent spontanément les externalités. Ainsi, l'allocation des ressources sera efficace, quelle que soit l'attribution initiale des droits de propriété. Ces droits de propriété peuvent être attribués aux pollués (les droits d'un environnement non-pollué) ou aux pollueurs (droits d'émission de pollution). La solution de Coase est une solution privée pour l'internalisation des externalités environnementales. Cette solution est supérieure à la solution administrative, qui nécessite d'avoir l'information pertinente pour aboutir à l'optimum. Il faut souligner le fait que même si la répartition initiale des droits de propriété n'influence pas l'optimum, elle a des impacts importants en termes d'équité.

1.3.1.2 Les politiques environnementales

Les politiques environnementales se sont développées à partir des années 1970, surtout dans les pays développés. Ces politiques appliquent souvent le principe de pollueur-payeur et utilisent une grande diversité d'instruments que l'on peut classer selon différents critères et en fonction de leurs champs d'application possible. En pratique, la plupart des instruments sont mis en œuvre de façon conjuguée.

Les instruments économiques

On distingue d'abord les instruments économiques, qui englobent les taxes, les impôts, les redevances, les aides et les subventions, les permis négociables, etc... Les états ont recours à ces instruments seulement à partir des années 1990. Les instruments économiques reposent sur l'hypothèse que les marchés sont les plus efficaces pour traiter une multitude

d'informations qui orientent les décisions des agents de telle sorte que la meilleure répartition des ressources soit réalisée.

Les taxes et les redevances sur les émissions sont assises sur la quantité de pollution émise et théoriquement procèdent d'une logique économique incitative et non d'une logique fiscale. Le pollueur reste libre de polluer, mais son calcul économique doit l'inciter à dépolluer. Ces mesures sont adaptées surtout quand les sources de pollution sont fixes et les émissions peuvent être mesurées avec un coût raisonnable.

Les taxes et les redevances sur produits représentent une solution de second rang, appliquée quand les émissions ne peuvent pas être mesurées. L'objectif est de réduire l'utilisation des produits polluants dans le processus de production et de consommation. Un exemple est la taxation du contenu en plomb des carburants.

Les systèmes de consignation imposent une consigne (redevance) aux produits potentiellement polluants qui n'est remboursée que lors du retour sur les lieux de stockage, de traitement ou de recyclage. Ils consistent à récompenser un comportement non-polluant et conviennent particulièrement à la gestion des déchets.

Les marchés de permis négociables, dont les avantages théoriques ont été présentés dans la section précédente, permettent de minimiser les coûts de dépollution. L'inconvénient pratique est la complexité des modalités de mise en place de ces marchés : l'identification des agents titulaires des droits et la durée des droits. En deuxième lieu, l'allocation initiale des droits peut se faire gratuitement, par mise en enchères ou mise en vente à un prix fixé, mais cela présente de toutes façons des conséquences redistributives très différentes. Puis, il faut spécifier la délimitation des échanges réalisables (en temps, en espace). Enfin, le traitement des nouveaux entrants sur le marché doit être examiné, soit pour ne pas empêcher l'entrée, soit au contraire, pour exiger des efforts plus importants, afin de maintenir le niveau de pollution déjà fixé.

Les situations les plus adaptées pour l'introduction des permis négociables doivent respecter plusieurs conditions. D'abord les émissions sont facilement mesurables et proviennent de sources fixes. Le nombre de source est élevé, les différences de coûts marginaux sont grandes et il y a des perspectives d'innovations techniques, ce qui permet l'instauration et le fonctionnement du marché des permis. Il est important que l'impact environnemental soit sans rapport avec la localisation des sources et la date d'émission, sinon les échanges peuvent conduire à une concentration de la pollution dans le temps et l'espace. Le marché de permis négociables paraît plus adapté au domaine de la pollution atmosphérique, comme le montre l'expérience américaine de lutte contre l'effet de serre.

Les aides financières représentent un transfert monétaire versé aux pollueurs pour qu'ils polluent moins et sont donc contraires au principe habituel de pollueur-payant. Ces aides révèlent une affectation implicite des droits de propriété sur l'environnement aux pollueurs. Les subventions sont accordées surtout pour financer des équipements antipollution, mais elles sont de plus en plus critiquées.

L'approche contractuelle donne lieu à des accords négociés se traduisant par des contrats qui substituent ou complètent d'autres formes de régulation. Le résultat est la fixation d'une norme d'émission, dont le non-respect déclenche des sanctions. Plusieurs types de contrats ont été expérimentés : les contrats de branche, d'agglomération et d'entreprise.

Les instruments réglementaires

Les instruments réglementaires ont été les premiers utilisés, bien avant les instruments économiques. Ils comprennent les normes, les autorisations, les interdictions, les systèmes d'alerte, les plans d'occupation du sol, les mesures de zonage et d'aménagement du territoire, etc...

Les normes d'émission fixent les quantités de polluants que les agents sont autorisés à rejeter dans l'environnement. Le cas limite est une norme zéro, c'est-à-dire l'interdiction de rejet. *Les normes de produit* précisent les caractéristiques de produits polluants : les normes relatives aux carburants, aux véhicules, au bruit, etc... *Les normes de procédé* définissent les procédés de fabrication ou les dispositifs antipollution devant être utilisés.

Un domaine d'action privilégié concerne *la localisation des activités polluantes*. L'objectif final est de réduire les dommages causés par la pollution, qui dépendent de la localisation des activités polluantes. Ils seront d'autant plus élevés que le nombre d'individus exposés à la pollution est élevé et la concentration de la pollution est forte. Les effets de la localisation des activités polluantes dans un contexte urbain sont présentés dans la section 3.3.

1.3.2 L'impact écologique du secteur industriel dans une zone urbaine

Dans cette partie on s'intéresse au problème de la pollution industrielle avec un fort caractère spatial. Les modèles les plus simples sont monocentriques et ils supposent que les entreprises qui sont émettrices de polluants de l'atmosphère sont localisées au CBD. Cette pollution de l'air se répand dans la zone résidentielle, ce qui affecte le bien être de la population. Les modèles spatiaux reprennent les principaux résultats de la littérature de l'environnement (Baumol et Oates, 1975). Un modèle représentatif de la littérature est le modèle de Henderson (1985) où les entreprises émettent de la pollution, en utilisant les

ressources naturelles de la ville et qui peuvent employer des activités anti-polluantes si une taxation environnementale est mise en place.

1.3.2.1 Modéliser l'émission et la réception des polluants

Henderson (1985) suppose que les entreprises situées au centre, produisent deux biens (le bien composite et la pollution) avec le travail, le sol et les ressources naturelles comme facteurs de production. La pollution affecte l'utilité des ménages, puisque c'est une désaménité, mais elle n'affecte pas l'activité de production. Le niveau de pollution diminue avec la distance entre le récepteur et l'émetteur, dû à la diffusion verticale et horizontale d'émissions et à l'absorption environnementale. L'auteur suppose que la pollution est une fonction convexe de la distance à la source d'émission.

Dans ce modèle, le centre n'est pas représenté par un point dans l'espace. La frontière entre le centre et la zone résidentielle est exogène. Les entreprises sont identiques et les facteurs stochastiques de diffusion de la pollution (comme la vitesse et la direction du vent) sont ignorés. Ainsi, la contribution à la pollution de l'air d'une entreprise localisé en x est : $f(r(x), n_a(x), \bar{x}, x)$, où $r(x)$ est l'emploi des ressources naturelles à la distance x du centre, avec $\partial f / \partial r(x) \geq 0$; $n_a(x)$ est l'emploi dans l'activité anti-pollution, $\partial f / \partial n_a(x) \leq 0$; \bar{x} est la frontière entre la zone industrielle et la zone résidentielle. Plus une entreprise est localisée près de la zone résidentielle, plus l'effet de la pollution est important : $\partial f / \partial x > 0$. Maintenant on peut calculer la pollution totale émise par les entreprises :

$$F(\bar{x}) = \int_0^{\bar{x}} f(r(x), n_a(x), \bar{x}, x) dx$$

Ainsi la pollution résidentielle est une fonction du niveau de la pollution à la frontière entre les zones résidentielle et industrielle. Cette pollution est diffusée dans la ville est constitue une désaménité pour les ménages :

$$A(x) = A(F(\bar{x}), x, \bar{x}) \tag{1.44}$$

avec $\partial A / \partial F(\bar{x}) \geq 0$, $\partial A / \partial \bar{x} \geq 0$ et $\partial A / \partial x \leq 0$. L'auteur suppose que $\partial^2 A / \partial x^2 > 0$ et $A(x_f) > 0$, où x_f est la frontière de la ville. Même si la pollution dépasse la frontière de la ville, il est supposé qu'il n'y a pas d'effet de débordement d'une ville à l'autre.

Une formalisation alternative est proposée par Verhoeve et Nijkamp (2002) où ils définissent une variable de qualité environnementale qui est égale à un dans un état vierge sans pollution et elle est nulle dans le pire état possible. Cette variable est une fonction croissante par rapport à la distance au centre (où se trouvent les entreprises polluantes) et

décroissante par rapport au niveau total de pollution émise, qui est proportionnel à la consommation énergétique des entreprises.

1.3.2.2 Les politiques environnementales dans un contexte urbain

Sans politique environnementale, les entreprises sont payées pour la production du bien composite, mais elles disposent librement de l'émission des polluants. Ainsi, elles n'ont pas intérêt à employer des méthodes anti-polluantes ou à prendre en compte le dommage environnemental dans leur décision de production. Les entreprises utilisent les ressources de manière Pareto-optimale si elles sont taxées pour leur contribution à la pollution à un prix qui égalise le coût marginal social de la pollution.

D'abord il faut calculer le coût marginal social de la pollution. On définit la fonction d'utilité des ménages comme $U(z, s, A(x))$, où z est le bien composite produit par les entreprises localisées au centre, s et la consommation de logement et $A(x)$ le niveau de la pollution en x . La fonction d'utilité est décroissante par rapport au niveau de pollution et croissante pour tous les autres arguments.

La perte de bien être due à une augmentation du niveau des désaménités est évaluée en unités de x :

$$\frac{\partial U}{\partial A(x)} = \frac{\partial U / \partial A(x)}{\partial U / \partial z}$$

De l'équation (1.44), une augmentation du niveau des désaménités en x provoquée par une augmentation du niveau de pollution totale est $\partial A(x) / \partial F(\bar{x})$. Si à chaque distance au centre il y a $N(x)$ habitants, le coût marginal total de la pollution à la distance x est :

$$-\frac{\partial U / \partial A(x)}{\partial U / \partial z} N(x) \frac{\partial A(x)}{\partial F(\bar{x})}$$

La somme des coûts marginaux de la pollution dans chaque localisation représente le coût marginal global d'une unité de pollution supplémentaire. Ce coût est le prix ou la taxe environnementale que les firmes devraient payer pour leur contribution à la pollution :

$$\tau = - \int_{\bar{x}}^{x_f} \frac{\partial U / \partial A(x)}{\partial U / \partial z} N(x) \frac{\partial A(x)}{\partial F(\bar{x})} dx$$

En maximisant les profits des entreprises avec taxation environnementale, la productivité marginale du travail est identiques dans les deux activités (production du bien z et réduction de la pollution), et égale au salaire. Pour réduire leur taxation sur l'émission de polluants, les entreprises vont investir dans l'activité antipollution jusqu'à ce que son coût marginal égalise les bénéfices marginaux. Ces bénéfices sont obtenus par la réduction des

taxes de pollution en employant une personne supplémentaire dans l'activité anti-polluante, et sont égaux à la réduction de la pollution multipliée par la taxe écologique. Si cette taxe est fixée correctement, les entreprises font une allocation Pareto-optimale des ressources, puisque la productivité marginale sociale du travail est la même dans toutes les activités et toutes les localisations.

Une autre condition de premier ordre de la maximisation des profits stipule que les entreprises utilisent les ressources naturelles jusqu'à ce que leur coût marginal social soit égal à leur produit marginal diminué par le dommage environnemental provoqué par une unité supplémentaire de pollution. Autrement dit, les bénéfices marginaux égalisent le coût marginal avec taxation. Cette condition respecte aussi les critères d'optimalité au sens de Pareto.

Dans la majorité des modèles économiques qui traitent la régulation de l'environnement, la technologie des entreprises est fixe et les émissions peuvent être réduite en limitant les niveaux de production par l'introduction d'une taxe environnementale pigouvienne. L'introduction des technologies propres (environnementales) peut offrir des moyens alternatifs de réduction de ces émissions. Cette notion a déterminée l'apparition d'une littérature assez vaste qui s'intéresse à l'efficacité de l'introduction des technologies alternatives : Baumol et Oates (1975), Orr (1976), Magat (1978), Downing et White (1986), Malueg (1989), Milliman et Prince (1989), Jung et al. (1996). La conclusion générale de ces études est que les instruments économique (taxes, permis) provoquent une incitation supérieure à introduire des innovations environnementales par rapport aux instruments non-économiques.

La majorité des ces études considèrent la pollution seulement comme un coût externe, dans le sens qu'il n'y a pas de bénéfice à l'adoption de technologies environnementales pour les entreprises mêmes, sauf la réduction des taxes environnementales. Verhoef et Nijkamp (2003) s'intéressent aux effets de l'adoption des technologies énergétiquement efficaces et contestent cette hypothèse simplificatrice, notamment quand les émissions sont le résultat direct de l'usage énergétique (par exemple les émissions de CO). Pour ces deux auteurs, la réduction des émissions par des technologies écologiques est accompagnée par un usage plus efficace des facteurs de production, notamment l'énergie. Des études empiriques montrent que l'adoption des technologies écologiques est accompagnée par des réductions de la consommation énergétique et automatiquement des coûts de production (de Groot et al, 2001).

Cela implique qu'il y a une réduction des coûts internes et externes, ce qui offre la possibilité de situations « gagnant-gagnant ». L'article de Verhoef et Nijkamp (2003) offre une analyse économique de la situation quand les entreprises peuvent combiner ou choisir entre la restriction de la production ou l'adoption des nouvelles technologies quand une politique environnementale est mise en place. L'introduction des technologies écologiques peut avoir des effets inattendus, comme par exemple l'augmentation de la consommation énergétique. Egalement, l'utilisation des taxes énergétiques peut réduire l'attractivité de ces technologies alternatives.

Verhoef et Nijkamp (2002) construisent un modèle d'équilibre général spatial dans une ville monocentrique, avec externalités. Les auteurs s'intéressent aux deux types d'externalités : la pollution du centre industriel qui conduit à une différenciation spatiale de la qualité de l'environnement dans la zone résidentielle, et les économies d'échelle (des externalités Marshalliennes) qui expliquent l'existence de la ville. Leur modèle permet d'étudier les interactions entre la production, la pollution, la qualité environnementale, les choix de localisation, l'offre endogène de travail, l'utilisation de l'énergie et les externalités d'agglomération. Au contraire des résultats habituels où il est nécessaire d'introduire une internalisation avec une taxation, leur analyse démontre qu'il faut être plus prudent quant à l'impact de la taxation environnementale dans un contexte urbain.

Un autre aspect analysé dans la littérature est la localisation d'équilibre quand les entreprises polluantes et les ménages qui sont les victimes de la pollution sont mobiles dans leur localisation. La littérature relative à la mobilité du pollueur (Motta et Thisse, 1994 ; Hoel 1997 ; Dijkstra, 2003) et la mobilité des victimes (Wellisch, 1995 ; Hoel et Shapiro, 2003) ou la mobilité simultanée des deux (Dijkstra et de Vries, 2006) est concentrée notamment sur les différences entre l'équilibre et les optima multiples. Ces études montrent que en dehors de l'introduction de la taxation, la ségrégation entre les deux activités peut être efficace.

1.3.3 L'impact environnemental du secteur des transports urbains

Les transports urbains provoquent des conséquences environnementales importantes, comme le bruit, la pollution de l'air, la congestion, les accidents, l'impact sur la flore et la faune. Dans un article de 1996, Acutt et Dodgson identifient les instruments économiques et non-économiques des politiques qui visent à réduire ces externalités environnementales. Les principaux instruments économiques sont les taxes sur les carburants, les taxes sur les émissions, les taxes différenciées sur les voitures (en fonction du type et de la capacité), le péage urbain, la tarification du stationnement, et la subvention des transports publics. Nous

avons étudié ces instruments en détail dans le chapitre 2, consacré à la littérature des transports. Dans cette section, nous allons présenter les études qui s'intéressent aux liens qui existent entre le système de transport urbain et les différentes politiques correspondantes d'une part, et leur impact écologique d'autre part.

La littérature consacrée aux problèmes environnementaux des transports peut être groupée en deux grandes catégories : les études empiriques qui analysent la consommation des carburants et les émissions de polluants des véhicules, et les modèles de gestion et d'optimisation du réseau de transports urbains.

1.3.3.1 Les études empiriques

Des études empiriques et en laboratoires ont tenté de déterminer les fonctions d'émissions de polluants atmosphériques et de consommation en carburant des automobiles par rapport à différents paramètres : vitesse de déplacement, type d'engin, année de fabrication, etc...

a) La consommation en carburant

Dans la littérature on trouve plusieurs types d'études qui estiment la consommation en carburant des automobiles en fonction des vitesses de déplacement. Une première approche est de calculer la consommation en carburant pour des vitesses constantes, mesurées en laboratoire. Les principaux trois effets de la vitesse sur la consommation distingués dans les laboratoires sont la quantité de carburant par unité de temps nécessaire pour tenir l'engin en fonction, ce qui implique une relation inverse avec la vitesse ; une constante ; et un terme quadratique qui reflète un aérodynamisme augmenté et des frictions mécaniques élevées à des vitesses supérieures. Ces trois effets impliquent une relation en forme de U (Rouwendal, 1996) : $\phi = a/S + b + cS^2$, où a , b et c sont des paramètres et S est la vitesse de déplacement. Kraus et al (1976) estiment la fonction de consommation sous une forme linéaire $\phi = K_1 + K_2S$ et montrent que la consommation de carburants augmente avec la vitesse de déplacement pour des vitesses supérieures.

Cette formalisation ignore les consommations plus élevées à des vitesses faibles causées par la congestion. Evans et Herman (1978), Gartner et al. (1980), Herman et Ardekani (1985) et Fwa et Ang (1992) ont analysé la consommation de carburants par unité de distance par rapport à la vitesse de déplacement en conditions de trafic urbain (à des vitesses de déplacements inférieures à 50 km/h). Dans ces circonstances, une augmentation de la vitesse se traduit par une baisse de la consommation. Selon ces auteurs, la consommation de carburants en fonction de la vitesse moyenne de déplacement peut être approximée comme :

$\phi = K_3 + K_4/S$, où S est la vitesse de déplacement, K_3 est un paramètre dépendant du véhicule (mesuré en litres par kilomètre) associé à la consommation de carburant nécessaire pour surmonter la résistance de roulement, et qui est approximativement proportionnel au poids du véhicule ; K_4 un paramètre dépendant du véhicule (mesuré en litres par heure) qui est proportionnel à la consommation de carburant au ralenti. Ces paramètres diffèrent d'une étude à l'autre.

Verhoef et Rouwendal (2004) proposent une fonction de la consommation qui combine les deux types d'études présentées précédemment, avec une formule qui prend en considération les conditions réelles de trafic et en particulier la densité du trafic : $\phi = (1 + \delta S^\beta d^\alpha)(a/S + b + cS^2)$, où d est la densité du trafic et δ , β et α sont des paramètres.

Un autre type d'études empiriques fournit les consommations moyennes pour différents niveaux de vitesse, par classes de voiture (année de fabrication, type de moteur, etc...). Par exemple aux Etats-Unis, le Transportation Energy Data Book (2002) compare la consommation moyenne par niveaux de vitesses pour des échantillons d'automobiles de différentes années (1973, 1984 et 1997). La mesure utilisée est le nombre de miles parcourus avec un gallon de carburant, à vitesse constante de déplacement. En plus d'une augmentation en temps de l'efficacité des engins, on constate que l'intervalle des vitesses les plus efficaces a changé. Ainsi, pour les voitures de 1973, cet intervalle comprenait des vitesses entre 30-45 milles par heures, en 1984 les vitesses les plus performantes étaient de 35-45 milles par heures et enfin en 1997 ces vitesses ont augmenté à 50-55 milles par heure.

En Europe, des études similaires ont été menées, notamment par l'Agence Européenne de l'Environnement. C'est notamment le cas du modèle Copert III propose des fonctions exprimant la consommation d'un véhicule en fonction de sa vitesse, pour les voitures privées essence et diesel. Pour les vitesses supérieures à 80km/h, une baisse de la vitesse se traduit par un gain en consommation de carburant.

Les consommations unitaires par rapport à la vitesse de déplacement S sont calculées comme suit : $\phi = 135,44 - 2,314S + 0,0144S^2$ pour les voitures essence (l'échantillon des voitures testées comprend les voitures ayant une norme supérieure à Euro I et dont la cylindrée est comprise entre 1,4 et 2,0 L). Pour les véhicules diesel, la fonction de la consommation unitaire est $\phi = 91,106 - 1,308S + 0,00871S^2$ (sont retenus les véhicules diesel qui respecte au moins la norme Euro I, quelles que soit la cylindrée).

b) L'émission de polluants atmosphériques

Les principales émissions provoquées par les automobiles sont constituées par les monoxydes de carbone. Ces émissions sont fonction de la vitesse de déplacement et d'autres facteurs de conduite, comme les accélérations, les décélérations, la température extérieure, l'âge de la voiture, le type de moteur, etc... Comme le montre Harrington (1997), les émissions de polluants et la consommation de carburants sont finalement deux problèmes très liés.

Une des premières études sur les émissions est celle de Dabberdt et al. (1973). Les auteurs utilisent des données historiques sur les volumes moyens journaliers de trafic et dérivent une équation empirique sous la forme $E = aS^{-b}$ où E est le taux d'émissions (grammes d'émission par véhicule-kilomètre), S la vitesse moyenne de déplacement (km/h) et a et b sont des paramètres qui dépendent des caractéristiques de la technologie de contrôle des émissions des véhicules. Ces paramètres sont différenciés pour les voitures anciennes et pour les voitures neuves.

Horowitz et Pernela (1974, 1976) ont développé ce modèle, en prenant en compte le fonctionnement à chaud, le démarrage au froid et d'autres caractéristiques techniques, mais aussi la distribution en fonction de l'âge moyen du parc automobiles. Gartner et al. (1980) trouvent une fonction d'émission de polluants de la même forme que la consommation des carburants à faibles vitesses, mais avec des paramètres spécifiques : $E = K_5 + K_6/S$.

Des formes plus complexes ont été introduites ultérieurement. Par exemple les études U.S. EPA (1991a, 1991b) utilisent une fonction logarithmique de la vitesse, avec des paramètres qui sont influencés par la température extérieure T : $E = a(T) + b(T) \ln S$.

En Europe, la référence pour l'estimation des émissions des différents types de véhicules est le modèle COPERT III, développé par l'Agence Européenne de l'Environnement.

Ce modèle informatique permet de calculer les fonctions d'émission par type de véhicule (année de fabrication, type de moteur, normes écologiques, cylindrée, poids, etc...), par conditions de déplacement (autoroutes, zone urbaine et zone rurale) et par type d'émission (émissions à chaud, pendant le fonctionnement stabilisé du moteur ; émissions au démarrage à froid et émissions dues à l'évaporation du carburant). La forme de la fonction des émissions est dans la plupart des cas une fonction polynomiale de deuxième ordre $E = K_1 - K_2S + K_3S^2$, avec les paramètres K_i différents pour chaque type de voiture, type d'émissions, conditions de vitesse, etc... Ces courbes ont été ajustées par la méthode des moindres carrés sur les points

de mesure. Les coefficients de détermination (R^2) correspondants aux courbes d'émissions à chaud sont plutôt faibles. La comparaison graphique entre les formes théoriques des courbes et les points expérimentaux montre que sur l'ensemble de la plage des vitesses considérées (10-130 km/h) les fonctions choisies semble justifiées, mais moins évidente pour des faibles vitesses, correspondantes aux cycles dits urbains. Pour une analyse détaillée du modèle COPERT III voir le rapport ADEME (2002) et le rapport technique No. 49 de Ntziachristos et Samaras (2000).

En étroit lien avec les modèles COPERT, 17 pays européens ont réalisé le projet MEET (*Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport*) dans le cadre du programme COST (*European Co-operation in the Field of Scientific Research*). Comme le modèle COPERT, l'objectif de MEET a été de fournir une série de données et de modèles permettant de calculer les émissions de polluants et la consommation énergétique des différents modes de transport (transport routier, chemins de fer, aéronautique et naval). La méthodologie utilisée est similaire à celle du modèle COPERT. Pour une évaluation et une analyse du projet MEET, voir le rapport du Laboratoire de Thermodynamique Appliquée de l'Université Aristote de Thessaloniki [Samaras et Ntziachristos (1998)], ainsi le rapport de l'Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics de l'Université Technique de Graz (1998) et celui de l'INRETS (1999).

1.3.3.2 Les modèles d'optimisation et de gestion des transports urbains

Mayeres et al. (1996) soulignent le fait que pour l'analyse de l'efficacité des politiques de transports urbains il est nécessaire d'évaluer le coût marginal externe de chaque mode de transport (congestion, pollution, bruit, accidents, etc...). Dans leur étude, les coûts externes sont évalués pour les voitures, les bus, les tramways, le métro et les camions pour la zone urbaine de Bruxelles.

Peu d'études ont considéré le problème du péage optimal en présence d'autres externalités que la congestion. Selon Daniels et Adamowicz (2000) les transports peuvent affecter l'environnement par trois mécanismes : la mise en place de l'infrastructure (comme les routes, les chemins de fer, etc...), l'utilisation de cette infrastructure (notamment l'usage des véhicules de transport, qui produit des émissions de polluants dans l'air, des nuisances sonores, etc...) et le comportement des individus en réaction aux deux premiers mécanismes. Ces effets peuvent être directs (par exemple l'impact de l'infrastructure sur l'habitat des animaux sauvages) et indirects (l'impact des émissions qui affectent le climat et la santé humaine).

L'émission de polluants par les transports est une externalité qui pose des problèmes analytiques similaires aux externalités de congestion (Oron et al, 1974 ; Robson, 1976). La qualité de l'air (qui est affectée par le niveau de pollution de l'air) en chaque localisation est incluse comme argument dans la fonction d'utilité des ménages. Ainsi, elle va affecter les rentes d'enchères à l'équilibre. Généralement, la pollution de l'air est supposée liée directement aux émissions des véhicules. Ces émissions dépendent du volume du trafic et de la vitesse de déplacement des véhicules. La vitesse est influencée par la capacité du système de transports. Différentes hypothèses concernant les préférences, la technologie des automobiles, les processus de diffusion des émissions et la capacité de la route peuvent être incorporées. Ces modèles s'avèrent trop complexes pour être solvables analytiquement et nécessitent généralement des méthodes de résolution numériques.

Comme dans le cas de la congestion, quand il y a des externalités environnementales, les choix de localisation ne sont pas optimaux s'il n'y a pas un système de taxation pour internaliser ces effets externes. Duff et Straszheim (1982) construisent un modèle monocentrique qui prend en compte à la fois la congestion et la pollution des transports urbains. La pollution est déterminée par rapport à la technologie des automobiles, le volume du trafic et les vitesses de déplacements, plusieurs technologies d'automobiles étant analysées. Les auteurs déterminent les valeurs d'équilibre de la rente foncière, la population, le volume de trafic, et la pollution, et calculent les niveaux optimaux de taxation pour les deux externalités du système de transport : la congestion et la pollution.

Viton (1983) incorpore la pollution et le bruit dans un modèle de simulation qui détermine la composition modale optimale en période de pointe, en utilisant des variables de politique comme la taxation des transports publics, le péage urbain, la capacité de la route (nombre de voies) et les caractéristiques du transport public. Les limites de ce modèle consistent dans le fait que le volume total de déplacement et le split modal en périodes creuses sont fixés de façon exogène. Un modèle de simulation plus récent a été réalisé par de Borger et Wouters (1998). Par rapport à la littérature précédente, cet article intègre les décisions de déplacement optimales en fonction des prix des transports privés et publics et des caractéristiques de l'offre de transports, en prenant en compte les principales externalités (congestion, pollution de l'air, bruit, risques d'accidents).

Proost et Van Dender (2001) comparent l'efficacité des différentes politiques de transport et environnementales dans une zone urbaine. Les activités de transport sont représentées comme un ensemble de marchés inter-corrélés, un pour chaque mode de transport et chaque type de véhicule, en période creuse et de pointe. Pour chaque marché

quatre coûts externes sont identifiés : pollution de l'air, accidents, bruit et congestion. La différence entre les coûts marginaux sociaux et les prix montre que la congestion et le stationnement gratuit sont les sources dominantes de l'inefficacité. Les coûts de la pollution de l'air sont également significatifs. Les auteurs comparent les effets d'une politique environnementale et d'une politique de transports. Les politiques environnementales analysées sont la politique de la qualité de l'air (la régulation de la technologie d'émissions des voitures) et deux politiques orientées sur la consommation des carburants (l'imposition d'une efficacité des carburants minimale et taxation des carburants). Les politiques de transports envisagées sont le péage urbain au niveau des coûts externes globaux, le péage de type cordon et la tarification du stationnement. Les résultats des simulations montrent que les politiques de transports sont plus efficaces que les politiques environnementales. Cela s'explique par le fait que les politiques environnementales réussissent à réduire fortement la pollution, mais elles affectent peu l'usage des véhicules. Au contraire, les politiques de transport engendrent d'importants changements dans la distribution temporelle et modale du trafic, ce qui implique non seulement des gains d'efficacité mais aussi d'importants bénéfices environnementaux.

Ferrari (1999) réalise un modèle de management des transports urbains pour résoudre le problème des externalités provoquées par le trafic automobile (congestion et pollution). Les deux modes de transport (public et privé) sont gérés par les autorités à l'aide de politiques comme le péage urbain, la tarification des transports en commun et les caractéristiques du service des transports communs. Comme dans les articles précédents du même auteur (Ferrari 1995, 1997), le système de transport multimodal est le sujet des contraintes physiques et environnementales de capacité. En plus, la contrainte budgétaire est ajoutée. Les autorités fixent leur politique afin de minimiser les coûts généralisés moyens de transport et dans le même temps le système de transport est en équilibre et satisfait les contraintes budgétaires et de capacité. Une simulation est appliquée pour une ville typique italienne et le résultat principal est que le marché des transports publics est un marché de niche, dont les propriétés sont déterminées principalement par les contraintes environnementales et physiques de la capacité du système de transports automobiles. Dans un autre article (2005) l'auteur montre que le péage urbain peut non seulement réduire le niveau de congestion et de pollution dans la ville, mais aussi augmenter le surplus des consommateurs. Cela dépend de la partie du coût prise en charge par les usagers des transports publics et de la proportion d'usagers qui sont captifs au transport public.

Johansson (1997) propose un article qui étudie également le problème de la taxation optimale des routes dans un cadre urbain par rapport à la congestion, l'émission de polluants et par correspondance par rapport à la consommation excessive de carburants et l'émission supplémentaire résultant de la congestion. L'auteur montre que l'utilisateur privé ne doit pas payer seulement qu'une taxe correspondante à ses émissions propres, mais aussi par rapport à l'augmentation des émissions et de consommation de carburant des autres usagers. Dans un modèle de simulation, il est souligné que les effets peuvent être significatifs. Dans un article plus récent (2006) l'auteur montre analytiquement les mêmes résultats.

Parry et Bento (2002) réalisent un modèle de simulation pour analyser les interactions entre le péage urbain et autres distorsions du système de transport urbain, comme la congestion sur les routes gratuites, les accidents, la taxation sous-optimale des transports publics, les taxes sur les carburants et les externalités environnementales. Les auteurs montrent comment la présence de ces distorsions change l'effet du péage urbain sur le bien-être. La mise en place d'un péage sur une route induit une ré-allocation du trafic qui peut exacerber la congestion sur les routes et les modes alternatifs.

D'autres études s'intéressent aux effets des externalités des transports urbains sur la localisation des ménages dans une zone urbaine. Fisch (1980) étudie l'impact des externalités environnementales tandis que McConnell (1986) analyse l'impact des deux types principaux d'externalités causés par les transports urbains : la pollution et la congestion. La congestion augmente le temps de déplacement et l'usage des automobiles engendre de la pollution de l'air et des nuisances sonores. L'auteur traite les externalités d'une façon différente par rapport aux analyses habituelles. Dans ce modèle, le niveau d'utilité des ménages est une fonction des décisions de localisation de tous les ménages dans la ville. Ainsi, le niveau de pollution, comme le temps de déplacement pour un ménage qui habite une certaine localisation, sont fonction du nombre de voyageurs qui traversent cette localisation, et par conséquence, du schéma de localisation dans la ville.

Ces interdépendances de localisation jouent de manière conflictuelle sur la structure spatiale de la ville. La pollution non-taxée émise par les automobiles peut induire des « sprawl » urbains (localisations désertes) parce que les ménages ont de faibles enchères pour les localisations les plus polluées (la zone centrale) et de fortes enchères pour les localisations moins polluées (dans la périphérie). L'externalité de congestion a un effet opposé : le coût de déplacement devient plus élevé, de sorte que la congestion augmente l'attractivité des localisations centrales et rend moins attractives les localisations périphériques. L'impact net de

ces externalités sur l'usage du sol dépend notamment des préférences des ménages pour la qualité de l'environnement et pour le loisir.

Un aspect intéressant est le fait qu'une pollution accrue conduit les ménages à se localiser vers la périphérie, ce qui implique une augmentation du niveau de pollution dans toutes les localisations et non seulement au centre. Ainsi, l'équilibre de marché est opposé à l'optimum. Le résultat est contraire pour la congestion, où l'équilibre de marché et l'optimum vont dans la même direction.

* * *

Dans ce chapitre, nous avons présenté surtout l'intérêt porté par la littérature économique aux problèmes écologiques spécifiques au milieu urbain (pollution industrielle et des transports). La prise en compte des effets de la pollution et des politiques écologiques montrent que le fonctionnement de la ville peut être fortement influencé. Finalement, c'est l'étude de ces mécanismes qui constitue le cœur de cette thèse.

Les décisions de localisation en milieu urbain sont liées aux conditions de transports et aussi aux conditions écologiques, celles-ci étant à leur tour influencées par le fonctionnement du système de transports urbains. Toute modification de la répartition des déplacements provoque des réactions de la part des habitants, quant à leur localisation, mais aussi quant à leur comportement de consommation. Egalement, un changement du fonctionnement des transports urbains entraîne des changements sur le fonctionnement écologique de la ville, qui par la suite introduit un autre facteur dans les choix de localisation des ménages. Ainsi, on aboutit à une nouvelle structure socio-spatiale de la ville, qui nécessite une nouvelle répartition des déplacements et des nouveaux impacts écologiques et ainsi de suite...

Comme nous l'avons vu, le fonctionnement urbain est un processus complexe, et les effets d'une intervention publique sont difficiles à prédire. Nous allons détailler ces questions dans un chapitre consacré entièrement à l'impact des transports urbains sur la structure sociale de la ville et son fonctionnement écologique. Mais, avant cela il est nécessaire d'abord d'étudier empiriquement quelle est la situation actuelle des structures spatiales des agglomérations urbaines, de vérifier si les conclusions des modèles théoriques sont vérifiées

dans la réalité : existe-il une ségrégation entre les classes sociales, et cette ségrégation est-elle liée aux réseaux de transports observés ? Une fois répondu à ces questions, nous voulons d'abord comprendre pourquoi nous constatons certaines structures socio-spatiales dans les villes européennes, qui sont différentes de celle des villes nord-américaines. Ainsi, les facteurs que l'on développe sont la différenciation des coûts de transports des différentes catégories de ménages, et le rôle joué par les aménités localisées sur la structuration de l'espace. Après l'analyse des structures urbaines constatées dans le « monde réel » et l'analyse théorique des facteurs importants de la structuration de l'espace urbain, nous passerons à l'étude de l'impact des transports et des politiques conséquentes sur la structure sociale de la ville et son fonctionnement écologique.

CHAPITRE 2

ANALYSE DE LA SEGREGATION SOCIALE DANS LES AGGLOMERATIONS FRANCAISES

2 ANALYSE DE LA SEGREGATION SOCIALE DANS LES AGGLOMERATIONS FRANCAISES

2.1 INTRODUCTION

Ce chapitre a pour but de présenter la situation actuelle ainsi que l'évolution de la ségrégation entre les classes sociales dans les principales agglomérations françaises. Deux autres exemples européens sont présentés dans une autre section.

Pour faire une analyse descriptive de la ségrégation sociale on utilise deux catégories d'outils : les indices de ségrégation et les analyses cartographiques. Les indices de ségrégation permettent d'exprimer la distribution des classes sociales dans la zone d'étude, mais également leur tendance d'isolation, centralisation, concentration ou regroupement. Les cartes thématiques constituent un outil très utile puisqu'elles mettent en évidence la structuration sociale de l'espace urbain des zones étudiées.

Faute de données sur les revenus des ménages, notre analyse portera surtout sur la ségrégation spatiale entre catégories socio-professionnelles mais aussi entre ménages de nationalité différente.

Après avoir défini les indices utilisés, nous étudions la ségrégation spatiale entre les catégories socio-professionnelles dans les plus grandes agglomérations françaises. Cette analyse est complétée par une étude de la ségrégation entre nationalités. Une section est également consacrée à l'étude de deux autres agglomérations européennes : il s'agit de Genève et de Bruxelles. Enfin, une dernière section présente les conclusions.

Nos analyses montrent que les classes sociales ont une tendance à la ségrégation spatiale, avec une localisation centrale des catégories les plus riches et une localisation périphériques des catégories les plus pauvres. Ce type de structure est typique des villes européennes, mais il y a des exceptions, comme par exemple l'agglomération de Bruxelles.

2.2 DEFINITION DES INDICES DE SEGREGATION

Les indices de ségrégation sont peu utilisés en France, mais même après de fortes controverses sur leur qualité, ils peuvent être un bon outil pour les études des structures sociales urbaines. Aux Etats-Unis, le thème de la concentration des groupes ethniques est abordé dès les années 1920, mais c'est à partir des années 1940 qu'une série de travaux quantitatifs débouche sur un ensemble d'indicateurs de mesure de la ségrégation sociale. Parmi ces indicateurs, on trouve les classiques indices de dissimilitude et delta de Duncan et Duncan (1955) et les indices d'interaction de Bell (1954). Ultérieurement, dans les années 1980-1990, d'autres chercheurs américains (Morgan, White, Morill et Wong) développent des nouveaux indices de ségrégation, dits spatiaux.

Dans une synthèse de la littérature sur les indices de ségrégation, Massey et Denton (1988) regroupent les formes de la ségrégation résidentielle en cinq dimensions: *l'égalité*, *l'exposition*, la *concentration*, la *regroupement* et la *centralisation*. Pour chaque dimension, on distingue des *indices intragroupes*, qui mesurent la répartition d'un groupe par rapport à l'ensemble de la population et les *indices intergroupes*, qui comparent la répartition entre différentes catégories sociales.

2.2.1 Les indices d'égalité (ou de distribution)

L'égalité renvoie à la distribution des catégories sociales à travers les unités spatiales. Les indices d'égalité mesurent la sur-représentation ou la sous-représentation d'un groupe dans les unités spatiales. Généralement, les indices ont une valeur comprise entre 0 et 1, et expriment ainsi la part du groupe qui devrait déménager pour obtenir une distribution parfaite.

2.2.1.1 Les mesures d'égalité intragroupes

La « ségrégation est une forme d'inégalité »³, et les premières mesures de l'inégalité qui datent du début du vingtième siècle, avec l'indice de Gini et la courbe de Lorenz, ont été utilisés pour déduire ces indices d'égalité.

L'indice de Gini est la différence de la moyenne absolue entre les proportions de la catégorie à travers chaque paire d'unités spatiales, exprimée comme étant la différence de la moyenne pondérée maximale qui se produit lorsque les membres du groupe et les membres des autres groupes ne partagent aucune unité spatiale. L'indice varie entre 0 (ségrégation nulle) et 1 (ségrégation totale) :

³ Robert Hutchens (2001)

$$G_x = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\frac{t_i t_j |p_i - p_j|}{2T^2 P(1-P)} \right]$$

où x = catégorie sociale

t_i, t_j = population totale dans l'unité spatiale i (j)

p_i, p_j = proportion du groupe X dans la population totale de l'unité spatiale i (j)

T = population totale de la zone d'étude

P = proportion de la catégorie X dans la population totale T

n = nombre d'unités spatiales

Duncan et Duncan (1955) proposent deux indices: l'indice de ségrégation et l'indice de dissimilitude. **L'indice de ségrégation de Duncan**, mesure la distribution d'une catégorie et varie entre 0 (distribution parfaitement égale) et 1 (distribution ségrégative maximale). La valeur de l'indice exprime la part de la catégorie qui devrait déménager afin d'obtenir une distribution parfaite:

$$IS_D = \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_i |p_i - P|}{2TP(1-P)} \right]$$

où X = population de la catégorie X dans la zone d'étude et x_i = population du groupe X dans l'unité spatiale i

L'indice de Morrill prend en compte les interactions spatiales : si la configuration spatiale fournit des opportunités aux membres d'une minorité d'interagir avec les membres de leur minorité localisés dans les unités spatiales adjacentes, la valeur de l'indice de ségrégation doit être diminuée. Il soustrait ainsi aux indices de ségrégation (IS) la possibilité d'interaction du groupe minoritaire en utilisant une matrice de contiguïté c_{ij} qui est égale à 1 si les unités i et j sont contiguës et à 0 si elles ne sont pas adjacentes. Il varie également entre 0 et 1.

$$Morill = IS - \frac{\sum_i \sum_j |c_{ij} (p_i - p_j)|}{\sum_i \sum_j c_{ij}}$$

où c_{ij} sont les éléments binaires de la matrice de contiguïté

L'indice de Wong est similaire au celui de Morrill, la seule différence réside dans le calcul de l'opportunité interzonale. Wong préconise la prise en compte de la frontière commune entre les unités adjacentes, de la taille et de la forme de chacune d'elles puisque plus une unité spatiale est petite et compacte (plus le rapport périmètre sur aire est faible), plus la possibilité d'interaction est forte :

$$Wong = IS - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} |p_i - p_j| \frac{\frac{Per_i}{A_i} + \frac{Per_j}{A_j}}{2 \max\left(\frac{Per}{A}\right)} \text{ avec } w_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_i d_{ij}}$$

où d_{ij} = longueur de frontière commune entre les unités spatiales i et j

Per_i, Per_j = périmètre de l'unité spatiale i respectivement j

A_i, A_j = aire de l'unité spatiale i respectivement j

$\max(Per/A)$ = rapport maximum entre le périmètre et l'aire des unités spatiales j

L'indice d'entropie mesure l'écart par rapport à l'égalité en calculant la différence entre l'entropie de chaque unité spatiale et l'entropie de l'ensemble de la ville. Il varie également de 0 lorsque toutes les unités spatiales ont la même composition sociale ou ethnique, à 1 quand toutes les unités spatiales ont un seul groupe.

$$H = \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_i (E - E_i)}{E} \right], \text{ avec}$$

$$E_i = p_i \log \frac{1}{p_i} + (1 - p_i) \log \frac{1}{1 - p_i} \text{ et } E = P \log \frac{1}{P} + (1 - P) \log \frac{1}{1 - P}$$

Plusieurs critiques ont été apportées sur ces indicateurs en ce qui concerne les critères qu'un indice de ségrégation doit respecter. James et Taeuber (1985) proposent quatre critères : ***l'invariance de dimension*** (l'indice ne doit pas être affecté par la dimension des unités spatiales utilisées dans l'analyse), ***l'équivalence organisationnelle*** (l'indice ne doit pas être affecté par des changements du nombre des sous-unités spatiales, par exemple la combinaison des deux sous-unités), le ***principe de transferts*** (l'indice doit être affecté par le mouvement d'un individu d'une unité spatiale vers une autre) et ***l'invariance de composition ou d'échelle*** (l'indice ne doit pas être affecté par l'échelle des colonnes ou lignes, par exemple en multipliant le nombre des individus de chaque catégorie dans chaque unité spatiale par un scalaire).

Hutchens (2001) propose sept propriétés caractérisant un indice de ségrégation. On retrouve l'invariance d'échelle et le principe de transferts, mais l'auteur ajoute cinq autres propriétés : ***symétrie dans les groupes*** (l'indice ne doit pas se modifier si on effectue des permutations des groupes), ***insensibilité aux divisions proportionnelles*** (l'indice ne doit pas être affecté par une division proportionnelle d'un groupe), ***indépendance de zéro membre*** (si on ajoute un groupe avec zéro membre, l'indice doit rester le même), ***symétrie en types*** (

l'indice doit être insensible aux changements de désignation des groupes) et *l'additivité* (l'indice doit être additif sur les groupes).

Parce que les indices mentionnés jusqu'ici ne respectent pas toutes ces propriétés, des indices alternatifs ont été proposés: *l'indice de ségrégation de Gorard* (Gorard, 2000) et *l'indice de racine carrée* (square root index) de Hutchens (2001). Ces deux indices sont également compris entre 0 (intégration complète) et 1 (ségrégation totale).

$$IS_G = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i}{X} - \frac{t_i}{T} \right|$$

$$SRI = 1 - \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{x_i}{X} \cdot \frac{y_i}{Y}}$$

2.2.1.2 Les mesures d'égalité intergroupes

L'indice de dissimilitude est le plus souvent utilisé dans les études de ségrégation résidentielle. Cet indice compare les distributions de deux groupes à travers les unités spatiales, et mesure leur séparation spatiale. Sa valeur exprime la part de la catégorie X ou Y qui devrait déménager pour obtenir des distributions identiques. L'indice varie également entre 0 et 1, correspondant respectivement à la similitude parfaite et à la dissemblance la plus grande :

$$ID = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i}{X} - \frac{y_i}{Y} \right|$$

- où Y = population de la catégorie Y dans la zone d'étude
 y_i = population du groupe Y dans l'unité spatiale i
 x_i, X, n = cf équation (79)

2.2.2 Les indices d'exposition

L'exposition est la possibilité d'interactions entre les membres d'une même catégorie ou entre les membres de deux catégories distinctes. Les indices d'exposition ont été proposés par Bell (1954).

2.2.2.1 Les indices d'exposition intragroupes

L'indice d'isolement mesure la probabilité qu'un membre d'une catégorie partage la même unité spatiale avec un membre de son propre groupe. Il varie de 0 à 1, avec une valeur

maximale signifiant que le groupe est totalement isolé dans les unités spatiales de l'espace étudié :

$$xPx = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{X} \cdot \frac{x_i}{t_i} \right)$$

L'indice d'isolement ajusté modifie l'indice d'isolement avec la proportion du groupe dans la ville afin d'éviter les effets liés à la composition de la population sur xPx (Massey et Denton, 1988; Streams et Logan, 1986):

$$Eta^2 = \frac{xPx - P}{1 - P}$$

2.2.2.2 Les indices d'exposition intergroupes

L'indice d'interaction exprime la probabilité qu'un membre d'une catégorie partage la même unité spatiale avec un membre d'une autre catégorie.

$$xPy = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{X} \cdot \frac{y_i}{t_i} \right)$$

2.2.3 Les indices de concentration

La concentration fait référence à l'espace (la superficie) occupé par une catégorie. Plus un groupe occupe une partie faible du territoire étudié, plus il est concentré.

L'indice Delta de Duncan est une mesure intragroupe et calcule la différence entre le rapport de la population de la catégorie sociale dans l'unité spatiale sur la population totale de la catégorie et le rapport de l'aire de l'unité spatiale sur celle de la zone d'étude. Avec des valeurs comprises entre 0 (pas de ségrégation résidentielle) et 1 (ségrégation complète), l'indice est interprété comme la proportion de la catégorie qui devrait déménager afin d'obtenir une densité uniforme:

$$\Delta = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i}{X} - \frac{A_i}{A} \right|$$

Massey et Denton (1988) proposent deux indices plus complexes : l'indice de concentration absolue (mesure intragroupe) et relative (mesure intergroupe).

L'indice de concentration absolue correspond à la comparaison de l'aire totale habitée par une certaine catégorie avec le minimum et le maximum d'unités spatiales où pourraient résider les membres de la catégorie dans les cas de concentrations maximales et minimales. L'indice a des valeurs comprises entre 0 et 1, qui correspondent respectivement à une concentration minimale et une concentration maximale :

$$ACO = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i a_i / X) - \sum_{i=1}^{n1} (t_i a_i / T_1)}{\sum_{i=n2}^n (t_i a_i / T_2) - \sum_{i=1}^{n1} (t_i a_i / T_1)}$$

où $n1$ = numéro de l'unité spatiale quand la somme cumulée de la proportion totale des unités spatiales est égale à la somme de la population du groupe X dans la zone (somme de 1 à $n1$)

$n2$ = numéro de l'unité spatiale quand la somme cumulée de la proportion totale des unités spatiales est égale à la somme de la population du groupe X dans la zone (somme de $n2$ à n)

$T1, T2$ = population totale dans les unités spatiales de 1 à $n1$ (de $n2$ à n)

L'indice de concentration relative compare la concentration spatiale (en termes d'espace occupé) d'une catégorie sociale Y à celle d'une catégorie X, et varie de -1 à 1: -1 lorsque la concentration de la catégorie X est maximale et celle de la catégorie Y est minimale, 1 dans le cas inverse, et 0 lorsque les deux catégories sont également concentrées dans l'espace:

$$RCO = \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i a_i / X) / \sum_{i=1}^n (y_i a_i / Y)}{\sum_{i=1}^{n1} (t_i a_i / T_1) / \sum_{i=n2}^n (t_i a_i / T_2)} \right] - 1}{\left[\sum_{i=1}^{n1} (t_i a_i / T_1) / \sum_{i=n2}^n (t_i a_i / T_2) \right] - 1}$$

2.2.4 Les indices de centralisation

Ces indices mesurent la proximité de la catégorie sociale au centre de l'aire métropolitaine. Duncan et Duncan (1955) proposent deux indices de centralisation.

L'indice de centralisation absolue est une mesure intragroupe dont la valeur est négative lorsque les membres d'une catégorie ont tendance à résider loin du centre de la ville, et positive dans le cas inverse. Une valeur nulle signifie que le groupe est parfaitement distribué dans la zone urbaine:

$$ACE = \left(\sum_i X_{i-1} A_i \right) - \left(\sum_i X_i A_{i-1} \right)$$

où X_i = la proportion cumulée du groupe X dans l'unité spatiale i (les unités spatiales sont triées selon la distance du centre)

A_i = la proportion cumulée de l'aire de l'unité spatiale i

L'indice de centralisation relative varie de -1 , lorsque les membres de la catégorie X sont localisés plus loin du centre que les membres de la catégorie Y, à 1 dans la situation inverse. Les unités spatiales sont triées selon leur distance au centre:

$$RCE = \left(\sum_i X_{i-1} Y_i \right) - \left(\sum_i X_i Y_{i-1} \right)$$

2.2.5 Les indices de regroupement

On dit que plus une catégorie occupe des unités spatiales contiguës (voisines) formant ainsi une enclave dans la zone urbaine, plus elle est regroupée et donc ségréguée. A l'inverse, plus une catégorie occupe des unités spatiales éloignées les unes des autres, moins elle est ségréguée.

L'indice de regroupement absolu (absolute clustering index) varie entre 0 et 1 . Pour le calculer, on utilise une matrice de contiguïté c_{ij} , dont les éléments sont définis : $c_{ij}=1$ si les unités spatiales i et j ont une frontière commune et $c_{ij}=0$ sinon:

$$ACL = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{X} \sum_{j=1}^n (c_{ij} x_j) \right] - \left[\frac{X}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{X} \sum_{j=1}^n (c_{ij} x_j) \right] - \left[\frac{X}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \right]}$$

White (1983) propose **l'indice de proximité spatiale** et **l'indice d'agrégation relative**. Dans un premier temps il faut mesurer la distance moyenne intragroupe et intergroupe. Pour ce faire, il faut construire une matrice dont les valeurs d_{ij} mesurent les distances entre les centroïdes des unités spatiales i et j .

Mesure de la proximité moyenne indépendamment de la catégorie:

$$P_{oo} = \frac{1}{(X+Y)} \sum_i \sum_i (x_i + y_i)(x_j + y_j) f(d_{ij})$$

Mesure de la proximité moyenne entre les membres de la catégorie X

$$P_{xx} = \frac{1}{X^2} \sum_i \sum_i x_i x_j f(d_{ij})$$

Mesure de la proximité moyenne entre les membres de la catégorie Y

$$P_{yy} = \frac{1}{Y^2} \sum_i \sum_j y_i y_j f(d_{ij})$$

Mesure de la proximité moyenne entre les membres de la catégorie X et Y

$$P_{xy} = \frac{1}{XY} \sum_i \sum_j x_i y_j f(d_{ij})$$

où $f(d_{ij}) = e^{-d_{ij}}$

L'indice de proximité spatiale mesure l'agrégation d'une catégorie en fonction d'une autre catégorie. Il est égal à 1 lorsque les agrégations des catégories X et Y sont identiques. Il est supérieur à 1 quand les membres de chaque catégorie tendent à se regrouper, et inférieur à 1 dans le cas où les membres d'une catégorie vivent plus près des membres d'une autre catégorie que des membres de leur propre catégorie:

$$SP = \frac{XP_{xx} + YP_{yy}}{(X + Y)P_{oo}}$$

L'indice d'agrégation relative compare la proximité moyenne des membres de la catégorie X (P_{xx}) à celle des membres de la catégorie Y (P_{yy}). Il est égal à 0 lorsque les agrégations des catégories X et Y sont identiques, il est positif quand l'agrégation du groupe X est supérieure à celle du groupe Y et négatif dans le cas contraire.

$$RCL = \frac{P_{xx}}{P_{yy} - 1}$$

2.3 LA SEGREGATION SPATIALE DES CATEGORIES SOCIO-PROFESSIONNELLES DANS LES AGGLOMERATIONS FRANCAISES

2.3.1 Les données

Pour analyser la ségrégation, nous utilisons des cartes thématiques pour lesquelles nous appliquons les indices définis précédemment sur les plus grandes agglomérations françaises. Les données utilisées sont extraites du recensement de la population de 1968, 1975, 1982, 1990 et 1999. Pour la plupart des agglomérations étudiées, les données correspondent à l'échelon communal, ce qui nous permet d'étudier la ségrégation dans l'agglomération, mais pas à l'intérieur même de la ville. La catégorie socio-professionnelle (CSP) est l'indicateur définissant la classe sociale d'un ménage. Nous utilisons la nomenclature INSEE au niveau 8 : agriculteurs, indépendants, cadres, professions intermédiaires, employés, ouvriers, retraités et personnes sans activité.

Concernant la définition d'une agglomération, nous retenons la définition provenant de l'INSEE de l'aire urbaine d'une ville : l'aire urbaine englobe l'agglomération (pôle urbain) ainsi que les communes de la couronne périurbaine dont au moins 40% de la population résidente ayant un emploi travaille dans l'agglomération ou dans des communes attirées par celle-ci. Nous utilisons également la communauté urbaine, qui est une définition spatiale politique.

Tableau 2.1 : Changements de nomenclature concernant la catégorie socioprofessionnelle

Nomenclature 1975		Nomenclature 1982	
Classe ou Poste	Désignation	Classe ou Poste	Désignation
00	Agriculteurs exploitants	10	Agriculteurs exploitants
10	Salariés agricoles	69	Ouvriers agricoles
2	Patrons	2	Indépendants
3	Professions libérales et cadres	3	Cadres
4	Cadres moyens	4	Intermédiaires
5	Employés	5	Employés
6	Ouvriers	6	Ouvriers
70, 71, 72	Personnels de service	5	Employés
80	Artistes	35	Professions des arts
81	Clergé	44	Clergé et religieux
83	Armée et police	53	Policiers et militaires
93, 94, 95, 96	Retraités	7	Retraités
91, 92, 97, 98, 99	Non actives	8	Sans Activité

Notons que la nomenclature s'est modifiée au cours du temps, d'où la nécessité d'harmonisation des données. Au recensement de 1982, la nomenclature des catégories

socioprofessionnelles passe de 10 classes et 39 postes à la nomenclature actuelle de 8 classes et 42 postes. Les changements opérés sont présentés dans le tableau 2.1.

Un autre changement de nomenclature concerne le niveau des variables géographiques. Pour les plus grandes communes de France (Paris, Marseille et Lyon) les données sont disponibles au niveau infra-communal. Ainsi les quartiers de Paris et de Marseille ont été regroupés en arrondissements.

2.3.2 Une vue d'ensemble des agglomérations françaises d'aujourd'hui

Dans les Annexes 2.A.1 sont présentés graphiquement les principaux indices de ségrégation dans les agglomérations françaises selon le dernier recensement de 1999.

Notons que, dans la plupart de nos graphiques, nous avons éliminé les données concernant les agriculteurs car ces derniers ne représentent qu'une minorité dans l'espace urbain, et ils présentent des niveaux de ségrégation beaucoup plus importants que les autres catégories. Cette ségrégation des agriculteurs s'explique par leur localisation dans les communes périphériques des agglomérations urbaines, pour se rapprocher des terres agricoles.

Nous nous intéressons, dans un premier temps, à l'égalité de la distribution de la population. Ainsi, dans l'Annexe 2.A.1.1, on retrouve le niveau de l'indice de ségrégation de Duncan. La catégorie la plus ségréguée est constituée par les cadres et les indépendants d'un côté (les classes les plus riches) et les ouvriers de l'autre (une classe pauvre). Les employés, les intermédiaires, les retraités et les personnes sans activité sont les moins ségrégués. Selon cette première analyse, on peut penser que, mis à part les agriculteurs, les classes riches (indépendants et cadres) ainsi que les ouvriers ont une tendance à la ségrégation, tandis que la distribution des autres classes est plus égalitaire.

Si l'on regarde à présent l'indice d'isolement (Annexe 2.A.1.2), le résultat est complètement opposé : les classes les plus ségréguées sont les personnes sans activité, puis les retraités, les employés, les intermédiaires et les cadres, et les agriculteurs sont les moins ségrégués. Comme on verra dans la suite de l'analyse des indices, lorsque l'on effectue des comparaisons entre indices de même type, cet indicateur présente des résultats corrects seulement quand les catégories sociales sont homogènes en termes de population. Comme dans notre situation il existe de grandes différences entre les classes sociales, l'indicateur d'isolement ne peut être utilisé : il doit être ajusté avec la proportion de chaque groupe dans l'agglomération afin d'éviter ces biais dus à la composition de la population. Ainsi, l'indice qui est le plus pertinent est l'indice d'isolement ajusté. Cet indice a des valeurs plus faibles

mais permet de mettre en évidence la tendance de chaque groupe de s'isoler dans les mêmes unités spatiales. On constate dans l'Annexe 2.A.1.3 qu'à part les agriculteurs, les classes sociales les plus ségréguées sont les cadres et les ouvriers.

L'analyse de la concentration des catégories sociales (Annexe 2.A.1.4) ne présente pas de résultats clairs car il y a de fortes variations du niveau de l'indice de concentration absolue pour une même catégorie entre différentes agglomérations ce qui ne nous permet pas de dégager une tendance évidente pour aucune des catégories.

La centralisation de la localisation des ménages (Annexe 2.A.1.5) peut aussi offrir d'importantes informations quant à la structuration sociale de l'espace urbain. Comme nous l'avons évoqué auparavant, les données ne sont pas disponibles à un niveau très fin et on ne peut dès lors pas savoir exactement quelle catégorie a tendance à se localiser au centre ville, mais on peut tout de même tirer quelques faits stylisés. Tout d'abord, on constate que, sauf pour l'agglomération niçoise, les agriculteurs présentent un indice de centralisation proche de zéro ou négatif, ce qui signifie une localisation dans la périphérie des agglomérations. On a ainsi une confirmation du résultat obtenu selon l'indice de ségrégation de Duncan. Pour les autres catégories sociales la situation n'est de nouveau pas très claire à cause de la forte disparité des indices entre agglomérations. Toutefois, les cadres semblent plus centralisés que les autres catégories.

Au niveau communal, l'indice de regroupement absolu est difficile à interpréter parce que le découpage spatial des zones d'études est grossier et quasiment dans toutes les unités spatiales on retrouve toutes les catégories sociales, ce qui fait que la matrice de contiguïté représente presque toute la zone d'étude pour tous les groupes. L'indice de ségrégation absolu a les valeurs les plus élevées pour les personnes sans activité. Dans notre situation cela ne signifie pas que cette catégorie est la plus ségréguée mais au contraire, cela signifie que l'on trouve des personnes sans activité dans toutes les communes, ce qui fait que l'«enclave» occupée par celles-ci représente la totalité de l'agglomération. A l'opposé, on retrouve les agriculteurs, puisqu'ils habitent seulement dans quelques communes de chaque agglomération.

Cette première analyse nous montre qu'au niveau communal, les agriculteurs ont la tendance à la ségrégation la plus forte dans les agglomérations françaises. Les autres catégories très ségréguées sont les cadres et les ouvriers puis les indépendants et les employés. Les autres catégories sociales (intermédiaires, retraités et sans activité), qui finalement ne peuvent pas être clairement tranchées dans une classification riches/pauvres ont une distribution très uniforme dans les zones étudiées.

2.3.3 Ile de France

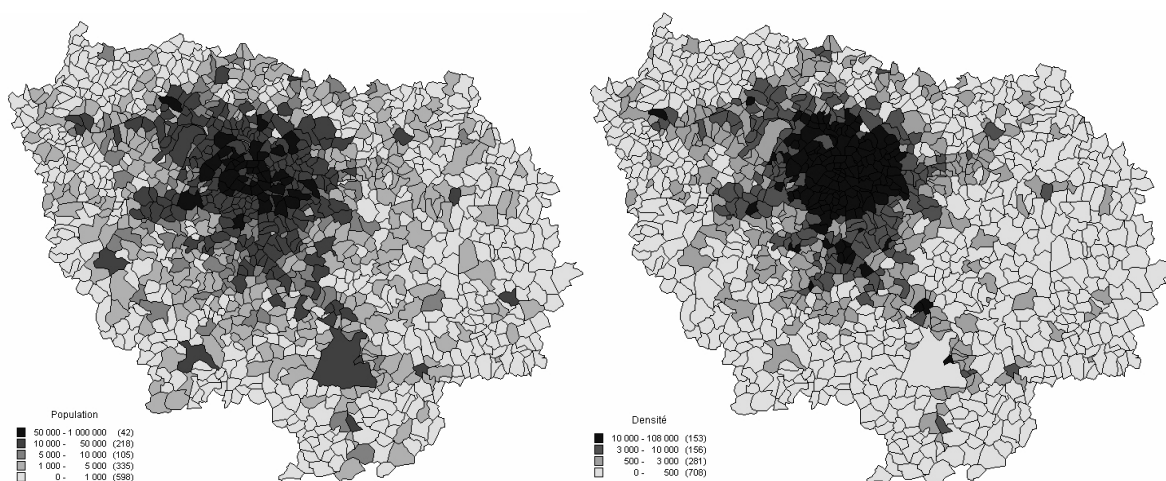
L'aire urbaine de Paris représente le principal pôle urbain en France, avec plus de 11 millions d'habitants. Puisque l'aire urbaine de Paris et l'Ile de France représentent quasiment la même aire, nos analyses ne porteront que sur l'Ile de France. Cette aire urbaine est dominée par la commune de Paris, qui, à elle seule, représente une population de plus de 2,1 millions habitants. Comme nous l'avons signalé plus haut, nous travaillons sur des données à l'échelon communal, sauf concernant Paris, ville pour laquelle il existe un découpage en arrondissements.

2.3.3.1 Analyse cartographique de l'Ile de France

Dans nos cartes thématiques, nous utilisons le plus souvent le même nombre d'enregistrements pour établir les seuils. Les exceptions sont les cartes sur la population totale, où les seuils sont de 1.000, 5.000, 10.000 et 50.000 habitants et l'évolution du rapport cadres/ouvriers, où les seuils sont définis en fonction du rapport moyen dans chaque période.

Comme on peut le constater dans la Carte 2.1, la population de l'agglomération est concentrée à Paris et dans les communes voisines :

Carte 2.1 : La population totale et densité de la population dans l'Ile de France



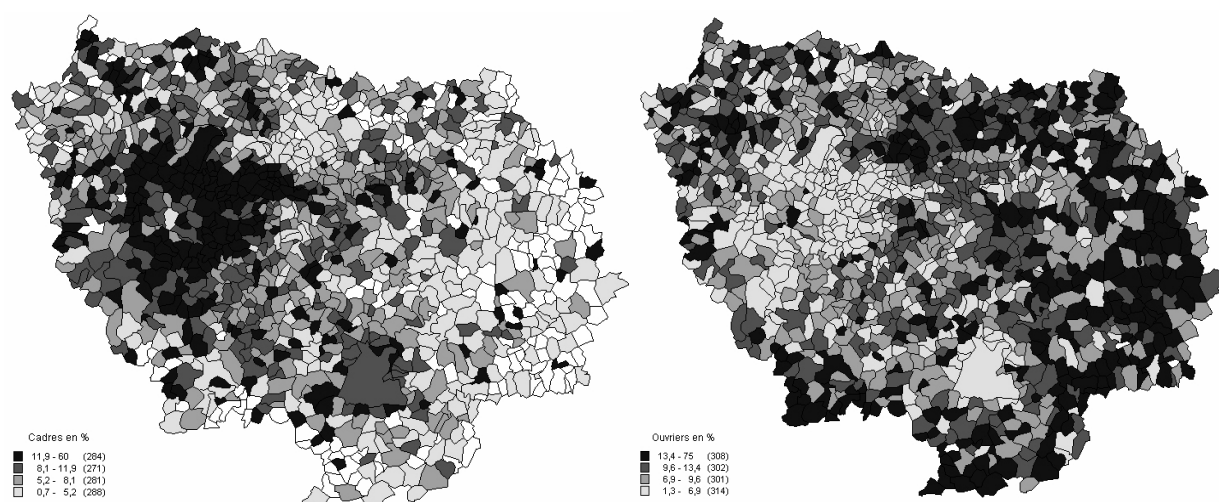
Pour éviter l'effet dû à la concentration de la population à Paris et autour de Paris, les cartes thématiques seront exprimées en termes relatifs. Notons que ce sera le cas pour toutes nos analyses cartographiques car, toutes les agglomérations étudiées sont dominées par leur pôle urbain.

Les classes sociales qui représentent le plus clairement les ménages riches et les ménages pauvres sont respectivement les cadres et les ouvriers. Ainsi une analyse plus

détaillée sera portée sur ces deux classes, notamment avec la Carte 2.2 où nous présentons la proportion des cadres et des ouvriers dans les communes d'Ile de France.

On constate une nette concentration des cadres à Paris ainsi que dans les communes voisines situées à l'ouest et au sud de Paris. Ce pendant, dans ces mêmes communes, la proportion d'ouvriers est très faible, ces derniers étant localisés plutôt dans les communes périphériques de l'agglomération, surtout dans l'est de l'Ile de France. Ainsi, à première vue, le schéma de localisation « européen » paraît vérifié concernant l'agglomération parisienne.

Carte 2.2: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'Ile de France



Les autres catégories sociales sont présentées dans l'Annexe 2.A.2.1. Les agriculteurs représentent une classe minoritaire et ils sont localisés dans les communes périphériques de l'agglomération. Ce choix de localisation s'explique par la nécessité d'habiter près des terres agricoles. Pour les autres catégories sociales, le schéma de localisation est moins évident. On constate malgré tout, une concentration des indépendants dans certains arrondissements de Paris, ainsi qu'une faible proportion dans les communes centrales de l'Ile de France. Pour les indépendants, qui représentent une classe riche, il y a donc une double tendance de localisation à la fois centrale et périphérique. Les intermédiaires sont concentrés plutôt dans les communes qui forment la première couronne autour de Paris. La proportion des employés est plus faible dans les communes à l'ouest de Paris. Les retraités présentent eux aussi une double tendance : une concentration au centre et une concentration dans la périphérie de l'aire urbaine. Les ménages sans activité sans répartis de manière assez aléatoire dans l'agglomération, même si l'on constate une faible densité au centre.

Une analyse temporelle de la localisation des classes les plus riches et les plus pauvres (respectivement cadres et ouvriers) peut être très utile pour regarder si la tendance de

ségrégation entre les deux classes sociales s'accroît au cours du temps. Pour cela, on représente l'évolution du rapport cadres/ouvriers (Annexe 2.A.2.2).

La structure de la population d'Ile de France (comme dans toute la France d'ailleurs) s'est modifiée au cours du temps : on assiste en effet à une forte augmentation de la proportion des cadres dans la population totale. Ainsi, pour éviter l'influence du changement de la structure de population, on calcule le rapport moyen cadres/ouvriers pour chaque période. Ce rapport représentera la référence pour le choix des seuils dans nos cartes pour chaque recensement. Nous représentons ainsi quatre classes de communes. Tout d'abord les communes dont le rapport cadres/ouvriers est inférieur au rapport de référence sont divisées en deux catégories : inférieur ou supérieur à la moitié de ce rapport. Puis les communes dont le rapport cadres/ouvriers est supérieur au rapport de référence qui, à leur tour, sont divisées en deux catégories : inférieur ou supérieur au double du rapport de référence.

Dans l'Annexe 2.A.2.2, nous présentons l'évolution du rapport cadres/ouvriers dans les communes de l'Ile de France, de 1968 à 1999. On constate dès 1968 une concentration des cadres dans les arrondissements de l'est de Paris et dans les communes voisines, tandis que les ouvriers se retrouvent dans les communes excentrées, cette tendance se renforçant au cours du temps.

Selon nos analyses cartographiques sur l'Ile de France, on constate donc qu'il y a un processus de plus en plus important de ségrégation entre les classes sociales, un processus très évident surtout entre les cadres (les riches) et les ouvriers (les pauvres). On retrouve le schéma de localisation de type « européen » : les cadres préfèrent une localisation centrale et les ouvriers une localisation périphérique.

2.3.3.2 Les indices de ségrégation dans l'Ile de France

Les indices de ségrégation sont un outil supplémentaire qui peuvent confirmer ou infirmer les faits stylisés mis en évidence par les cartes thématiques et qui offrent des dimensions supplémentaires du processus de ségrégation socio-spatiale.

Dans la batterie d'indices que l'on a calculé, nous devons effectuer une sélection afin de ne pas trop alourdir notre démarche. Ainsi, nous allons utiliser seulement les indices les plus représentatifs pour chaque dimension. Comme on l'a vu sur les autres agglomérations urbaines, même si les indices d'égalité ont des valeurs différentes, l'ordre du niveau de ségrégation des classes sociales est quasiment le même. Concernant les indices d'interaction intra-groupes, il faut faire un choix entre l'indice d'exposition est l'indice d'exposition ajusté. Il existe une différence majeure entre les deux indices et celle-ci apparaît également pour les

autres agglomérations. Comme nous l'avons expliqué dans la comparaison entre agglomérations, l'indice d'isolement est différent de tous les autres indices en cela qu'il est influencé par la taille des populations. Or, comme les classes sont très hétérogènes, nous choisissons l'indice d'isolement ajusté, qui prend en compte la structure de la population. Rappelons également que nous avons retiré les agriculteurs de nos analyses.

Une autre « anomalie » est présentée par l'indice de regroupement absolu. Pour le calcul de cet indice, on utilise la contiguïté des unités spatiales et si l'on retrouve une catégorie dans des unités voisines qui constituent une « enclave », cela signifie qu'elle est plus regroupée et donc plus ségréguée. Ce raisonnement est logique quand les unités spatiales sont petites et lorsque l'on ne retrouve pas les classes sociales dans toutes les unités. Mais dans notre cas, les unités spatiales sont grandes (des communes) et dans chaque commune on retrouve quasiment toutes les catégories. C'est pour cette raison qu'il faut interpréter cet indice de la manière suivante : s'il a une valeur élevée, c'est que la catégorie sociale est localisée dans toutes les unités spatiales, et donc qu'elle moins ségréguée. Cette situation est la plus évidente pour les ménages sans activité. Nous avons décidé donc, de retirer cette catégorie dans les graphiques sur l'indice de regroupement absolu, parce qu'il revêt des valeurs beaucoup plus élevée que pour les autres catégories, dans chacune des agglomérations étudiées.

Les indices intra-groupes

Nous présentons dans l'Annexe 2.A.3.1 l'évolution des principaux indices de ségrégation pour chaque dimension. L'indice de ségrégation de Duncan (*IS*) confirme les faits stylisés mis en évidence par les cartes thématiques : les classes les plus ségréguées (sauf les agriculteurs) sont les cadres, les ouvriers et les indépendants. Il y a une tendance à l'augmentation du niveau de ségrégation. A l'inverse, les classes les moins ségréguées sont les ménages sans activité, les intermédiaires, les employés et retraités.

L'indice d'isolement absolu (*Eta*) confirme en grande partie ces résultats. Les classes les plus « isolées » (ségréguées) sont les cadres et les ouvriers. Pour ces deux classes, la tendance est au renforcement de la ségrégation sociale. On constate en 1975 une augmentation très forte de cet indice, qui par la suite revient à des niveaux comparables aux autres périodes.

Les ménages les plus concentrés (*ACO*) sont les indépendants, puis les cadres et les ouvriers, qui présentent une augmentation forte au cours du temps. Les ménages sans activité apparaissent de loin comme la catégorie la moins concentrée.

Notons que pour toutes les agglomérations, l'indice de centralisation absolue (*ACE*) diminue pour chacune des classes sociales. Cela montre le processus de périurbanisation ou même de fuite urbaine dans certains cas. Comme on pouvait s'y attendre, cet indice confirme le schéma européen de localisation : la catégorie la plus centralisée est constituée par les cadres (les riches) à l'opposé des ouvriers (les pauvres) qui ont les localisations les plus excentrées. Une exception de ce schéma, que l'on retrouve dans les analyses cartographiques, concerne la localisation périphérique des indépendants, qui constituent une classe plutôt riche.

Dans le graphique de l'indice de regroupement absolu (*ACL*) nous avons enlevé deux catégories : les agriculteurs (avec les niveaux les plus faibles) et les ménages sans activité (les niveaux les plus élevés). Selon notre interprétation, les catégories les plus ségréguées sont les indépendants, les cadres et les ouvriers.

Les indices inter-groupes

Dans l'Annexe 2.A.3.2 sont présentés les indices inter-groupes. Comme dans le cas des indices intra-groupes, nous avons enlevé les agriculteurs. Une analyse de ces indices est nécessaire, parce qu'ils permettent également d'analyser les interactions spatiales entre les catégories sociales. Nous avons vu que les cadres et les ouvriers sont les catégories les plus ségréguées, mais il est intéressant de savoir si cette ségrégation est relative à toutes les autres catégories, ou uniquement entre ces deux classes.

L'indice de dissimilitude de Duncan (*ID*) nous montre que la plus forte dissimilitude de localisation apparaît entre les cadres et les ouvriers, ce qui confirme le fait que ces deux classes ne sont pas seulement les plus ségréguées en valeurs absolues, mais surtout que le processus de ségrégation spatiale s'effectue principalement entre ces deux classes. On constate également une différence importante des cadres par rapport aux employés mais très faible par rapport aux indépendants et aux classes qui sont distribuées assez également. De plus, les ouvriers ont un rapprochement spatial (faible dissimilitude) avec les employés et les ménages sans activité.

Si on regarde l'indice d'interaction (*xPy*) on constate que toutes les classes ont de faibles interactions avec les indépendants, ce qui montre que cette catégorie a une tendance à la ségrégation mais aussi que le nombre de ménages qui appartient à cette catégorie est faible (moins de 3%). Mis à part les indépendants, les interactions les plus faibles sont toujours entre les cadres et les ouvriers. La catégorie avec laquelle il y a le plus d'interactions est formée par les ménages sans activité, ce qui signifie une faible ségrégation de ceux-ci. L'explication est fournie par leur nombre important et par la distribution spatiale assez également.

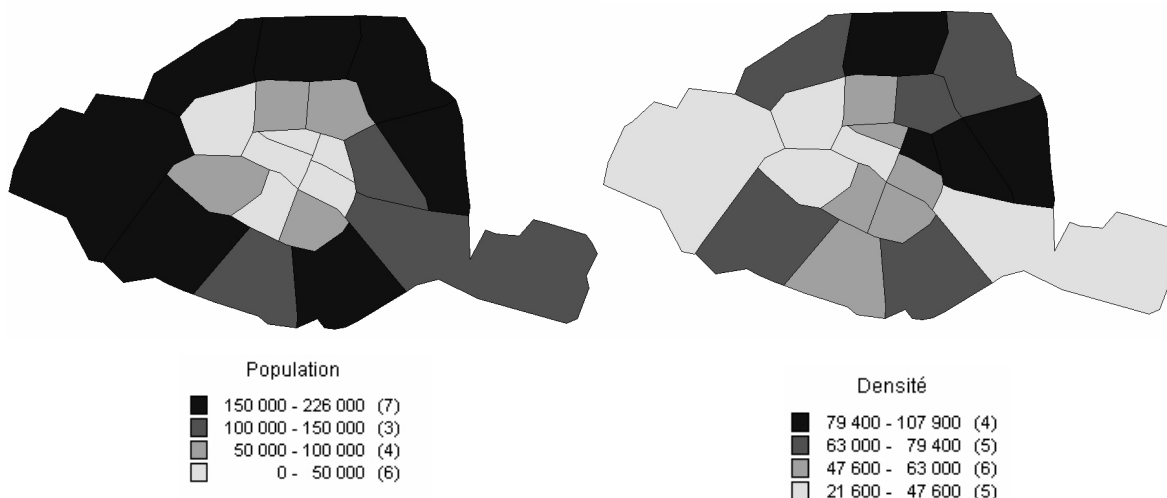
L'indice de centralisation relative (*RCE*) montre que les cadres sont plus centralisés par rapport à toutes les autres classes sociales, avec une valeur maximale par rapport aux ouvriers et une valeur minimale par rapport aux indépendants. Les indépendants (une classe riche) sont plus centralisés que les autres catégories sauf les cadres. Ce résultat nous montre un fait un peu différent par rapport aux cartes thématiques, où on voyait des indépendants concentrés dans les arrondissements de l'ouest de Paris ainsi que dans les communes périphériques d'Ile de France. Cette contradiction peut s'expliquer par l'importance en termes de population des arrondissements parisiens, ce qui fait que les indépendants restent une catégorie centralisée et qui confirme le schéma de localisation européen. A l'opposé on retrouve les ouvriers, qui sont plus excentrés que les autres catégories.

On peut en conclure que les cartes et les indices présentent une image cohérente de la localisation des ménages en Ile de France. La ségrégation socio-spatiale est présente et elle se renforce au cours du temps. Les catégories sociales les plus ségréguées sont les classes les plus riches (les cadres) et les plus pauvres (les ouvriers), la ségrégation intervenant principalement entre ces deux classes. Le schéma de localisation est typiquement européen : les ménages riches préfèrent se localiser vers le centre tandis que les ménages pauvres vers la périphérie.

2.3.3.3 Analyse de Paris

Puisqu'on dispose des données au niveau d'arrondissement, un zoom sur Paris permettra d'éclairer les tendances de localisation à l'intérieur même de la ville.

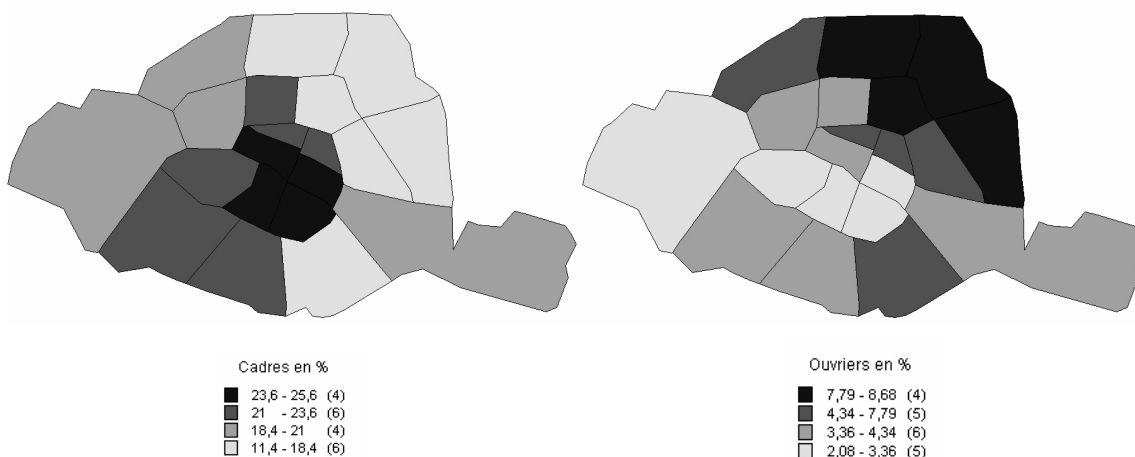
Carte 2.3 : La population totale et densité de la population à Paris



On constate tout d'abord que la concentration de la population est plus forte dans les arrondissements périphériques par rapport aux arrondissements centraux. Ce phénomène s'explique pour trois raisons : la surface plus petite des arrondissement centraux, la présence importante dans ces arrondissements de bâtiments non habités (des bâtiments administratifs, touristiques, des bureaux, etc...) mais aussi la présence dans les arrondissements périphériques de cités caractérisées par des constructions très hautes.

La distribution des cadres et des ouvriers nous montre une forte concentration des cadres dans les arrondissements centraux et une localisation des ouvriers surtout dans les arrondissements périphériques situés au nord et à l'est de Paris. Cela correspond bien à la tendance de l'ensemble de l'Ile de France, à savoir une structure socio-spatiale de type européen.

Carte 2.4: La distribution des cadres et des ouvriers à Paris



La distribution des autres classes sociales (Annexe 2.A.4.1) nous montre principalement que les indépendants préfèrent une localisation centrale où à l'ouest de Paris et que les employés se concentrent surtout dans les mêmes arrondissements que les ouvriers.

Selon l'indice de ségrégation de Duncan (Annexe 2.A.4.2), la catégorie la plus ségréguée est constitué par les ouvriers. Ils sont suivis par les indépendants et les cadres. Pour toutes les catégories la tendance est au renforcement de la ségrégation, sauf pour les cadres qui, en 1968, étaient la classe la plus ségréguée. L'indice d'isolement ajusté nous montre que les cadres et les ouvriers sont beaucoup plus « isolés » que les autres catégories. L'indice de centralisation absolue diminue pour toutes les catégories, sauf pour les cadres, qui ont une tendance de centralisation qui s'amplifie au cours du temps. Les catégories les plus centralisés sont les cadres et les indépendants (les classes les plus riches).

Les indices inter-groupes (Annexe 2.A.4.3) nous exposent le même panorama : la ségrégation la plus forte est celle entre les cadres et les ouvriers d'une part, et entre les indépendants et les ouvriers d'autre part (indice de dissimilitude). Les classes sociales ont les plus faibles interactions avec les indépendants et les ouvriers, à l'inverse des ménages sans activité. Les cadres sont plus centralisés par rapport à toutes les autres catégories sociales. Ils sont suivis par les indépendants qui sont plus centralisés aussi par rapport aux autres classes, sauf les cadres. A l'opposé se situent les employés et les ouvriers.

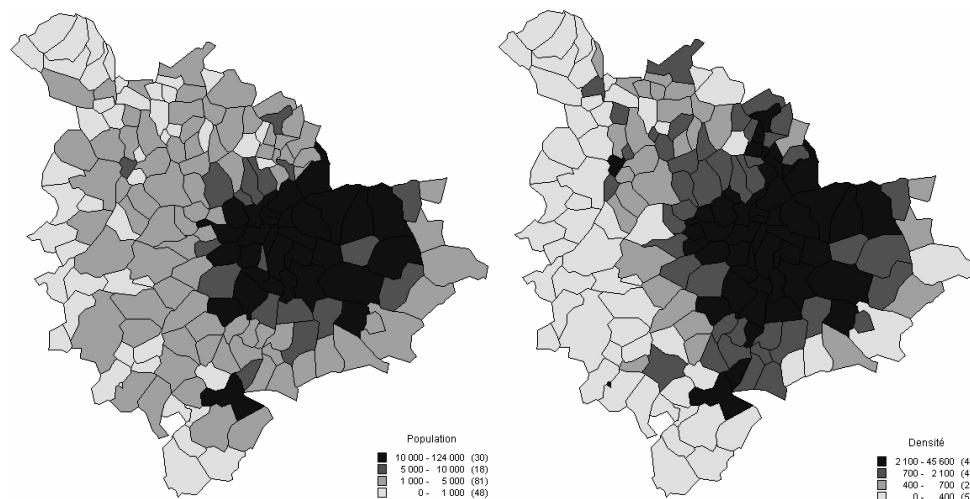
Sur Paris, nous pouvons dire que le schéma de localisation européen est vérifié : la plus forte ségrégation est celle qui existe entre les classes riches et les classes pauvres, avec une localisation centrale de la première catégorie et périphérique de la seconde.

2.3.4 L'agglomération lyonnaise

Lyon est la deuxième plus grande agglomération de France, juste après l'agglomération parisienne, et compte presque 450.000 habitants, selon le recensement de 1999. L'aire urbaine de Lyon selon la définition INSEE de 1999 compte 169 communes et une population sans double compte de plus d'un million et demi habitants.

2.3.4.1 Analyse cartographique de l'agglomération lyonnaise

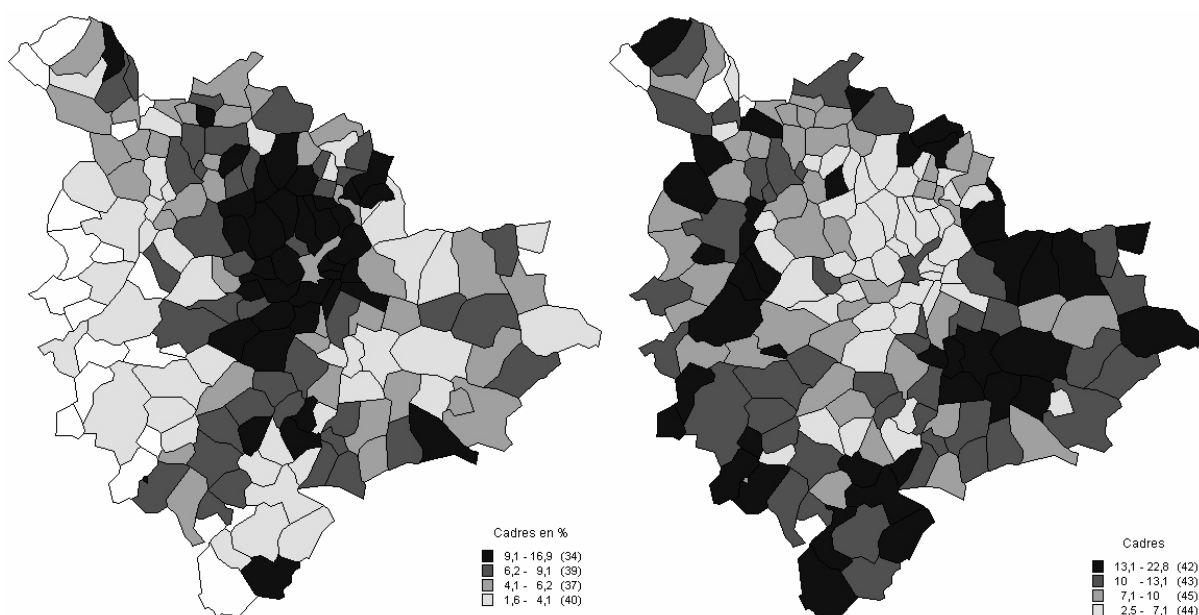
Carte 2.5 : La population totale et densité de la population dans l'agglomération lyonnaise



Une première série de cartes présentant la population totale des communes ainsi que la densité de population nous permet de voir où est concentrée cette population dans l'agglomération. Le résultat n'est pas surprenant ; on constate une forte concentration à Lyon et autour de cette ville.

Tout d'abord il s'agit de regarder la distribution des cadres et des ouvriers (les classes riches et pauvres) dans l'aire urbaine de Lyon (Carte 2.6). On constate qu'il y a une concentration des cadres dans la zone centrale de l'aire (à Lyon et les communes voisines situés à l'ouest de Lyon), Trois arrondissements faisant cependant exception (le 7^{ème}, le 8^{ème} et le 9^{ème}). On voit également que les ouvriers se localisent dans la périphérie de l'agglomération et se concentrent surtout dans les communes situées à sud-est et nord-est de Lyon.

Carte 2.6: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Lyon



L'Annexe 2.A.5.1 présente la distribution des autres catégories socio-professionnelles dans l'aire urbaine de Lyon. En regardant la distribution des agriculteurs on constate leur localisation très excentrée, dans l'est de l'agglomération. Les indépendants ont tendance à se localiser dans les communes où le pourcentage des cadres est élevé (autour de Lyon, mais pas dans la ville même). Les autres catégories ne présentent toutefois pas un schéma précis de localisation. On constate que les employés se retrouvent dans les communes avec forte concentration des ouvriers. Les retraités sont localisés surtout au centre et dans les communes de la périphérie ouest de l'aire urbaine.

Pour présenter l'évolution du rapport cadres/ouvriers nous utilisons la même méthodologie que dans le cas de l'Ile de France : on calcule le rapport moyen entre les deux catégories sociales dans l'ensemble de la région pour toutes les périodes. Ce rapport moyen constituera la référence pour chaque période. Dès lors, on constate que la moyenne a augmenté fortement au cours du temps, comme dans toute la France, de 0,15 à 0,73.

L'évolution du rapport des cadres et des ouvriers par commune offre des informations intéressantes sur l'évolution de la localisation de ces ménages dans l'aire urbaine. Ainsi, dès 1968, on constate que les ménages riches sont situés dans certains arrondissements de Lyon et dans les communes voisines à Lyon. Au fil des années, ils continuent de se concentrer dans cette zone qui s'élargit. Selon ces cartes, le processus de ségrégation entre ces deux classes se renforce au cours du temps, avec une tendance à la centralisation des cadres. Dans le même temps, ce rapport présente des valeurs faibles (ce qui signifie une concentration des ouvriers) dans les communes périphériques de l'agglomération. Ainsi, l'aire urbaine de Lyon présente les caractéristiques de la « ville européenne ».

2.3.4.2 Les indices de ségrégation dans l'agglomération lyonnaise

Analyses inter-indices

Une première analyse inter-indices est nécessaire pour voir s'ils sont compatibles ou s'ils présentent des résultats différents (Annexe 2.A.6.1). Concernant les indices d'égalité intra-groupes (l'indice de ségrégation de Duncan, l'indice de Gini et l'entropie) même si les grandeurs changent, l'ordre reste quasiment la même, ce qui signifie que l'on peut utiliser un seul indicateur dans nos analyses. Les deux indices d'exposition présentent des résultats contradictoires. C'est l'indice d'exposition ajusté que l'on utilisera car il tient compte de la taille de la population dans chaque unité spatiale. Les deux indicateurs de concentration présentent des résultats proches sauf pour la catégorie la plus concentrée et la catégorie la moins concentrée (les agriculteurs et les cadres) qui sont inversées. L'indicateur qui nous paraît le plus pertinent est l'indice de concentration absolue.

Analyse temporelle

Une analyse temporelle des indices intra-groupe permet de mettre en évidence l'évolution de la ségrégation dans l'aire urbaine lyonnaise (Annexe 2.A.6.2). Dans les graphiques, nous retirons les données concernant les agriculteurs qui présentent des valeurs beaucoup plus importantes que les autres catégories.

La catégorie sociale la plus ségréguée dans toute la période, selon l'indice de ségrégation de Duncan, est constituée par les cadres. Cette ségrégation s'accroît légèrement au cours du temps. Les ouvriers, qui en 1968 connaissaient une ségrégation faible, se sont fortement ségrégués, et constituent ainsi en 1999 la deuxième classe la plus ségréguée. Les indépendants représentent la troisième catégorie sociale dans le classement. Les retraités qui dans la période 1968-1982 constituaient la deuxième classe ségréguée, ont connu une répartition plus égalitaire dans l'agglomération lyonnaise.

L'indice d'isolement ajusté confirme cette évolution où on retrouve les cadres et les ouvriers comme classes les plus « isolées », la ségrégation ayant augmenté quasi-linéairement au cours du temps. La catégorie socio-professionnelle des retraités connaît également la même évolution que celle décrite par l'indice de Duncan.

L'indice de concentration absolue voit sa valeur légèrement augmenter pour toutes les catégories. On constate tout de même que les cadres sont la catégorie la plus concentrée, suivis par les indépendants.

L'indice de centralisation absolue présente des valeurs négatives pour les agriculteurs ce qui signifie que cette catégorie se localise dans les communes les plus excentrées de l'aire urbaine. Cet indicateur diminue au cours du temps et la catégorie la plus centralisée pendant toute la période d'analyse est constituée des cadres, alors que ce sont les ouvriers qui représentent la catégorie la plus localisée dans la périphérie. Pour les autres catégories les valeurs de l'indice sont intermédiaires.

Dans l'analyse de l'indice de regroupement absolu, nous ne prenons pas en considération les personnes sans activité car cette catégorie se trouve dans toutes les communes et l'indice associé présente donc des valeurs beaucoup plus importantes que pour les autres classes. Les indépendants, les cadres et les ouvriers présentent les valeurs les plus faibles, ce qui signifie que ces catégories n'occupent pas des communes contiguës, et sont donc les plus ségréguées.

Interactions entre classes sociales

Pour le moment, nous nous sommes intéressés aux indices intra—groupe sans regarder les interactions qui existent entre les membres des différentes catégories. Les indices inter-groupes pour le dernier recensement de la population sont présentés dans l'Annexe 2.A.6.3.

L'indice de dissimilitude de Duncan mesure la séparation spatiale entre les catégories sociales. Les classes les plus ségréguées entre elles sont, comme on s'y attendait, les cadres et les ouvriers. Ainsi, ces deux catégories présentent non seulement un niveau de ségrégation très important, mais cette ségrégation intervient entre ces deux groupes. Les cadres sont les moins ségrégués par rapport aux indépendants, et les ouvriers par rapport aux employés.

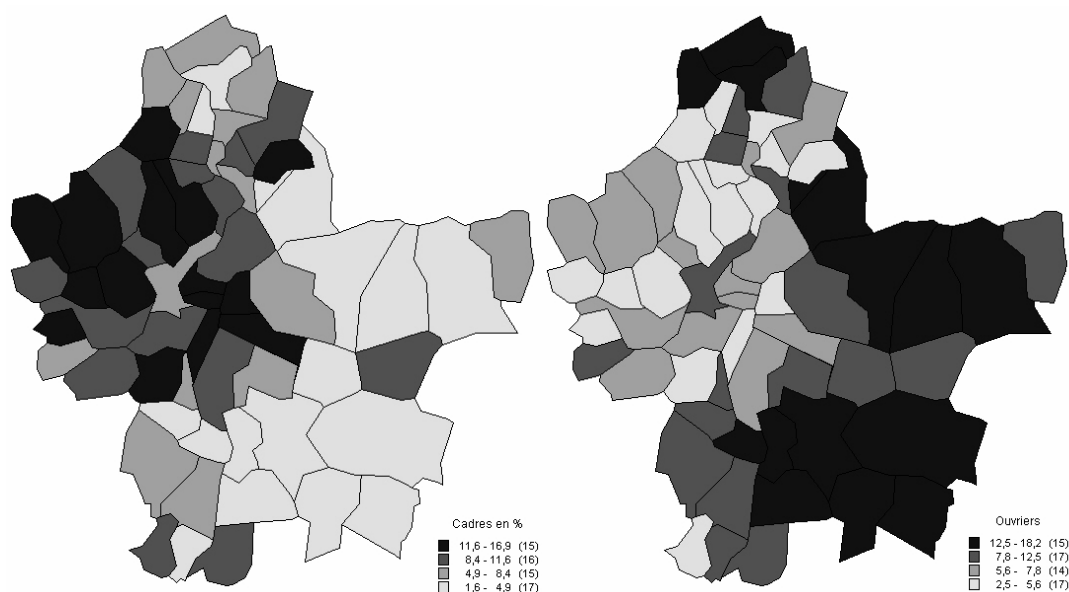
Selon l'indice d'interaction, les cadres ont la probabilité la plus faible de partager la même unité spatiale avec les intermédiaires, les ouvriers et les employés, tandis que les ouvriers ont peu d'interactions avec les cadres. Les chômeurs ont le plus d'interactions avec les autres catégories sociales et les retraités, ce qui signifie que ces deux classes sont les plus localisées de façon très égalitaire.

L'indice de concentration relative prend la valeur maximale entre les cadres et les ouvriers. Cela confirme le fait que les deux catégories sociales ne sont pas seulement les plus ségréguées, mais que cette ségrégation est la plus forte entre elles. Les cadres sont les plus centralisés, par rapport à toutes les autres catégories, surtout par rapport aux ouvriers. Sauf une exception, l'indice de proximité spatiale possède des valeurs supra-unitaires, ce qui signifie que les individus sont enclins à se localiser près de leur classe sociale. Notons que la seule valeur inférieure à 1 correspond à celle entre les indépendants et les chômeurs.

2.3.4.3 Analyse sur la communauté urbaine Grand Lyon

Une comparaison entre deux zones de dimensions différentes, dont une inclut l'autre, peut être intéressante pour voir si les schémas de ségrégation restent les mêmes si on prend en compte la totalité de la zone étudiée ou seulement une partie plus restreinte (la ville même et les communes avoisinantes). La communauté Grand Lyon incorpore 55 communes de l'aire urbaine.

Carte 2.7: La distribution des cadres et des ouvriers dans la communauté urbaine Grand Lyon



On constate le même schéma de localisation centrale et dans l'ouest de la communauté urbaine des cadres et une localisation périphérique des ouvriers, avec une concentration dans le sud-est et le nord-est du Grand Lyon.

Les indices de ségrégation (Annexe 2.A.6.4) présentent des résultats très proches au niveau de la communauté urbaine et de l'agglomération urbaine : les cadres et les ouvriers sont les classes les plus ségréguées, ségrégation qui se renforce au cours du temps. La

centralisation a tendance à diminuer, les cadres étant la catégorie la plus centralisée et les ouvriers la catégorie la plus excentrée.

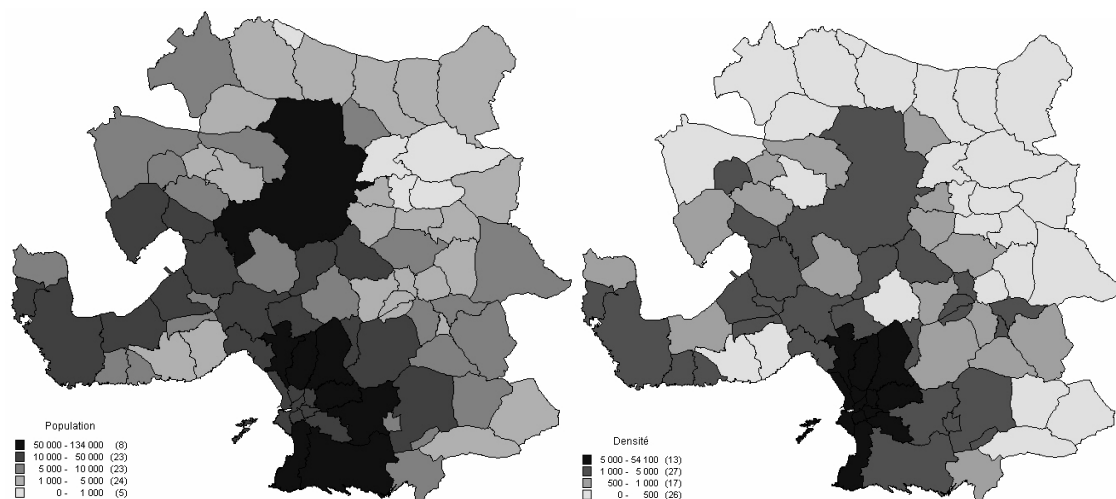
Comme dans le cas de Paris, l'agglomération lyonnaise présente les caractéristiques d'une ville de type « européen » : les ménages riches (les cadres, mais aussi les indépendants) se localisent dans les communes centrales de l'agglomération (et dans les arrondissements centraux de Lyon pour l'analyse au niveau de communauté urbaine) et les ménages pauvres dans la périphérie. Ces classes sont les plus ségréguées.

2.3.5 L'agglomération Marseille – Aix-en-Provence

2.3.5.1 Analyses cartographiques

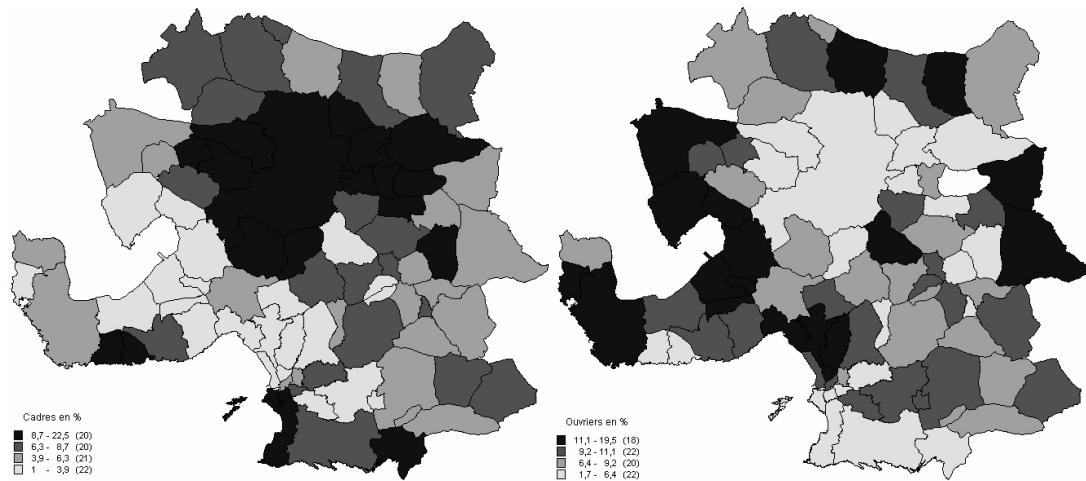
Cette aire urbaine est la troisième de la France avec une population de plus d'un million et demi d'habitants. Elle est composée de 68 communes, dont deux grandes villes : Marseille avec plus de 800.000 habitants et Aix-en-Provence avec plus de 130.000 habitants. La ville de Marseille est divisée en 16 arrondissements.

Carte 2.8 : La population et la densité dans l'agglomération Marseille - Aix-en-Provence



Si l'on regarde la distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine, on constate que les cadres se concentrent en deux pôles : à Aix-en-Provence et dans les communes voisines et dans les arrondissements centraux et littoraux de Marseille. Ainsi , on assiste à une bipolarisation de l'agglomération : les cadres (les riches) préfèrent une localisation centrale dans l'aire urbaine (à Aix) à proximité des industries de haute technologie, mais aussi une localisation centrale ou proche de la mer (qui constitue une aménité) dans la ville de Marseille. Les ouvriers sont concentrés dans la périphérie de l'aire et dans les arrondissements du nord de Marseille.

Carte 2.9 : La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine Marseille – Aix



Comme on peut le constater dans l'Annexe 2.A.7.1, les agriculteurs sont de nouveau localisés dans les communes périphériques de l'agglomération, principalement au nord. Les indépendants et les intermédiaires sont plus nombreux dans les communes autour de Marseille et d'Aix, donc à proximité des cadres. Les employés se localisent surtout autour de Marseille, proche des zones ouvrières. On constate une forte concentration des retraités dans les zones littorales. Les ménages sans activité se localisent surtout dans les arrondissements nordiques de Marseille, où se trouvent les ouvriers.

L'évolution dans le temps du rapport des cadres et des ménages ouvriers dans les communes de l'aire urbaine est présentée dans l'Annexe 2.A.7.2. La concentration des ménages riches à Aix et dans les arrondissements centraux et littoraux de Marseille est présente dès 1968 et se renforce au cours du temps. On constate notamment une forte augmentation du rapport cadres/ouvriers qui passe de 0,17 en 1968 à 0,64 en 1999.

Dans l'agglomération Marseille - Aix la ségrégation sociale est présente surtout entre les classes riches et les classes pauvres (cadres - ouvriers), ségrégation qui devient de plus en plus importante. Le schéma de l'agglomération n'est toutefois pas typiquement européen, car les cadres sont concentrés en deux pôles : les arrondissements centraux et littoraux de Marseille et Aix-en-Provence et les communes voisines.

2.3.5.2 Les indices de ségrégation dans l'agglomération Marseille – Aix-en-Provence

Nous allons vérifier et développer les faits stylisés mis en évidence par les cartes thématiques, avec une analyse des indices de ségrégation. Ces indices sont présentés dans les Annexe 2.A.7.

La comparaison entre indices présente les mêmes résultats que pour les autres agglomérations : les indices d'égalité et de concentration présentent quasiment le même ordre dans le classement de la ségrégation, tandis que les indices d'exposition sont opposés. Dans l'analyse de l'évolution des indices de ségrégation (Annexe 2.A.7.1), on enlève, comme dans les cas précédents, les agriculteurs qui constituent un groupe minoritaire et très ségrégué par rapport aux autres.

Selon l'indice de ségrégation de Duncan, la catégorie la plus ségréguée est formée par les cadres, avec une ségrégation qui varie peu au cours du temps. Concernant les ouvriers, leur niveau de ségrégation a beaucoup augmenté et ils se retrouvent en 1999 à la seconde place. Une autre catégorie ayant une tendance encore plus forte à la ségrégation est constituée des indépendants. Les catégories réparties de façon plus égalitaire sont les employés, puis les ménages sans activité et les intermédiaires. Encore une fois, on constate que les catégories les plus riches et les plus pauvres ont la tendance la plus importante à la ségrégation sociale, tendance qui s'amplifie au cours du temps, au contraire des classes moyennes, des ménages sans activité et des retraités.

L'indice d'exposition ajusté montre toujours les cadres et les ouvriers comme les catégories qui se ségréguent le plus, avec une tendance de renforcement au cours du temps. L'indice de concentration absolue prend des valeurs très proches selon les catégories sociales, avec la valeur maximale pour les ouvriers et les indépendants. Les ménages sans activité présentent toutefois un niveau de concentration beaucoup plus faible que les autres catégories sociales.

L'indice de centralisation absolue confirme les analyses cartographiques. Comme on l'a vu dans les cartes thématiques, les cadres sont concentrés en deux « centres » : les arrondissements centraux de Marseille, mais surtout dans le deuxième pôle urbain (Aix-en-Provence). Ainsi l'indice de centralisation devrait être plus faible pour les cadres. Ce fait se retrouve dans l'évolution de l'ACE. De plus, la proportion importante de retraités à Marseille et ses alentours est vérifiée par la valeur la plus importante de cet indice pour cette catégorie. Un autre constat est la diminution importante de la centralisation pour toutes les catégories sociales. Ce phénomène de « fuite » urbaine se retrouve dans plusieurs agglomérations françaises, mais il paraît beaucoup plus évident à Marseille.

Les indépendants, les cadres et les ouvriers présentent les valeurs les plus faibles de l'indice de regroupement absolu. Signalons néanmoins que, comme l'a déjà évoqué, l'interprétation est inverse par rapport à l'interprétation habituelle, puisque les unités spatiales sont très grandes. Ainsi, ces trois catégories sont les plus ségréguées. Dans le graphique de

l'évolution de ACL, nous avons supprimé les valeurs concernant les ménages sans activité, parce qu'ils sont localisés dans toutes les communes.

L'analyse d'interactions entre les classes sociales est présentée dans l'Annexe 2.A.8.3. L'indice de dissimilitude de Duncan présente la dissimilitude la plus élevée entre les cadres et les ouvriers, ce qui confirme la tendance de ces deux classes à se ségréger, surtout entre elles. Les cadres ont également une tendance forte à la ségrégation par rapport aux employés et aux ménages sans activité. A l'inverse, ils ont une similitude de localisation avec les intermédiaires et les indépendants. Les ouvriers, à part leur très forte dissimilitude vis-à-vis des cadres, présentent également des niveaux de ségrégation forte par rapport aux indépendants et intermédiaires. Ils sont proches des ménages sans activité et des employés.

Les interactions les plus importantes se font avec les ménages sans activité. Cela signifie que cette catégorie se localise quasiment dans toutes les unités spatiales et qu'elle est proche de toutes les autres catégories sociales. Les autres catégories très « exposées » aux autres sont les retraités, les employés et les intermédiaires. A l'opposé, on retrouve les indépendants, puis les cadres et les ouvriers.

Les indices de concentration relative et de centralisation relative confirment les tendances dégagées par ces indices en valeur absolue. L'indice de proximité spatiale est supra-unitaire, ce qui signifie que toutes les classes sociales ont tendance à se regrouper.

2.3.5.3 La communauté urbaine de Marseille

La communauté urbaine de Marseille inclue 18 communes, mais parmi lesquelles on ne retrouve pas le deuxième pôle urbain : Aix-en-Provence. Dans nos analyses, nous ajoutons trois communes à la communauté urbaine, pour avoir un espace urbain plus contigu. Une analyse portée seulement sur cette zone peut être intéressante pour vérifier le schéma de localisation de type européen, qui au niveau de l'aire urbaine est biaisée par la bipolarisation de la zone et la forte concentration des ménages riches dans le deuxième pôle urbain.

Carte 2.10: Les cadres et les ouvriers dans la communauté urbaine de Marseille



Une analyse de la distribution des cadres et des ouvriers portée seulement sur la communauté de Marseille, nous montre que les cadres sont localisés surtout dans les arrondissements centraux et au littoral. Les ouvriers sont concentrés en périphérie, surtout dans les arrondissements au nord de Marseille. Ainsi, il apparaît qu'au niveau de la communauté urbaine, la structure de type européen est vérifiée.

Nous allons vérifier cette hypothèse à l'aide des indices de ségrégation (Annexe 2.A.8.4). L'indice de ségrégation de Duncan et l'indice d'exposition ajusté, montrent la même tendance qu'au niveau de l'aire urbaine : les classes les plus ségréguées restent les cadres et les ouvriers. En regardant l'indice de centralisation absolu, le résultat est très différent de l'aire urbaine et confirme ce que l'on peut voir grâce aux cartes au niveau de communauté urbaine : les cadres représentent désormais une classe très centralisée (juste après les retraités) et les ouvriers une classe très périphérique (juste après les indépendants). Le phénomène de fuite urbaine est mis en évidence par la diminution forte de la centralisation de toutes les classes sociales.

En conclusion, concernant l'agglomération de Marseille – Aix-en-Provence, la ségrégation entre les classes sociales est forte et se renforce au cours du temps. Les catégories les plus ségréguées, mis à part les agriculteurs sont les cadres et les ouvriers. Le schéma de localisation de type européen (centre riche, périphérie pauvre) n'est pas vérifié, du fait de la bipolarisation de l'aire urbaine et la concentration de cadres dans le deuxième pôle urbain : Aix-en-Provence. Mais si on regarde les deux pôles, chacun présente une localisation tout à fait européenne : cadres au centre, ouvriers en périphérie.

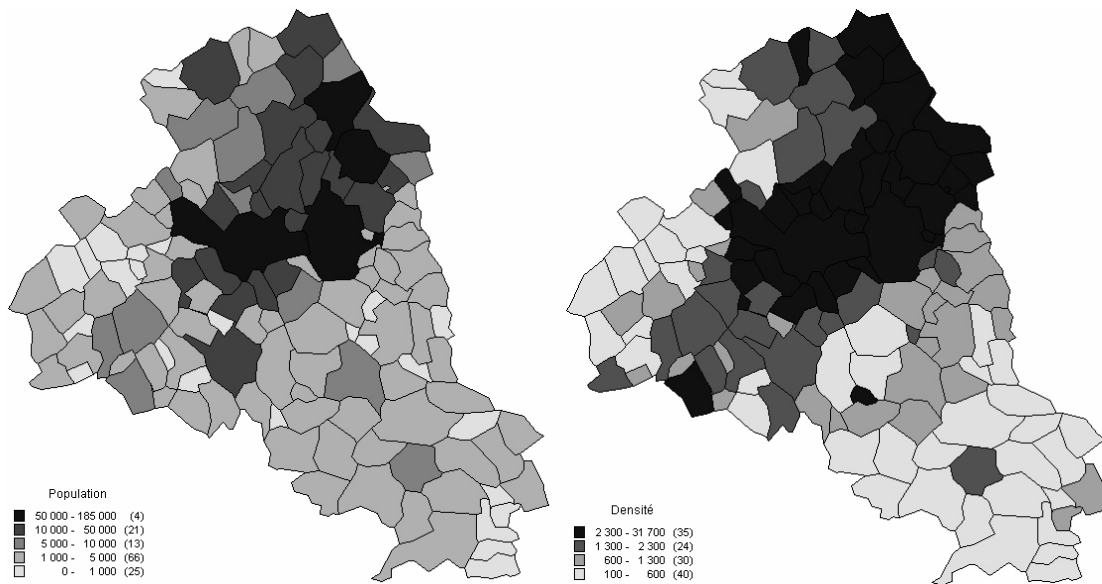
2.3.6 L'agglomération lilloise

2.3.6.1 Analyses cartographiques

L'aire urbaine de Lille, qui compte plus de 1.100.000 habitants représente la quatrième agglomération urbaine française. Cette aire urbaine se différencie des précédents par son caractère transfrontalier. Ainsi, elle inclue également des communes situées en Belgique autour de Courtrai, mais cette population n'est pas prise en compte dans nos analyses.

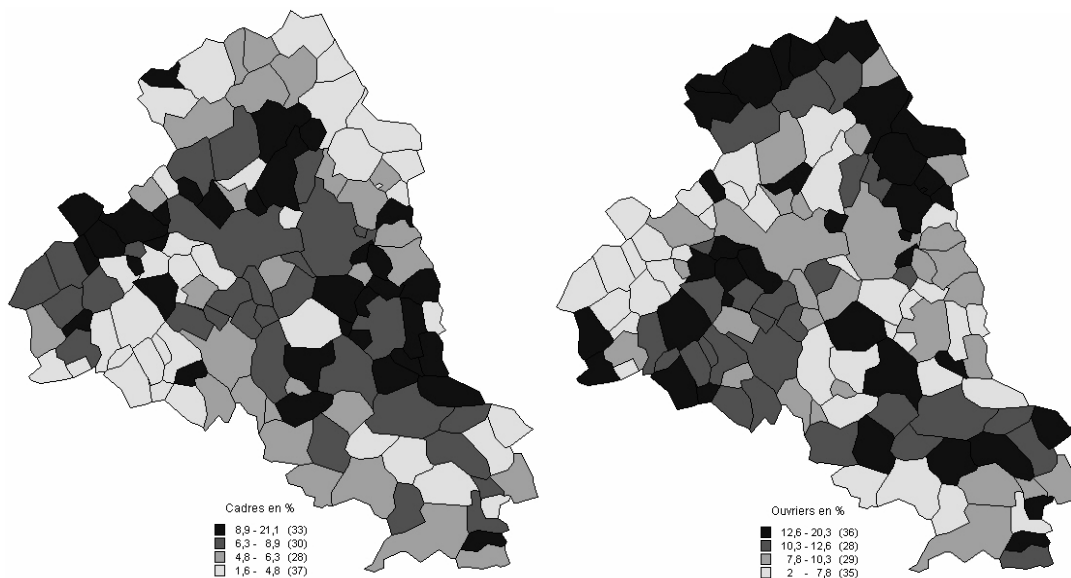
Comme on le voit avec la Carte 2.11, l'agglomération est dominée par deux pôles urbains : Lille – Villeneuve d'Ascq et Tourcoing - Roubaix.

Carte 2.11 : La population et la densité de la population dans l'agglomération lilloise



Les cadres sont localisés surtout dans des communes riches autour de Lille et de Villeneuve d'Ascq (comme Lambersart, Marcq-en-Baroeul) et les ouvriers ont une localisation périphérique, surtout à Roubaix et Tourcoing et dans les communes frontalières :

Carte 2.12: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Lille



Si l'on regarde les cartes de distribution spatiale dans l'aire urbaine des autres catégories socio – professionnelles (Annexe 2.A.9.1), on peut voir notamment que les agriculteurs se localisent principalement dans les communes périphériques de l'agglomération. Il est par ailleurs intéressant de noter que les indépendants n'ont pas une localisation centrale, et qu'ils sont concentrés dans des communes situées dans une deuxième

couronne autour de Lille. Les intermédiaires, les employés et les retraités ont une distribution assez aléatoire. On constate une très faible proportion des retraités et une part importante des ménages sans activité à Lille et Villeneuve d'Ascq.

Le rapport des cadres et des ouvriers (Annexe 2.A.9.2), nous montre la tendance à la concentration des cadres au centre de l'agglomération (Lille et les communes voisines), tandis que les ouvriers se regroupent à Roubaix – Tourcoing. Ce phénomène peut s'expliquer par les mutations économiques qu'a connu cette agglomération (la fermeture des mines et des entreprises de textiles et le développement du tertiaire).

2.3.6.2 Les indices de ségrégation

Dans l'Annexe 2.A.10.1, nous présentons l'évolution des principaux indices de ségrégation intra-groupes. Selon l'indice de ségrégation de Duncan, les cadres sont la catégorie la plus ségrégée, et cette ségrégation a un profil temporel légèrement ascendant. Comme dans les cas précédents, les ouvriers se retrouvent sur la deuxième place, mais avec une très forte augmentation de leur niveau de ségrégation. Une autre catégorie socio-professionnelle très ségrégée est constituée par les indépendants. Les autres catégories ont des niveaux de ségrégation plus faibles qui diminuent au cours du temps.

Les catégories les plus « isolées » sont toujours les cadres et les ouvriers, avec une augmentation très forte. L'indice de concentration absolu montre des niveaux très proches entre les catégories sociales, sauf pour les ménages sans activité, qui connaissent une répartition assez égalitaire dans l'espace. Le niveau de centralisation diminue dans le temps, ce qui confirme le processus de périurbanisation. Les cadres sont les plus centralisés, à l'opposé des ouvriers qui ont la localisation la plus périphérique. L'indice de regroupement absolu prend les valeurs maximales pour les retraités et les employés, ce qui signifie que ces deux catégories se retrouvent dans quasiment toutes les communes de l'agglomération, contrairement aux cadres et aux indépendants qui ont les indices les plus bas. On constate une très forte diminution de cet indice pour les ouvriers ce qui montre leur tendance à se ségréger par rapport aux autres catégories.

Les indices inter-groupes sont présentés dans l'Annexe 2.A.10.2. Selon l'indice de dissimilitude, la ségrégation la plus forte se fait entre les cadres et les ouvriers. Toutes les classes sociales ont des interactions fortes avec les ménages sans activité parce que ces ménages se retrouvent dans toutes les communes. Au contraire, les interactions avec les indépendants sont très faibles. Les cadres sont plus centralisés par rapport à toutes les autres catégories, avec la centralisation relative la plus forte par rapport aux ouvriers, ces derniers

représentant la classe la moins centralisée. L'indice de proximité spatiale connaît des valeurs supérieures à un, ce qui se traduit par une tendance des ménages à se localiser dans la proximité des ménages appartenant à la même catégorie sociale que la leur.

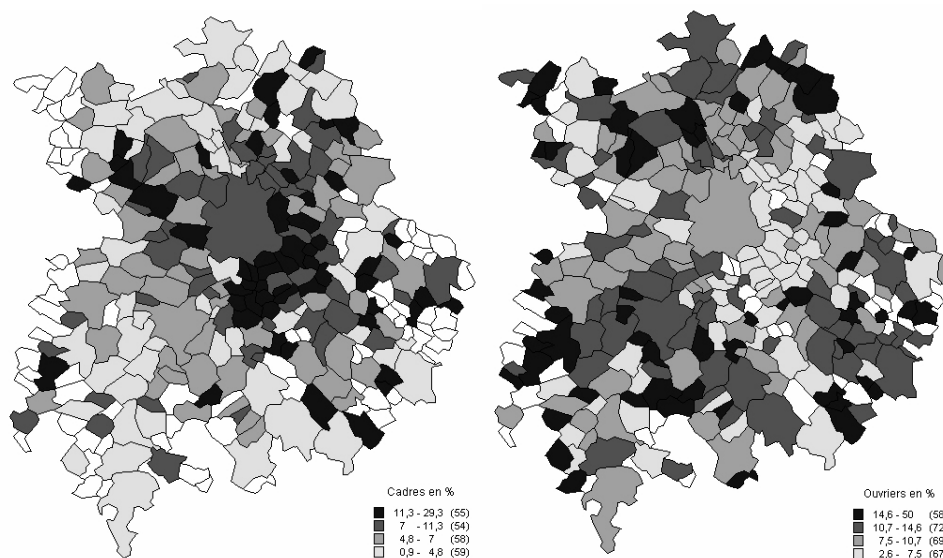
2.3.7 Les autres agglomérations françaises

Nous allons reprendre l'analyse menée antérieurement sur d'autres agglomérations françaises importantes, mais en se concentrant seulement sur les aspects les plus significatifs. Ainsi, le détail notre analyse portera plus précisément sur la localisation des cadres et des ouvriers, puisque ces deux catégories représentent les classes les plus riches et les plus pauvres. Concernant les indices de ségrégation, nous ne prenons en compte que les indices intra-groupes, car nous avons vu que les indices inter-groupe confirment les résultats obtenus par le premier type d'indices. De plus, nous ne sélectionnons que les indices intra-groupes les plus importants à savoir l'indice de ségrégation (pour mesurer le niveau de ségrégation) et l'indice de centralisation (pour mettre en évidence la tendance de centralisation des classes sociales).

2.3.7.1 Aire urbaine de Toulouse

L'aire urbaine de Toulouse compte presque un million d'habitants, dont presque 400.000 dans la ville de Toulouse. La répartition des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine (Carte 2.13), montre que le schéma de localisation de type européen est de nouveau confirmé : les cadres se localisent au centre de l'agglomération (Toulouse et les communes voisines) et les ouvriers se localisent dans la périphérie.

Carte 2.13: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Toulouse



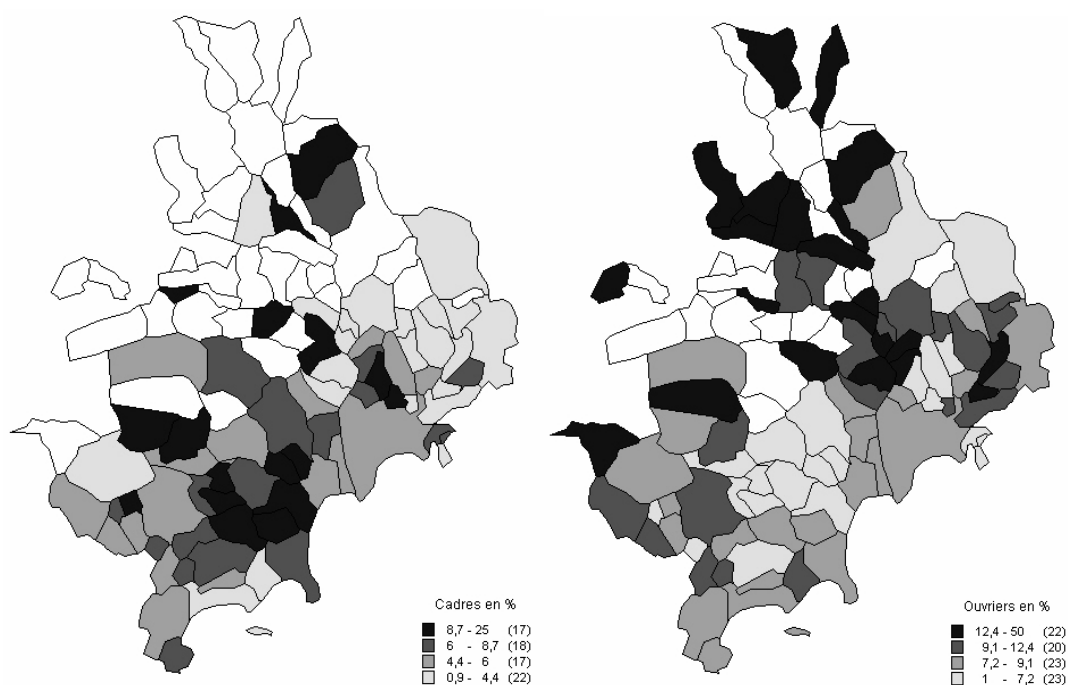
L'indice de ségrégation de Duncan (Annexe 2.A.11.1) nous montre que les indépendants, les cadres et les ouvriers constituent les classes les plus ségréguées, avec une augmentation forte du niveau de ségrégation pour les ouvriers et surtout pour les indépendants. Comme dans les autres agglomérations, la centralisation diminue. Les cadres sont les plus centralisés. A l'opposé, on trouve les indépendants (une caractéristique qui ne respecte pas le schéma de localisation européen et qui est retrouvée dans plusieurs agglomérations françaises) et les ouvriers.

2.3.7.2 Aire urbaine de Nice

L'agglomération niçoise, qui compte plus de 900.000 habitants, présente la particularité d'être une agglomération côtière. Ainsi, puisque la ville de Nice est littorale, la configuration centre-périphérie est moins évidente. On constate une concentration de cadres autour de Nice et dans les communes littorales, tandis que les ouvriers paraissent plus excentrés dans leur localisation (Carte 2.14).

Dans l'Annexe 2.A.11.2, selon l'indice de ségrégation, comme dans l'agglomération toulousaine, les catégories les plus ségréguées sont les indépendants et les cadres, avec une tendance de renforcement pour les indépendants. Les ouvriers présentent un niveau de ségrégation moyen. La centralisation la plus forte concerne les cadres, alors que les indépendants se localisent plus vers la périphérie.

Carte 2.14: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Nice

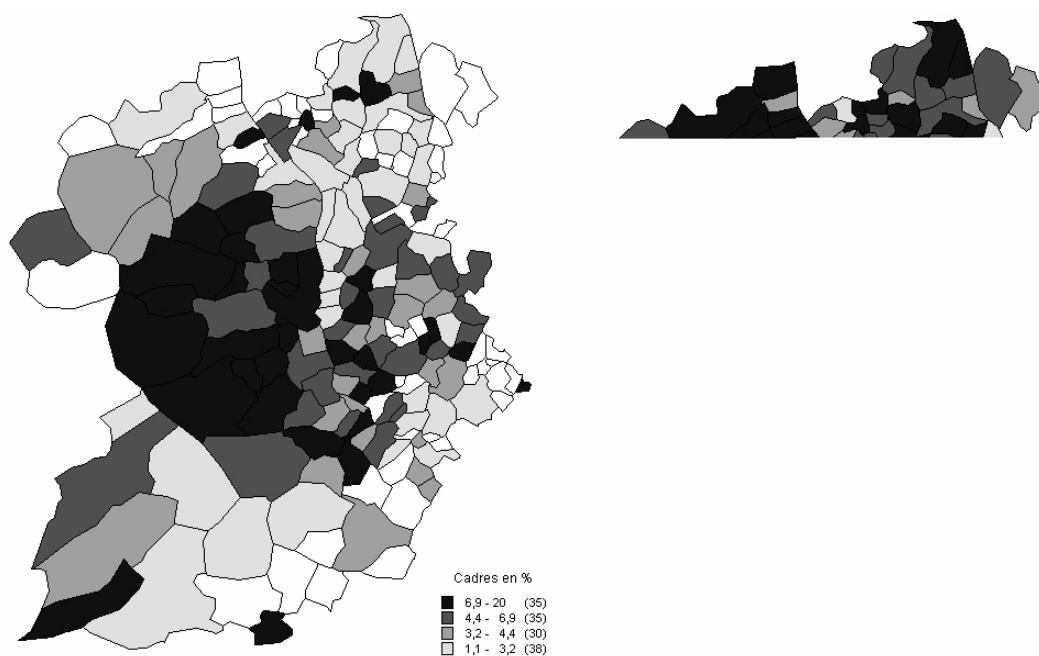


2.3.7.3 Aire urbaine de Bordeaux

L'aire urbaine de Bordeaux, qui compte plus de 900.000 habitants, présente très clairement le schéma de localisation de type européen : une centralisation forte des cadres (et dans les communes littorales) et une périphéricité prononcée des ouvriers.

Cette situation est confirmée par les indices de ségrégation (Annexe 2.A.11.3), qui présentent les mêmes propriétés que celles des principales agglomérations françaises étudiées : l'indice de ségrégation de Duncan a les valeurs les plus importantes pour les cadres, puis les ouvriers (avec une augmentation au cours du temps) et les indépendants. La catégorie la plus centrée est constituée par les cadres. Les localisations les plus périphériques proviennent des ouvriers des indépendants.

Carte 2.15: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Bordeaux

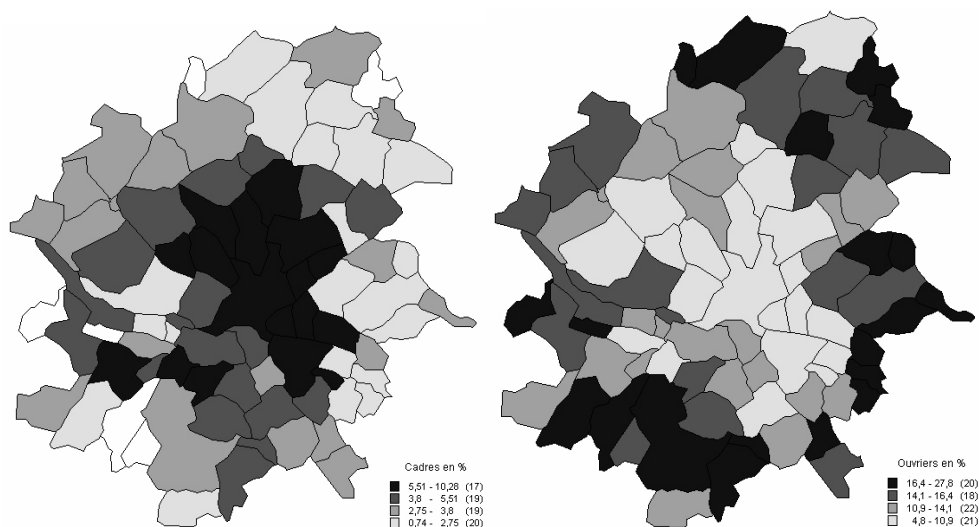


2.3.7.4 Aire urbaine de Nantes

L'aire urbaine de Nantes compte plus de 700.000 habitants. Encore une fois le schéma européen de localisation est très évident (Carte 2.16), avec une localisation centrale des cadres et une localisation périphérique des ouvriers.

Les indices de ségrégation (Annexe 2.A.11.4) montrent la même situation que pour l'agglomération bordelaise : les classes les plus ségréguées sont les cadres (qui sont localisés vers le centre) et les ouvriers (localisés en périphérie).

Carte 2.16: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Nantes

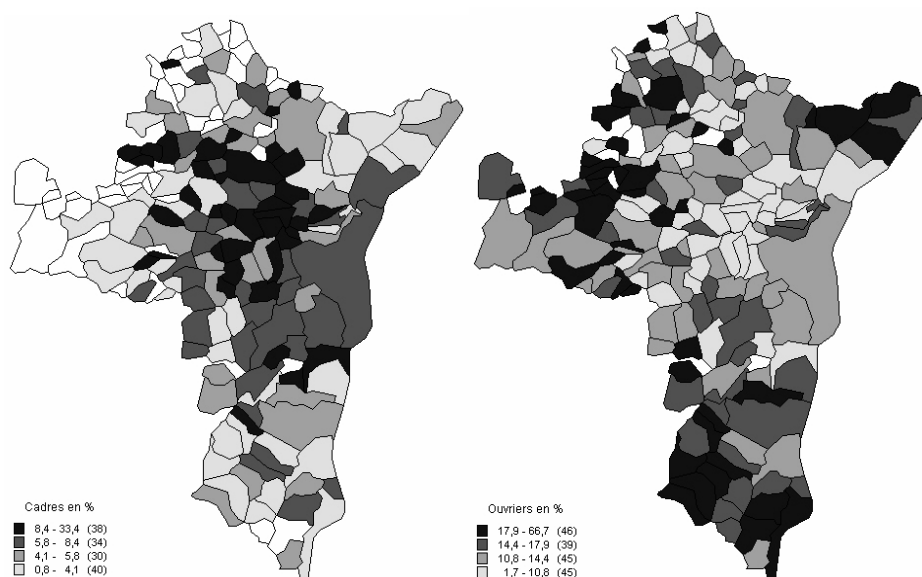


2.3.7.5 Aire urbaine de Strasbourg

L'aire urbaine de Strasbourg, avec plus de 600.000 habitants, présente la particularité (tout comme Lille) d'avoir une partie de ses communes situées en dehors de la France. Notre analyse ne porte toutefois que sur la partie française de l'agglomération.

Selon la Carte 2.17, les cadres sont plus centralisés que les ouvriers. La catégorie la plus ségréguée (Annexe 2.A.11.5) est constituée par les indépendants. Les cadres et les ouvriers restent très ségrégués, même si, pour les premiers, le niveau de l'indice de ségrégation a beaucoup baissé au cours du temps. Enfin, les cadres représentent la catégorie la plus centralisée à l'opposé des ouvriers et des indépendants.

Carte 2.17: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Strasbourg



2.3.7.6 Aire urbaine de Toulon

L'aire urbaine de Toulon représente la dixième agglomération française en termes de population (plus de 550.000 habitants).

Carte 2.18: La distribution des cadres et des ouvriers dans l'aire urbaine de Toulon



Dans cette agglomération, la localisation des différentes catégories est moins nette. Les facteurs qui peuvent jouer sont la situation géographique de la ville (littoral), mais aussi la faiblesse du nombre de communes de l'aire urbaine. Les indices de ségrégation (Annexe 2.A.11.6) présentent les indépendants et les cadres comme les classes les plus ségréguées. La centralisation est très proche pour toutes les catégories, sauf les indépendants qui sont très excentrées.

2.4 SEGREGATION ENTRE NATIONALITES

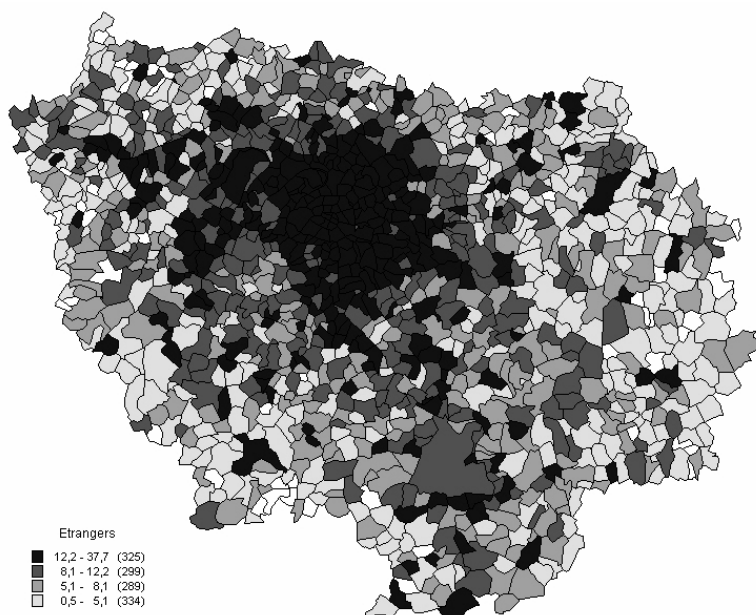
Nous analysons à présent la ségrégation entre les ménages de nationalités différentes. Pour cela, nous utilisons les recensements de la population jusqu'en 1990. Il nous est impossible d'effectuer une analyse sur le recensement de 1999, parce qu'à cette date la nationalité du ménage est devenue confidentielle.

Nous avons reparti les ménages, selon leur nationalité, en 7 catégories : France, Europe de Nord (où l'on inclut les Etats-Unis et le Canada), Europe de Sud, Europe de l'Est (Turquie et pays de l'ancienne Union Soviétique inclus), Maghreb, Afrique (sans les pays maghrébins) et Autres (Asie, Océanie, Amérique). Dans toutes les cartes thématiques, nous utilisons les valeurs relatives, pour les données du dernier recensement avec nationalité détaillée (le RP de 1990).

2.4.1 Ile de France et Paris

Un premier regard au niveau d'Ile de France nous montre une concentration des étrangers au centre de la région (Paris et communes voisines) :

Carte 2.19: La distribution des étrangers dans l'Ile de France



Ce constat est vérifié pour l'ensemble des aires urbaines étudiées. L'explication principale provient du fait que les étrangers arrivant en France sont attirés par les pôles urbains, où il y a des opportunités d'emploi. Mais il paraît plus intéressant et plus pertinent de regarder la localisation des ménages à l'intérieur du pôle urbain, pour voir si effectivement

ces ménages ont tendance à la centralisation ou non. C'est pour cette raison que nous allons étudier plus en détails les trois plus grandes agglomérations françaises, pour lesquelles on dispose des données infra-communales. Pour les autres, nous allons nous contenter d'une analyse sommaire du niveau de ségrégation.

Pour Paris, les données sont disponibles à l'échelon de l'arrondissement. Des cartes thématiques avec la distribution en termes relatifs des différentes catégories ethniques de ménages (Annexes 2.B.1) nous montrent une tendance des français à se localiser dans le centre et le sud du Paris. Les ménages originaires de l'Europe de Nord et du Sud, présentent eux aussi une localisation centrale. Les ménages venus de l'Europe de l'Est, mais surtout les ménages d'origine maghrébine et africaine se concentrent dans les arrondissements périphériques de nord-est (le 18-ème, le 19-ème et le 20-ème arrondissement). Cette concentration peut s'expliquer par plusieurs facteurs : le plan d'urbanisme avec la présence de HLM, mais aussi les externalités de voisinage (la présence des membres de la même catégorie sociale). On constate une forte concordance entre la localisation des ménages d'origine africaine et maghrébine et la localisation des ouvriers (Carte 2.4).

Nous avons retenu trois indices de ségrégation : l'indice de ségrégation de Duncan, l'indice de dissimilitude et l'indice de centralisation. L'indice de ségrégation de Duncan nous montre que les trois catégories les plus ségréguées sont les ménages originaires du Maghreb, d'Europe du Nord et d'Afrique. Il est intéressant d'affiner ce résultat avec l'indice de dissimilitude qui montre les affinités de localisation entre les classes sociales. Cet indice confirme les résultats des cartes thématique : il existe une vraie similitude de localisation entre les français et les ménages d'origine européenne. Mais la similitude la plus forte est celle qui apparaît entre les maghrébins et les africains. La dissimilitude la plus renforcée réside, quant à elle, entre les originaires d'Europe du Nord d'un côté et les ménages d'origine maghrébine et africaine de l'autre. Comme dans les cartes, l'indice de centralisation absolue montre que les ménages originaires d'Europe sont les plus centralisés, tandis que les africains sont les plus excentrés.

2.4.2 La communauté urbaine Grand Lyon

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, nous nous concentrons uniquement sur une zone plus petite que l'aire urbaine, pour pouvoir identifier les tendances de localisation de chaque catégorie ethnique. Les cartes thématiques (Annexe 2.B.2.1.) nous montrent que les français et les ménages originaires de l'Europe nordique se localisent vers le centre et dans l'Ouest de la communauté urbaine. Les autres nationalité (Europe de Sud, Europe de l'Est,

Maghreb et Afrique) se localisent à l'Est de la zone urbaine. On constate que les affinités de localisation observées sur Paris entre les ménages d'origine européenne et les ménages français ne sont ici vérifiées que pour les « nordiques », même si ce constat doit être confirmé par les résultats concernant les indices de ségrégation. Comme dans le cas de Paris, il y a une vraisemblance entre le schéma de localisation selon la catégorie socio-professionnelle et celui selon la catégorie ethnique. Ainsi, là où sont concentrés les cadres, on trouve également les ménages français et les ménages originaires du nord de l'Europe. Dans l'est de la zone, là où se trouvent les ouvriers, se localisent aussi les ménages étrangers venus des pays plus pauvres.

En 1990, selon l'indice de ségrégation de Duncan (Annexe 2.B.2.2.), si l'on occulte les ménages peu nombreux classés dans la catégorie « autres », les ménages africains et maghrébins sont les plus ségrégués. De plus, on peut constater que les niveaux de ségrégation ont convergé au cours du temps. Le constat cartographique est confirmé par l'indice de dissimilitude : des niveaux faibles entre les français et les « nordiques » et des niveaux élevés par rapport aux autres nationalités, ces dernières présentant une dissimilitude de localisation faible entre elles. Notons enfin que la centralisation a diminué tout au long de la période, les catégories les plus centralisées étant constituées des français et des ménages originaires d'Europe du Nord.

2.4.3 Communauté urbaine de Marseille

Les analyses cartographiques sont présentées dans les Annexe 2.B.3.1. Les français, comme les « nordiques », préfèrent les arrondissements centraux et proches du littoral. Il n'existe pas véritablement de schéma clair de localisation des ménages originaire du Sud et de l'Est de l'Europe. La concentration la plus évidente provient des ménages d'origine maghrébine et africaine. Ainsi, ces deux ethnies présentent quasiment les mêmes schémas de localisation, avec une concentration dans les arrondissements au nord de Marseille (le 14-ème, le 15-ème et le 16-ème).

Selon l'indice de ségrégation de Duncan (Annexe 2.B.3.2.) les maghrébins et les africains sont les ménages les plus ségrégués. Les ménages originaires du nord d'une part et les maghrébins et les africains d'autre part présentent la dissimilitude de localisation la plus importante. A l'inverse, il existe une forte similitude entre les ménages du sud et les français, mais aussi entre les maghrébins et les africains. Enfin, on constate également que les ménages originaires d'Afrique et du Maghreb sont fortement centralisés. Même si ce résultat peut paraître un peu surprenant, il s'explique par le fait que l'enclave qu'ils occupent au nord de Marseille est assez proche du centre—ville.

2.4.4 Les autres agglomérations

Comme dans toutes les autres agglomérations les étrangers sont attirés par le pôle urbain et comme nous ne disposons pas des données infra-communales, toutes les cartes (comme l'indice de centralisation absolue) montrent une centralisation forte de ces ménages. Ainsi, nous allons nous contenter d'une simple analyse au niveau de l'aire urbaine des deux indices de ségrégation les plus représentatifs : l'indice de Duncan (qui montre le niveau de ségrégation de chaque groupe social) et l'indice de dissimilitude (qui montre les interactions de localisation entre chaque catégorie).

Aire urbaine de Lille

L'aire urbaine de Lille a la particularité connaître une concentration importante des étrangers autour de Lille mais aussi à Roubaix-Tourcoing. Les africains représentent les ménages les plus ségrégués (Annexe 2.B.4.1), à l'opposé des ménages originaires d'Europe du Nord. Les ménages d'Afrique présentent des dissimilitudes de localisation très importantes par rapport aux ménages originaires d'Europe du Nord et d'Europe du Sud, ainsi qu'aux français.

Aire urbaine de Toulouse

Les indices de ségrégation pour l'aire de Toulouse sont présentés dans l'Annexe 2.B.4.2. Les ménages les plus ségrégués sont les africains, puis les maghrébins. A l'opposé, on trouve les ménages d'Europe du Sud et les français. Comme dans les autres agglomérations les maghrébins présentent des similitudes de localisation avec les africains, et les européens avec les français.

Les aires urbaines de Nice, Bordeaux, Nantes et Strasbourg

Dans toutes ces aires urbaines on constate que les ménages les plus ségrégués sont les africains et les maghrébins. On peut classer les ménages en deux catégories, à l'intérieur desquelles il y a une forte similitude de localisation et entre lesquelles il existe à l'inverse une forte dissimilitude. Ainsi la première catégorie est constituée par les français et les ménages d'origines européennes, et la deuxième par les africains et les maghrébins.

2.5 AUTRES AGGLOMERATIONS EUROPEENNES

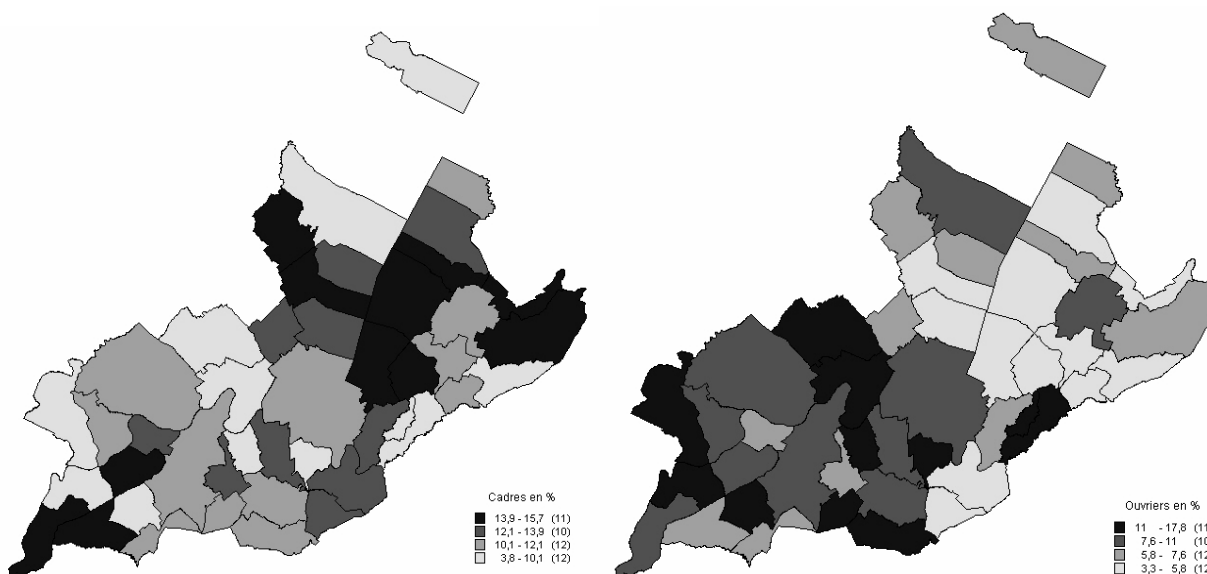
2.5.1 Genève

On dispose des données du recensement de la population en Suisse de 2000, par catégorie socioprofessionnelle, au niveau communal. Les données ne sont pas à un niveau spatial très fin, mais on peut quand même extraire certaines tendances de ségrégation entre les différents groupes sociaux. La zone d'étude est formée par le canton de Genève.

Pour l'analyse par CSP, nous avons été contraints de réduire le nombre d'enregistrements de notre base de données et d'agréger certaines catégories socioprofessionnelles pour pouvoir faire des comparaisons avec la nomenclature française. Nous n'avons pas pris en compte les personnes actives occupées non attribuables et les personnes de moins de 15 ans.

Les cartes thématiques (Carte 2.20 et Annexes 2.C.1.) nous montrent un clivage entre la composition sociale des communes au nord et au sud du canton. Les cadres et les indépendants, qui forment des classes riches sont concentrés au nord et les ouvriers, les employés et les intermédiaires sont concentrés surtout au sud du canton. On constate une proportion élevée des retraités et des « sans activité » au centre du canton (ville de Genève et communes voisines). Les ménages d'origine étrangère sont également concentrés au centre.

Carte 2.20: La distribution des cadres et des ouvriers dans le canton de Genève



Les indices de ségrégation sont reportés dans l'Annexe 2.C.2. Comme dans le cas des agglomérations françaises, les indices d'égalité montrent les cadres et les ouvriers comme les catégories les plus ségréguées. Les indépendants et les ménages sans activité connaissent également des niveaux de ségrégation élevés. Les retraités, les intermédiaires et les employés présentent des niveaux de ségrégation presque nuls. La ségrégation inter-catégories (l'indice de dissimilitude) est la plus forte entre les cadres et les ouvriers. Les cadres présentent des similitudes de localisation avec les indépendants, et les ouvriers avec les employés. Ces résultats montrent la tendance, comme en France, de rapprochement spatial entre catégories professionnelles « proches ».

Comme dans les agglomérations françaises, l'hétérogénéité des communes de la zone d'étude en termes de population entraîne une distorsion de l'indice d'exposition, nous utilisons donc l'indice ajusté (Eta). Cet indice nous montre de nouveau que les ouvriers et les cadres forment les catégories ayant la tendance la plus forte à se localiser dans la proximité des ménages de même catégorie. L'indice intergroupe nous montre des interactions spatiales fortes de toutes les catégories avec les retraités, parce que cette classe est présente dans toutes les communes.

L'indice de centralisation absolue confirme les cartes, en montrant les ménages sans activité comme la catégorie la plus centrale du canton de Genève. Notons que les cadres ont également un indice de centralisation élevé, à l'inverse des employés, des intermédiaires et des ouvriers.

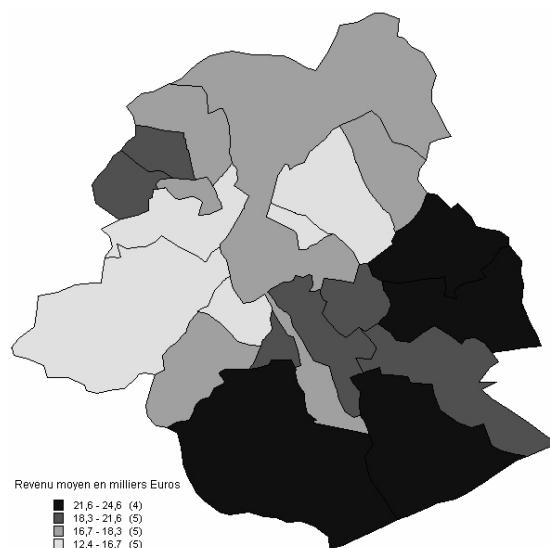
2.5.2 Bruxelles

Un cas particulier est constitué par l'agglomération de Bruxelles. Puisque la nomenclature belge des catégories professionnelles est très différente de la nomenclature française, nous allons utiliser comme variable permettant de distinguer les catégories sociales les revenus des ménages. Il est intéressant d'utiliser de telles données car elles permettent de mettre en évidence la ségrégation entre les catégories sociales par classes de revenus. Les données utilisées sont extraites des statistiques de l'Institut National de Statistiques, «Niveau de vie, Statistiques fiscales, données communales» de 2004. Les données sont obtenues des déclarations de 2002 sur les revenus de 2001.

La zone d'étude est constituée par la région Bruxelles – Capitale avec ces 19 communes. Les données sont à l'échelon communal.

Une première Carte 2.intéressante présente le revenu moyen par déclarant dans les communes de l'agglomération.

Carte 2.21: Revenu moyen déclaré par ménage dans la région Bruxelles-Capitale



Contrairement au schéma de localisation européen habituel, on constate que les ménages riches se concentrent vers la périphérie. Ce résultat est confirmé en regardant la distribution spatiale des ménages riches, dont les revenus déclarés dépassent 50.000 euros par an et des ménages pauvres, dont les revenus annuels sont inférieurs à 5000 euros (Annexes 2.D.1.).

Pour calculer les indices de ségrégation nous avons regroupé les ménages de l'agglomération en fonction du revenu annuel déclaré. Selon les indices d'égalité, la classe sociale la plus ségréguée est constituée par les ménages les plus riches (Annexes 2.D.1.). L'indice de dissimilitude illustre parfaitement les interactions spatiales entre les groupes sociaux. Ainsi, pour la classe la plus pauvre, la dissimilitude de localisation augmente avec les revenus des autres classes et elle prend la valeur la plus élevée par rapport aux plus riches. La situation est symétrique pour la classe la plus riche : l'indice de dissimilitude décroît avec le revenu des autres classes. Cela montre la tendance des ménages à se localiser à proximité des classes de revenus proches.

L'indice d'isolement (xPx) prend les valeurs les plus élevées pour les classes moyennes. Ce résultat s'explique par le nombre important d'habitants appartenant à ces classes. Un regard sur l'indice ajusté (eta) nous montre que la classe la plus riche reste la plus ségréguée dans l'agglomération.

La tendance à la localisation de type américain est confirmée par l'indice de centralisation absolue, qui prend des valeurs élevées pour les classes pauvres et des valeurs faibles pour les classes riches. Pour les ménages dont le revenu annuel dépasse 50.000 euros, cet indice est même négatif, ce qui exprime leur tendance à se localiser en périphérie. A titre

de comparaison, en France, au niveau communal, la seule classe dont les valeurs sont négatives pour cet indice était correspond aux agriculteurs, qui constituent un cas particulier.

Pour analyser la ségrégation ethnique nous avons fait le même regroupement que dans le cas des agglomérations françaises, à l'exception de la population autochtone qui est d'origine belge. Les données sont extraites de l'enquête « Population et ménages » de 2004 et se réfèrent aux individus (pas aux ménages).

Les cartes thématiques (Annexes 2.D.2) montrent une tendance des catégories ethniques de regroupement. La population belge est plus concentrée en périphérie, tandis que les étrangers préfèrent le centre de l'agglomération. Les individus d'Europe de l'Est, du Maghreb et des pays africains paraissent les plus centralisées.

Selon l'indice de ségrégation de Duncan (Annexes 2.D.2.) les personnes d'origine maghrébines sont les plus ségréguées, suivies par les européens du nord et de l'est. Les personnes les plus centralisées sont toujours les maghrébins, les personnes de l'est et les africains. La population autochtone est la plus ségréguée par rapport aux maghrébins.

2.6 CONCLUSIONS

Dans ce chapitre, les analyses cartographiques et les indices de ségrégation ont montré que ces outils sont le plus souvent compatibles et complémentaires dans l'étude de la ségrégation socio-spatiale des agglomérations urbaines. Nous avons également constaté que, par rapport aux significations habituelles, pour certains indices de ségrégation, il est nécessaire d'adapter les interprétations aux cas concrets, notamment en raison des spécificités des données (découpage spatial, répartition des ménages en classes, etc...)

Le but de ce chapitre était de vérifier s'il existe des caractéristiques communes aux structures socio-spatiales des agglomérations françaises et de vérifier si les ménages suivent certaines « règles » de localisation spécifiques aux villes européennes.

Selon les modèles théoriques qui analysent la localisation des ménages hétérogènes en milieu urbain, la structure urbaine à l'équilibre est caractérisée par une ségrégation des populations pour des raisons économiques, ethniques, etc... Ainsi, c'est le premier résultat théorique à tester empiriquement. La grande tendance constatée dans les agglomérations étudiées est la ségrégation spatiale forte entre les catégories les plus riches (les cadres) et les catégories les plus pauvres (les ouvriers). L'analyse des interactions spatiales entre classes sociales montre que la ségrégation de ces deux catégories intervient surtout entre elles. De plus, ces études montrent le rapprochement spatial entre ménages de classes proches (qu'il s'agisse de catégorie socio-professionnelle, de catégorie de revenu ou de nationalité). Les catégories « moyennes » sont beaucoup moins ségréguées et sont réparties plus égalitairement dans l'espace. Une analyse temporelle montre qu'il existe un processus de renforcement de la ségrégation spatiale des classes sociales, notamment entre les catégories les plus riches et les catégories les plus pauvres.

Un autre résultat important réside dans le fait qu'à quelques exceptions près, le schéma de localisation de type européen (riches au centre, pauvres en périphérie) est retrouvé. Ainsi, les cadres se localisent dans les centres des agglomérations, tandis que les ouvriers ont des localisations périphériques. Le cas de Bruxelles apparaît toutefois comme une exception en Europe, la localisation des ménages suivant plutôt un schéma américain : les pauvres se trouvent au centre de l'agglomération urbaine et les riches en périphérie. Un autre cas intéressant concerne l'agglomération de Marseille-Aix en Provence. La bipolarisation de cette aire urbaine peut induire une certaine décentralisation des ménages riches, mais une analyse détaillée pour chaque pôle montre toujours une localisation des ménages qui suit le schéma européen habituel.

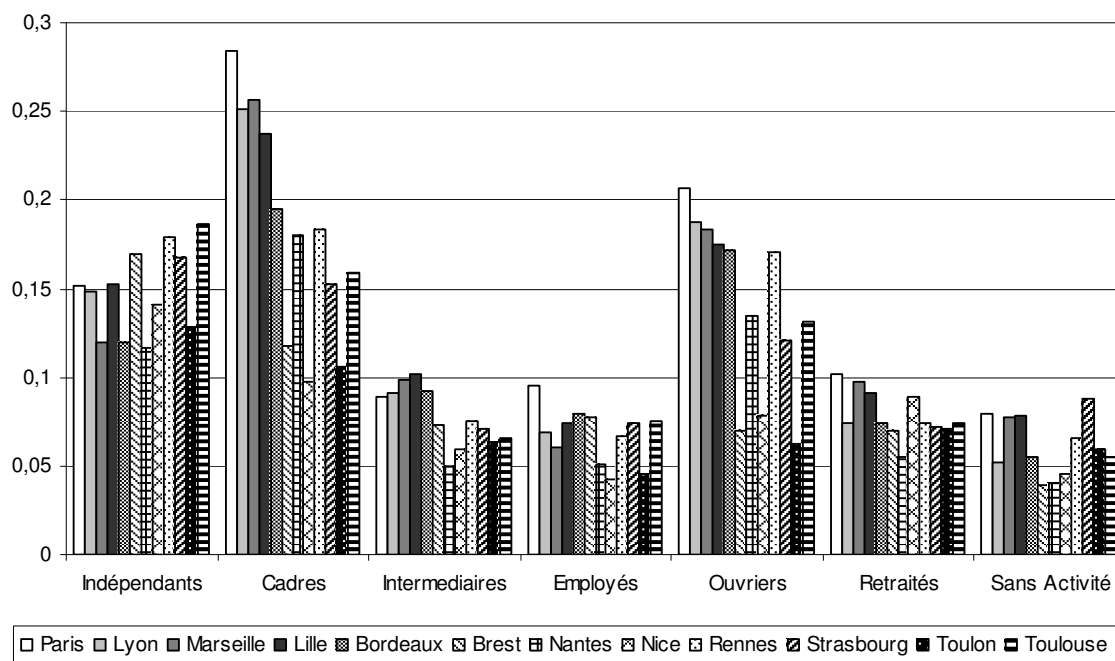
Ces niveaux différents de centralisation des classes sociales sont accompagnés par deux processus temporels. Il s'agit d'une part du phénomène de fuite urbaine ou de périurbanisation, qui consiste dans la diminution de la centralisation de toutes les catégories socio-professionnelles. D'autre part, il s'agit de la mutation qu'a connue la France concernant l'augmentation forte du rapport cadres/ouvriers.

Pour expliquer ce schéma de localisation typique européen, nous allons développer deux chapitres théoriques qui analysent les facteurs déterminant une telle structure sociale. Un possible facteur peut être le fort avantage comparatif en termes d'aménités (qualité des bâtiments, présence des biens publics, infrastructure, etc...) des centres des villes européennes par rapport à la périphérie. Une autre explication possible est la différenciation des coûts de transports, causée par une valeur du temps évaluée aux coûts d'opportunité, beaucoup plus importants pour les ménages riches.

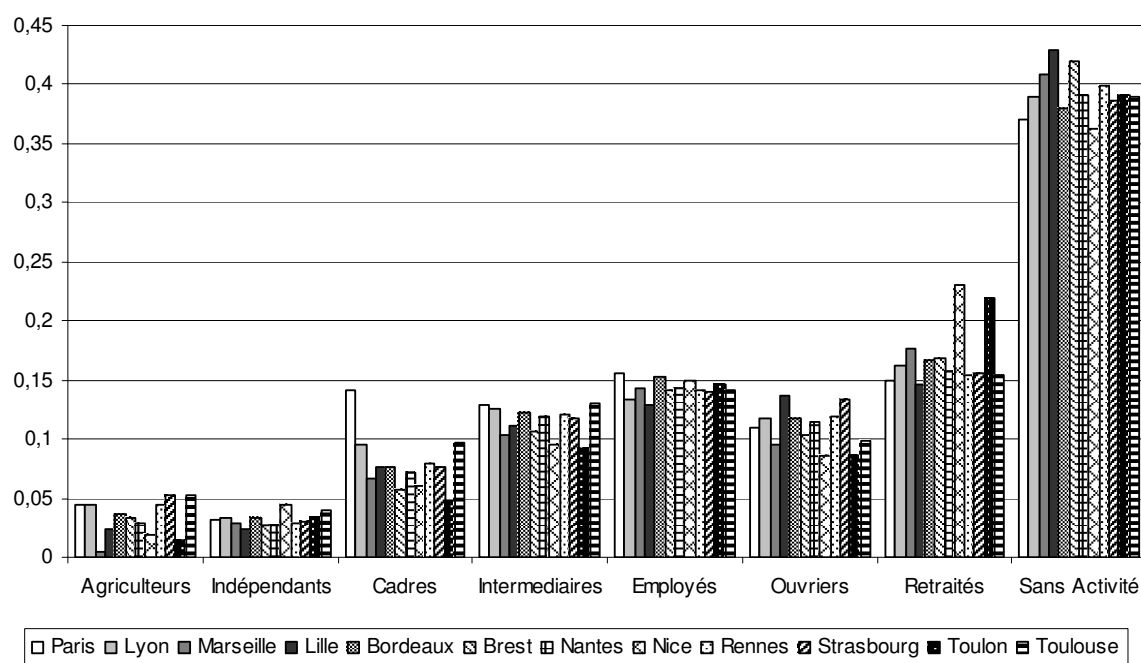
Annexes 2.A : SEGREGATION SOCIO-PROFESSIONNELLE

Annexes 2.A.1 Les principaux indices de ségrégation : un overview sur la France

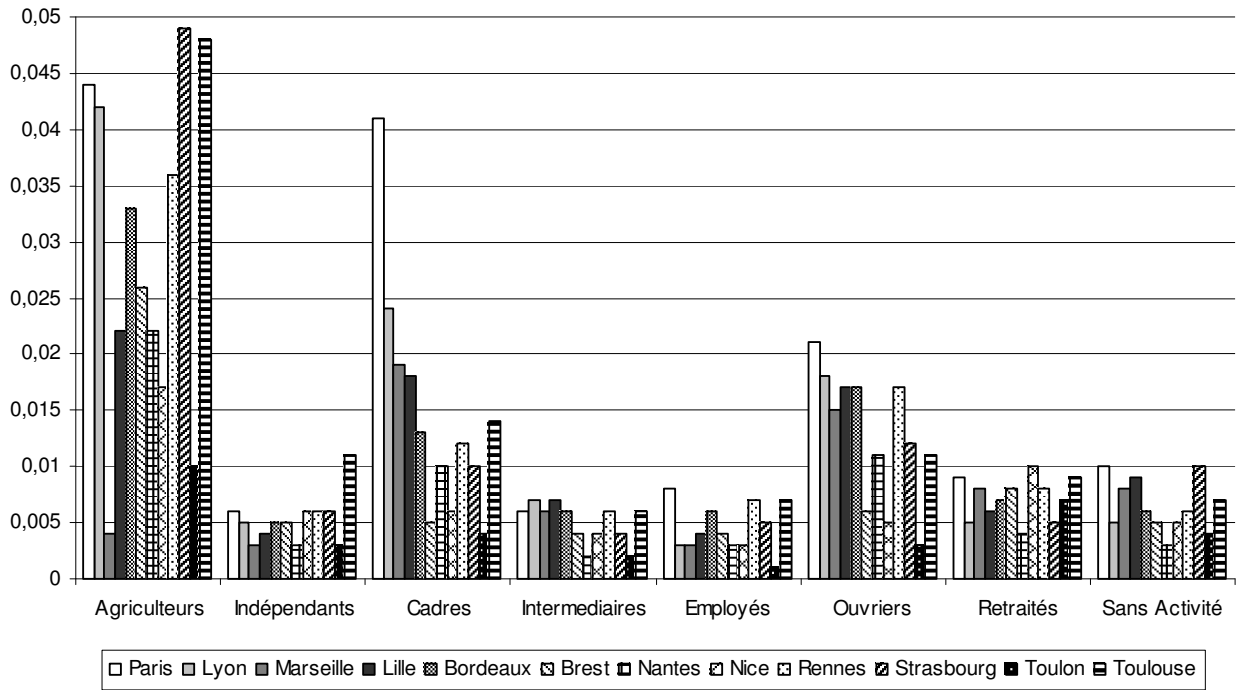
2.A.1.1 L'indice de ségrégation de Duncan



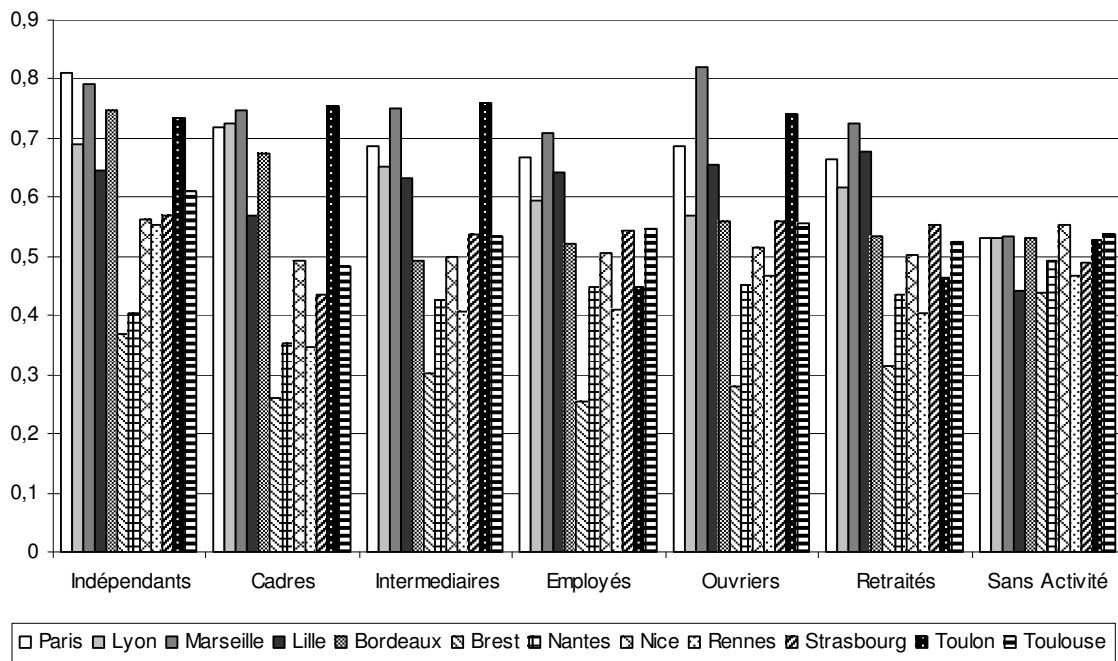
2.A.1.2 L'indice d'isolement



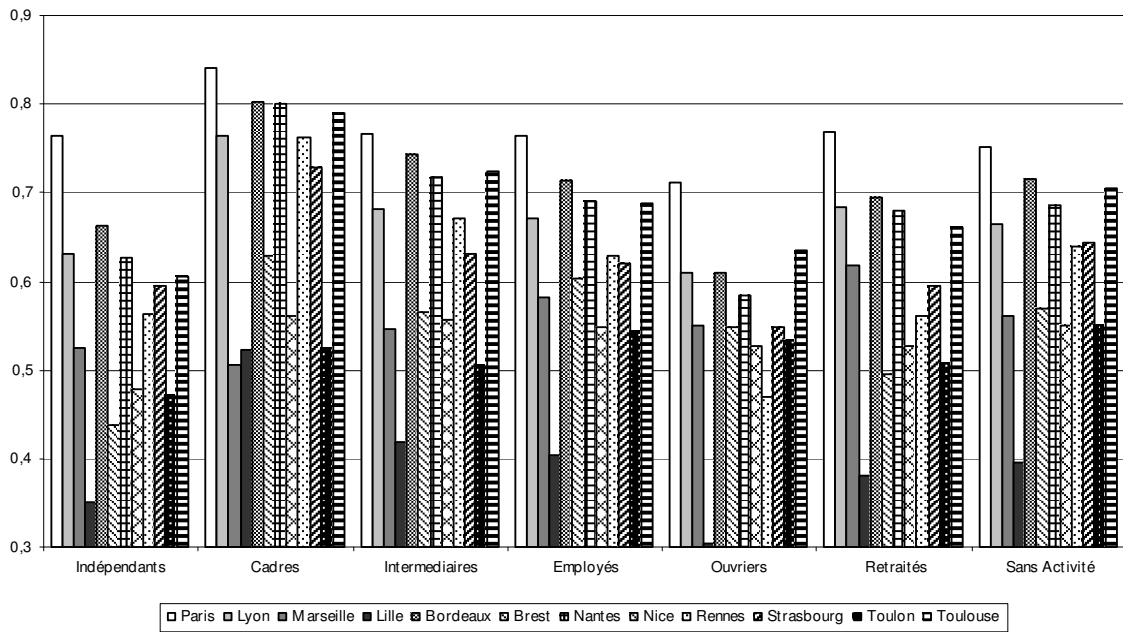
2.A.1.3 L'indice d'isolement ajusté



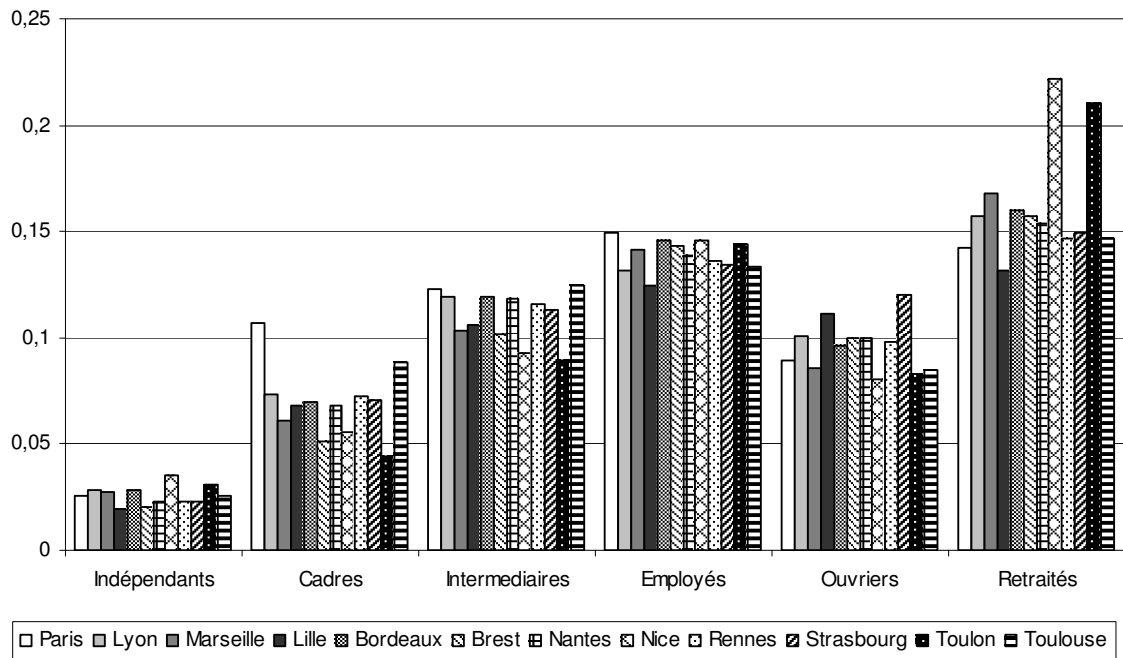
2.A.1.4. L'indice de concentration absolue



2.A.1.5. L'indice de centralisation absolue



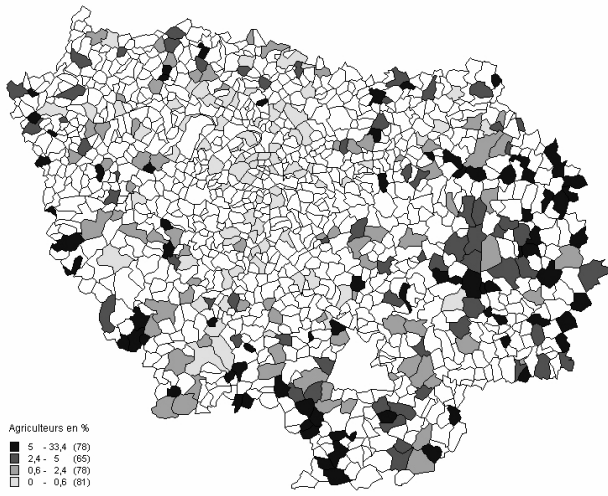
2.A.1.6. L'indice de regroupement absolu



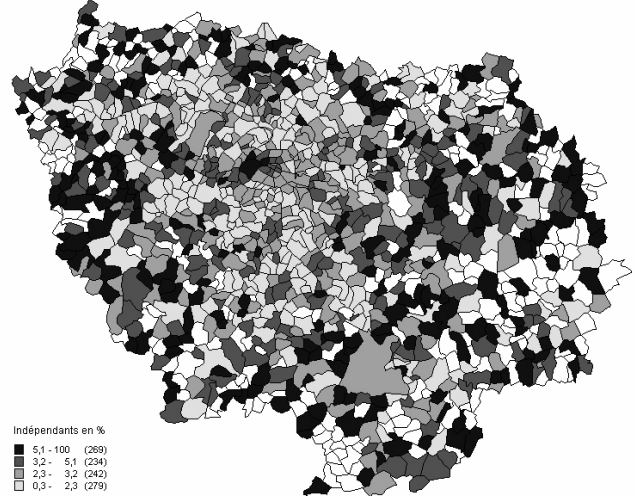
Annexes 2.A.2 Ile de France en cartes

2.A.2.1 Distribution des différentes catégories socio-professionnelles

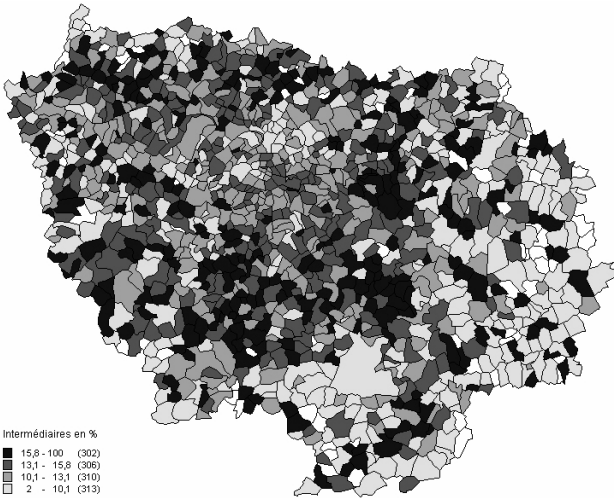
Agriculteurs



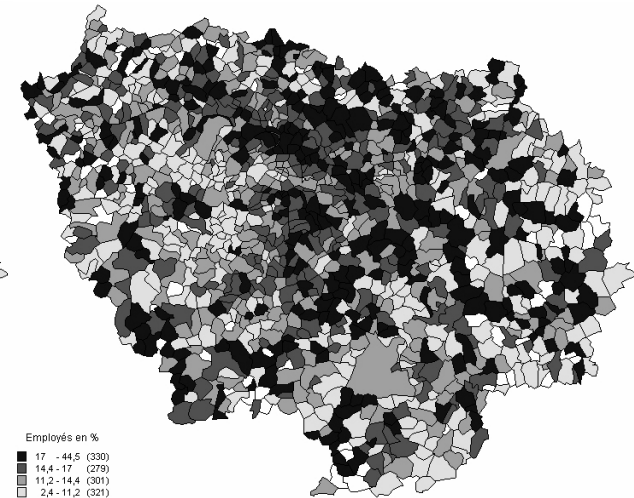
Indépendants



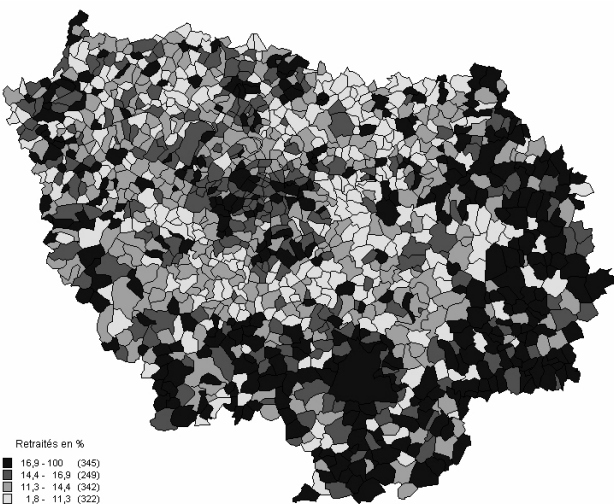
Intermédiaires



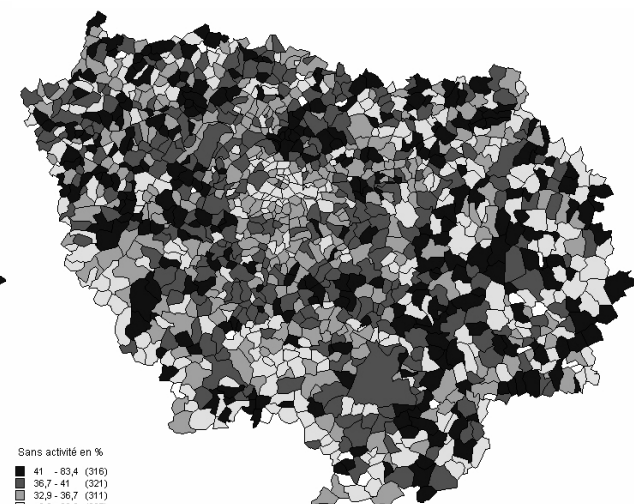
Employés



Retraités

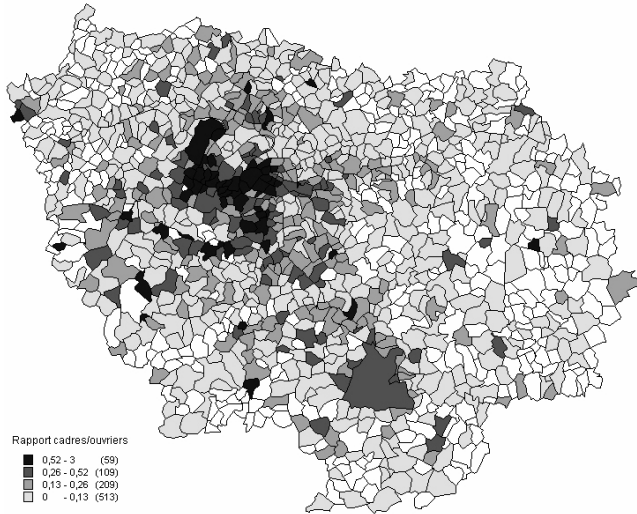


Sans activité

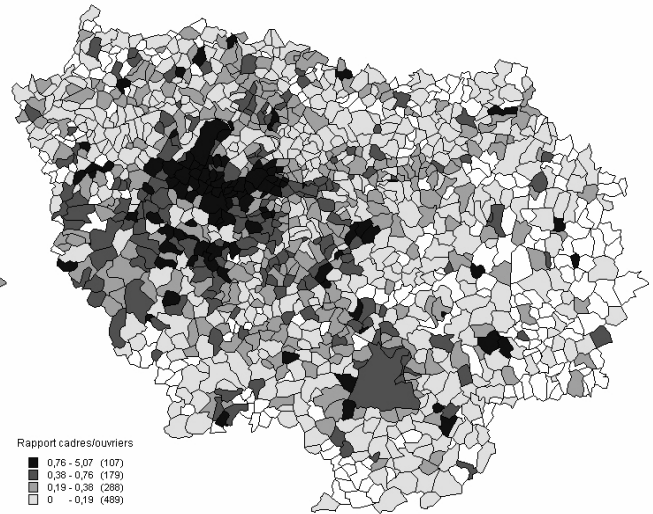


2.A.2.2 Evolution du rapport cadres/ouvriers

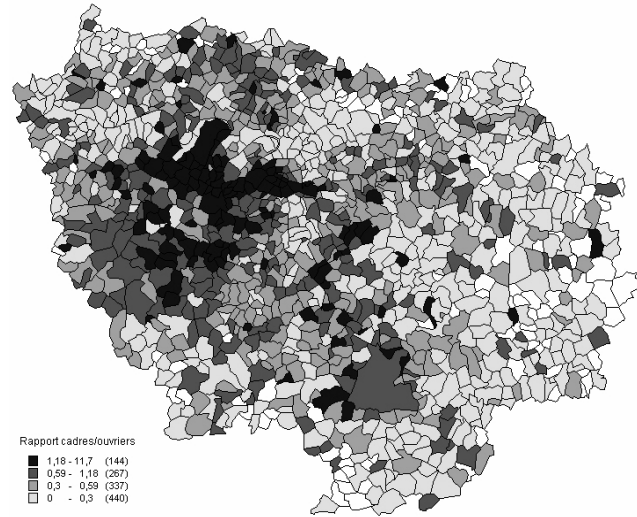
1968



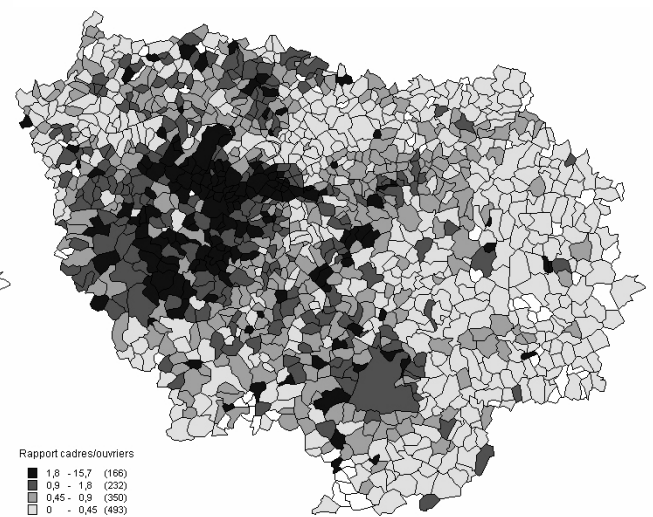
1975



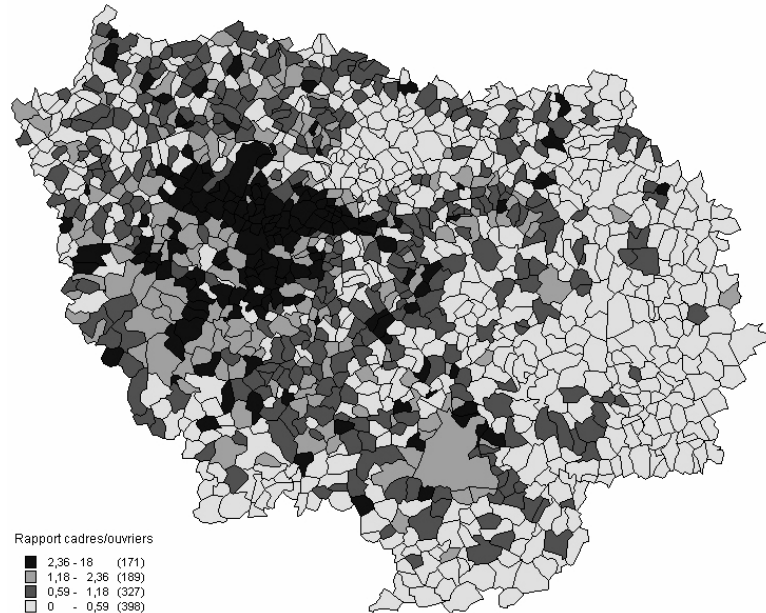
1982



1990

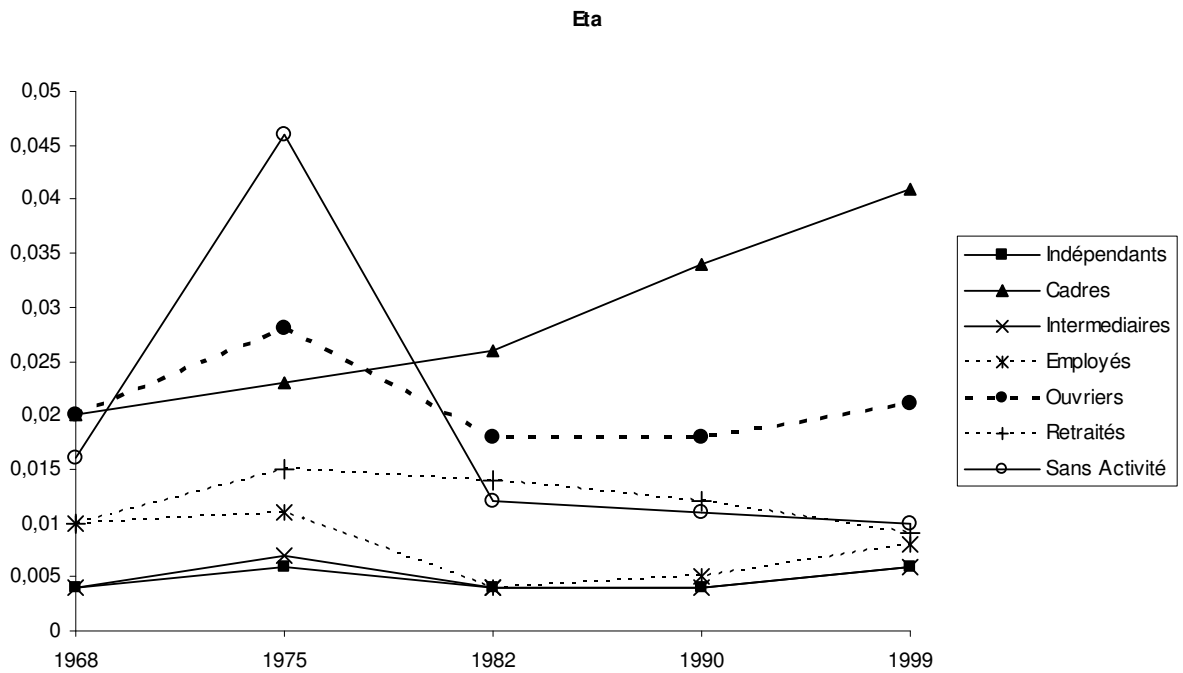
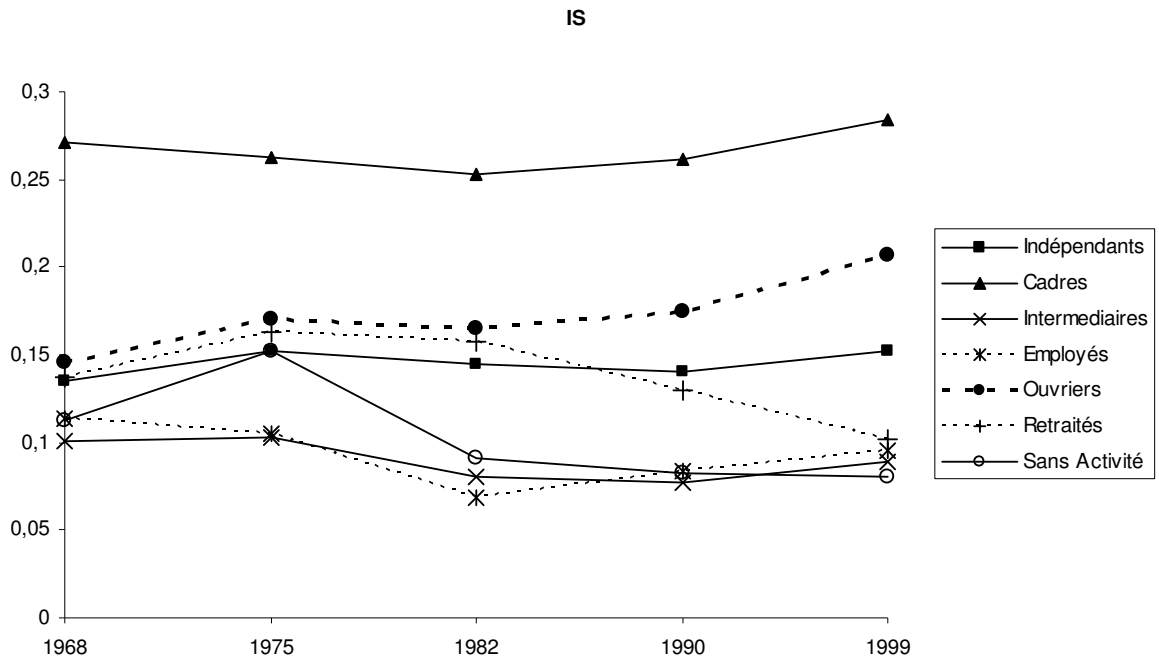


1999

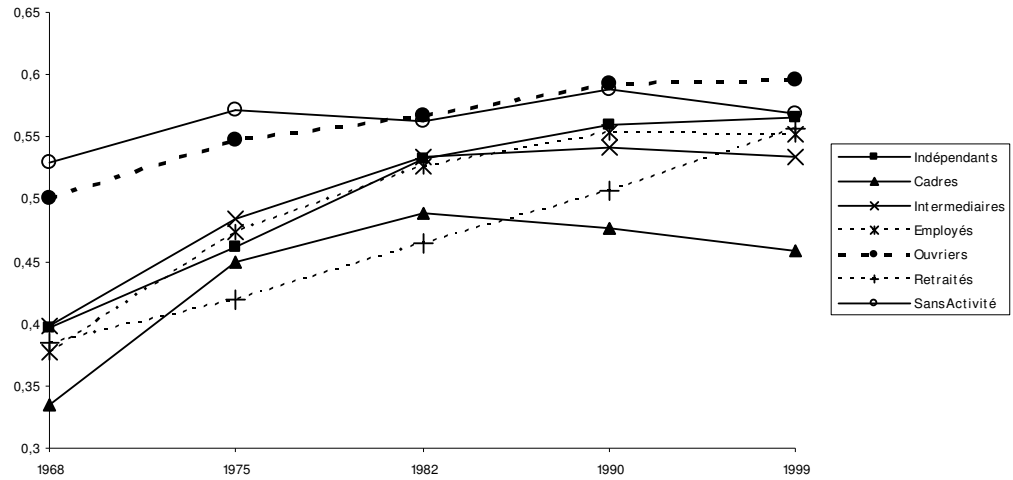


Annexes 2.A.3 Les indices de ségrégation : constats dans l'Ile de France

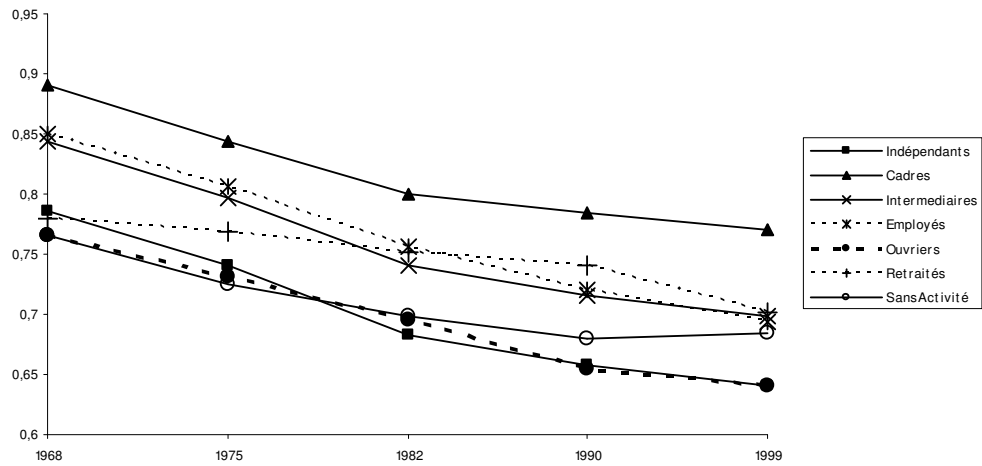
2.A.3.1. Analyse temporelle des indices de ségrégation intra-groupe dans l'Ile de France



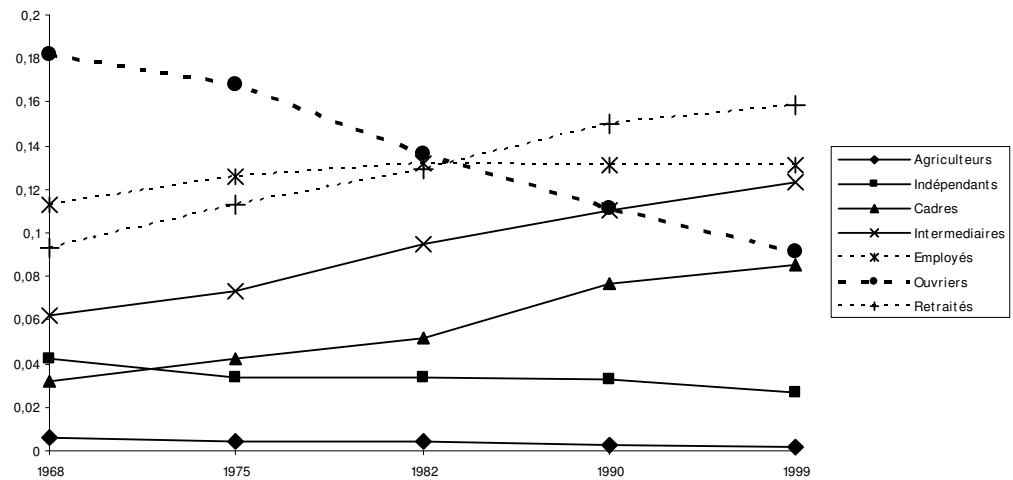
ACO



ACE



ACL



2.A.3.2. Analyse des indices de ségrégation inter-groupe dans l'Ile de France

L'indice de dissimilitude de Duncan

<i>ID</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0,227	0,163	0,204	0,294	0,146	0,177
Cadres	0,227	0	0,248	0,319	0,431	0,235	0,287
Intermédiaires	0,163	0,248	0	0,118	0,23	0,113	0,115
Employés	0,204	0,319	0,118	0	0,148	0,145	0,085
Ouvriers	0,294	0,431	0,23	0,148	0	0,245	0,168
Retraités	0,146	0,235	0,113	0,145	0,245	0	0,129
Sans Activité	0,177	0,287	0,115	0,085	0,168	0,129	0

L'indice d'interaction

<i>xPy / xPx</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0,032	0,115	0,123	0,143	0,083	0,145	0,358
Cadres	0,029	0,142	0,126	0,137	0,069	0,148	0,348
Intermédiaires	0,026	0,108	0,129	0,149	0,087	0,141	0,359
Employés	0,025	0,097	0,123	0,156	0,095	0,139	0,365
Ouvriers	0,024	0,081	0,12	0,158	0,109	0,136	0,373
Retraités	0,027	0,111	0,124	0,147	0,086	0,149	0,356
Sans Activité	0,026	0,101	0,122	0,15	0,092	0,138	0,37

L'indice de concentration relative

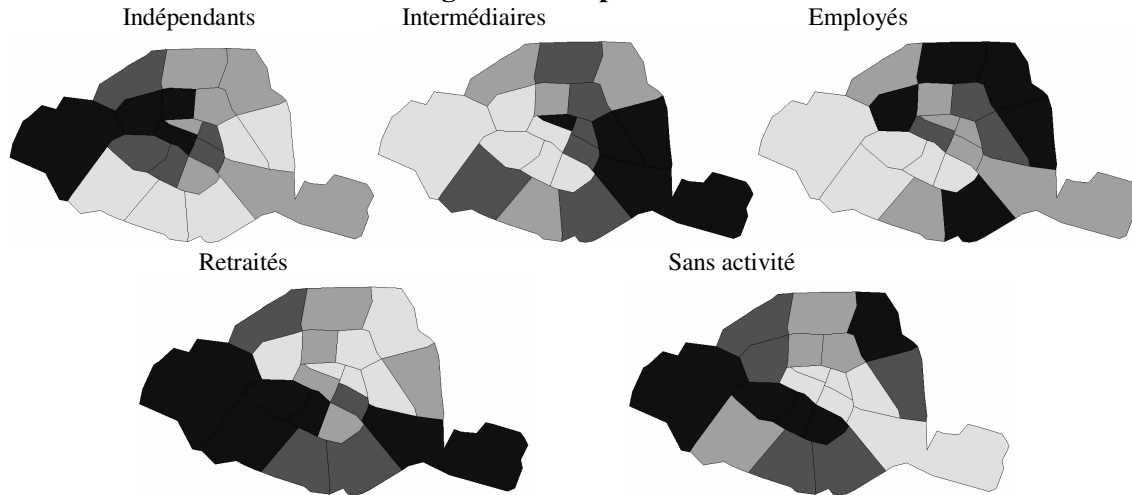
<i>RCO</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,058	-0,013	0,01	0,04	0,015	0,033
Cadres	0,058	0	0,045	0,069	-0,107	0,074	0,092
Intermédiaires	0,013	-0,045	0	0,024	-0,058	0,03	0,049
Employés	-0,01	-0,069	-0,024	0	-0,033	-0,006	0,026
Ouvriers	-0,04	0,107	0,058	0,033	0	-0,027	-0,007
Retraités	-0,015	-0,074	-0,03	0,006	0,027	0	0,02
Chômeurs	-0,033	-0,092	-0,049	-0,026	0,007	-0,02	0

L'indice de centralisation relative

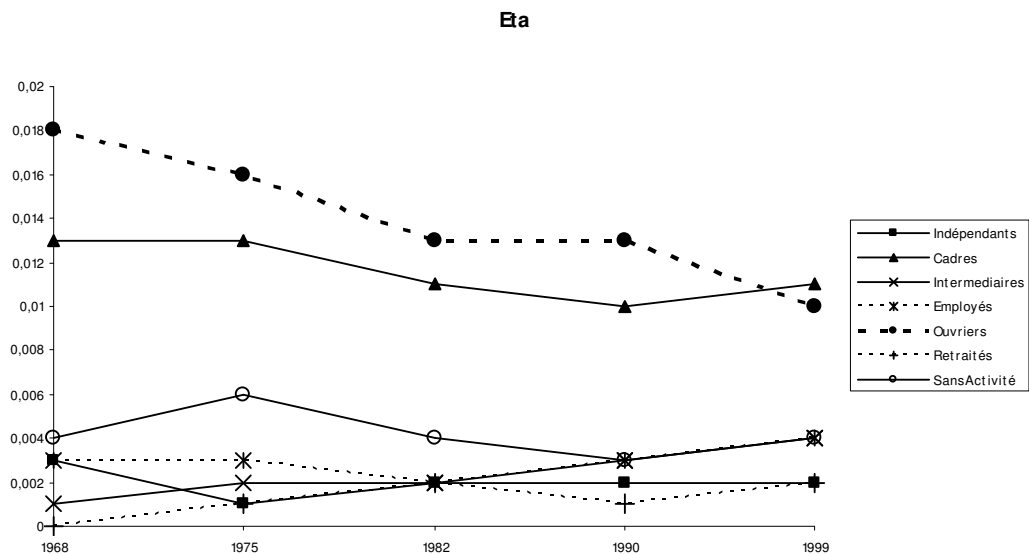
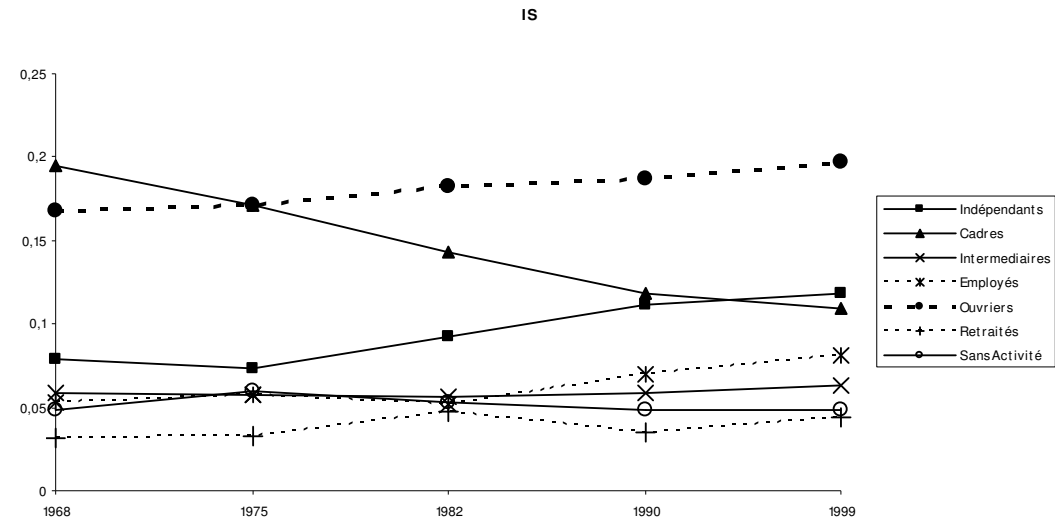
<i>RCE</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,14	0,057	0,062	0,142	0,008	0,082
Cadres	0,14	0	0,201	0,21	0,287	0,153	0,227
Intermédiaires	-0,057	-0,201	0	0,004	0,087	-0,052	0,026
Employés	-0,062	-0,21	-0,004	0	0,084	-0,058	0,023
Ouvriers	-0,142	-0,287	-0,087	-0,084	0	-0,139	-0,06
Retraités	-0,008	-0,153	0,052	0,058	0,139	0	0,079
Chômeurs	-0,082	-0,227	-0,026	-0,023	0,06	-0,079	0

Annexes 2.A.4 Les arrondissements parisiens

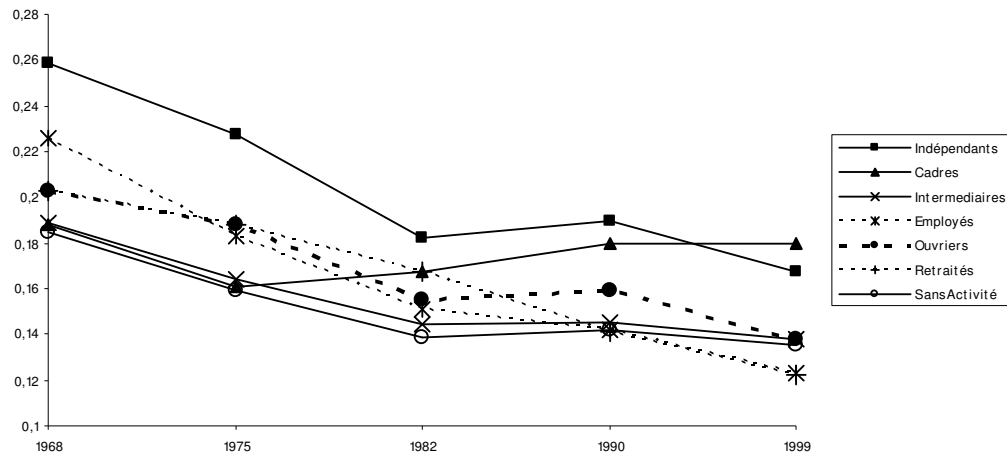
2.A.4.1 Distribution des catégories socio-professionnelles



2.A.4.2. Analyse temporelle des indices de ségrégation intra-groupe



ACE



2.A.4.3. Analyse des indices de ségrégation inter-groupe

L'indice de dissimilitude de Duncan

ID	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0,111	0,166	0,161	0,259	0,116	0,102
Cadres	0,111	0	0,139	0,156	0,273	0,08	0,096
Intermédiaires	0,166	0,139	0	0,054	0,147	0,077	0,087
Employés	0,161	0,156	0,054	0	0,127	0,102	0,081
Ouvriers	0,259	0,273	0,147	0,127	0	0,218	0,19
Retraités	0,116	0,08	0,077	0,102	0,218	0	0,045
Sans Activité	0,102	0,096	0,087	0,081	0,19	0,045	0

L'indice d'interaction

xPy / xPx	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0,035	0,19	0,118	0,126	0,052	0,156	0,324
Cadres	0,033	0,194	0,12	0,125	0,051	0,157	0,32
Intermédiaires	0,031	0,183	0,125	0,131	0,057	0,155	0,317
Employés	0,032	0,18	0,124	0,133	0,058	0,154	0,319
Ouvriers	0,031	0,171	0,127	0,137	0,064	0,151	0,319
Retraités	0,033	0,187	0,121	0,128	0,053	0,157	0,321
Sans Activité	0,033	0,185	0,121	0,129	0,054	0,155	0,323

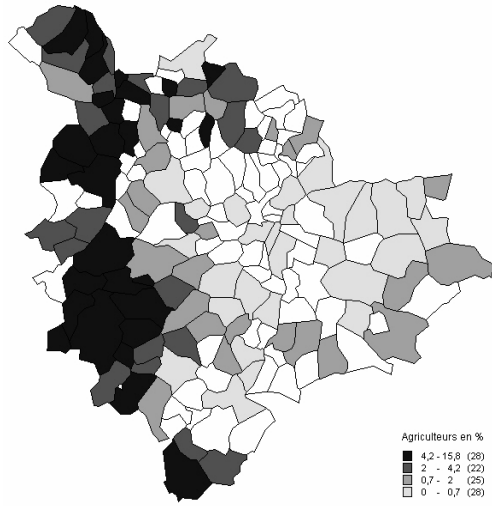
L'indice de centralisation relative

RCE	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,011	0,038	0,057	0,043	0,056	0,042
Cadres	0,011	0	0,055	0,076	0,063	0,07	0,058
Intermédiaires	-0,038	-0,055	0	0,023	0,01	0,018	0,007
Employés	-0,057	-0,076	-0,023	0	-0,014	-0,003	-0,014
Ouvriers	-0,043	-0,063	-0,01	0,014	0	0,012	0
Retraités	-0,056	-0,07	-0,018	0,003	-0,012	0	-0,012
Chômeurs	-0,042	-0,058	-0,007	0,014	0	0,012	0

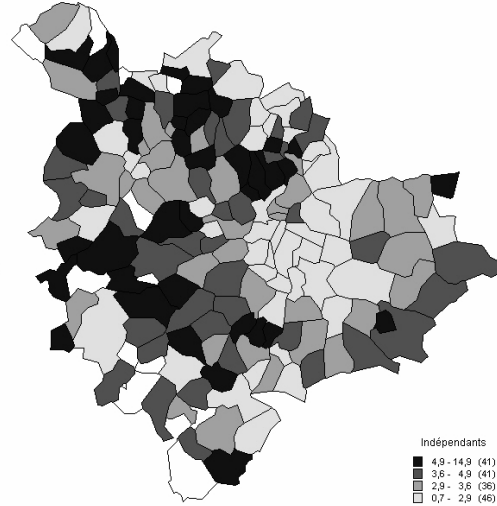
Annexes 2.A.5 L'agglomération lyonnaise en cartes

2.A.5.1 Distribution des différentes catégories socio-professionnelles

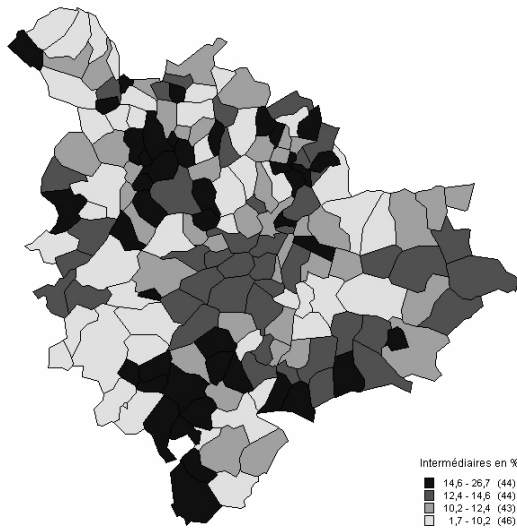
Agriculteurs



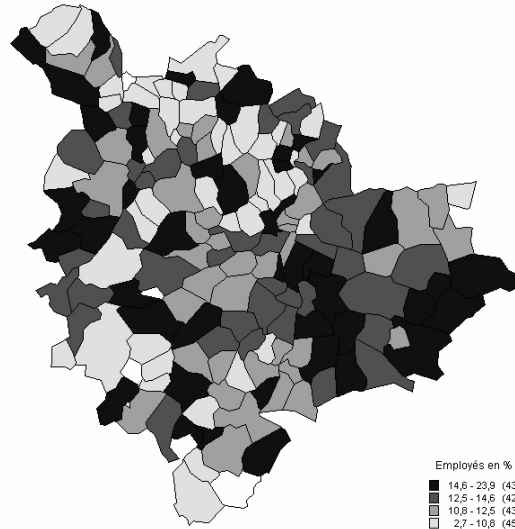
Indépendants



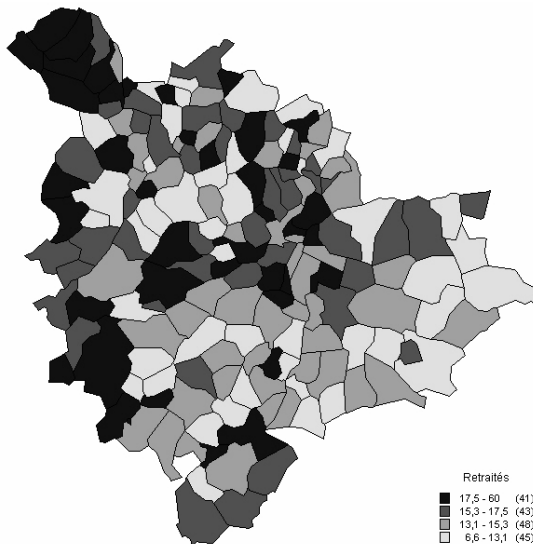
Intermédiaires



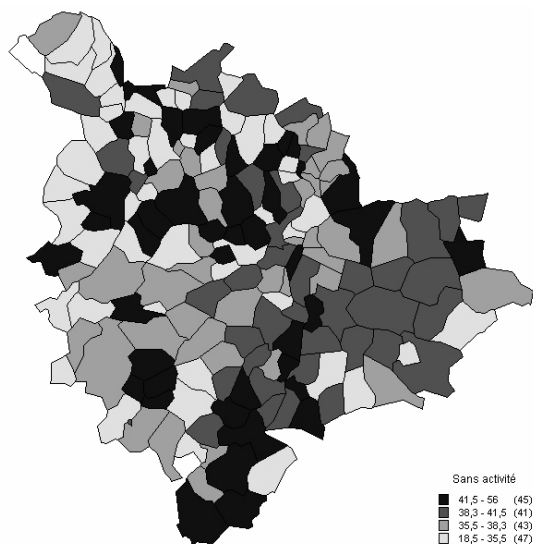
Employés



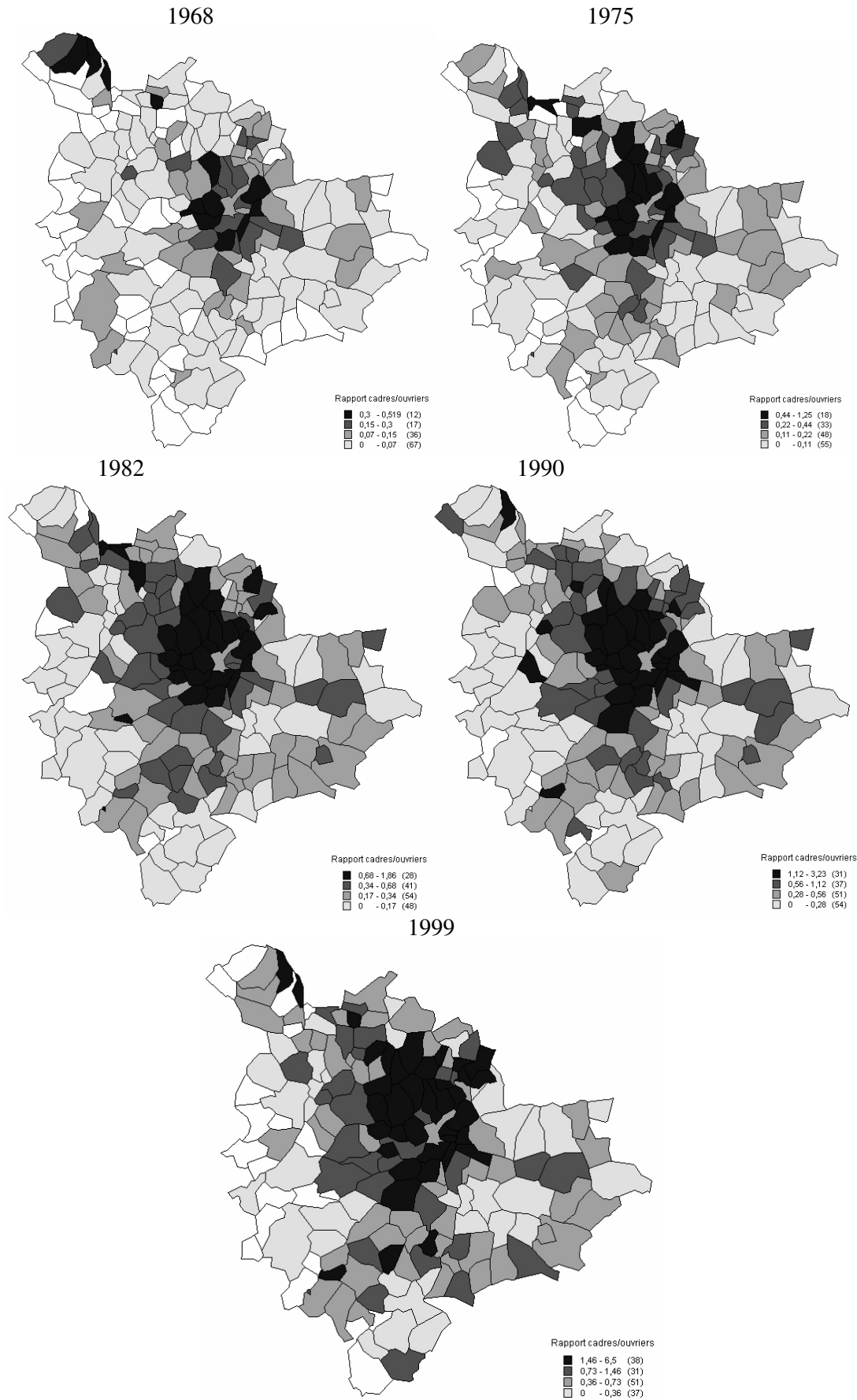
Retraités



Sans activité



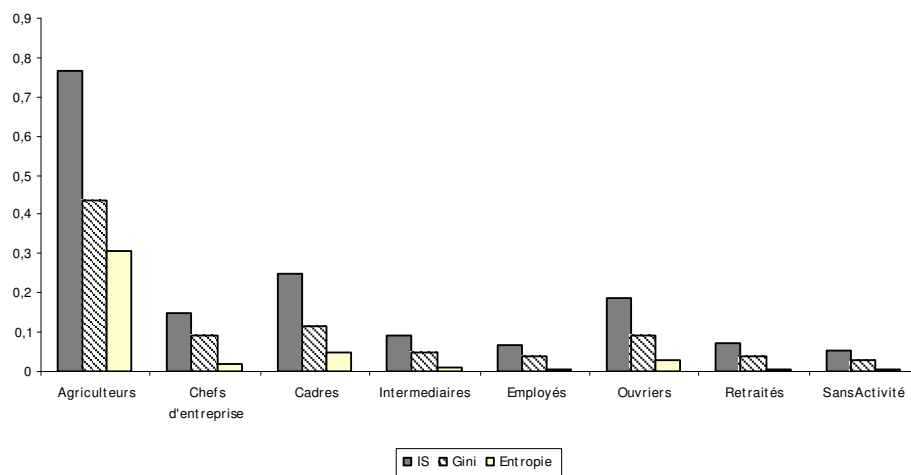
2.A.5.2 Evolution du rapport cadres/ouvriers



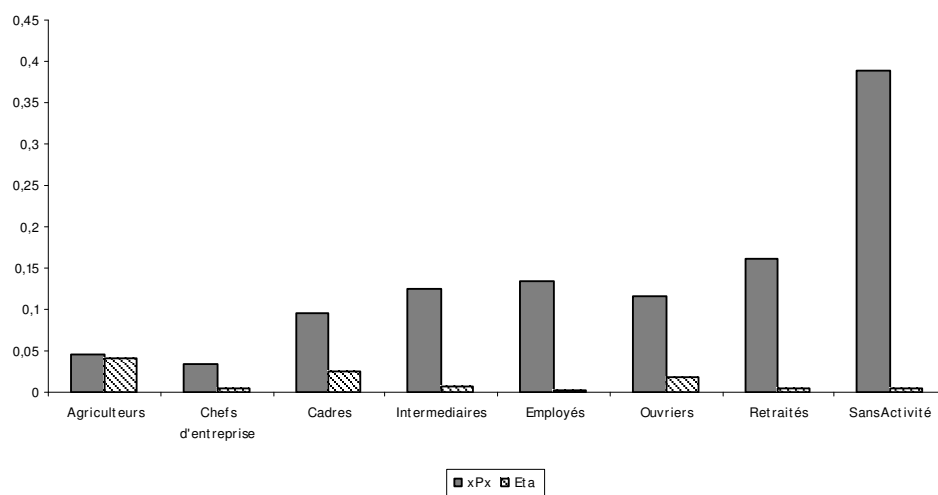
Annexes 2.A.6 Les indices de ségrégation : constats dans l'agglomération lyonnaise

2.A.6.1 Comparaison inter-indices

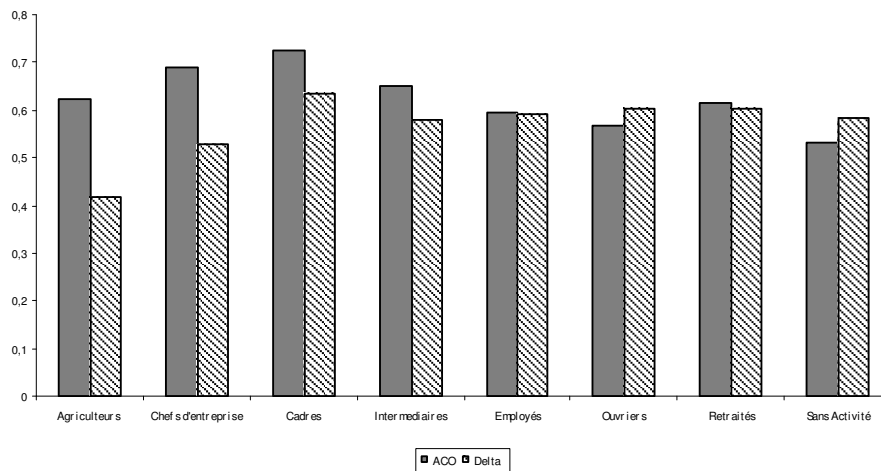
Indicateurs d'égalité



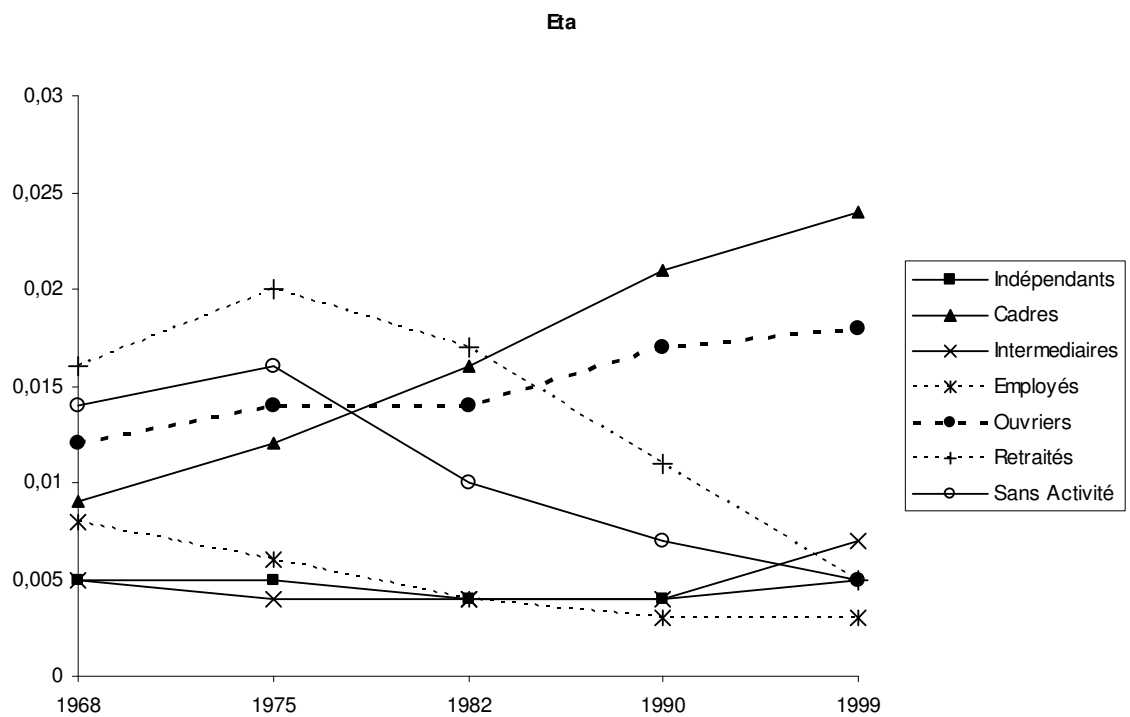
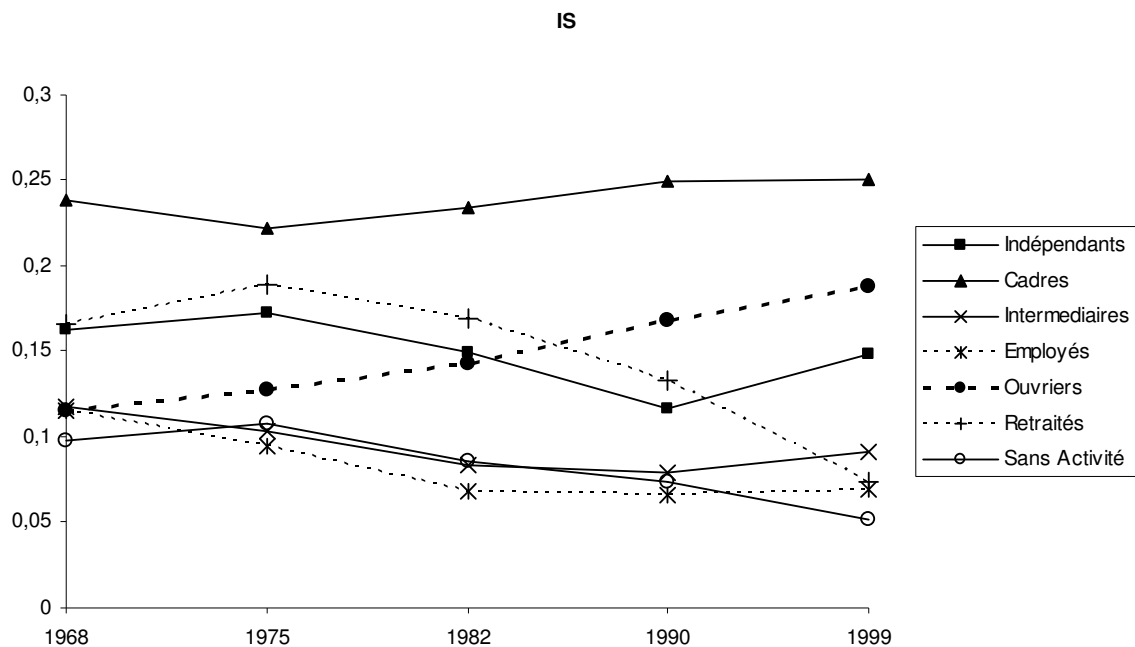
Indicateurs d'exposition



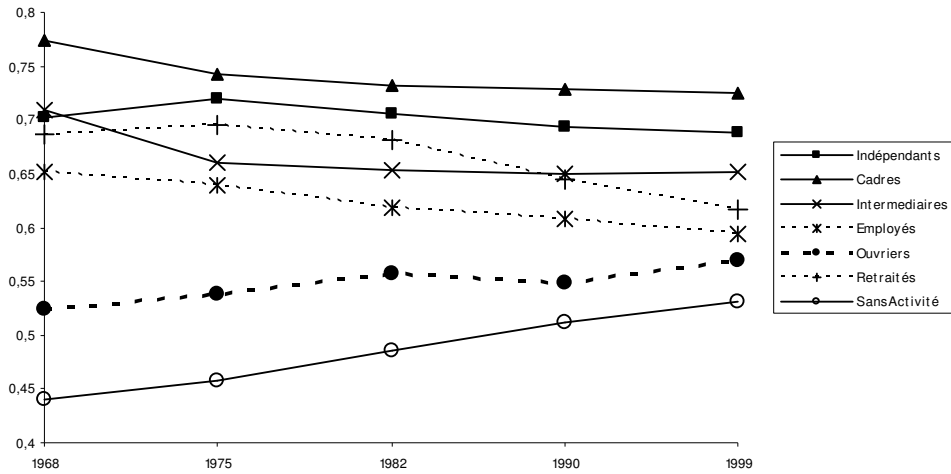
Indicateurs de concentration



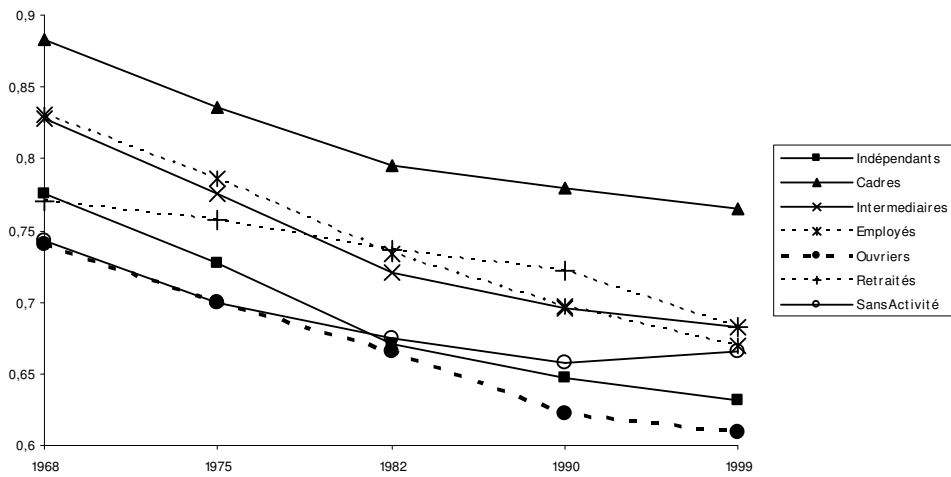
2.A.6.2. Analyse temporelle des indices de ségrégation intra-groupe dans l'aire urbaine de Lyon



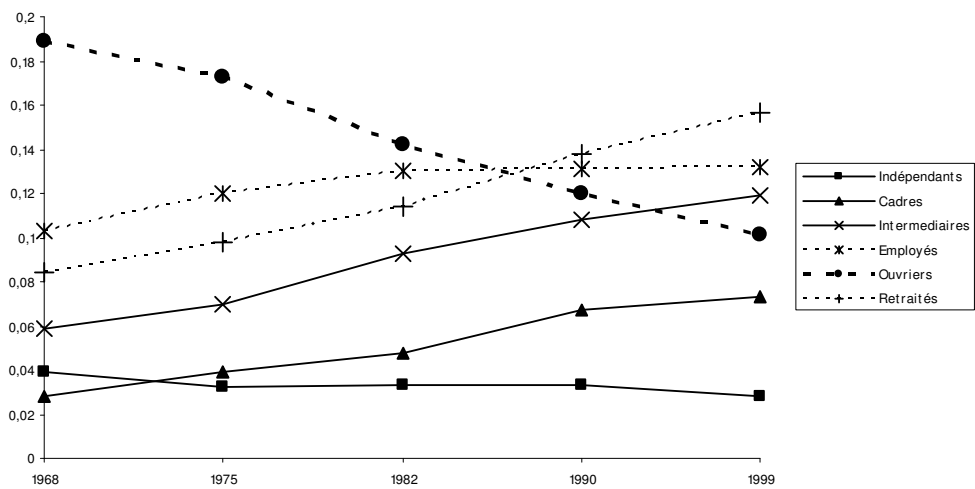
ACO



ACE



ACL



2.A.6.3. Analyse des indices de ségrégation inter-groupe dans l'aire urbaine de Lyon

L'indice de dissimilitude de Duncan

<i>D</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0,226	0,15	0,181	0,264	0,152	0,155
Cadres	0,226	0	0,191	0,27	0,395	0,232	0,245
Intermédiaires	0,15	0,191	0	0,113	0,227	0,102	0,102
Employés	0,181	0,27	0,113	0	0,147	0,09	0,071
Ouvriers	0,264	0,395	0,227	0,147	0	0,189	0,159
Retraités	0,152	0,232	0,102	0,09	0,189	0	0,086
Sans Activité	0,155	0,245	0,102	0,071	0,159	0,086	0

L'indice d'interaction

<i>xPy</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0,034	0,078	0,12	0,128	0,095	0,158	0,383
Cadres	0,03	0,096	0,126	0,125	0,081	0,16	0,379
Intermédiaires	0,029	0,078	0,125	0,13	0,096	0,158	0,382
Employés	0,028	0,071	0,118	0,134	0,104	0,157	0,385
Ouvriers	0,027	0,06	0,113	0,135	0,117	0,155	0,391
Retraités	0,029	0,075	0,119	0,131	0,099	0,162	0,382
Sans Activité	0,028	0,073	0,118	0,131	0,102	0,156	0,389

L'indice de concentration relative

<i>RCO</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,204	-0,038	0,052	0,149	0	0,045
Cadres	0,204	0	0,146	0,226	0,311	0,179	0,219
Intermédiaires	0,038	-0,146	0	0,093	-0,23	0,039	0,085
Employés	-0,052	-0,226	-0,093	0	-0,118	-0,06	-0,009
Ouvriers	-0,149	-0,311	0,23	0,118	0	-0,183	-0,128
Retraités	0	-0,179	-0,039	0,06	0,183	0	0,049
Chômeurs	-0,045	-0,219	-0,085	0,009	0,128	-0,049	0

L'indice de centralisation relative

<i>RCE</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,226	-0,072	-0,032	0,077	-0,068	-0,027
Cadres	0,226	0	0,162	0,21	0,32	0,171	0,211
Intermédiaires	0,072	-0,162	0	0,045	0,159	0,006	0,048
Employés	0,032	-0,21	-0,045	0	0,118	-0,04	0,004
Ouvriers	-0,077	-0,32	-0,159	-0,118	0	-0,157	-0,112
Retraités	0,068	-0,171	-0,006	0,04	0,157	0	0,044
Chômeurs	0,027	-0,211	-0,048	-0,004	0,112	-0,044	0

L'indice de proximité spatiale

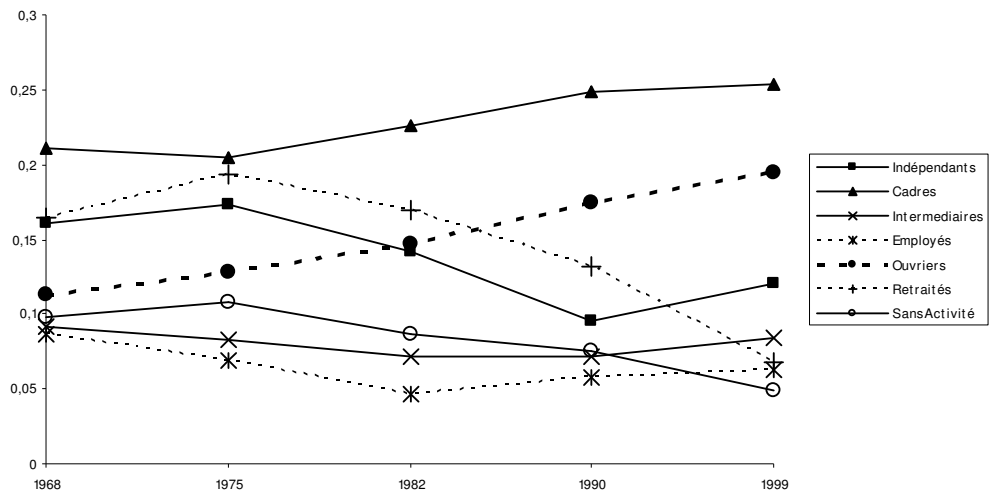
<i>SP</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	1	1,024	1,005	1,005	1,017	1,003	1,002
Cadres	1,024	1	1,013	1,026	1,081	1,015	1,02
Intermédiaires	1,005	1,013	1	1,002	1,026	0,999	1,139
Employés	1,005	1,026	1,002	1	1,013	1,001	1,163
Ouvriers	1,017	1,081	1,026	1,013	1	1,019	1,008
Retraités	1,003	1,015	0,999	1,001	1,019	1	1,148
Chômeurs	1,002	1,02	1,139	1,163	1,008	1,148	1

L'indice d'agrégation relative

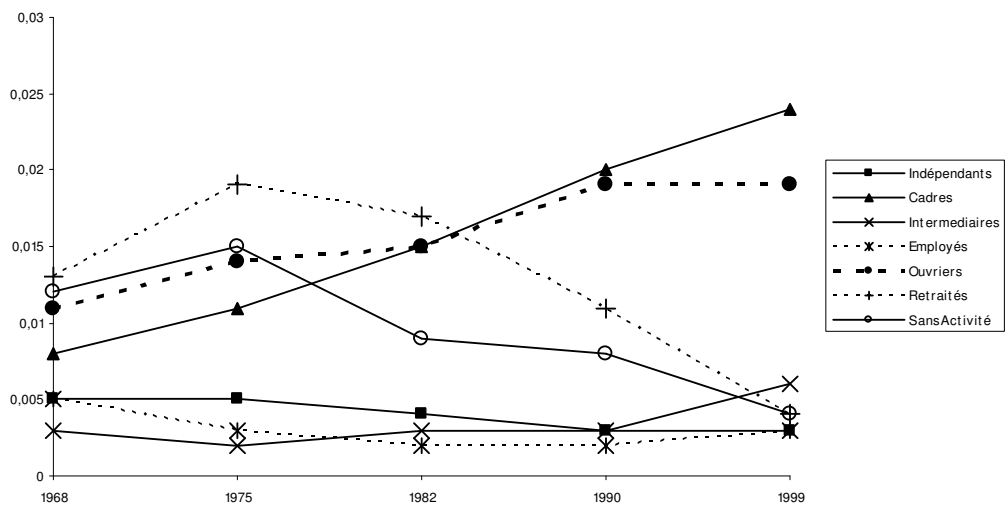
<i>RCL</i>	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,479	-0,222	-0,113	0,171	-0,187	-0,09
Cadres	0,479	0	0,494	0,703	1,247	0,561	0,746
Intermédiaires	0,222	-0,494	0	0,14	0,505	0,045	0,169
Employés	0,113	-0,703	-0,14	0	0,32	-0,083	0,025
Ouvriers	-0,171	-1,247	-0,505	-0,32	0	-0,306	-0,223
Retraités	0,187	-0,561	-0,045	0,083	0,306	0	0,119
Chômeurs	0,09	-0,746	-0,169	-0,025	0,223	-0,119	0

2.A.6.4. Les indices de ségrégation dans la communauté urbaine Grand Lyon

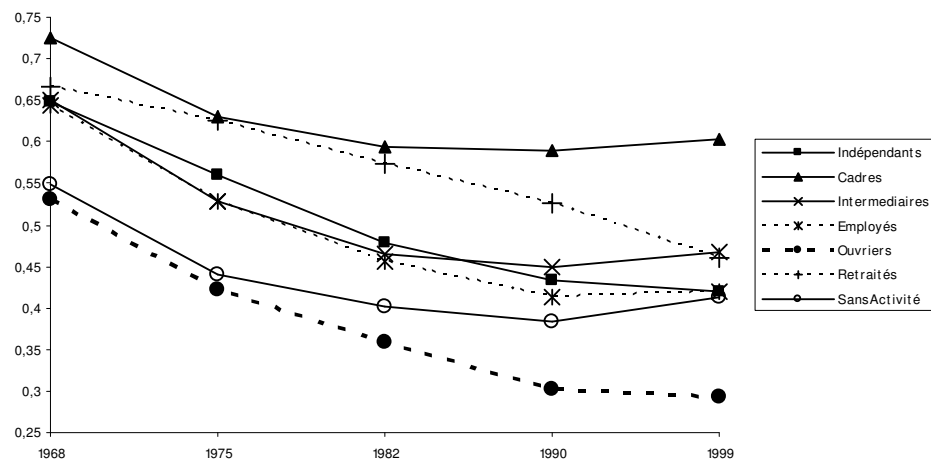
IS



Ea

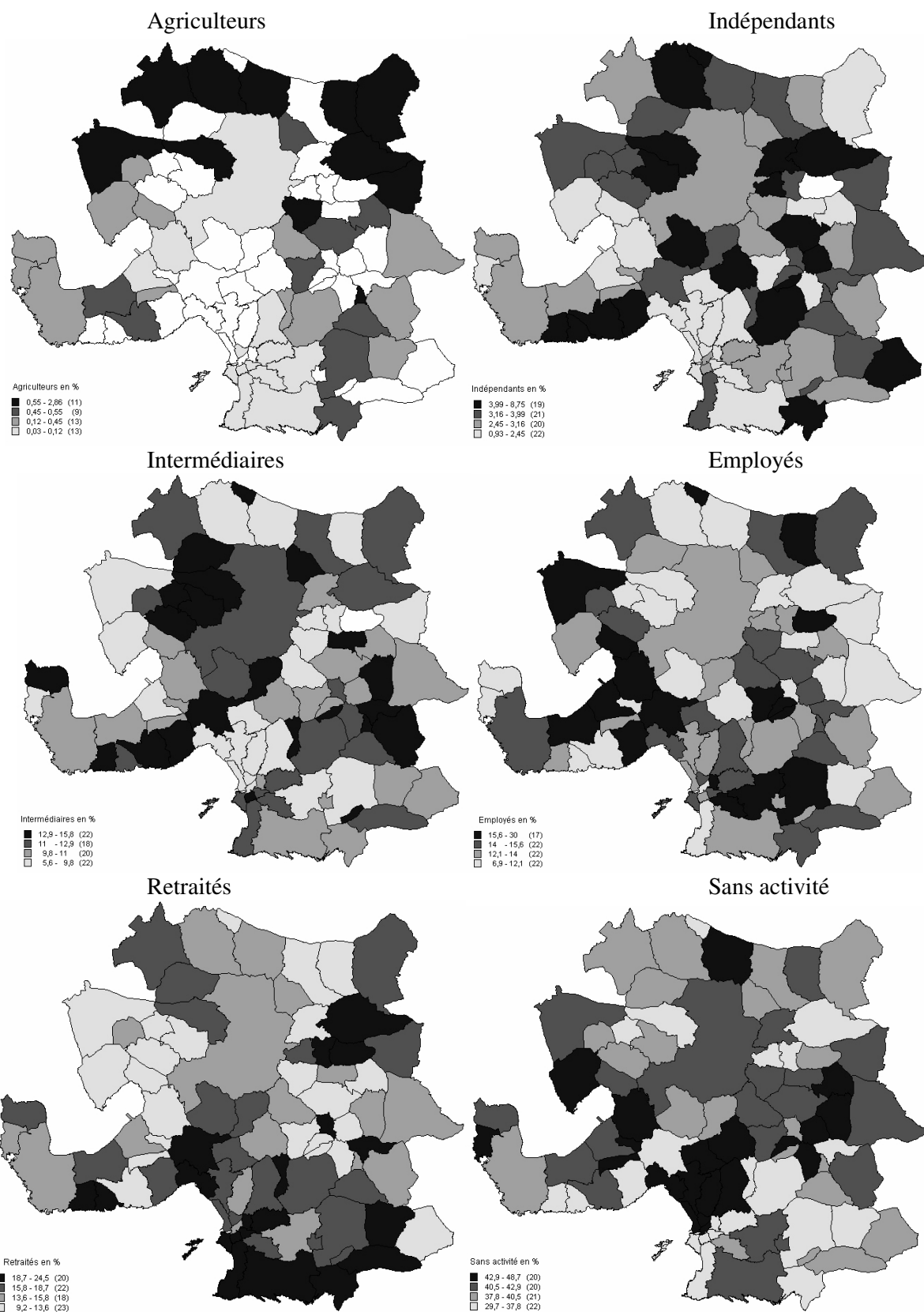


ACE

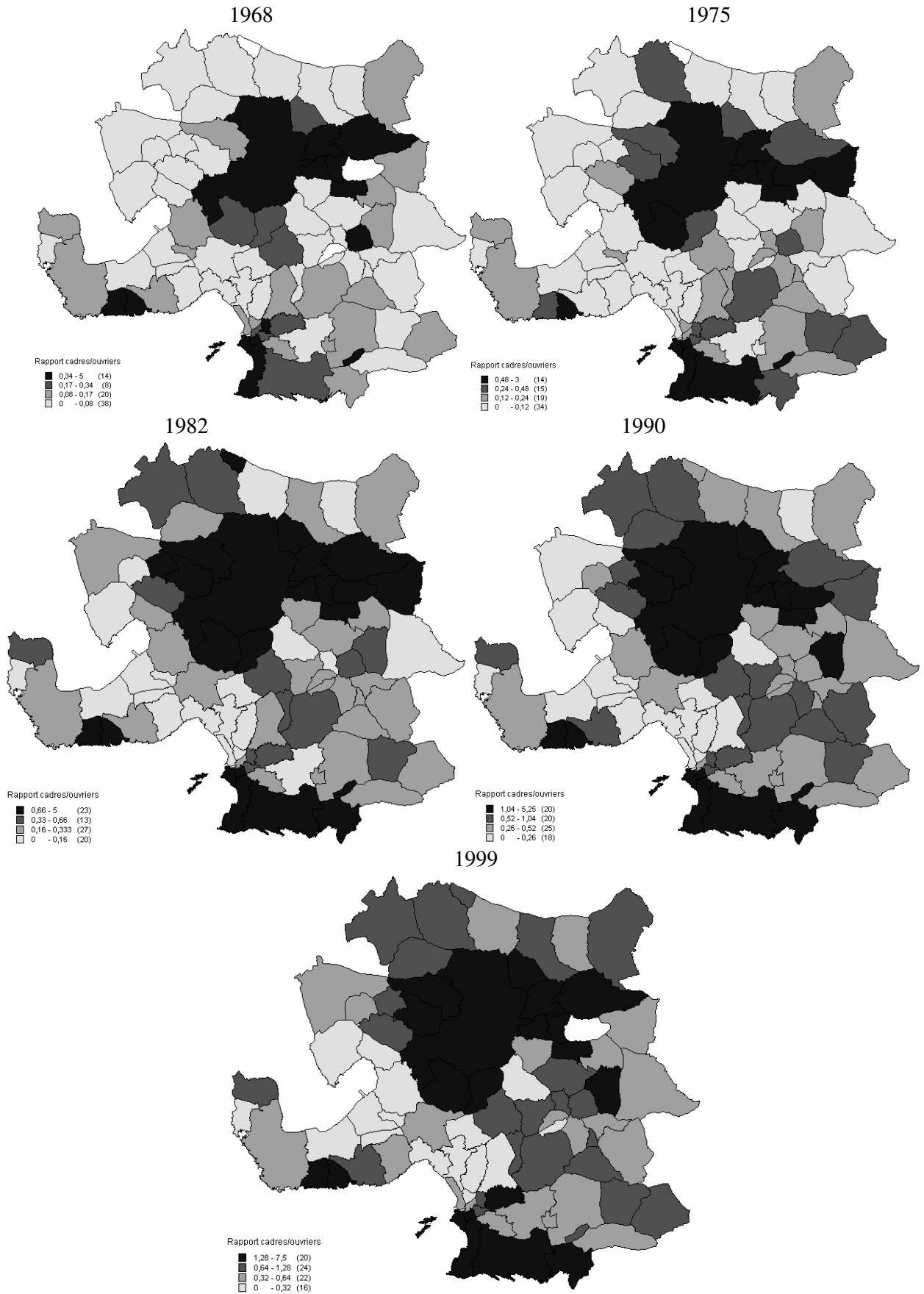


Annexes 2.A.7 L'agglomération Marseille - Aix-en-Provence en cartes

2.A.7.1 Distribution des différentes catégories socio-professionnelles



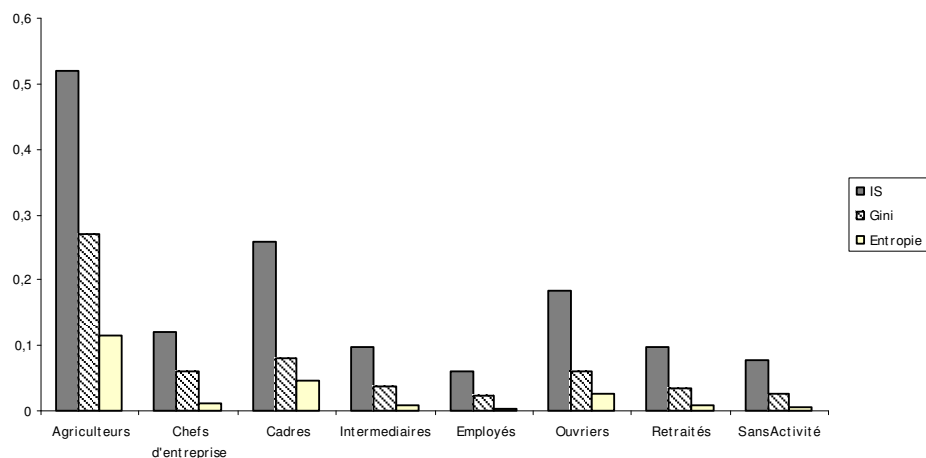
2.A.7.2 Evolution du rapport cadres/ouvriers



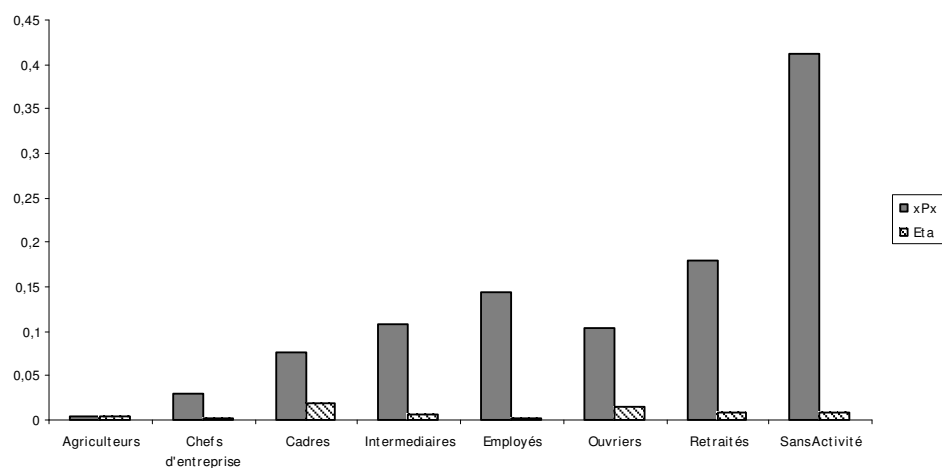
Annexes 2.A.8. Les indices de ségrégation : l'agglomération Marseille – Aix-en-Provence

2.A.8.1 Comparaison inter-indices

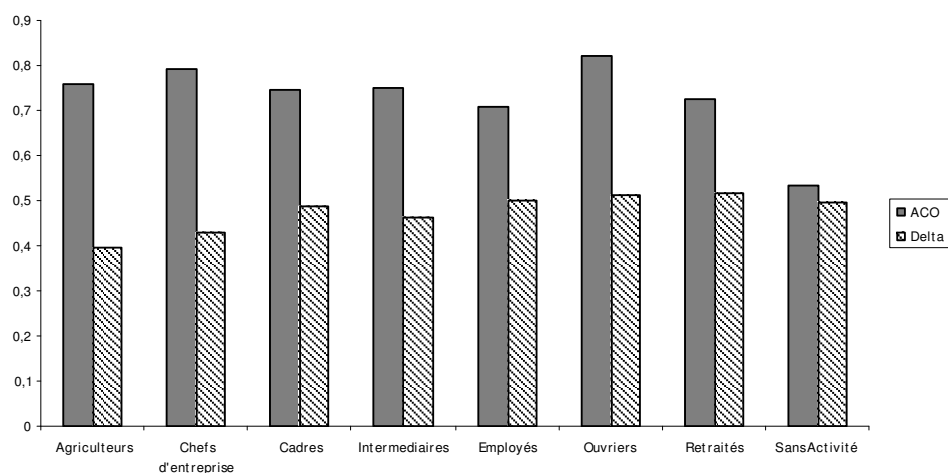
Indicateurs d'égalité



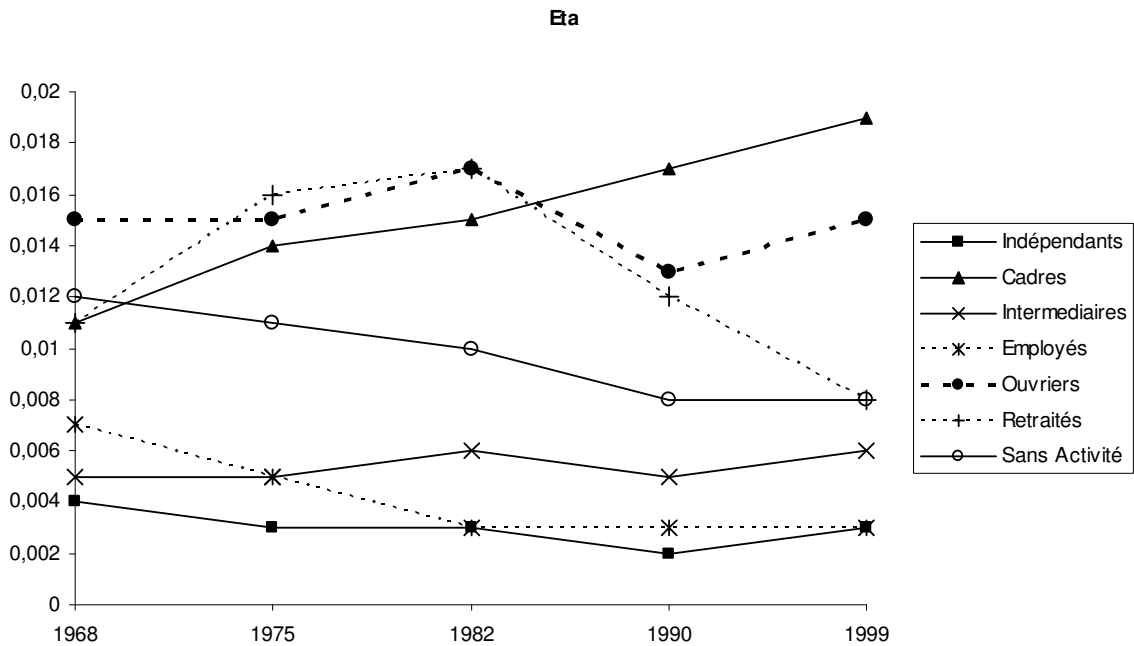
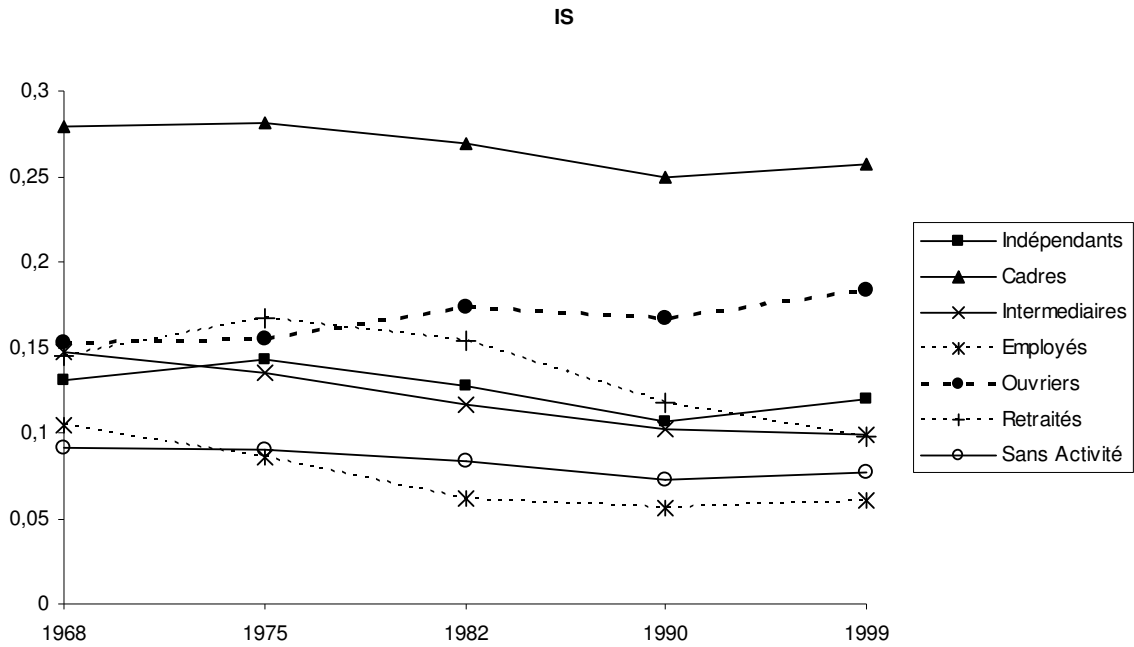
Indicateurs d'exposition



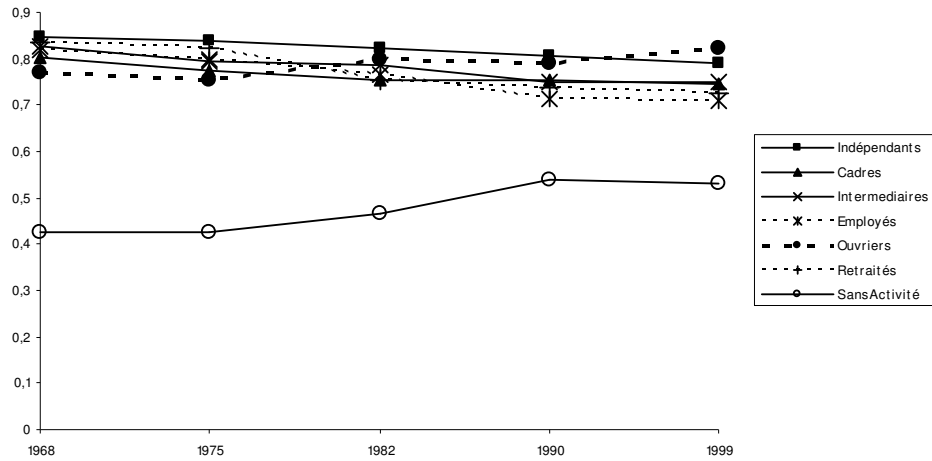
Indicateurs de concentration



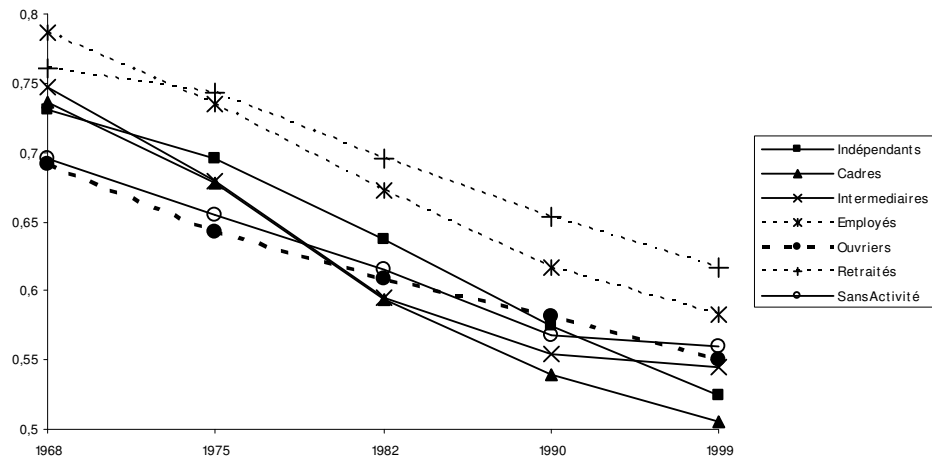
2.A.8.2. Analyse temporelle des indices de ségrégation intra-groupe dans l'aire urbaine de Marseille



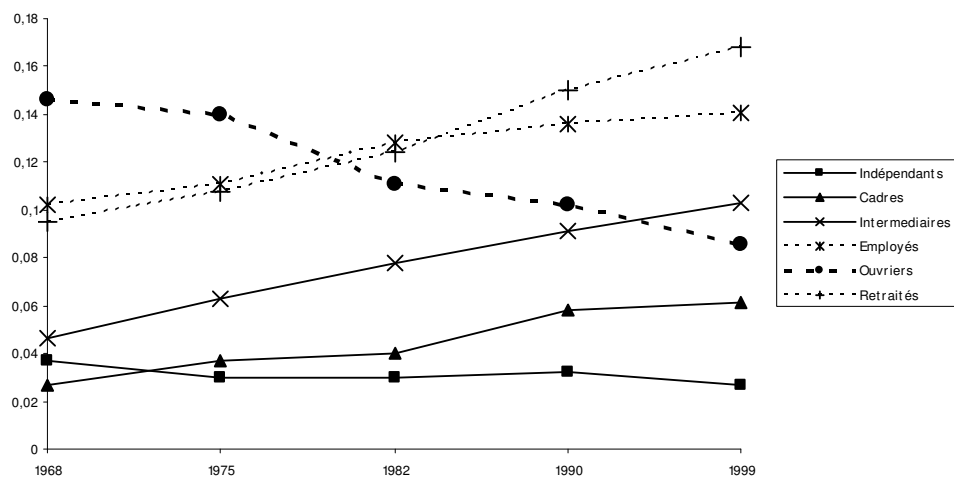
ACO



ACE



ACL



2.A.8.3. Analyse des indices de ségrégation inter-groupe dans l'aire urbaine de Marseille

L'indice de dissimilitude de Duncan

ID	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0,199	0,097	0,149	0,251	0,136	0,142
Cadres	0,199	0	0,184	0,281	0,4	0,219	0,27
Intermédiaires	0,097	0,184	0	0,12	0,248	0,105	0,125
Employés	0,149	0,281	0,12	0	0,153	0,099	0,071
Ouvriers	0,251	0,4	0,248	0,153	0	0,224	0,138
Retraités	0,136	0,219	0,105	0,099	0,224	0	0,122
Sans Activité	0,142	0,27	0,125	0,071	0,138	0,122	0

L'indice d'interaction

xPy	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0,03	0,064	0,107	0,14	0,087	0,173	0,401
Cadres	0,03	0,076	0,112	0,136	0,073	0,179	0,393
Intermédiaires	0,028	0,063	0,108	0,141	0,084	0,174	0,4
Employés	0,026	0,056	0,102	0,143	0,091	0,172	0,408
Ouvriers	0,025	0,047	0,096	0,144	0,103	0,164	0,419
Retraités	0,027	0,058	0,104	0,141	0,086	0,179	0,402
Sans Activité	0,026	0,056	0,101	0,142	0,092	0,169	0,413

L'indice de concentration relative

RCO	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0,176	0,006	-0,064	-0,151	-0,112	-0,004
Cadres	-0,176	0	-0,206	-0,29	-0,395	-0,348	-0,218
Intermédiaires	-0,006	0,206	0	-0,07	0,136	-0,119	-0,01
Employés	0,064	0,29	0,07	0	0,076	-0,046	0,057
Ouvriers	0,151	0,395	-0,136	-0,076	0	0,034	0,128
Retraités	0,112	0,348	0,119	0,046	-0,034	0	0,098
Chômeurs	0,004	0,218	0,01	-0,057	-0,128	-0,098	0

L'indice de centralisation relative

RCE	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0	-0,031	-0,069	-0,035	-0,119	-0,046
Cadres	0	0	-0,029	-0,066	-0,034	-0,111	-0,043
Intermédiaires	0,031	0,029	0	-0,037	-0,004	-0,086	-0,014
Employés	0,069	0,066	0,037	0	0,033	-0,05	0,024
Ouvriers	0,035	0,034	0,004	-0,033	0	-0,082	-0,009
Retraités	0,119	0,111	0,086	0,05	0,082	0	0,073
Chômeurs	0,046	0,043	0,014	-0,024	0,009	-0,073	0

L'indice de proximité spatiale

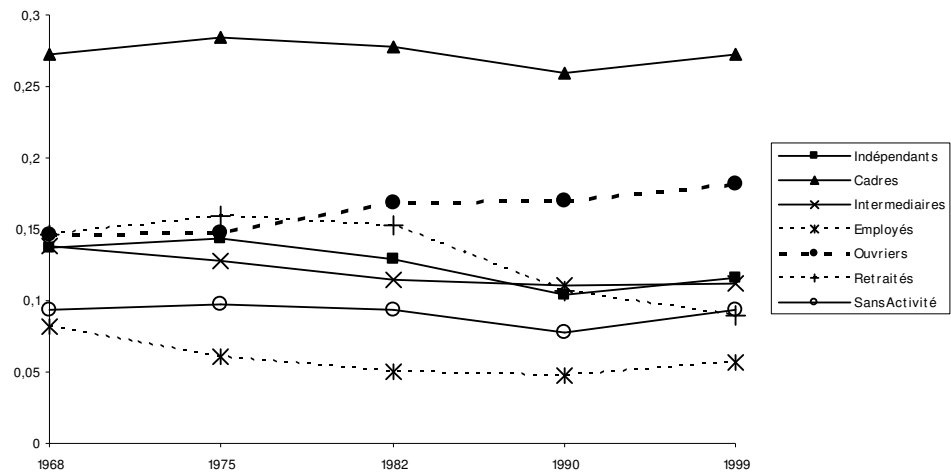
SP	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	1	1,012	1,001	1,002	1,016	1,004	1,002
Cadres	1,012	1	1,005	1,019	1,059	1,012	1,017
Intermédiaires	1,001	1,005	1	1,006	1,03	1,005	1,01
Employés	1,002	1,019	1,006	1	1,007	1,003	1,001
Ouvriers	1,016	1,059	1,03	1,007	1	1,014	1,001
Retraités	1,004	1,012	1,005	1,003	1,014	1	1,023
Chômeurs	1,002	1,017	1,01	1,001	1,001	1,023	1

L'indice d'agrégation relative

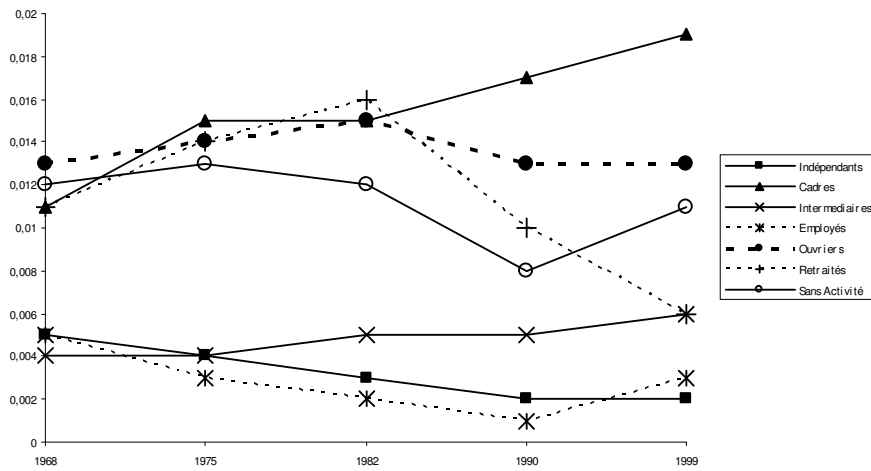
RCL	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,179	-0,18	-0,214	-0,208	-0,346	-0,162
Cadres	0,179	0	-0,001	-0,043	-0,035	-0,203	0,021
Intermédiaires	0,18	0,001	0	-0,042	-0,034	-0,202	0,022
Employés	0,214	0,043	0,042	0	0,008	-0,167	0,067
Ouvriers	0,208	0,035	0,034	-0,008	0	-0,174	0,058
Retraités	0,346	0,203	0,202	0,167	0,174	0	0,281
Chômeurs	0,162	-0,021	-0,022	-0,067	-0,058	-0,281	0

2.A.8.4. Les indices de ségrégation dans la communauté urbaine de Marseille

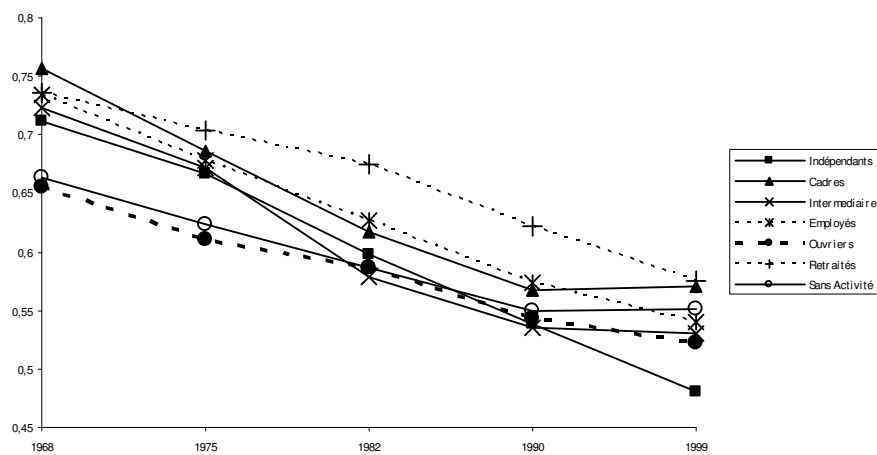
IS



Eta



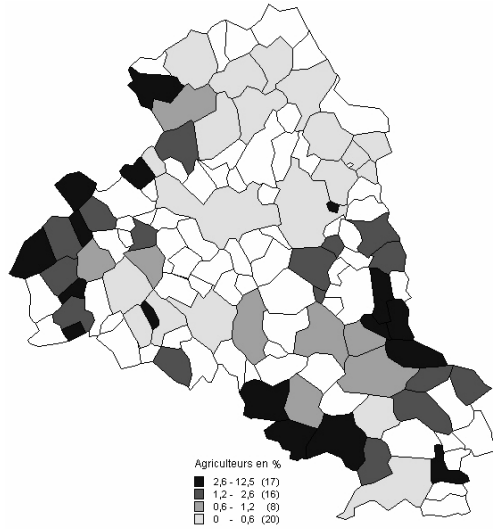
ACE



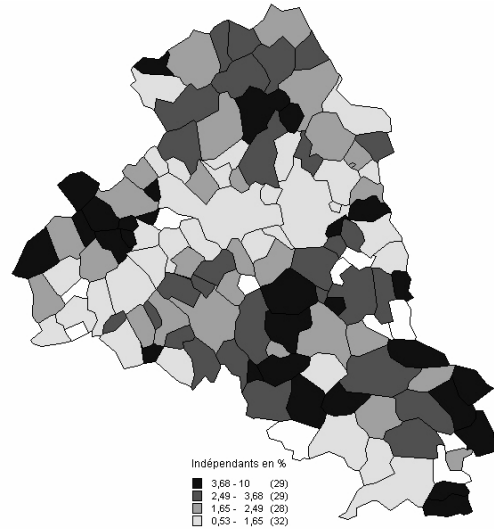
Annexes 2.A.9 L'agglomération lilloise

2.A.9.1 Distribution des différentes catégories socio-professionnelles

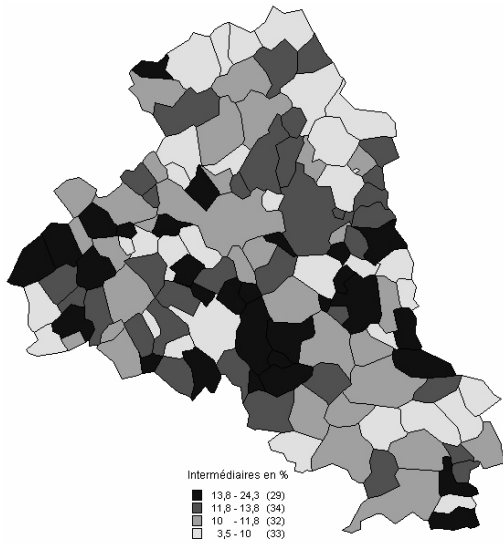
Agriculteurs



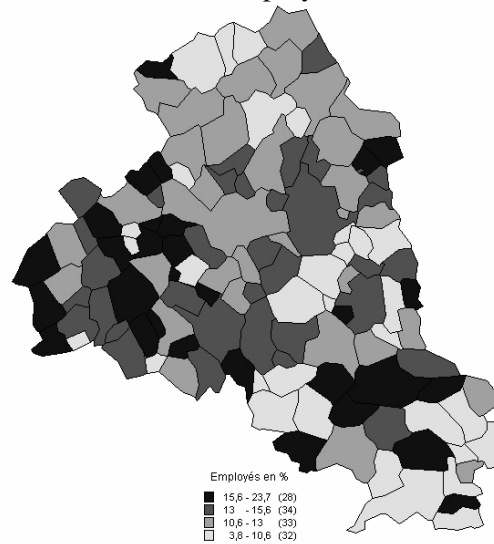
Indépendants



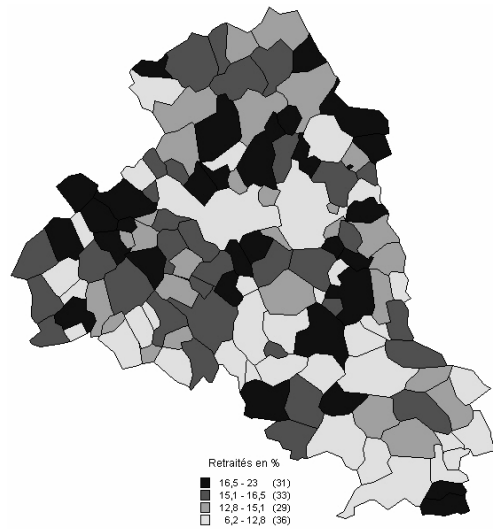
Intermédiaires



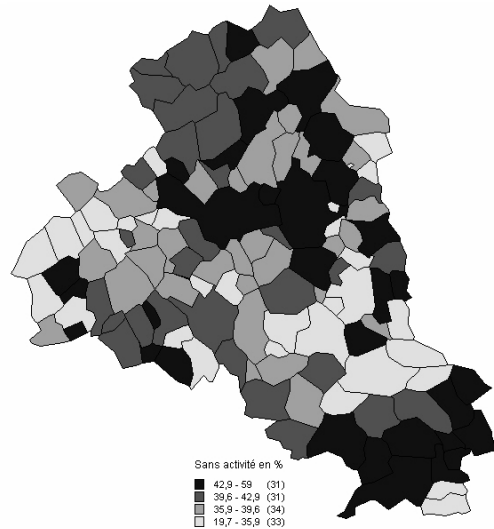
Employés



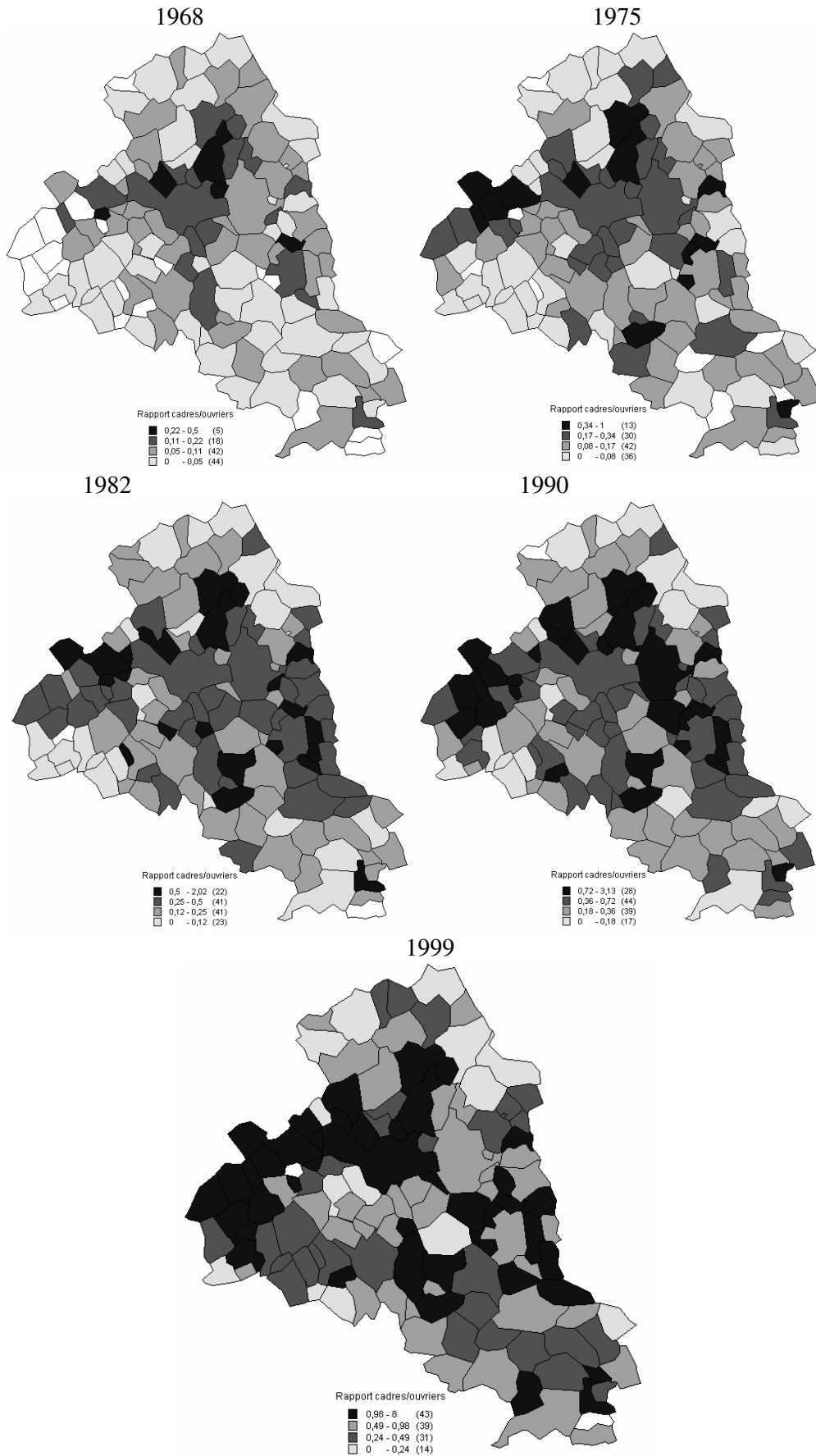
Retraités



Sans activité



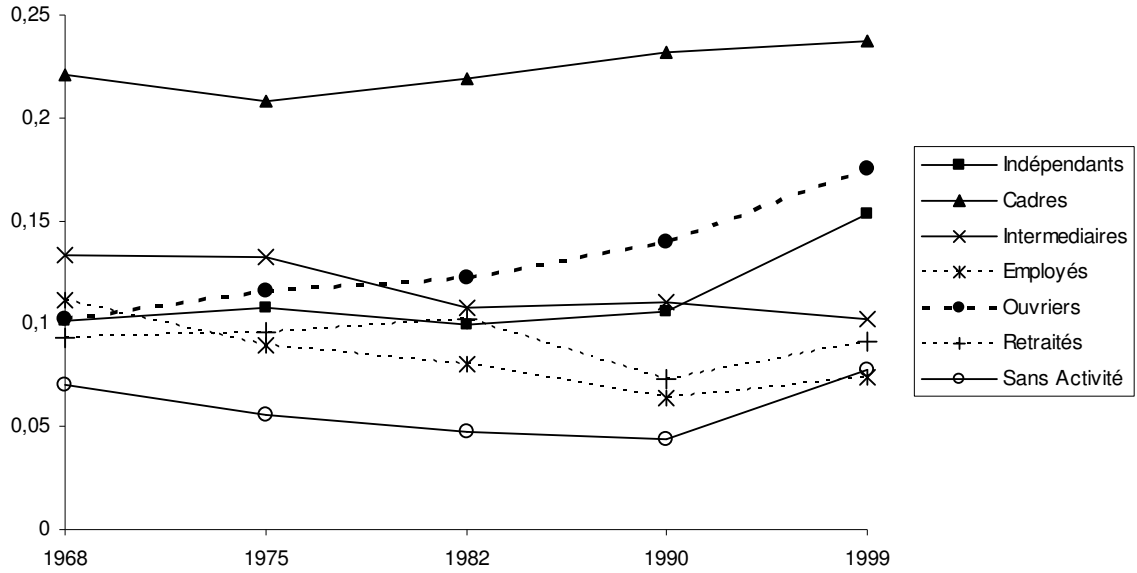
2.A.9.2 Evolution du rapport cadres/ouvriers



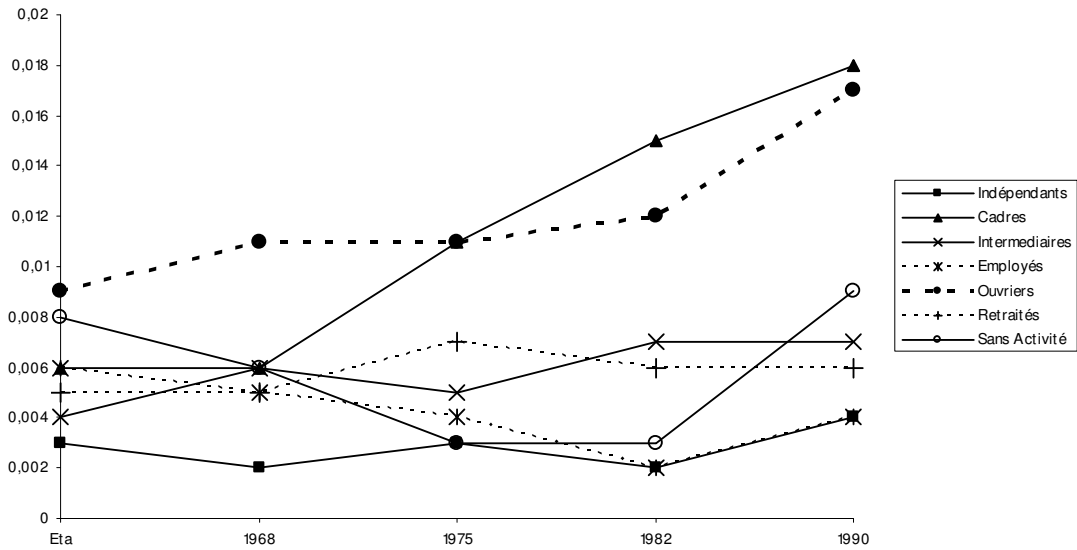
Annexes 2.A.10 Les indices de ségrégation : l'agglomération lilloise

2.A.10.1. Analyse temporelle des indices de ségrégation intra-groupe dans l'aire urbaine de Lille

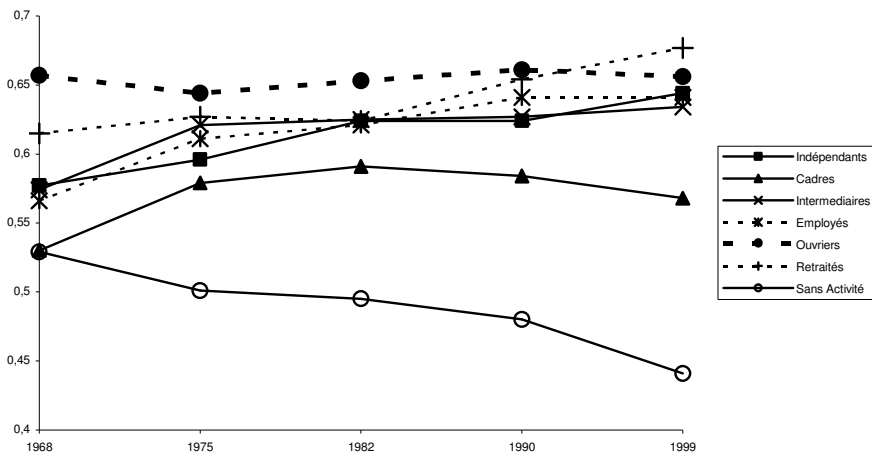
IS



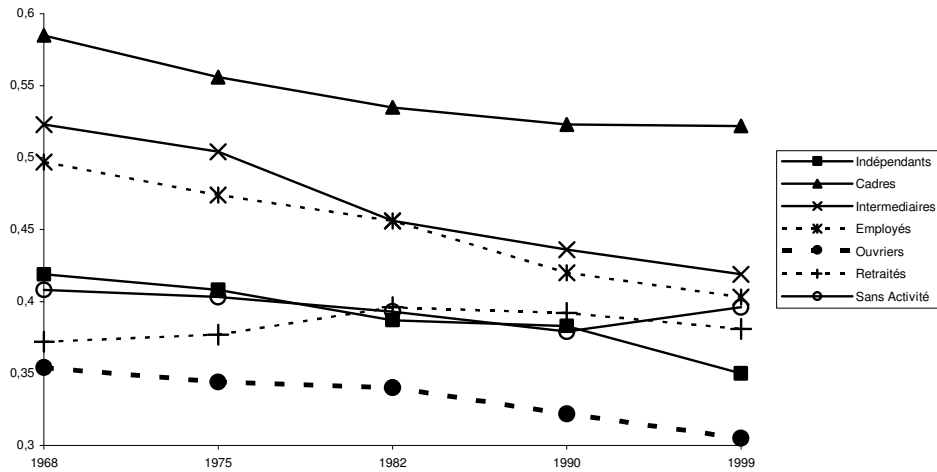
Eta



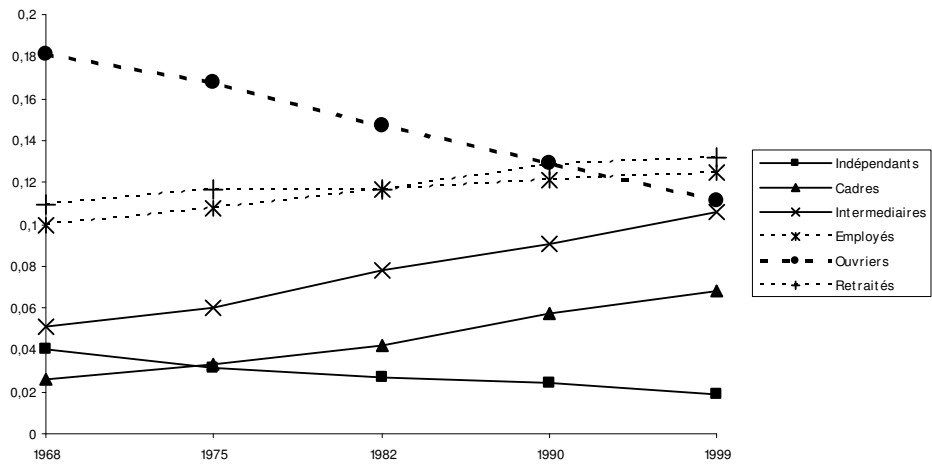
ACO



ACE



ACL



2.A.10.2. Analyse des indices de ségrégation inter-groupe dans l'aire urbaine de Marseille

L'indice de dissimilitude de Duncan

ID	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0,25	0,16	0,161	0,241	0,136	0,176
Cadres	0,25	0	0,174	0,237	0,362	0,255	0,228
Intermédiaires	0,16	0,174	0	0,096	0,238	0,118	0,121
Employés	0,161	0,237	0,096	0	0,176	0,101	0,092
Ouvriers	0,241	0,362	0,238	0,176	0	0,161	0,149
Retraités	0,136	0,255	0,118	0,101	0,161	0	0,117
Sans Activité	0,176	0,228	0,121	0,092	0,149	0,117	0

L'indice d'interaction

xPy	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0,024	0,064	0,107	0,124	0,116	0,145	0,419
Cadres	0,021	0,077	0,113	0,125	0,101	0,14	0,421
Intermédiaires	0,02	0,065	0,111	0,127	0,113	0,143	0,419
Employés	0,019	0,06	0,106	0,129	0,12	0,142	0,422
Ouvriers	0,019	0,05	0,099	0,124	0,136	0,143	0,427
Retraités	0,02	0,059	0,105	0,126	0,121	0,147	0,419
Sans Activité	0,019	0,06	0,104	0,124	0,121	0,14	0,43

L'indice de concentration relative

RCO	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	0,167	0,053	0,046	0,012	-0,031	0,107
Cadres	-0,167	0	-0,136	-0,144	-0,185	-0,236	-0,071
Intermédiaires	-0,053	0,136	0	-0,008	-0,044	-0,09	0,058
Employés	-0,046	0,144	0,008	0	0,035	-0,082	0,066
Ouvriers	-0,012	0,185	0,044	-0,035	0	-0,044	0,099
Retraités	0,031	0,236	0,09	0,082	0,044	0	0,138
Chômeurs	-0,107	0,071	-0,058	-0,066	-0,099	-0,138	0

L'indice de centralisation relative

RCE	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,209	-0,081	-0,061	0,058	-0,031	-0,059
Cadres	0,209	0	0,126	0,146	0,263	0,177	0,148
Intermédiaires	0,081	-0,126	0	0,019	0,135	0,048	0,02
Employés	0,061	-0,146	-0,019	0	0,117	0,029	0,001
Ouvriers	-0,058	-0,263	-0,135	-0,117	0	-0,088	-0,117
Retraités	0,031	-0,177	-0,048	-0,029	0,088	0	-0,029
Chômeurs	0,059	-0,148	-0,02	-0,001	0,117	0,029	0

L'indice de proximité spatiale

SP	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	1	1,027	1,005	1,003	1,008	1,001	1
Cadres	1,027	1	1,009	1,021	1,082	1,022	1,121
Intermédiaires	1,005	1,009	1	1,003	1,041	1,006	1,09
Employés	1,003	1,021	1,003	1	1,023	1,001	1,092
Ouvriers	1,008	1,082	1,041	1,023	1	1,014	1,104
Retraités	1,001	1,022	1,006	1,001	1,014	1	1,087
Chômeurs	1	1,121	1,09	1,092	1,104	1,087	1

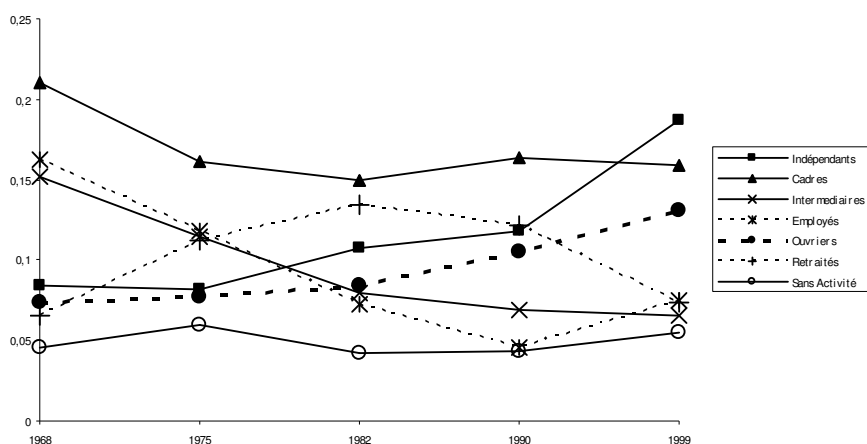
L'indice d'agrégation relative

RCL	Indépendants	Cadres	Intermédiaires	Employés	Ouvriers	Retraités	Chômeurs
Indépendants	0	-0,097	-0,03	-0,074	-0,198	-0,161	-0,065
Cadres	0,097	0	0,074	0,025	-0,112	-0,071	0,035
Intermédiaires	0,03	-0,074	0	-0,046	-0,173	-0,135	-0,036
Employés	0,074	-0,025	0,046	0	-0,133	-0,094	0,01
Ouvriers	0,198	0,112	0,173	0,133	0	0,046	0,165
Retraités	0,161	0,071	0,135	0,094	-0,046	0	0,114
Chômeurs	0,065	-0,035	0,036	-0,01	-0,165	-0,114	0

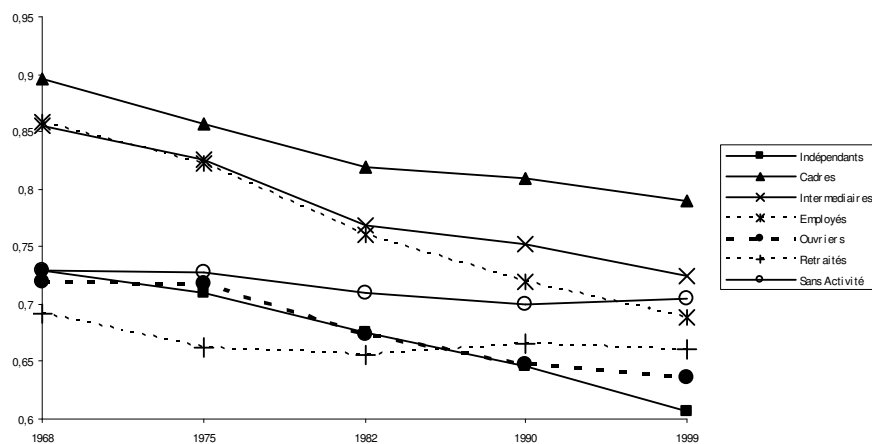
Annexes 2.A.11 Les indices de ségrégation dans les autre agglomérations française

2.A.11.1 L'aire urbaine de Toulouse

IS

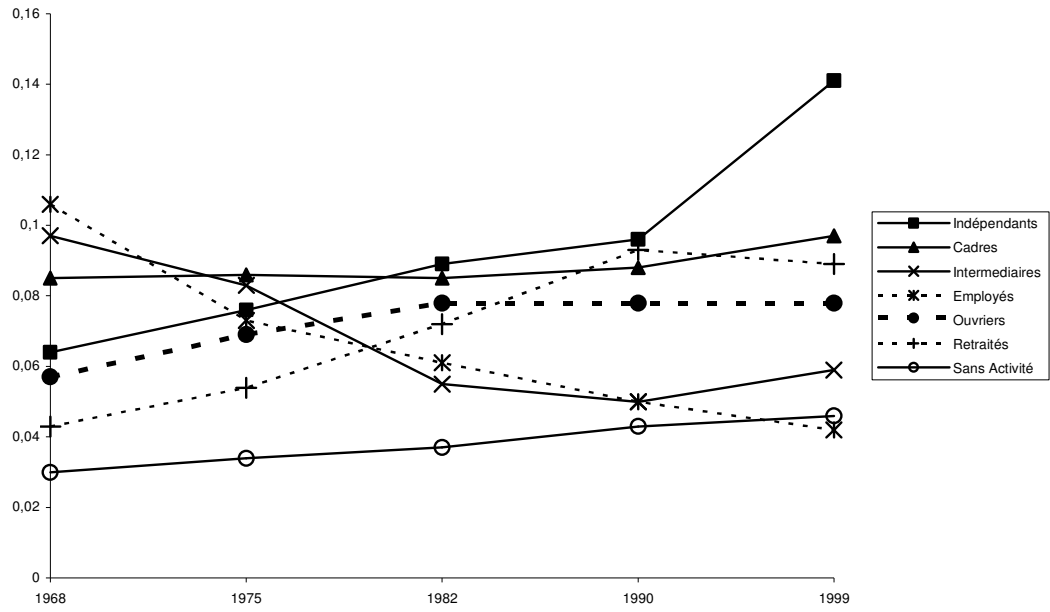


ACE

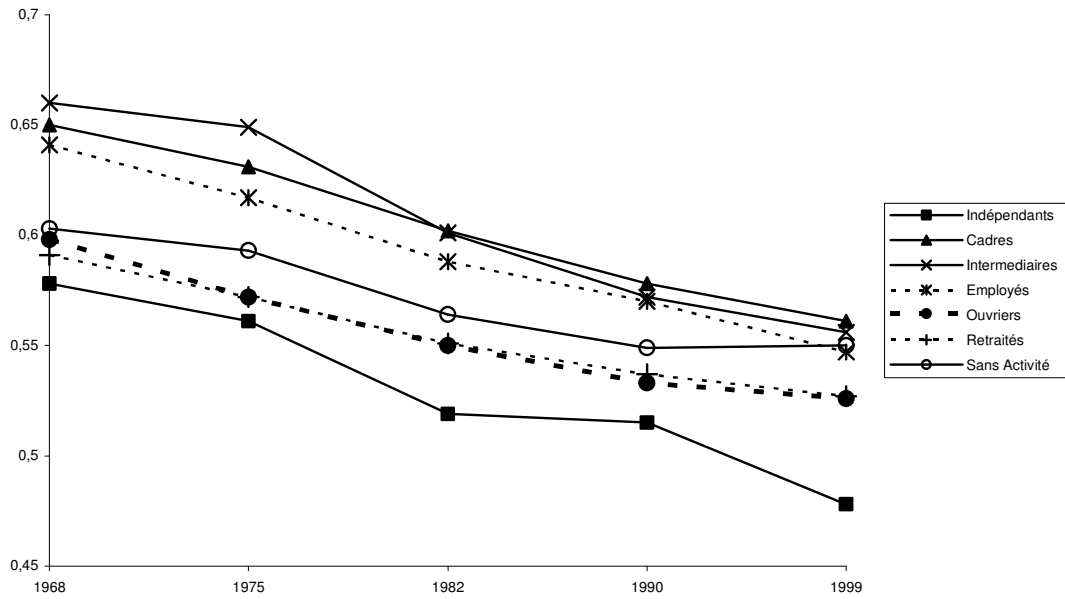


2.A.11.2 L'aire urbaine de Nice

IS

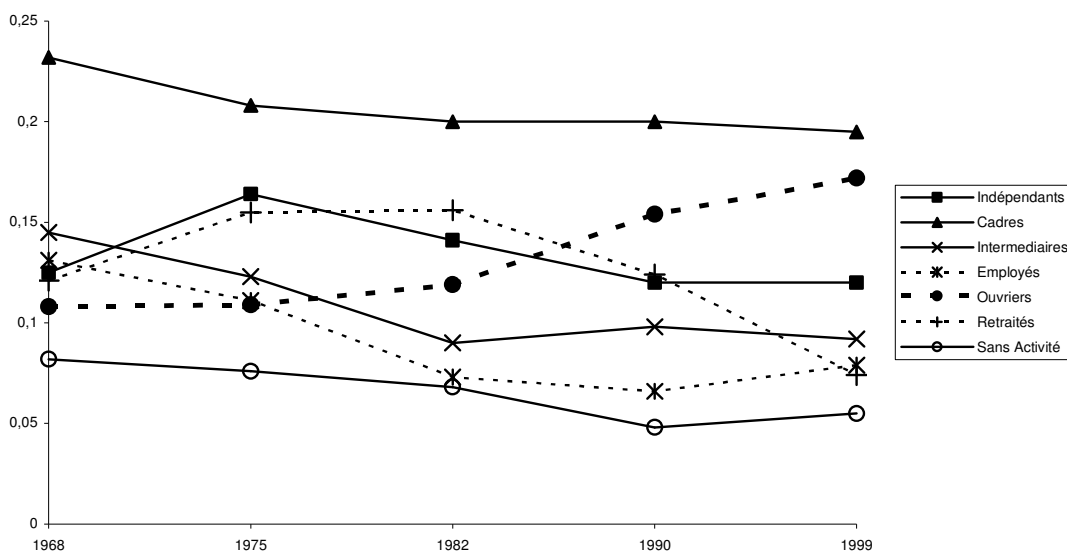


ACE

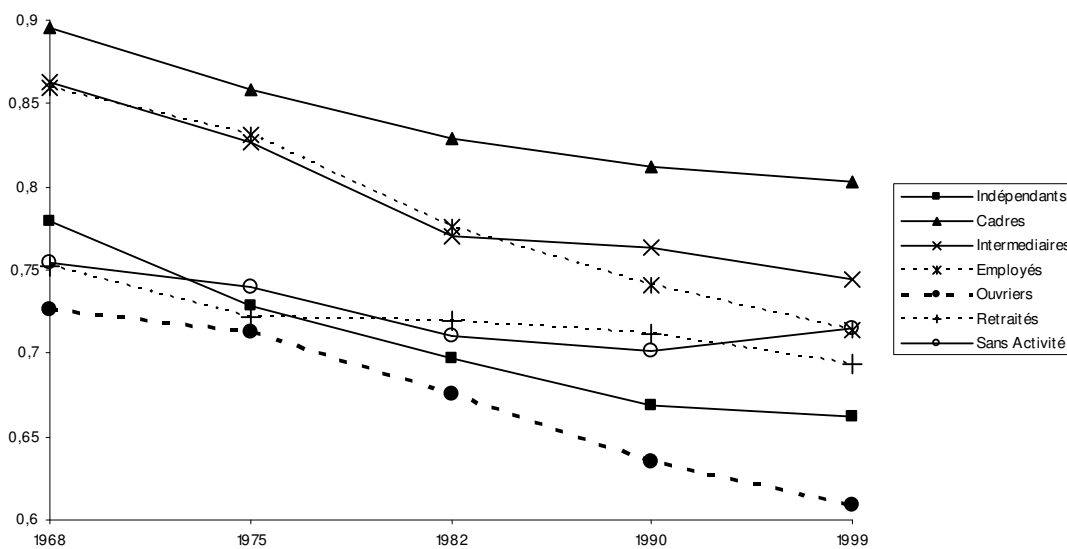


2.A.11.3 L'aire urbaine de Bordeaux

IS

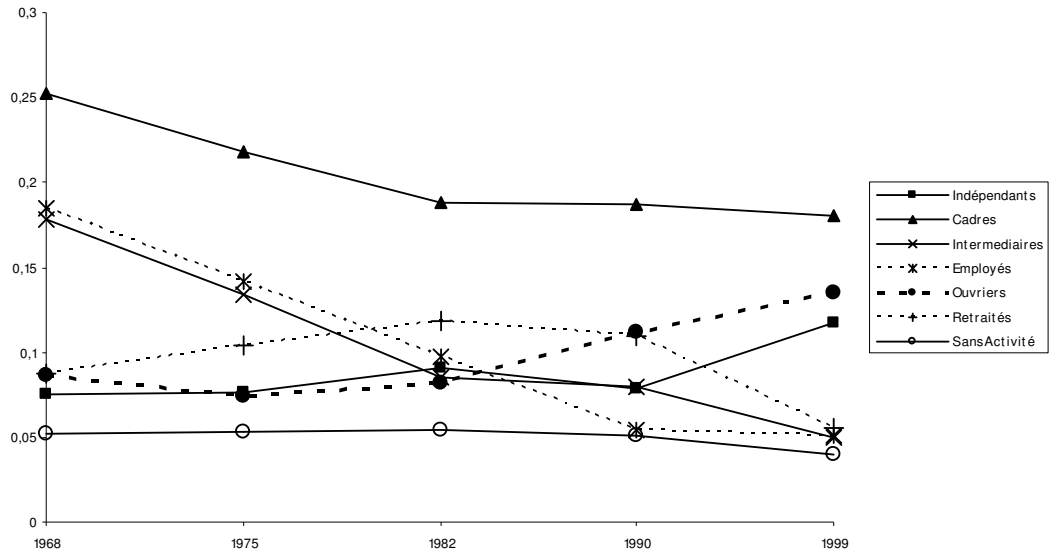


ACE

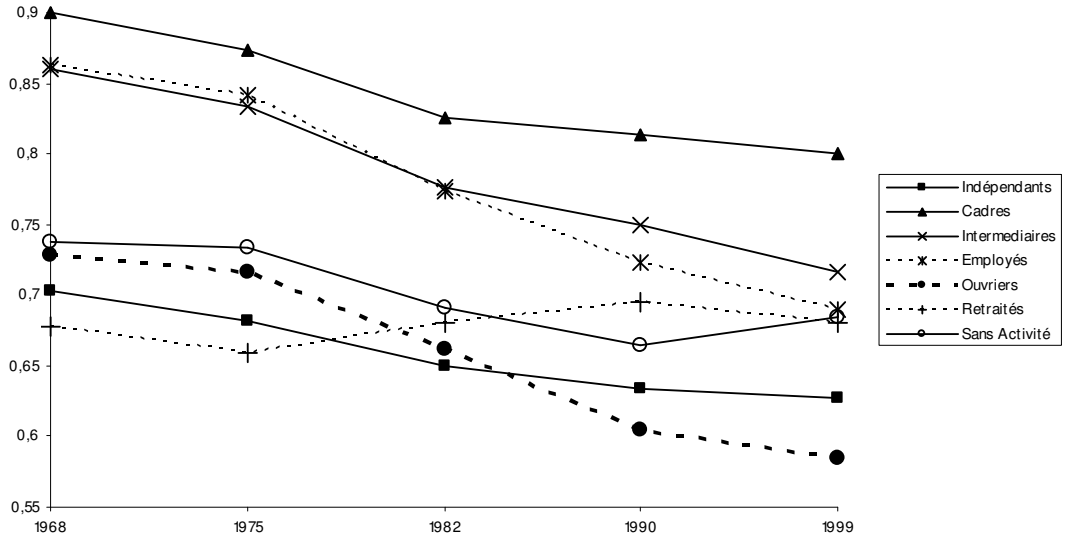


2.A.11.4 L'aire urbaine de Nantes

IS

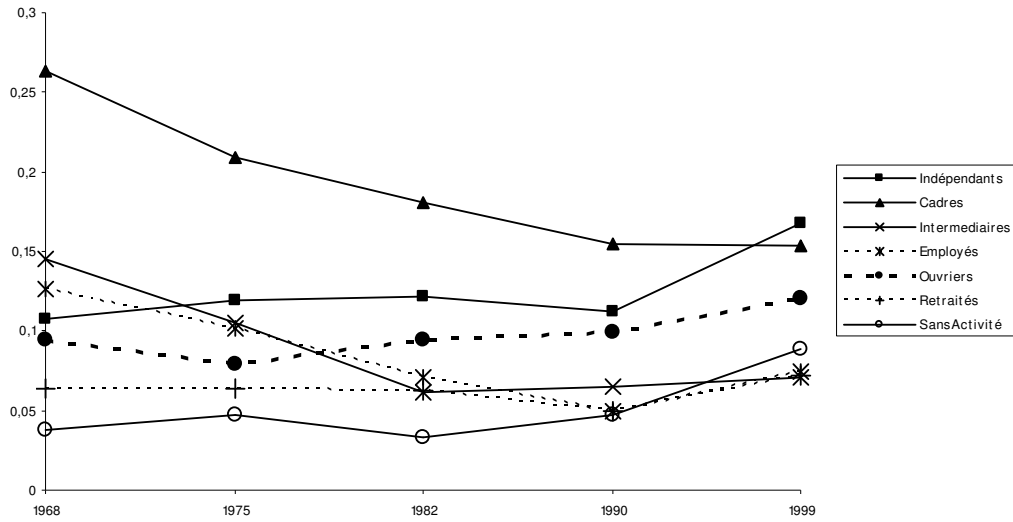


ACE

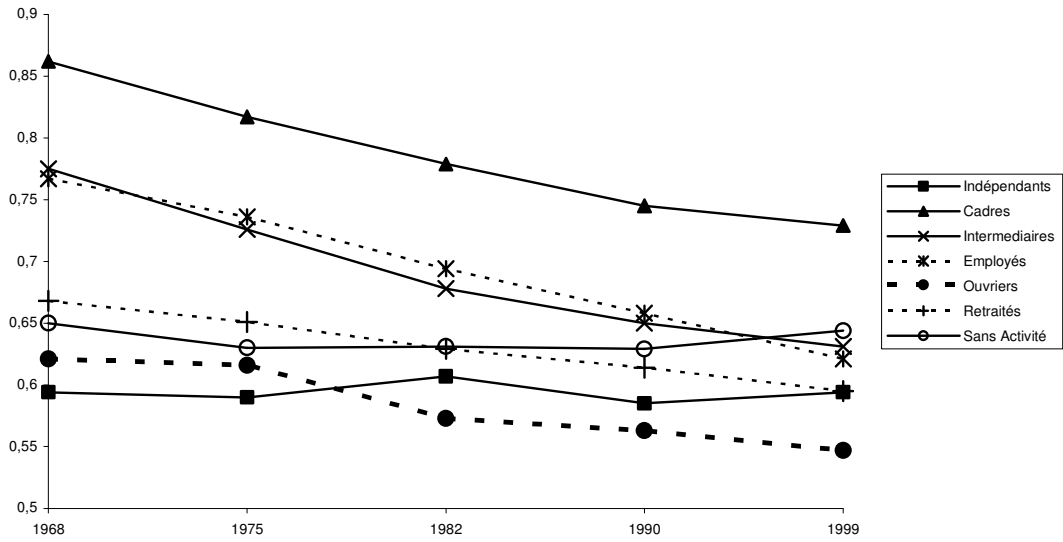


2.A.11.5 L'aire urbaine de Strasbourg

IS

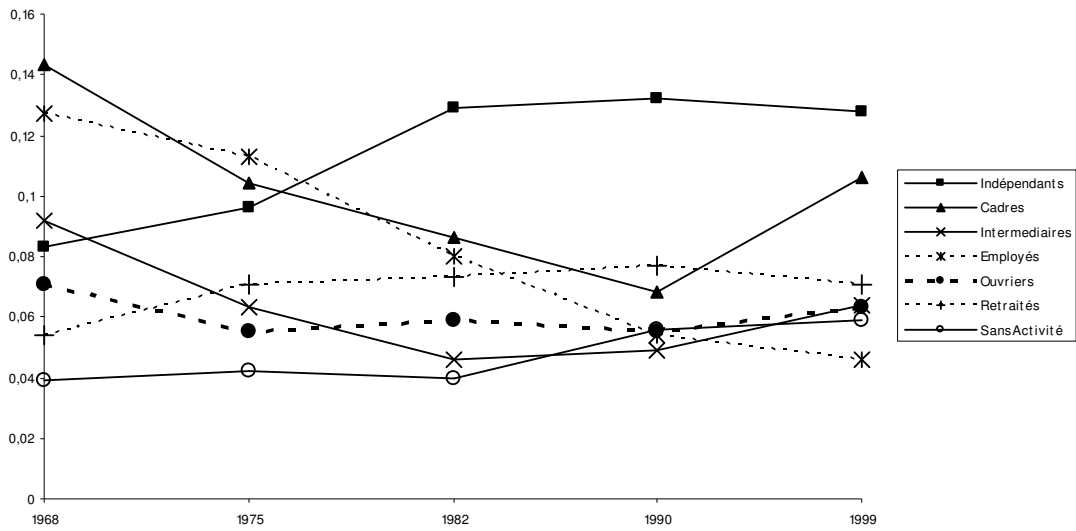


ACE

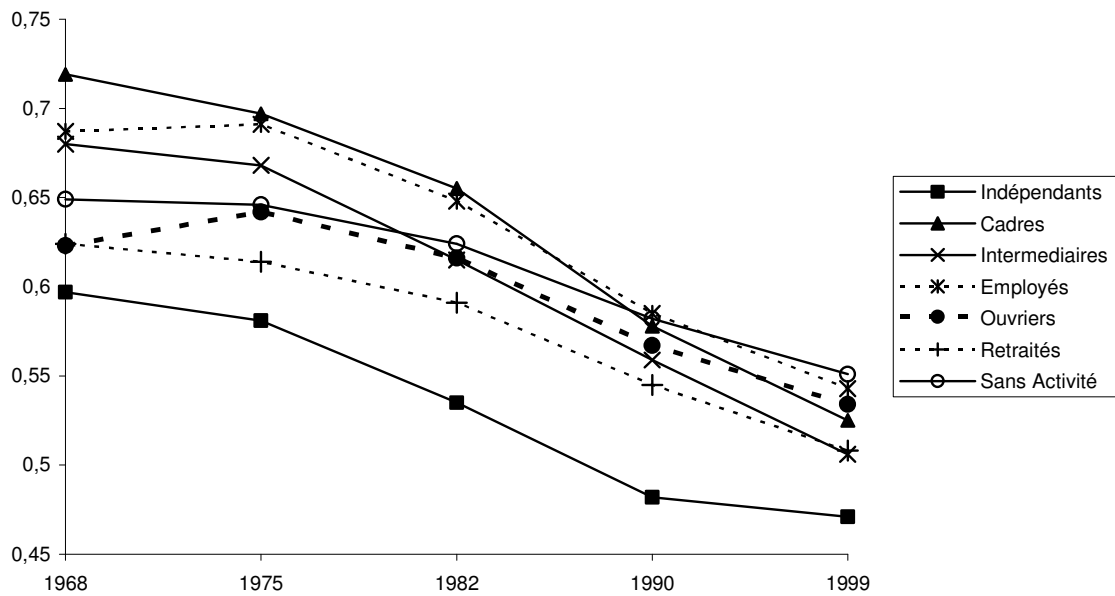


2.A.11.6 L'aire urbaine de Toulon

IS



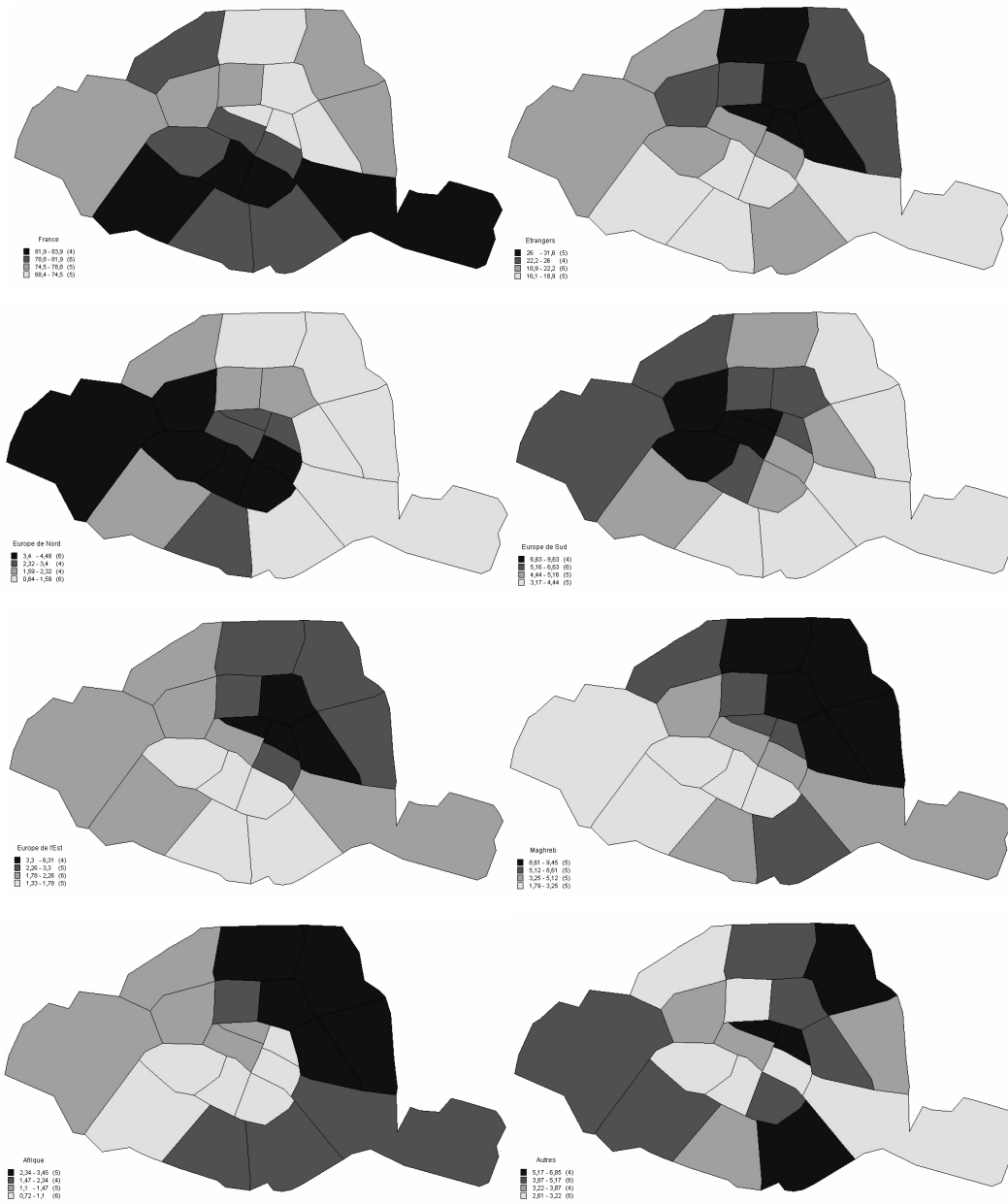
ACE



Annexes 2.B : SEGREGATION ETHNIQUE

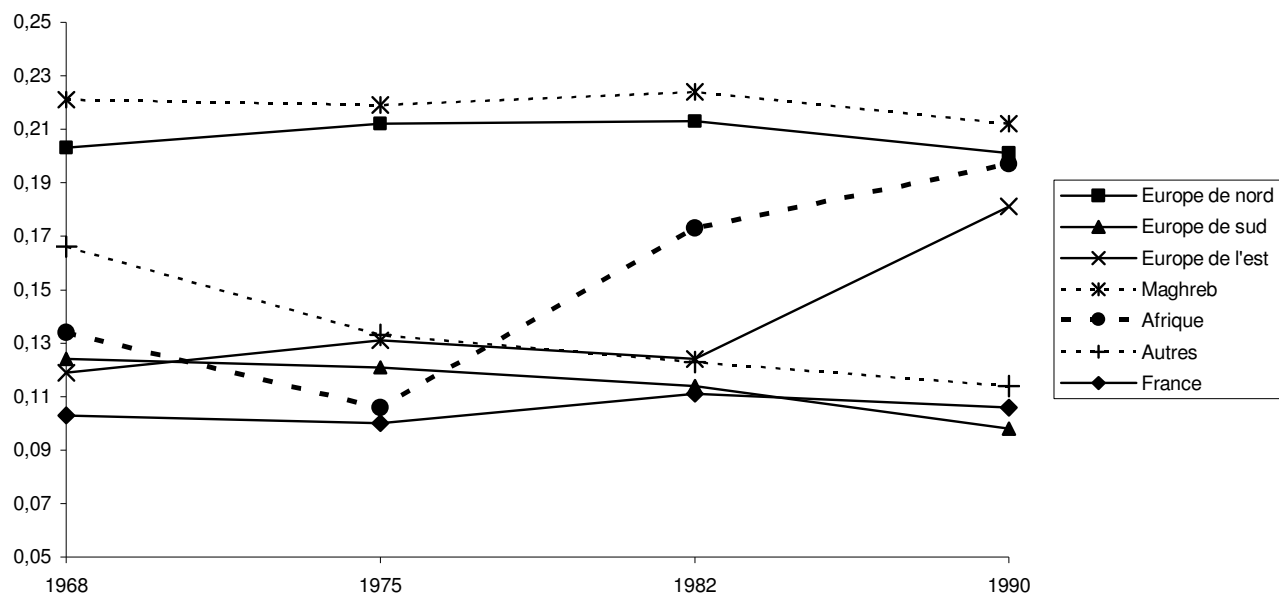
Annexes 2.B.1. Paris

2.B.1.1 : Distribution des catégories ethniques



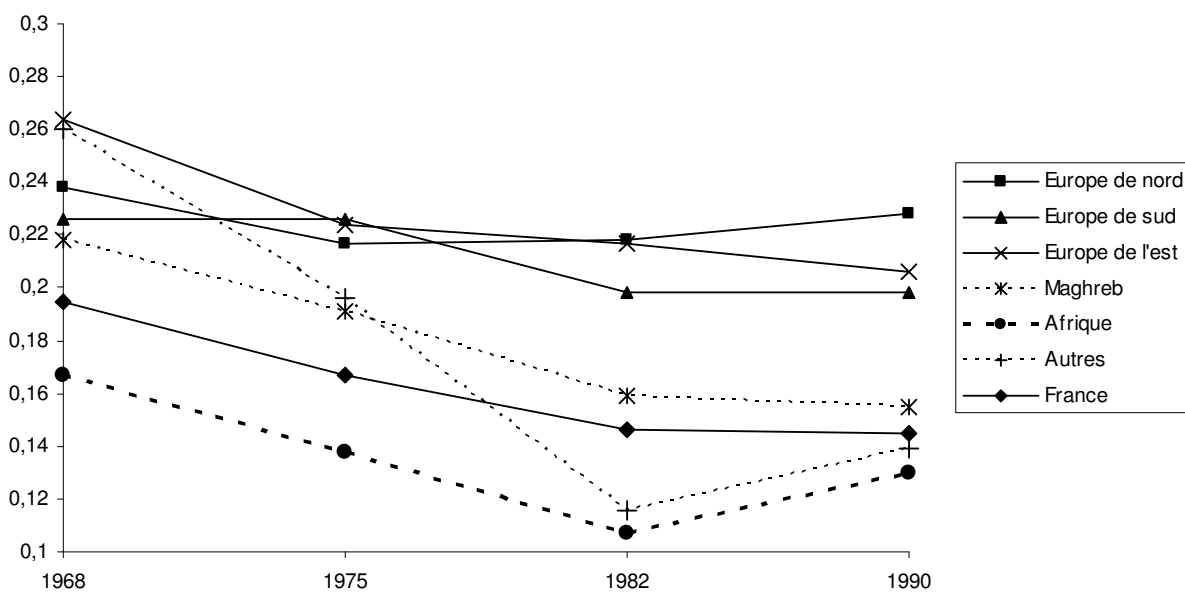
2.B.1.2 : Les indices de ségrégation

IS



ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,188	0,102	0,199	0,22	0,213	0,124
Nord	0,188	0	0,151	0,316	0,374	0,377	0,236
Sud	0,102	0,151	0	0,195	0,246	0,25	0,138
Est	0,199	0,316	0,195	0	0,137	0,158	0,182
Maghreb	0,22	0,374	0,246	0,137	0	0,052	0,21
Afrique	0,213	0,377	0,25	0,158	0,052	0	0,196
Autres	0,124	0,236	0,138	0,182	0,21	0,196	0

ACE



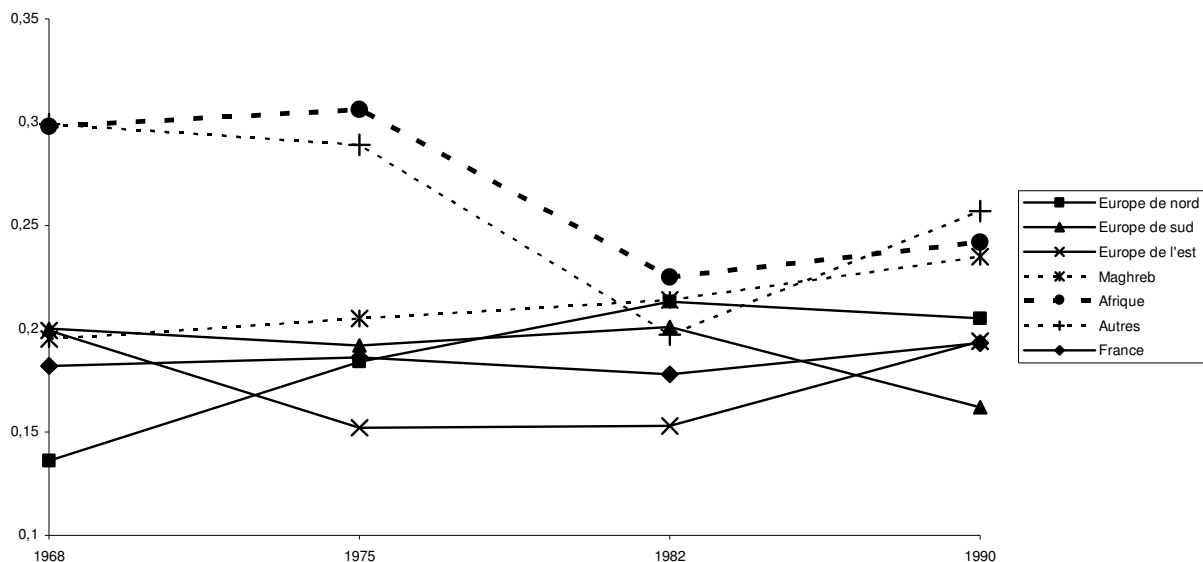
Annexes 2.B.2. Grand Lyon

2.B.2.1 : Distribution des catégories ethniques



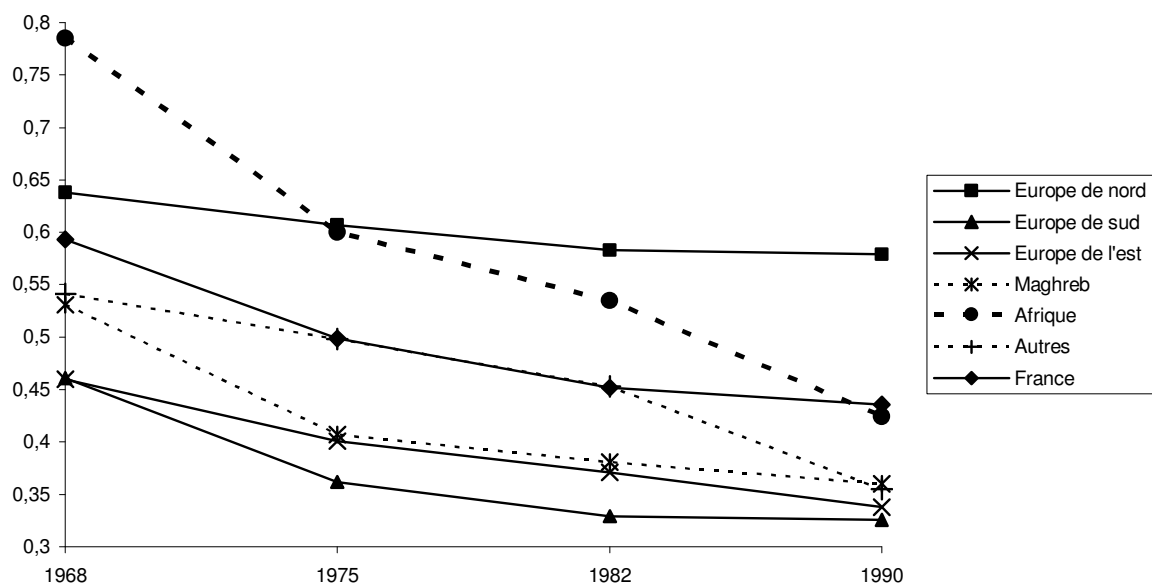
2.B.2.2 : Les indices de ségrégation

IS



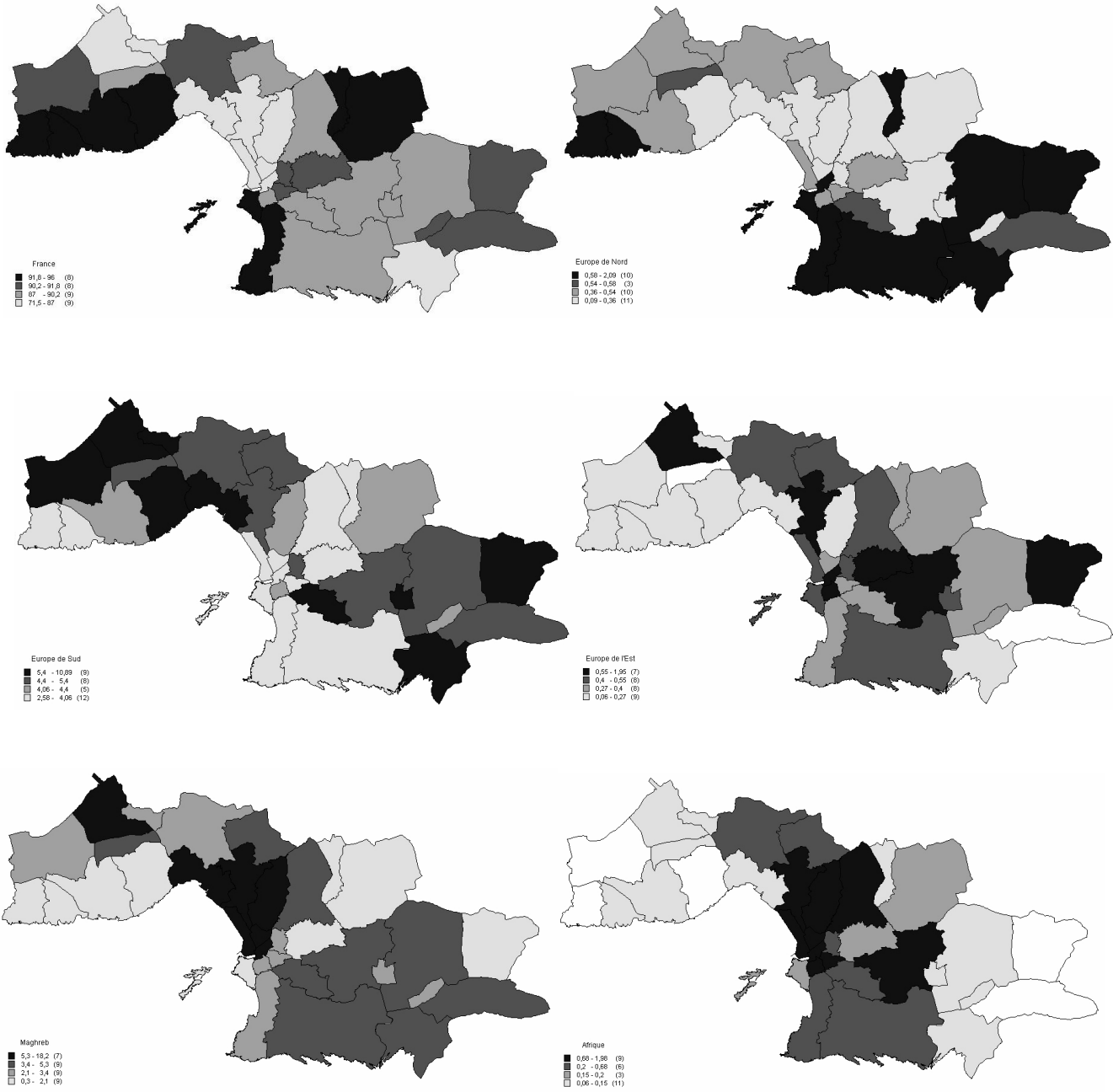
ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,183	0,178	0,218	0,249	0,262	0,278
Nord	0,183	0	0,319	0,327	0,383	0,366	0,399
Sud	0,178	0,319	0	0,15	0,151	0,235	0,189
Est	0,218	0,327	0,15	0	0,166	0,244	0,201
Maghreb	0,249	0,383	0,151	0,166	0	0,172	0,18
Afrique	0,262	0,366	0,235	0,244	0,172	0	0,229
Autres	0,278	0,399	0,189	0,201	0,18	0,229	0

ACE



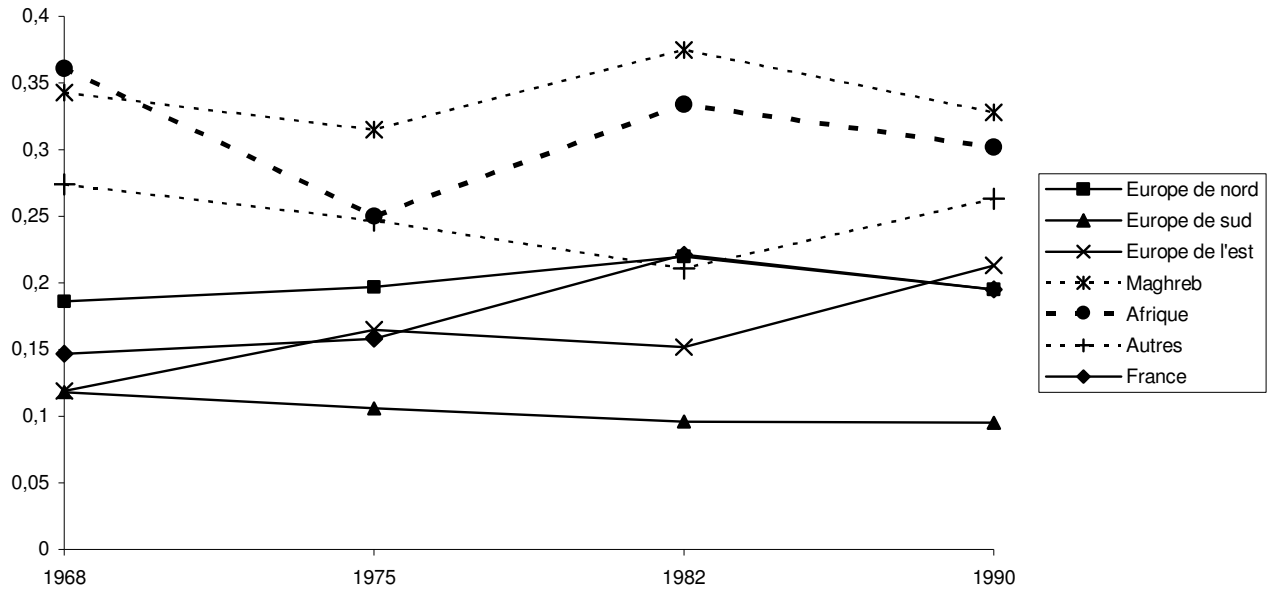
Annexes 2.B.3. Communauté urbaine de Marseille

2.B.3.1 : Distribution des catégories ethniques



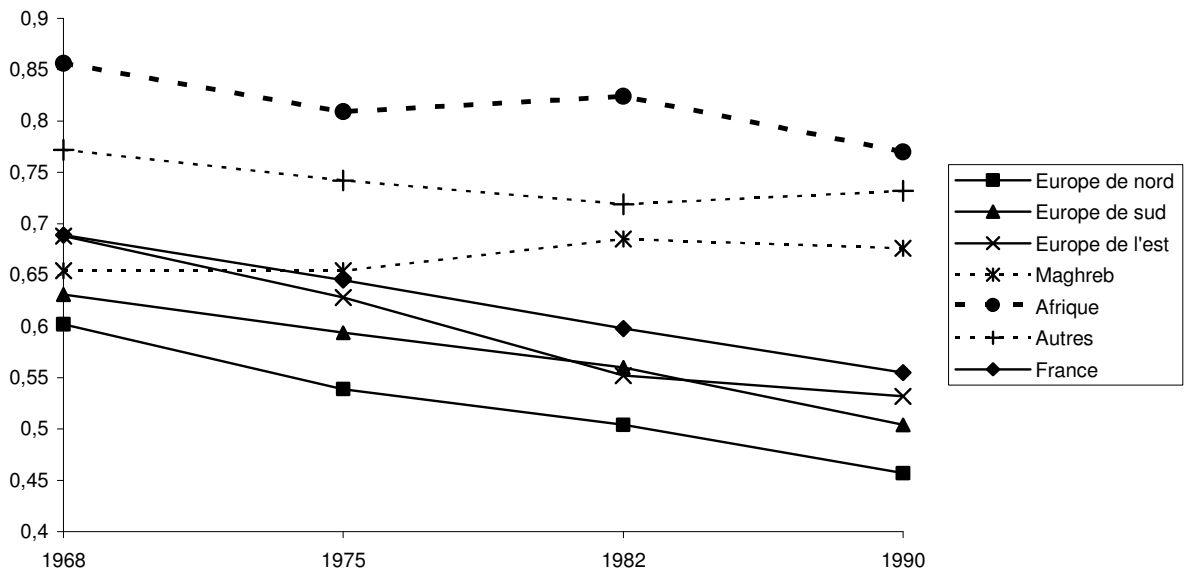
2.B.3.2 : Les indices de ségrégation

IS



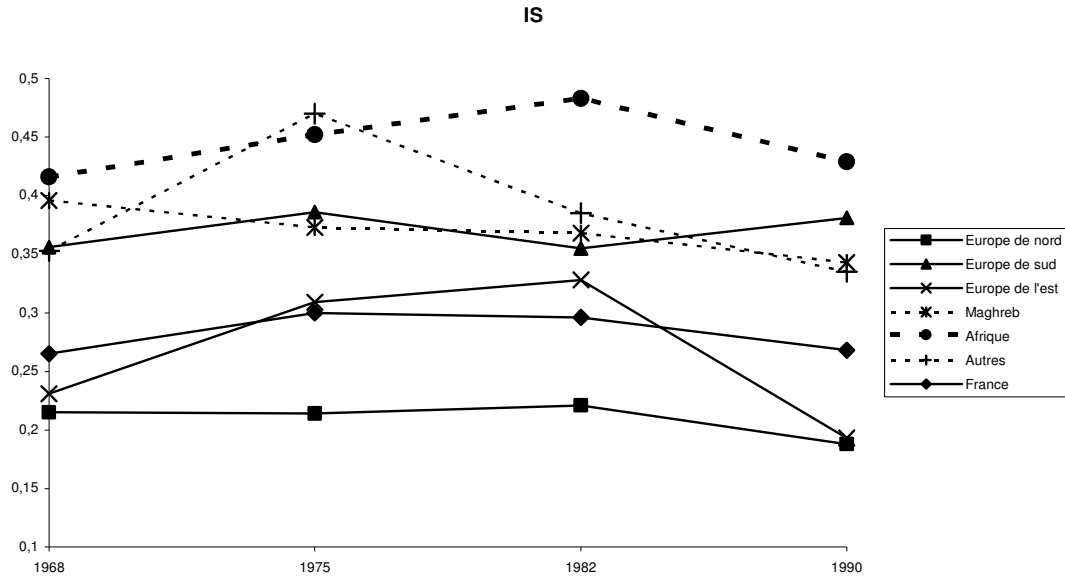
ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,192	0,099	0,222	0,336	0,32	0,279
Nord	0,192	0	0,251	0,3	0,425	0,427	0,371
Sud	0,099	0,251	0	0,208	0,306	0,316	0,283
Est	0,222	0,3	0,208	0	0,324	0,289	0,277
Maghreb	0,336	0,425	0,306	0,324	0	0,152	0,215
Afrique	0,32	0,427	0,316	0,289	0,152	0	0,175
Autres	0,279	0,371	0,283	0,277	0,215	0,175	0

ACE



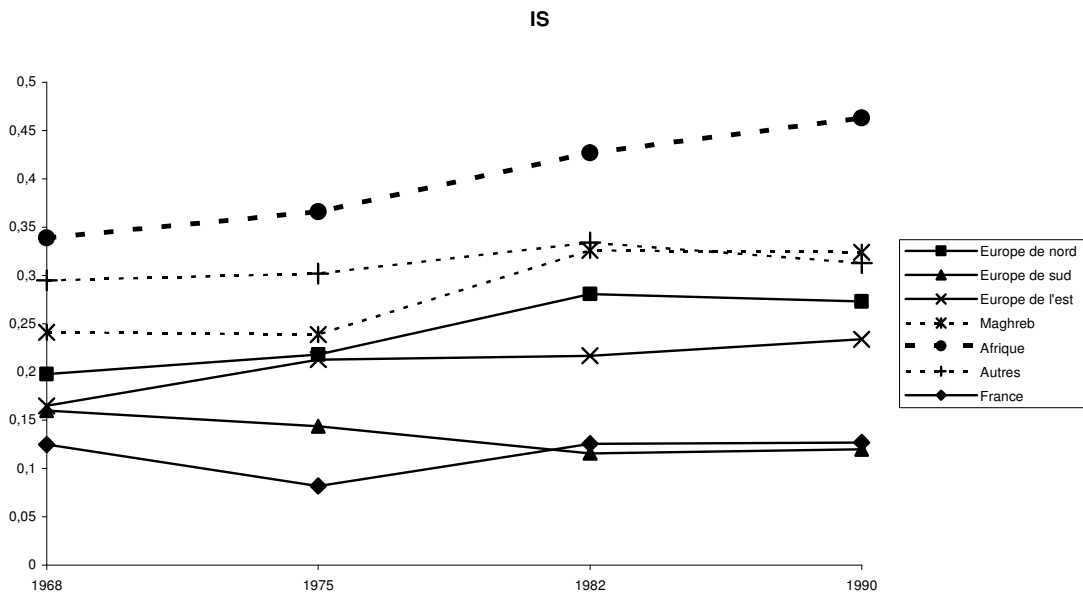
Annexes 2.B.4. Les autres agglomérations françaises

2.B.4.1 : Aire urbaine de Lille



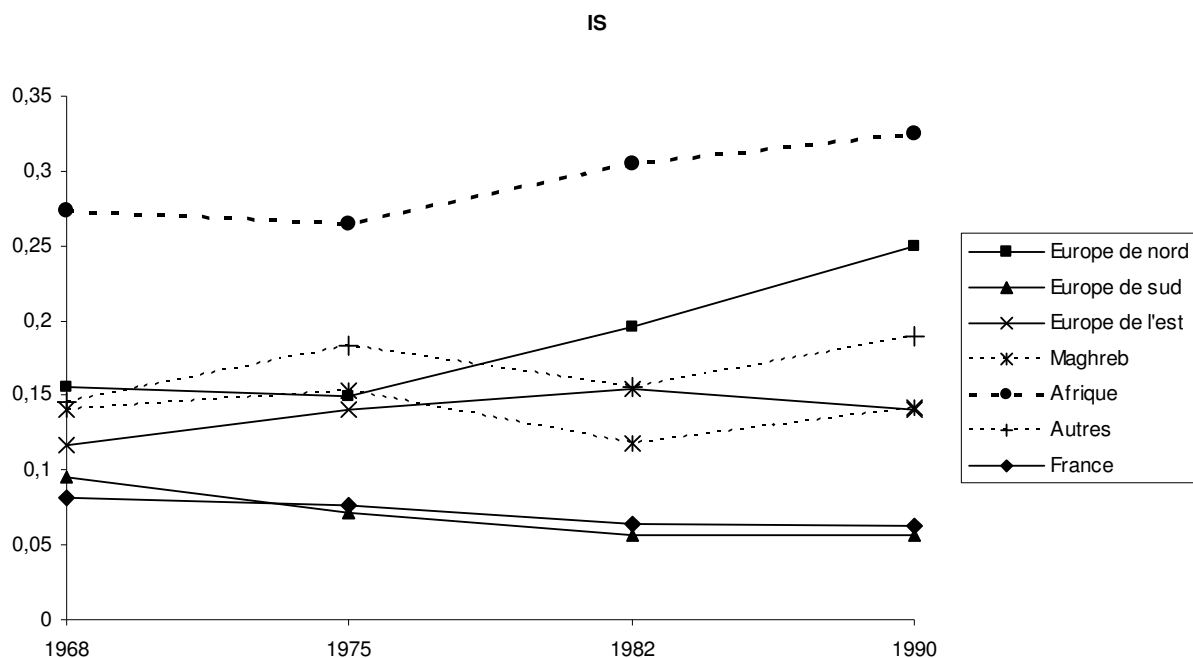
ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,2	0,392	0,205	0,352	0,443	0,355
Nord	0,2	0	0,293	0,251	0,369	0,502	0,411
Sud	0,392	0,293	0	0,295	0,277	0,502	0,395
Est	0,205	0,251	0,295	0	0,278	0,385	0,294
Maghreb	0,352	0,369	0,277	0,278	0	0,258	0,177
Afrique	0,443	0,502	0,502	0,385	0,258	0	0,219
Autres	0,355	0,411	0,395	0,294	0,177	0,219	0

2.B.4.2 : Aire urbaine de Toulouse



ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,269	0,113	0,244	0,326	0,471	0,32
Nord	0,269	0	0,282	0,339	0,415	0,53	0,406
Sud	0,113	0,282	0	0,265	0,363	0,514	0,365
Est	0,244	0,339	0,265	0	0,274	0,381	0,283
Maghreb	0,326	0,415	0,363	0,274	0	0,189	0,117
Afrique	0,471	0,53	0,514	0,381	0,189	0	0,223
Autres	0,32	0,406	0,365	0,283	0,117	0,223	0

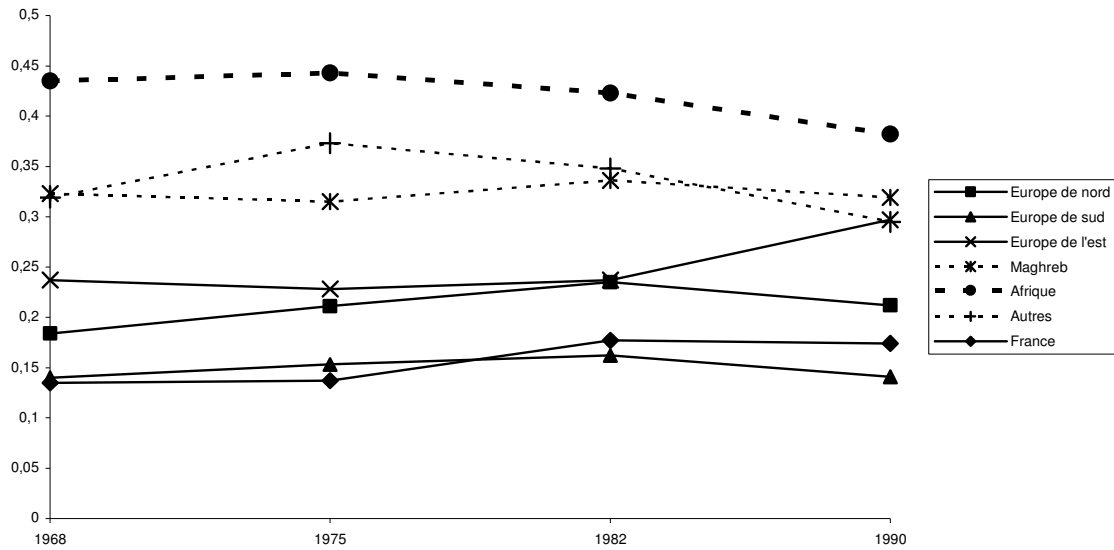
2.B.4.3 : Aire urbaine de Nice



ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,246	0,059	0,141	0,143	0,326	0,192
Nord	0,246	0	0,26	0,327	0,335	0,452	0,343
Sud	0,059	0,26	0	0,162	0,119	0,338	0,194
Est	0,141	0,327	0,162	0	0,146	0,264	0,129
Maghreb	0,143	0,335	0,119	0,146	0	0,309	0,14
Afrique	0,326	0,452	0,338	0,264	0,309	0	0,235
Autres	0,192	0,343	0,194	0,129	0,14	0,235	0

2.B.4.4 : Aire urbaine de Bordeaux

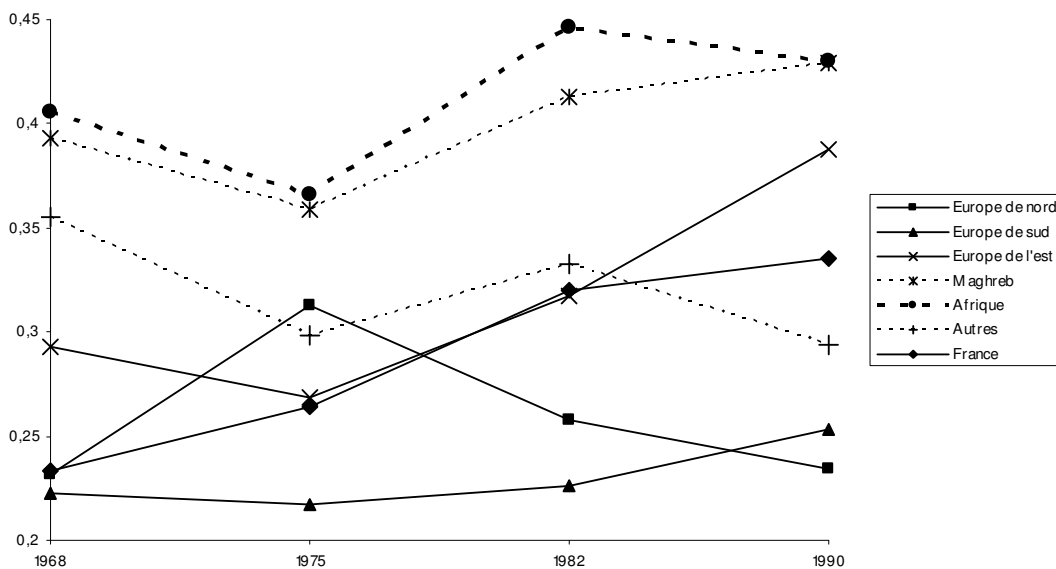
IS



ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,211	0,147	0,306	0,326	0,39	0,3
Nord	0,211	0	0,247	0,379	0,349	0,342	0,272
Sud	0,147	0,247	0	0,295	0,237	0,338	0,285
Est	0,306	0,379	0,295	0	0,292	0,347	0,317
Maghreb	0,326	0,349	0,237	0,292	0	0,273	0,256
Afrique	0,39	0,342	0,338	0,347	0,273	0	0,211
Autres	0,3	0,272	0,285	0,317	0,256	0,211	0

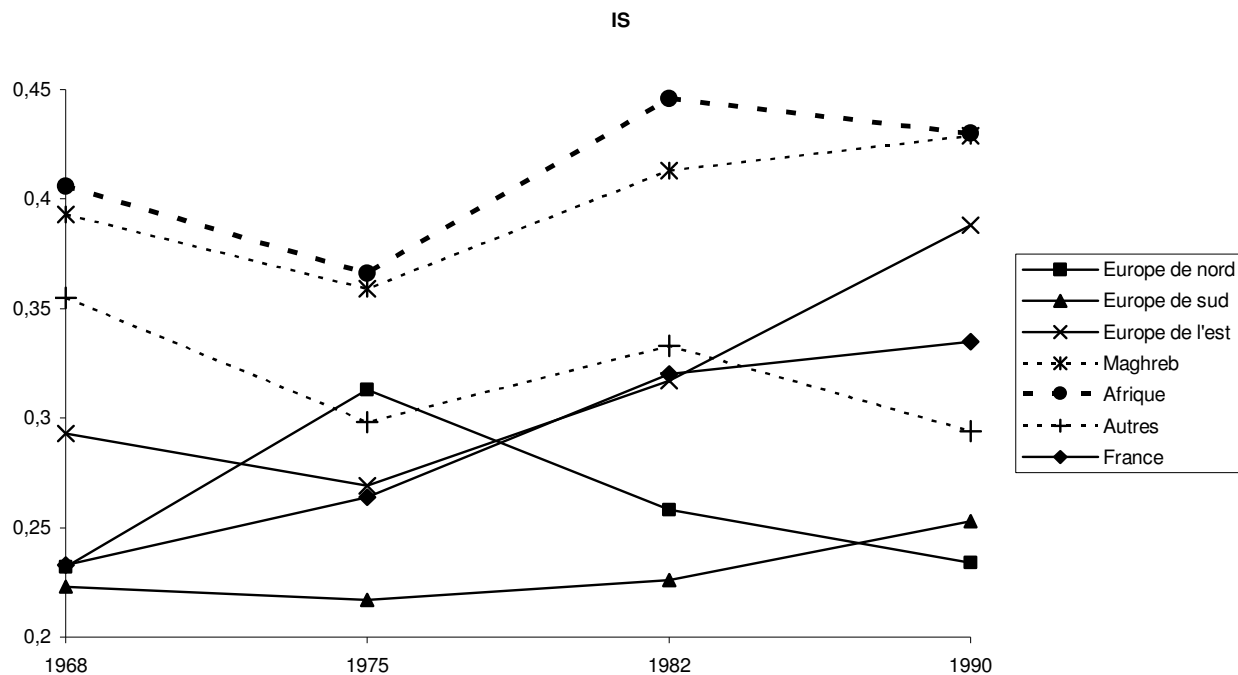
2.B.4.5 : Aire urbaine de Nantes

IS



ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,242	0,26	0,397	0,435	0,439	0,303
Nord	0,242	0	0,21	0,301	0,31	0,293	0,22
Sud	0,26	0,21	0	0,168	0,205	0,213	0,117
Est	0,397	0,301	0,168	0	0,159	0,227	0,179
Maghreb	0,435	0,31	0,205	0,159	0	0,113	0,158
Afrique	0,439	0,293	0,213	0,227	0,113	0	0,168
Autres	0,303	0,22	0,117	0,179	0,158	0,168	0

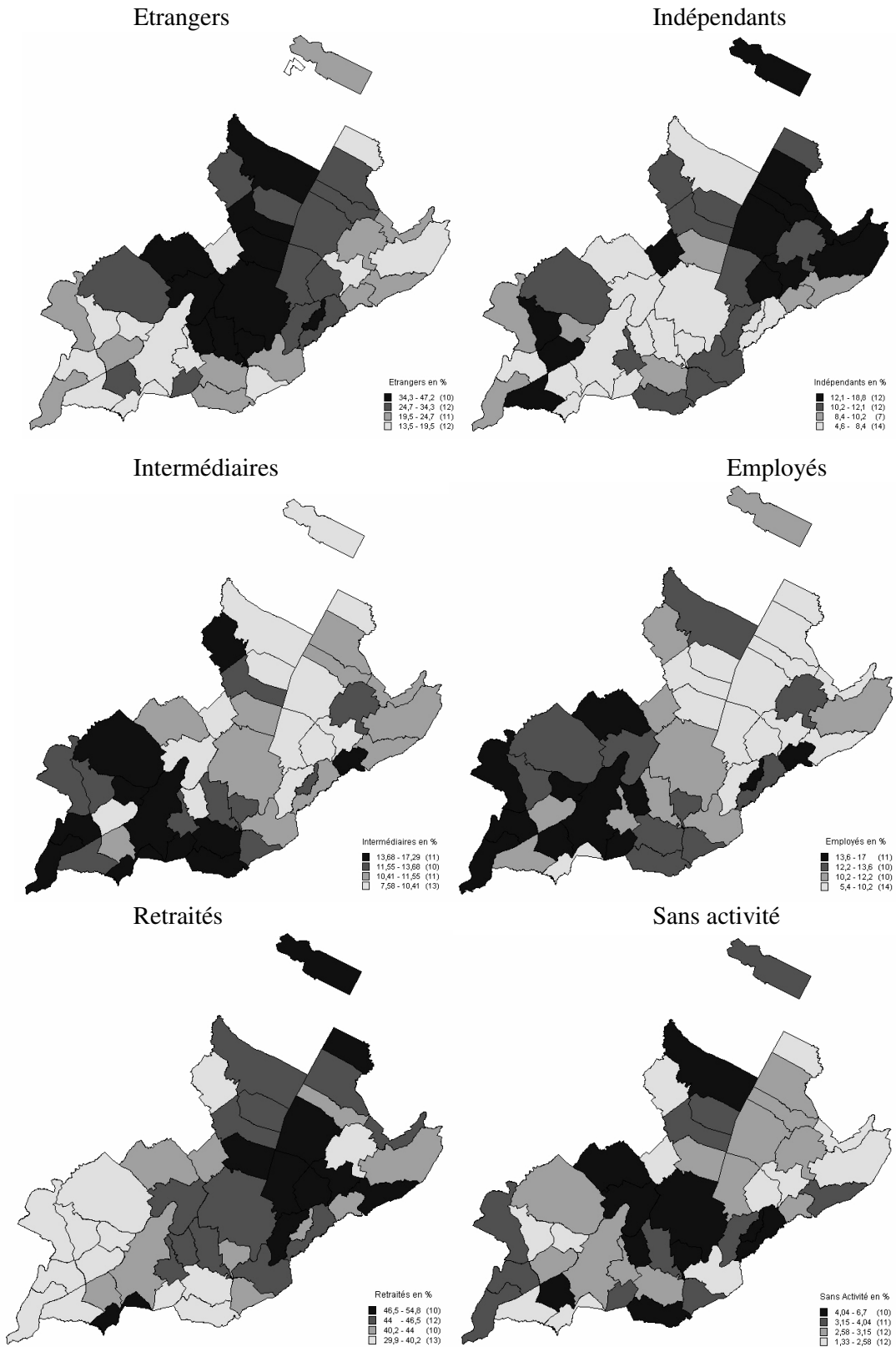
2.B.4.6 : Aire urbaine de Strasbourg



ID	France	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
France	0	0,216	0,234	0,324	0,415	0,438	0,367
Nord	0,216	0	0,19	0,179	0,252	0,275	0,218
Sud	0,234	0,19	0	0,169	0,237	0,308	0,231
Est	0,324	0,179	0,169	0	0,148	0,222	0,169
Maghreb	0,415	0,252	0,237	0,148	0	0,106	0,088
Afrique	0,438	0,275	0,308	0,222	0,106	0	0,137
Autres	0,367	0,218	0,231	0,169	0,088	0,137	0

Annexes 2.C : SEGREGATION SOCIALE DANS L'AGLOMERATION DE GENEVE

Annexe 2.C.1. Analyses cartographiques



Annexe 2.C.2. Les indices de ségrégation

2.C.2.1 : Indices d'égalité

Groupe	Duncan	Gini	Entropie
Indépendants	0,106	0,062	0,011
Cadres	0,118	0,045	0,014
Intermédiaires	0,042	0,027	0,003
Employés	0,088	0,038	0,006
Ouvriers	0,12	0,059	0,016
Retraités	0,032	0,024	0,002
Sans Activité	0,109	0,056	0,009

ID							
Groupe	Indép	Cadres	Interm	Employés	Ouvriers	Retr	Sans Act
Indépendants	0	0,082	0,097	0,14	0,185	0,097	0,19
Cadres	0,082	0	0,112	0,177	0,211	0,102	0,149
Intermédiaires	0,097	0,112	0	0,076	0,114	0,054	0,123
Employés	0,14	0,177	0,076	0	0,073	0,092	0,134
Ouvriers	0,185	0,211	0,114	0,073	0	0,118	0,111
Retraités	0,097	0,102	0,054	0,092	0,118	0	0,106
Sans Activité	0,19	0,149	0,123	0,134	0,111	0,106	0

2.C.2.2 : Indices d'exposition

Groupe	xPx	Eta
Indépendants	0,079	0,006
Cadres	0,107	0,008
Intermédiaires	0,112	0,002
Employés	0,121	0,004
Ouvriers	0,12	0,011
Retraités	0,441	0,003
Sans Activité	0,053	0,004

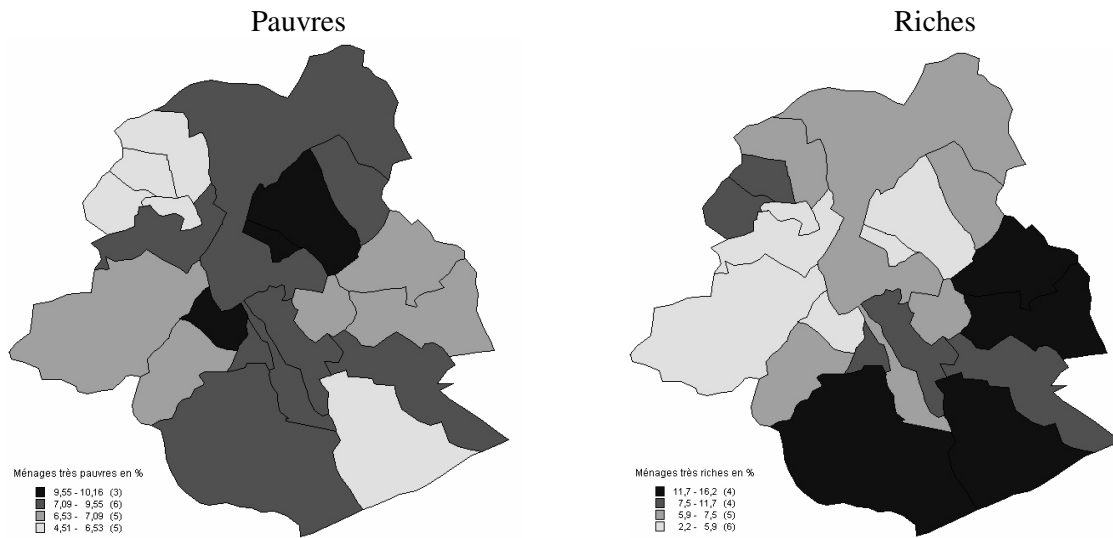
xPy							
Groupe	Indép	Cadres	Interm	Employés	Ouvriers	Retr	Sans Act
Indépendants	0,079	0,105	0,111	0,114	0,102	0,441	0,047
Cadres	0,077	0,107	0,111	0,113	0,102	0,441	0,048
Intermédiaires	0,073	0,1	0,112	0,119	0,11	0,437	0,049
Employés	0,071	0,096	0,111	0,121	0,114	0,436	0,05
Ouvriers	0,068	0,092	0,11	0,122	0,12	0,436	0,052
Retraités	0,073	0,1	0,11	0,117	0,109	0,441	0,05
Sans Activité	0,069	0,097	0,109	0,118	0,115	0,439	0,053

2.C.2.3 Indices de centralisation

Groupe	ACE
Indépendants	0,537
Cadres	0,594
Intermédiaires	0,554
Employés	0,533
Ouvriers	0,564
Retraités	0,576
Sans Activité	0,639

**Annexes 2.D : SEGREGATION SOCIALE DANS L'AGLOMERATION
BRUXELLOISE**

Annexe 2.D.1. La ségrégation en fonction du revenus des ménages



Groupe	Duncan	Gini	Entropie
<5.000	0,08	0,052	0,005
5.000-10.000	0,105	0,069	0,01
10.000-20.000	0,072	0,048	0,005
20.000-30.000	0,034	0,021	0,001
30.000-50.000	0,084	0,056	0,007
>50.000	0,184	0,122	0,026

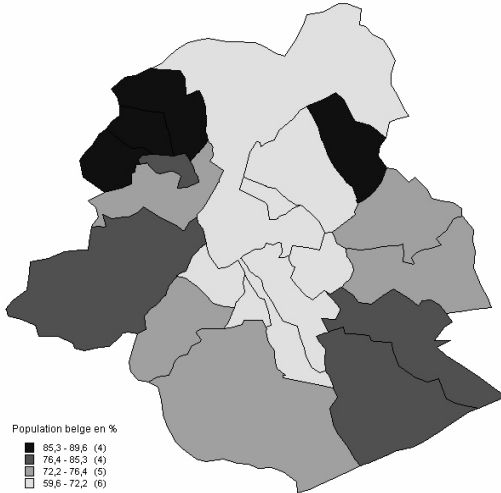
ID						
Groupe	<5.000	5.000-10.000	10.000-20.000	20.000-30.000	30.000-50.000	>50.000
<5.000	0	0,048	0,096	0,096	0,115	0,201
5.000-10.000	0,048	0	0,096	0,117	0,147	0,229
10.000-20.000	0,096	0,096	0	0,05	0,112	0,211
20.000-30.000	0,096	0,117	0,05	0	0,065	0,172
30.000-50.000	0,115	0,147	0,112	0,065	0	0,109
>50.000	0,201	0,229	0,211	0,172	0,109	0

Groupe	xPx	Eta
<5.000	0,077	0,003
5.000-10.000	0,125	0,008
10.000-20.000	0,386	0,006
20.000-30.000	0,207	0,001
30.000-50.000	0,147	0,005
>50.000	0,09	0,015

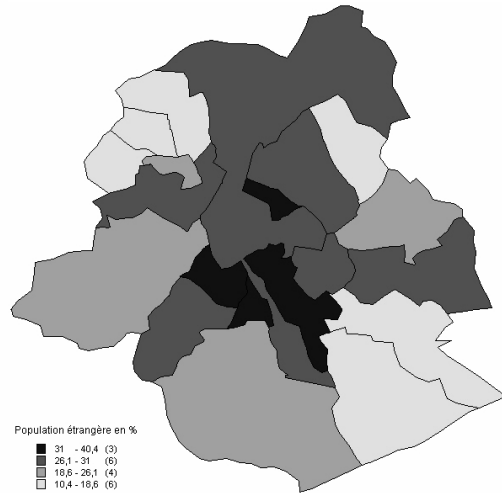
Groupe	ACE
<5.000	0,141
5.000-10.000	0,184
10.000-20.000	0,164
20.000-30.000	0,132
30.000-50.000	0,078
>50.000	-0,013

Annexe 2.D.2. La ségrégation ethnique

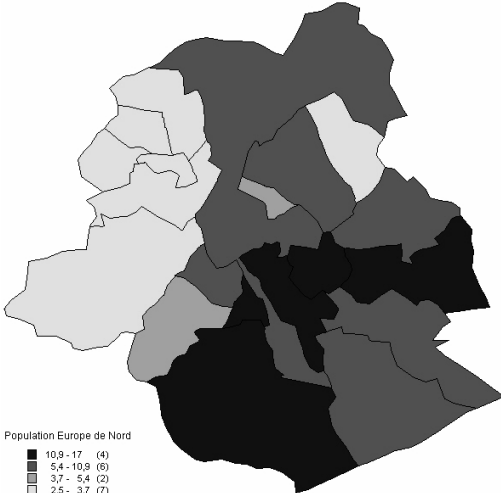
Population belge



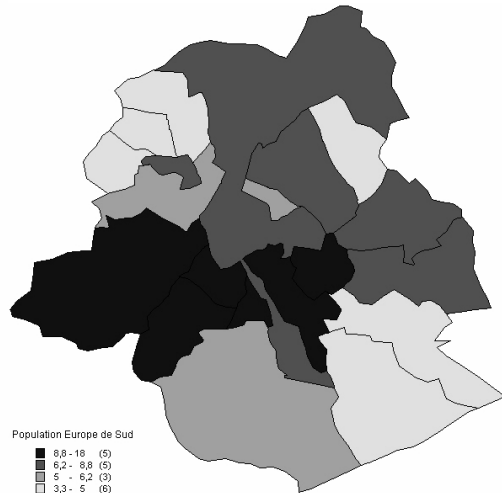
Population étrangère



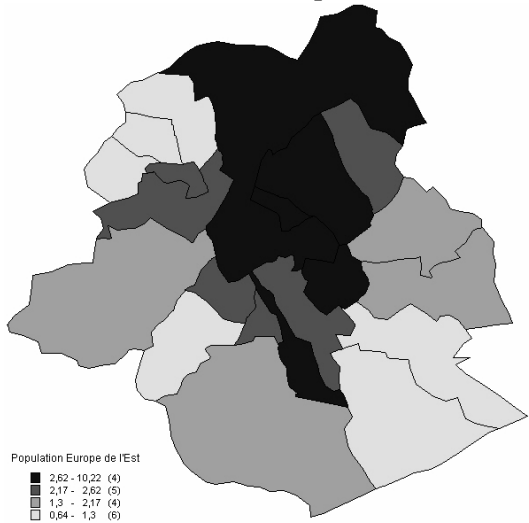
Europe de Nord



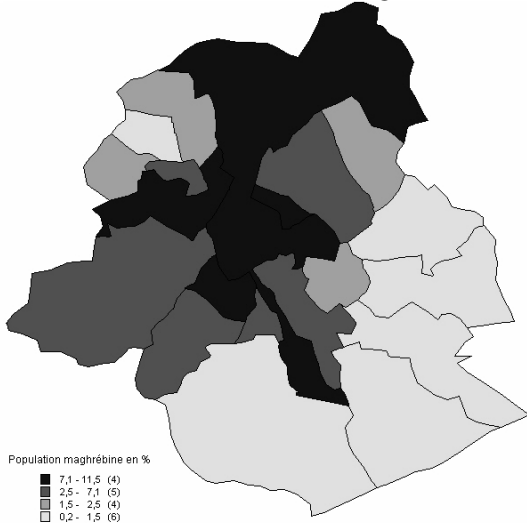
Europe de Sud

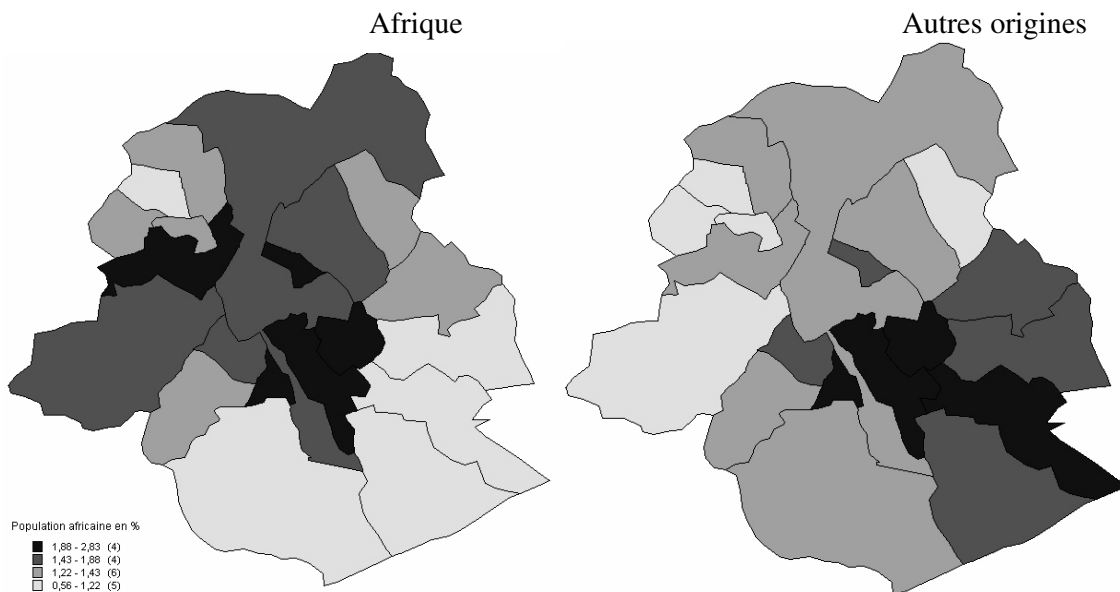


Europe de l'Est



Maghreb





Groupe	IS	Eta	ACE
Belges	0,133	0,023	0,142
Europe de Nord	0,258	0,028	0,069
Europe de Sud	0,148	0,012	0,171
Europe de l'Est	0,245	0,015	0,315
Maghreb	0,329	0,024	0,375
Afrique	0,111	0,002	0,235
Autre origines	0,211	0,005	0,089

ID							
Groupe	Belges	Nord	Sud	Est	Maghreb	Afrique	Autres
Belges	0	0,258	0,157	0,253	0,327	0,143	0,225
Europe de Nord	0,258	0	0,257	0,37	0,48	0,269	0,086
Europe de Sud	0,157	0,257	0	0,276	0,296	0,158	0,223
Europe de l'Est	0,253	0,37	0,276	0	0,335	0,226	0,343
Maghreb	0,327	0,48	0,296	0,335	0	0,26	0,451
Afrique	0,143	0,269	0,158	0,226	0,26	0	0,238
Autre origines	0,225	0,086	0,223	0,343	0,451	0,238	0

CHAPITRE 3

L'IMPACT DES AMENITES SUR LA STRUCTURE SOCIO-SPATIALE DES VILLES

3 L'IMPACT DES AMÉNITES SUR LA STRUCTURE SOCIO-SPATIALE DES VILLES

3.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous examinons la formation des structures sociales des villes quand la répartition spatiale des aménités est modifiée de façon endogène par la distribution des classes sociales. Nous partons du fait connu que la plupart des villes européennes sont caractérisées par une localisation centrale des ménages riches et une localisation des ménages moins aisés vers la périphérie, contrairement à la majorité des villes américaines qui connaissent un schéma de localisation inverse : les pauvres habitent dans les zones centrales et les riches en banlieues.

Dans les modèles urbains standards, pour attirer les ménages riches aux localisations centrales de la ville, il faut que leurs coûts de transport soient beaucoup plus élevés par rapport aux ménages pauvres. Cette hypothèse est réaliste si on prend en compte non seulement les coûts objectifs de transport (les coûts monétaires) mais aussi les coûts subjectifs. La somme des deux est connue dans la littérature sous le nom des coûts de transport généralisés. Ces coûts subjectifs se réfèrent aux coûts en matière de temps nécessaire pour le déplacement. En sachant que le temps est évalué à son coût d'opportunité, les riches attribuent souvent une valeur au temps plus élevée que les pauvres et donc des coûts de transport généralisés aussi plus importants.

Une autre explication possible a été proposée par Brueckner & alii (1999), basée sur la théorie des aménités locales. Les villes européennes sont caractérisées par une plus longue histoire. Ainsi, leurs centres ont généralement un fort avantage en termes d'aménités face aux périphéries (des monuments, des parcs, des boulevards, architectures fines, etc.), qui sont la conséquence de cette histoire. Si la demande des riches pour les aménités est importante, un tel avantage peut être suffisant pour attirer les ménages riches vers les localisations centrales, ce qui correspond bien à la structure sociale des villes européennes.

Le modèle de Brueckner & alii (1999) est statique et il ne prend pas en compte la dimension historique du processus qui génère les aménités. Puisque le développement historique joue un rôle essentiel dans la formation des structures urbaines, nous avons créé un modèle dynamique : à chaque période, la structure spatiale d'équilibre est déterminée par la répartition spatiale des aménités. Cette répartition change au cours du temps, parce que les

ménages riches génèrent des aménités dans les zones qu'ils occupent, mais aussi dans leur voisinage. En intégrant ce développement urbain, on aboutit à l'idée que la structure sociale des villes européennes est la conséquence d'un phénomène de verrouillage : les riches habitent dans le centre des villes parce qu'ils restent dans des localisations qui étaient périphériques initialement, mais que le développement urbain a transformé en localisations centrales.

L'intuition qui réside derrière cette formalisation tient de l'évolution historique de la plupart des villes européennes. Ainsi, dans un premier temps, les ménages riches habitent vers la périphérie et ils y restent, mais comme la ville s'agrandit au cours du temps, ces zones sont désormais intégrées au centre de la ville.

Selon Brueckner & alii (1999), les aménités urbaines se divisent en trois catégories : aménités naturelles (qui sont générées par les caractéristiques topographiques de la zone), aménités historiques (générées par les monuments, les bâtiments, les parcs ou les autres infrastructures urbaines qui tiennent du passé) et aménités modernes (qui dépendent des conditions courantes des quartiers). Les auteurs considèrent que les aménités naturelles et historiques sont exogènes et les aménités modernes sont endogènes.

Dans ce chapitre, on suppose que les aménités naturelles ne sont pas source de différenciation de l'espace urbain et on s'intéresse uniquement aux effets des aménités modernes et historiques sur sa structure socio-spatiale. En contraste avec le modèle de Brueckner, nous effectuons un modèle dynamique permettant de rendre les aménités historiques endogènes.

Selon Miyao (1987), il existe deux catégories de modèles dynamiques urbains résidentiels : les modèles purement résidentiels qui ne prennent pas en compte la durabilité des logements et les modèles qui, au contraire, prennent en compte ce phénomène.

Les modèles avec durabilité des maisons peuvent être regroupés en fonction des hypothèses retenues (Brueckner, 2000). Les modèles avec développement irréversible supposent que les structures ne se détériorent pas et ne peuvent être ni démolies ni remplacées. Cette hypothèse est justifiée parce qu'en réalité les bâtiments présentent une grande longévité. Dans cette catégorie de modèle, les agents peuvent être myopes, c'est-à-dire que le développeur espère que la rente immobilière reste constante au cours du temps (Anas, 1978), ou effectuer des prévisions parfaites, ils anticipent alors correctement l'évolution future de la rente agricole et urbaine (Capozza et Hesley, 1989).

Parmi les modèles avec durabilité des logements, on trouve également les modèles avec re-développement. Dans ces modèles, les bâtiments subissent une détérioration au cours

du temps, ce qui diminue les rentes immobilières et les développeurs sont obligés de redévelopper les structures. Le premier modèle avec durabilité des constructions est celui de Brueckner (1981), qui suppose que l'économie est située à l'équilibre stationnaire, ce qui signifie que les revenus, les coûts de transport et le niveau d'utilité sont constants. Comme dans le cas des modèles sans re-développement, on retrouve des modèles avec anticipations myopes (Brueckner, 1980) et avec anticipations parfaites (Amin et Capozza, 1993).

Par ailleurs, d'autres travaux sont effectués dans un cadre incertain, l'hypothèse centrale étant que les rentes évoluent de façon aléatoire. On peut citer le papier de Capozza et Helsley (1990) où le développement est irréversible ou encore l'article de O'Flaherty (1993) où la composante aléatoire des rentes est une variable binaire (il existe de « bonnes » et de « mauvaises » périodes).

Notre modèle s'inscrit dans la lignée des modèles sans durabilité du capital. Ce type de modèle a été développé initialement par Alonso (1964), Mills (1967) et Muth (1969) dans un cadre statique. Miyao (1979) introduit un processus dynamique d'ajustement du mouvement des ménages vers une ville ouverte ou depuis une ville ouverte. L'auteur montre que s'il y a des externalités de voisinage, l'équilibre devient instable.

Dans une première partie, nous présentons les hypothèses du modèle théorique. Puis, nous procédons à une analyse des équilibres stationnaires, en montrant la possibilité d'existence d'équilibres multiples. Nous analysons également la question de l'optimalité des deux types de structures socio-spatiales. La troisième partie porte sur l'étude dynamique de l'impact des aménités sur la structure sociale de la ville. Puisqu'on ne peut résoudre le modèle analytiquement, une série de simulations numériques est ensuite présentée. La section suivante est consacrée à l'analyse de l'impact des coûts de transport différenciés sur la structure de la ville. Enfin, une dernière section est consacrée aux conclusions apportées par le modèle.

3.2 LE MODELE

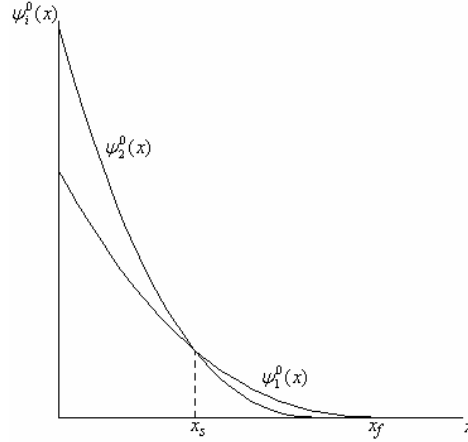
Nous avons créé un modèle simple, purement résidentiel, où la liaison entre périodes est donnée par la transformation des aménités modernes en aménités historiques. Nous demeurons ainsi dans la tradition des modèles urbains monocentriques (Alonso, 1964) où le CBD (Central Business District) est représenté par un point dans l'espace et la seule variable de localisation des ménages est la distance au centre (x).

Il y a deux classes sociales, les riches et les pauvres, qui sont différenciés par leur revenu respectivement y_1 et y_2 et par leurs préférences pour les aménités. L'utilité des ménages dépend de la consommation d'un bien composite (z) dont le prix est normalisé à l'unité, de la surface d'habitation (s) et du niveau d'aménités ($a(x)$). On utilise une fonction d'utilité Cobb-Douglas, $U_i(z, s, a'(x)) = z^\alpha s^\beta (a'(x))^{\gamma_i}$, avec $\alpha + \beta = 1$. Les ménages riches ont des préférences plus fortes pour les aménités que les pauvres ($\gamma_1 > \gamma_2$) et par souci de simplification on peut poser $\gamma_1 = \gamma$ et $\gamma_2 = 0$. Cette hypothèse s'explique par le fait qu'on considère les aménités comme un bien supérieur. Le coût de transport est linéaire par rapport à la distance et identique pour les deux catégories sociales : $C'_i(x) = c^t x$. Nous choisissons des coûts identiques afin d'éviter l'effet des coûts de transport différenciés sur la structure de la ville et de mettre en évidence le rôle joué par les aménités.

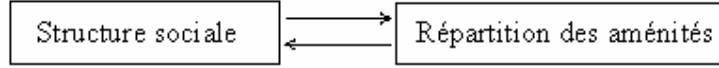
Nous retenons le cadre d'une ville ouverte (il n'y a pas des coûts de migration) : le niveau d'utilité de chaque catégorie est exogène, égal au niveau national (u^t_i) et la population de la ville à chaque période est déterminée dans le modèle.

A la période initiale, il n'y a pas d'aménité ou les aménités naturelles sont constantes $a^t(x)=a$ (la ville est située sur une surface parfaitement plane, sans spécificité topographique), ce qui correspond aux modèles standard d'économie urbaine dans la tradition d'Alonso (1964). De plus, Fujita (1980) montre que si les coûts de transport sont identiques pour chacune des deux catégories sociales, les fonctions d'enchères sont décroissantes par rapport à la distance au centre. Par la suite il n'existe qu'un seul point de ségrégation x_s et la frontière de la ville x_f est unique. Dans la Figure 3.1 on représente les fonctions d'enchères, le point de ségrégation et la frontière de la ville, quand le coût d'opportunité du sol (la rente agricole) est nul. Cette situation correspond au schéma de type américain : les riches habitent la périphérie et les pauvres le centre-ville :

Figure 3.1 : Les fonctions d'enchères dans une situation sans aménités



Notre modèle est structuré comme une suite d'équilibres statiques. A chaque période on détermine la localisation d'équilibre de chaque catégorie sociale et les effets sur les aménités. Ces effets seront pris en compte dans les périodes suivantes et auront une influence dans les nouvelles décisions de localisation :



A chaque période, les ménages maximisent leur utilité sous contrainte budgétaire :

$$\max_{z,s,x} U_i(z, s, a^t(x)) = z^\alpha s^\beta a^t(x)^\gamma \quad \text{s. c.} \quad y_i^t - C_i^t(x) = z + R^t(x)s$$

où $C_i^t(x)$ est le coût de transport pour aller et revenir du lieu de travail (CBD) et $R^t(x)$ est la rente foncière de marché dans la période t .

A l'équilibre, chaque ménage atteint un niveau d'utilité égal au niveau national u_i^t . On définit la fonction d'enchères comme le prix maximal par unité de surface que le ménage est prêt à payer pour résider à la distance x , en atteignant un niveau d'utilité u_i^t :

$$\psi_i^t(x, u_i^t) = \max \left\{ \frac{y_i^t - C_i^t(x) - z}{s} \mid U(z, s, a^t(x)) = u_i^t \right\} \quad (3.1)$$

Par la résolution de la maximisation (3.1) on obtient la fonction d'enchères et la surface optimale d'enchères suivantes :

$$\psi_i^t(x, u_i^t) = A \left(y_i^t - c^t x \right)^{1/\beta} a^t(x)^{\gamma/\beta} (u_i^t)^{-1/\beta} \quad (3.2)$$

$$S_i^t(x, u_i^t) = \alpha^{-\alpha/\beta} \left(y_i^t - c^t x \right)^{-\alpha/\beta} a^t(x)^{-\gamma/\beta} (u_i^t)^{1/\beta} \quad (3.3)$$

où $A = \beta \alpha^{\alpha/\beta}$.

La structure de la ville sera le résultat de la concurrence pour le sol entre les différents usages (résidentiel, agricole), chaque localisation sera occupée par le plus fort enchérisseur. Ainsi, la rente urbaine sera l'enveloppe supérieure des rentes d'enchères et de la rente agricole:

$$R^t(x) = \max \{ \psi_i^t(x), RA^t \} \quad (3.4)$$

où RA^t est la rente agricole ou le coût d'opportunité du sol à la période t .

Les points de ségrégation entre classes sociales sont donnés par l'égalisation des fonctions d'enchères :

$$x_s^t \equiv \text{sol} \{ \psi_1^t(x) = \psi_2^t(x) \} \Rightarrow x_s^t = \text{sol} \left\{ \frac{y_1^t - c^t x}{y_2^t - c^t x} (a^t(x))^\gamma = \frac{u_1^t}{u_2^t} \right\} \quad (3.5)$$

On définit une variable spatiale binaire $K(x)$ qui représente la catégorie sociale du ménage qui habite à la distance x de centre:

$$K(x) = \begin{cases} 1, & \text{si } \psi_1^t(x) > \psi_2^t(x) \\ 2, & \text{sinon} \end{cases}$$

La frontière de la ville est déterminée par l'égalisation de la rente d'enchères de la catégorie localisée dans la zone la plus périphérique de la ville et de la rente agricole :

$$x_f^t \equiv \text{sol} \{ \psi_{K(x)}^t(x) = RA^t \} \Rightarrow x_f^t = \text{sol} \left\{ (y_{K(x_f^t)}^t - c^t x) (a^t(x_f^t))^\gamma = \left(\frac{RA}{A} \right)^\beta u_{K(x_f^t)}^t \right\} \quad (3.6)$$

On suppose que le sol est alloué en totalité aux logements. Puisque notre ville est dans une zone parfaitement plane, la surface disponible pour les logements à la distance x est donnée par le périmètre du cercle $L(x) = 2\pi x$. La population qui habite à la distance x du CBD est déterminée par le rapport de la surface disponible pour les logements et la taille de chaque logement :

$$n^t(x) = \begin{cases} \frac{2\pi x}{S_{K(x)}^t(x)}, & x \in [0, x_f^t] \\ 0, & x > x_f^t \end{cases} \quad (3.7)$$

La densité de la population à la distance x est définie comme le nombre de ménages par unité de surface :

$$\rho^t(x) = \begin{cases} \frac{n^t(x)}{2\pi x} = \frac{1}{S_{K(x)}^t(x)}, & x \in [0, x_f^t] \\ 0, & x > x_f^t \end{cases} \quad (3.8)$$

La population totale de la ville est la somme du nombre de ménages situés à chaque distance de centre : $N^t = \int_0^{x_f^t} n^t(x) dx$. Nous pouvons distinguer la population de chaque catégorie ($N^t = N_1^t + N_2^t$), où N_1^t est la population riche et N_2^t la population pauvre:

$$N_1^t = \int_0^{x_f^t} (2 - K(x)) n^t(x) dx = 2\pi \int_0^{x_f^t} (2 - K(x)) \frac{x}{S_{K(x)}^t(x)} dx \quad (3.9)$$

$$N_2^t = \int_0^{x_f^t} (K(x) - 1) n^t(x) dx = 2\pi \int_0^{x_f^t} (K(x) - 1) \frac{x}{S_{K(x)}^t(x)} dx \quad (3.10)$$

A la période initiale, les aménités sont constantes (la ville est située sur une plaine sans spécificités topographiques). Le niveau d'aménités à la période t dépend du niveau d'aménités à la période précédente (les aménités historiques) et de la localisation des ménages riches et pauvres (les aménités modernes). Ainsi, dans les zones résidentielles riches et dans leur voisinage, les aménités augmentent. On peut expliquer cette hypothèse par une meilleure qualité des bâtiments, mais aussi de l'environnement (investissements publics, architecture fine, localisation des théâtres, musées, parcs etc). Mais puisque pour les ménages riches, la proximité des ménages pauvres constitue une désaménité, les aménités dans les zones riches diminuent au voisinage des zones pauvres.

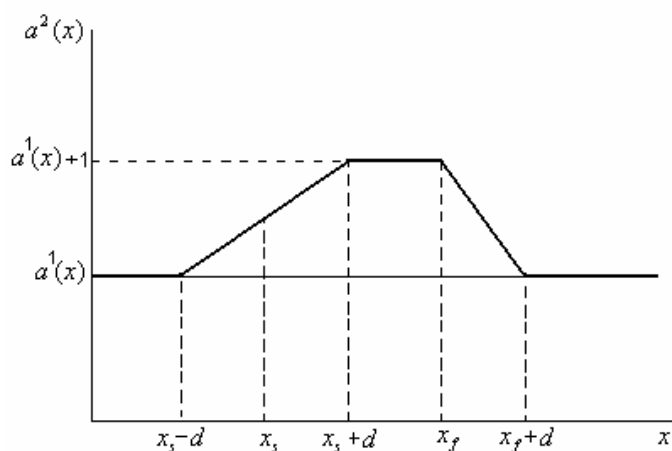
La clé du modèle est la fonction d'aménités $a^t(x)$. L'hypothèse de base est qu'à chaque période, dans les quartiers où sont localisés les ménages riches, mais aussi dans leur voisinage, le niveau d'aménités augmente (aménités modernes), cette augmentation s'ajoutant au niveau d'aménités hérité de la période précédente (i.e. les « anciennes » aménités modernes deviennent aménités historiques). Dans le même temps, les aménités diminuent dans les zones riches situées à proximité des zones pauvres, parce que leur voisinage constitue une désaménité pour les riches.

A la période initiale, il n'y a pas d'aménités ou les aménités naturelles sont constantes $a^t(x)=a$ (la ville est située dans une plaine parfaitement plane, sans spécificités topographiques). Le niveau d'aménités dans la période t dépend du niveau des aménités de la période précédente (les aménités historiques) et de la localisation des ménages riches et pauvres (les aménités modernes). Dans les zones occupées par les riches, les aménités augmentent avec une unité par rapport à la période précédente. Ces aménités augmentent également dans le voisinage de ces zones. Plus on s'éloigne des zones riches, plus l'effet positif de ceux-ci diminue. On fait l'hypothèse que cette diminution est linéaire avec la distance. On suppose que d représente la distance où on ne ressent plus les externalités positives.

Les aménités sont influencées négativement par la proximité des zones pauvres. Ainsi, le niveau d'aménités commence à décroître à partir d'une certaine distance avant le point de ségrégation. Pour simplifier l'écriture du modèle, on considère cette distance égale à d , ce qu'on appelle la distance de voisinage (la distance maximale où on ressent l'effet de voisinage entre les catégories sociales).

Par exemple, s'il y a un seul point de ségrégation x_s (la ville est composée seulement par deux zones complètement ségréguées) et si les riches habitent dans la zone périphérique, la fonction des aménités à la deuxième période est représentée graphiquement de la manière suivante :

Figure 3.2 : La fonction d'aménités à la deuxième période



La dissymétrie de la fonction d'aménités dans cette figure s'explique par le fait que dans le voisinage du point de ségrégation $x \in [x_s - d, x_s + d]$, deux effets contradictoires jouent : les aménités augmentent aussi dans la zone pauvre, du à la proximité de ménages riches $x \in [x_s - d, x_s]$, mais il y a un effet négatif dans la zone riche, du à la proximité des ménages pauvres pour $x \in [x_s, x_s + d]$. A l'extérieur de la ville $x \in [x_f, x_f + d]$ puisqu'il n'y a pas de proximité avec les ménages pauvres, le seul effet est la présence des riches.

Cette modélisation de la fonction d'aménités pose un problème du fait de leur caractère illimité. Pour le résoudre, on suppose qu'elles souffrent d'une dépréciation constante à un taux fixe δ , ($0 < \delta < 1$). Ainsi, la fonction d'aménités avec dépréciation constante, quand il y a J points de ségrégation, est :

$$a^{t+1}(x) = \begin{cases} (1-\delta)a^t(x) + (1-K(x)), & \text{les zones sans voisinage} \\ \max \left\{ \begin{array}{l} (1-\delta)a^t(x) + \frac{x+d-x'_s(j)}{2d} \\ (1-\delta)a^t(x) + \frac{x'_s(j)-x+d}{2d} \end{array} \right\}, & \text{les zones avec voisinage} \\ (2-K(x'_f)) \left((1-\delta)a^t(x) + 1 + \frac{x'_f-x}{d} \right), & \text{à l'extérieur de la ville} \end{cases}$$

On constate que si une zone riche est entourée des deux cotés par des pauvres les aménités sont symétriques : les deux effets de voisinages jouent des deux cotés. Cette symétrie n'existe plus quand les riches occupent la zone la plus éloignée de la ville, puisqu'il n'y a plus l'effet négatif dû à la proximité des pauvres.

3.3 L'ETUDE DES EQUILIBRES STATIONNAIRES

Dans cette partie nous allons étudier la possibilité d'existence d'équilibres multiples. Puisqu'on peut avoir une infinité de possibilités de localisation, nous nous intéressons seulement aux deux cas extrêmes : pauvres au centre versus riches au centre. Concrètement, on veut déterminer dans quelles conditions ces deux types de structure peuvent être un équilibre à long terme. Pour vérifier l'équilibre à long terme, on pose l'hypothèse qu'une infinité de périodes sont passées.

3.3.1 Les fonctions d'aménités et d'enchères à l'état stationnaire

Avant d'étudier les équilibres stationnaires il est nécessaire de déterminer la forme des fonctions d'enchères à l'état stationnaire et implicitement celle de la fonction d'aménités.

Pour un taux de dépréciation δ , le niveau maximal des aménités (dans les zones qui ont été habitées successivement par les ménages riches) est $1/\delta^4$. Par exemple, pour une dépréciation fixe de 10%, le niveau maximal des aménités est de 10. Dans les zones habitées successivement par les ménages pauvres et qui ne sont pas dans le voisinage des zones riches, mais aussi à l'extérieur de la ville, les aménités ont souffert une dépréciation continue, ainsi elles tendent vers zéro.

Nous allons déterminer la fonction d'aménités dans les zones de voisinage. Les aménités sont à l'état stationnaire si et seulement si $a^{t+1}(x) = a^t(x)$. Dans les zones de voisinage où les riches sont localisés vers l'extérieur de la ville, les aménités stationnaires sont une fonction croissante de la distance au centre :

$$a^*(x) = \frac{x + d - x_s^*(j)}{2\delta d}$$

Dans les zones de voisinage où les riches sont localisés le plus proche du centre, la fonction des aménités est décroissante avec la distance :

$$a^*(x) = \frac{x_s^*(j) + d - x}{2\delta d}$$

Si la zone la plus éloignée du centre est habitée par les ménages riches, un effet positif de la présence des riches sera ressenti même à l'extérieur de la ville. Cette partie de la

⁴ Pour déterminer cela, on pose la condition que les aménités où elles augmentent le plus (dans les zones riches) restent constantes : $a^{t+1}(x) = a^t(x) \Leftrightarrow (1-\delta)a^*(x) + 1 = a^*(x) \Leftrightarrow a^*(x) = 1/\delta$

fonction des aménités est toujours décroissante avec la distance mais sa pente est plus importante que celle de la fonction précédente :

$$a^*(x) = \frac{x_f^* + d - x}{\delta d}$$

Ainsi, la fonction globale d'aménités à l'état stationnaire est :

$$a^*(x) = \begin{cases} \frac{(1-K(x))}{\delta}, & \text{les zones sans voisinage} \\ \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{x+d-x_s^*(j)}{2\delta d} \\ \frac{x_s^*(j)+d-x}{2\delta d} \end{array} \right\}, & \text{les zones avec voisinage} \\ \left(1-K(x_f^*)\right) \left(\frac{x_f^*+d-x}{\delta d}\right), & \text{à l'extérieur de la ville} \end{cases} \quad (3.12)$$

Pour simplifier la notation, nous enlevons les étoiles en exposant des variables, tout en se rappelant qu'elles sont à leur état stationnaire. Pour les ménages pauvres, comme ils n'ont pas de préférences pour les aménités, la fonction d'enchères est aisément identifiable :

$$\psi_2(x, u_2) = A(y_2 - cx)^{1/\beta} (u_2)^{-1/\beta}$$

C'est une fonction décroissante et convexe par rapport à la distance au centre. Pour les ménages riches, la forme de cette fonction diffère selon la forme de la fonction d'aménités.

Dans les zones occupées successivement par les ménages pauvres, et qui sont assez éloignés des zones riches (pas d'aménité), la fonction d'enchères des riches est nulle : $\psi_1^a(x) = 0$.

Dans les zones de voisinage où les aménités augmentent avec la distance au centre, pour déterminer la fonction d'enchère des riches à l'état stationnaire, il faut remplacer la fonction d'aménités à l'état stationnaire dans la rente d'enchères des riches :

$$\psi_1^b(x, u_1) = A(2\delta d)^{-1/\beta} (y_1 - cx)^{1/\beta} (x + d - x_s)^{1/\beta} (u_1)^{-1/\beta}$$

On voit ici la présence d'un double effet: un effet négatif direct (la distance au centre) et un effet positif lié à l'augmentation du niveau d'aménités. Ainsi, cette fonction est croissante jusqu'en $\mathcal{X} = \frac{\gamma_1 y_1 + c(x_s - d)}{c(\gamma_1 + 1)}$ et décroissante après cette valeur. On peut vérifier

facilement que $\mathcal{X} > x_s - d$, mais $\mathcal{X} < x_s + d$ seulement si $y_1 < c \left(x_s + d + \frac{2d}{\gamma_1} \right)$. Dès lors, la

fonction d'enchères des riches est croissante dans cet intervalle, et elle peut-être décroissante à partir d'une certaine localisation dans certains cas (par exemple quand les coûts de transport sont assez importants par rapport aux revenus et l'effet distance au centre emporte sur l'effet aménités).

Dans les zones « riches », où les aménités sont à leur niveau maximal ($1/\delta$), les enchères des riches prennent cette forme :

$$\psi_1^c(x, u_1) = A\delta^{-\gamma/\beta} (y_1 - cx)^{\gamma/\beta} (u_1)^{-1/\beta}$$

On constate que cette fonction est égale à la fonction d'enchère des riches sans aménité, multipliée par une constante. Elle est décroissante et convexe avec la distance au centre.

Dans les zones de voisinage où les aménités sont décroissantes par rapport à x la fonction d'enchères des riches subie un double effet négatif (lié à la distance au centre et au niveau décroissant d'aménités) et elle sera plus pentue que la forme habituelle :

$$\psi_1^d(x, u_1) = A(2\delta d)^{-\gamma/\beta} (y_1 - cx)^{\gamma/\beta} (x_s + d - x)^{\gamma/\beta} (u_1)^{-1/\beta}$$

Enfin, si la zone la plus excentrée est occupée par les riches, leurs enchères seront décroissantes mais avec une pente encore plus accentuée que la fonction précédente, parce la fonction d'aménités est aussi plus pentue :

$$\psi_1^e(x, u_1) = A(d\delta)^{-\gamma/\beta} (y_1 - cx)^{\gamma/\beta} (x_f + d - x)^{\gamma/\beta} (u_1)^{-1/\beta}$$

On peut à présent passer à l'étude des équilibres stationnaires. On cherche alors à définir les conditions pour que les deux configurations socio-spatiales soient un équilibre lorsqu'on se situe à l'état stationnaire.

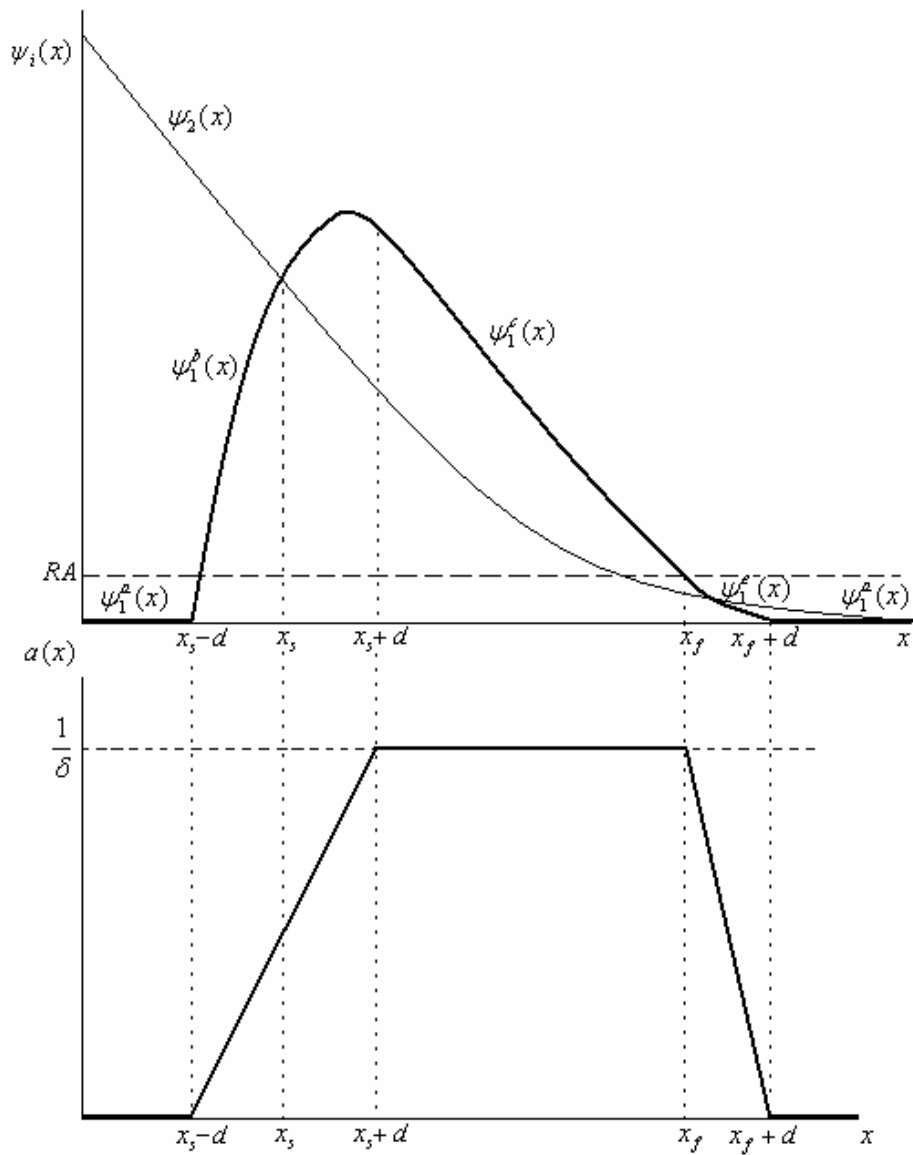
3.3.2 L'existence de l'équilibre de type américain

Nous allons commencer avec l'existence de l'équilibre de type américain, c'est-à-dire le cas où l'on a une localisation centrale des ménages pauvres et une localisation périphérique des ménages riches.

Puisque les ménages pauvres sont insensibles aux aménités, leur fonction d'enchères $\psi_2(x)$ est continue et décroissante. Concernant les ménages riches, quatre configurations sont possibles pour la fonction d'enchères. Dans les zones où le niveau d'aménités est nul (pour x situé dans les intervalles $(0, x_s - d)$ et $(x_f + d, \infty)$), les enchères des riches sont aussi nulles : $\psi_1(x) = \psi_1^a(x) = 0$. Dans les zones où les aménités sont croissantes ($x \in [x_s - d, x_s + d]$), la

fonction d'enchères des ménages riches $\psi_1(x) = \psi_1^b(x)$ est dans un premier temps croissante, et dans certaines situations elle peut être décroissante. Dans la zone occupée par les riches ($x \in [x_s + d, x_f]$) où les aménités à leur niveau stationnaire sont constantes, la fonction d'enchère $\psi_1(x) = \psi_1^c(x)$ est décroissante. Enfin, dans les zones où les aménités sont décroissantes ($x \in [x_f, x_f + d]$), la diminution de ces aménités va renforcer l'effet de la distance, et ainsi, la fonction d'enchères $\psi_1(x) = \psi_1^e(x)$ est encore plus pentue.

Figure 3.3 : Les enchères et les aménités à l'équilibre de long terme de type américain



Nous déterminons dans un premier temps les valeurs d'équilibre pour ensuite analyser les conditions d'existence de cet équilibre. Pour calculer la valeur du point de ségrégation, il faut égaliser les enchères dans la zone de voisinage ($\psi_1^b(x) = \psi_2(x)$) :

$$x_s = \frac{1}{c} \left[\frac{(2\delta)^\gamma y_2 u_1 - y_1 u_2}{(2\delta)^\gamma u_1 - u_2} \right] \quad (3.13)$$

Pour une rente agricole connue, on peut déterminer facilement la frontière de la ville par l'égalisation de la rente d'enchères des riches avec la rente agricole ($\psi_1^c(x) = RA$). La frontière de la ville sera une fonction du niveau d'utilité d'équilibre des ménages riches :

$$x_f = \frac{1}{c} \left[y_1 - \left(\frac{RA}{A} \right)^\beta \delta^\gamma u_1 \right] \quad (3.14)$$

Les premières conditions d'existence de l'équilibre américain sont $x_s > 0$ (sinon la ville ne serait habitée que par des ménages riches) et $x_s < x_f$ (sinon la ville ne serait habitée que par des ménages pauvres). Puisque le dénominateur de x_s est positif (voir Annexes 3.A), ces conditions peuvent être réécrites de la manière suivante :

$$x_s > 0 \Leftrightarrow u_2 < (2\delta)^\gamma \frac{y_2}{y_1} u_1 = u_2^M(u_1) \quad (3.15)$$

$$x_s < x_f \Leftrightarrow u_2 > (2\delta)^\gamma u_1 - 2^\gamma \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_1 - y_2) = u_2^m(u_1) \quad (3.16)$$

Ainsi, pour qu'il y ait présence d'individus riches dans la ville, la condition (3.15) montre que les pauvres doivent avoir un niveau d'utilité inférieur à un niveau maximal $u_2^M(u_1)$ et pour que le nombre d'individus pauvres ne soit pas nul, la condition (3.16) montre que l'utilité des pauvres doit dépasser le niveau minimum $u_2^m(u_1)$. Donc, quel que soit u_1 , le niveau d'utilité des ménages pauvres doit se situer dans la fourchette déterminée par ces deux valeurs pour que l'équilibre de type américain existe.

Nous allons vérifier que cet équilibre est de type américain : il y a un point de ségrégation unique et les pauvres habitent le centre, respectivement les riches habitent la périphérie.

Pour la zone la plus centrale de la ville $x < x_s - d$, les enchères des riches sont nulles et celles des pauvres sont positives, ainsi nous sommes sûrs que dans cette zone il n'y a pas de point de ségrégation et qu'elle n'est occupée que par des individus pauvres.

Dans la zone de voisinage ($x \in [x_s - d, x_s + d]$) il y a un point de ségrégation, mais il faut vérifier qu'il est unique. Dans cette zone, les deux conditions d'équilibre sont sûrement respectées si la fonction d'enchères des ménages riches est croissante en x_s , parce que les enchères des pauvres sont décroissantes.

Si $\psi_1^b(x)$ est décroissante en x_s ($cd > \gamma(y_1 - cx_s)$), la condition d'équilibre pour deux fonctions d'enchères décroissantes⁵ est :

$$-\left. \frac{\partial \psi_1^b(x)}{\partial x} \right|_{x=x_s} < -\left. \frac{\partial \psi_2(x)}{\partial x} \right|_{x=x_s}$$

Si la fonction d'enchères des pauvres est plus pentue en x_s , ils vont occuper la zone centrale et les riches la zone périphérique. Après remplacements et simplifications la condition d'équilibre devient :

$$-\frac{\gamma}{d} < \frac{c(y_1 - y_2)}{(y_1 - cx_s)(y_2 - cx_s)} \quad (3.17)$$

Cette condition est toujours respectée parce que le terme de gauche est négatif et le terme de droite positif. Dans la zone la plus périphérique de la ville ($x \in [x_s + d, x_f]$), pour vérifier qu'il n'y a pas un deuxième point de ségrégation, en sachant que les deux fonctions d'enchères sont continues et décroissantes et que $\psi_1^c(x_s + d) > \psi_2(x_s + d)$, il faut vérifier que

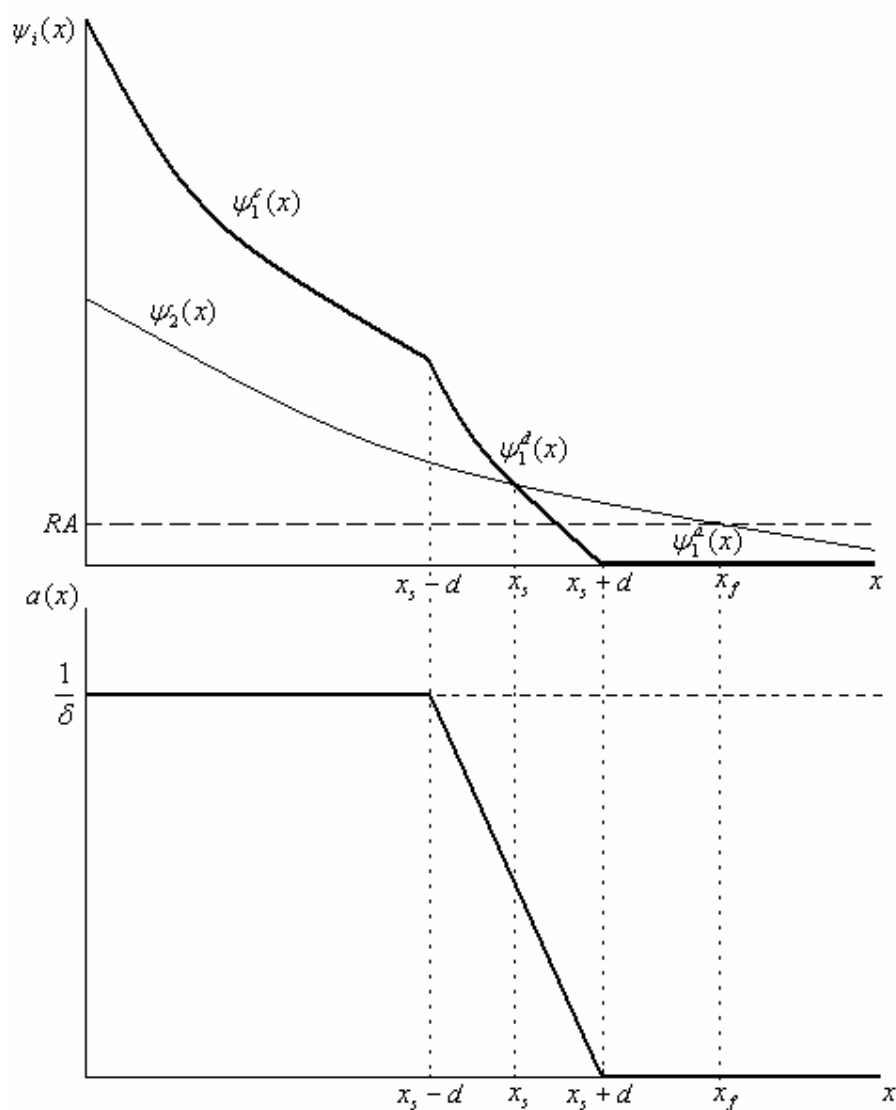
$\psi_1^c(x_f) > \psi_2(x_f) \Leftrightarrow u_2 > \delta^\gamma u_1 - (y_1 - y_2) \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta$. Cette condition est vérifiée si la condition de présence des ménages riches dans la ville (3.16) est respectée parce que $2^\gamma > 1$: $u_2 > u_2^m(u_1) > u_2^m(u_1)/2^\gamma = \delta^\gamma u_1 - (y_1 - y_2) \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta$. Donc pour que l'équilibre de type américain existe, les seules conditions sont celles de présence des deux catégories sociales.

3.3.3 L'existence de l'équilibre de type européen

Nous allons à présent effectuer la même démarche pour un schéma de localisation renversé, de type européen, où les riches occupent la zone centrale de la ville.

Dans la zone où les aménités sont au niveau maximal (la zone centrale), la fonction d'enchères des riches est égale à ψ_1^c et dans la zone de voisinage (pour $x \in [x_s - d, x_s + d]$), elle est ψ_1^d . A l'extérieur du point $x_s + d$ les enchères des riches sont nulles.

Figure 3.4 : Les enchères et les aménités à l'équilibre de long terme de type européen



Comme dans le cas américain le point de ségrégation entre les deux classes sociales est obtenu par l'égalisation de leurs enchères dans la zone de voisinage ($\psi_1^e(x) = \psi_2(x)$) :

$$x_s = \frac{1}{c} \left[\frac{(2\delta)^\gamma y_2 u_1 - y_1 u_2}{(2\delta)^\gamma u_1 - u_2} \right] \quad (3.18)$$

On retrouve la même valeur du point de ségrégation que dans le scénario américain. Cela s'explique par le fait que les enchères des riches dans les deux situations sont symétriques (de pente inversée) et identiques au point de ségrégation (au milieu de la zone de ségrégation).

⁵ voir Fujita (1980)

La frontière de la ville obtenue par l'égalisation des enchères des pauvres avec la rente agricole dépend cette fois-ci du niveau d'utilité des pauvres. :

$$x_f = \frac{1}{c} \left[y_2 - \left(\frac{RA}{A} \right)^\beta u_2 \right] \quad (3.19)$$

Il faut vérifier que les deux catégories sociales sont présentes dans la ville : $0 < x_s < x_f$. Puisque le point de ségrégation est identique pour les deux scénarios, la condition $x_s > 0$ est identique à la condition du scénario américain :

$$x_s > 0 \Leftrightarrow u_2 < (2\delta)^\gamma \frac{y_2}{y_1} u_1 = u_2^m(u_1) \quad (3.20)$$

$$x_s < x_f \Leftrightarrow u_2 > (2\delta)^\gamma u_1 - \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_1 - y_2) = u_2^{m'}(u_1) \quad (3.21)$$

On constate que les conditions (3.15) et (3.20) sont identiques et les fonctions $u_2^m(u_1)$ et $u_2^{m'}(u_1)$ ont la même pente $(2\delta)^\gamma$. De plus, $u_2^{m'}(u_1) > u_2^m(u_1)$, $\forall u_1$, ce qui signifie que la condition (3.21) est plus restrictive que la condition (3.16).

Il faut maintenant vérifier que le point de ségrégation est unique et que les riches habitent la partie périphérique de la ville. Pour toute localisation plus éloignée de $x_s + d$, les enchères des riches sont nulles, ainsi, cette zone est occupée par les pauvres et il n'y a pas de point de ségrégation.

Dans la zone de voisinage, $x \in (x_s - d, x_s + d)$ les deux fonctions d'enchères sont décroissantes, donc la condition nécessaire et suffisante pour l'équilibre est que $\psi_2(x)$ soit moins pentue que $\psi_1^d(x)$ en x_s . Cette condition est:

$$y_1 > y_2 + \frac{cd \left[(2\delta)^\gamma u_1 - u_2 \right]^2}{\gamma (2\delta)^\gamma u_1 u_2} \quad (3.22)$$

Encore une fois, l'équilibre européen est plus restrictif que l'équilibre américain. Cela s'explique par le fait que, en plus des conditions de présence des deux catégories sociales, l'équilibre européen nécessite une condition supplémentaire pour respecter à la fois l'unicité du point de ségrégation et la localisation « correcte » des ménages.

Selon la condition (3.22), les facteurs qui favorisent l'existence de l'équilibre de type européen sont : une différence importante entre les revenus des deux catégories sociales, des préférences fortes des riches pour les aménités, une distance de voisinage et des coûts de

transport faibles. En sachant que $(2\delta)^\gamma u_1 > u_2$ (voir Annexes 3.A), un niveau d'utilité faible des ménages riches et fort des ménages pauvres favorisent également l'existence de cet équilibre. Dans les simulations ultérieures, cette condition est toujours respectée.

Il reste à vérifier que dans la zone centrale, $x \in [0, x_s - d]$ il n'y a pas un autre point de ségrégation. Les fonctions des deux catégories sociales sont continues et décroissantes dans cette zone. En sachant qu'à l'extrémité de cette zone, $\psi_1^c(x_s - d) > \psi_2(x_s - d)$ (du à la condition d'unicité du point de ségrégation dans la zone de voisinage), il suffit de vérifier que $\psi_1^c(0) > \psi_2(0)$:

$$y_1 > \delta^\gamma \frac{u_1}{u_2} y_2 \quad (3.23)$$

Nous ne pouvons pas déterminer laquelle des conditions (3.22) et (3.23) est plus restrictive, mais la condition (3.23) présente les mêmes éléments favorisant l'équilibre de type européen : différence forte entre les revenus, préférence fortes des riches pour les aménités, un niveau d'utilité élevé pour les pauvres et faible pour les riches.

3.3.4 La possibilité d'équilibres multiples

Parce que la présence des deux catégories sociales dans la ville nécessite des conditions sur les niveaux d'utilité des ménages, nous cherchons les couples (u_1, u_2) , pour lesquels les deux schémas de localisation représentent un équilibre. Pour cela, nous allons présenter une autre approche, plus générale, afin de déterminer les conditions de présence des deux catégories dans la ville, notamment dans le cas où le point de ségrégation ne peut pas être déterminé analytiquement (par exemple quand les paramètres des fonctions d'utilité sont différents).

Dans le scénario « américain », les riches occupent la zone périphérique de la ville, on peut alors fixer u_1 et déterminer toutes les valeurs de u_2 pour lesquelles cette configuration spatiale est un équilibre.

On sait qu'il existe un point de ségrégation où les fonctions d'enchères sont égales. Ainsi, on peut exprimer u_2 comme une fonction de u_1 et x_s :

$$u_2 = f(x_s, u_1) = (2\delta)^\gamma \left(\frac{y_2 - cx_s}{y_1 - cx_s} \right) u_1 \quad (3.24)$$

Cette fonction est décroissante par rapport à x_s . Déterminons à présent les valeurs extrêmes de u_2 en fonction de u_1 . Pour cela, il faut remplacer x_s avec ses valeurs minimales et maximales en (3.18), ce qui va nous donner les valeurs maximales et minimales de u_2 par rapport à u_1 :

$$u_2^M(u_1) = f(0, u_1) = (2\delta)^\gamma \frac{y_2}{y_1} u_1 \quad (3.25)$$

$$u_2^m(u_1) = f(x_f, u_1) = (2\delta)^\gamma u_1 - 2^\gamma \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_1 - y_2) \quad (3.26)$$

Il n'est pas surprenant de retrouver les mêmes valeurs que celles des équations (3.15) et (3.16). Les deux fonctions sont croissantes et linéaires par rapport à u_1 , $u_2^m(u_1)$ ayant une pente plus importante que $u_2^M(u_1)$ ⁶. Les valeurs de ces fonctions à l'origine sont $u_2^m(0) = 2^\gamma (A/RA)^\beta (y_2 - y_1) < 0$ et $u_2^M(0) = 0$. Si $\delta < 1/2$, les fonctions ont une pente inférieures à l'unité. Le point d'intersection des deux droites est : $u_1^{ii} = \delta^\gamma (A/RA)^\beta y_1$.

Nous devons restreindre l'ensemble (u_1, u_2) aux valeurs ayant une signification économique. Etant donné la spécification de la fonction d'utilité retenue (fonction de type Cobb-Douglas), le niveau d'utilité ne peut pas être négatif. Ainsi, pour toute la zone $(0, u_1^i)$ ⁷ $u_2^m(u_1) = 0$. Avec l'hypothèse $\delta < 1/2$ (ce qui signifie que les riches ont un niveau d'utilité supérieur à celui des pauvres) on peut définir l'ensemble des couples (u_1, u_2) pour lesquels il existe un équilibre de localisation pauvres-riches : pour $u_1 \in (0, u_1^{ii})$, $u_2 \in (\max(0, u_2^m(u_1)), u_2^M(u_1))$.

Comme dans l'équilibre de type américain, nous allons procéder de manière à déterminer les conditions nécessaires à la présence des deux types de ménages dans une ville à structure européenne, sachant que les conditions supplémentaires (3.22) et (3.23) sont également nécessaires à l'existence de cet équilibre. Toutefois, nous fixons désormais u_2 puisque ce sont les pauvres qui habitent la périphérie.

En égalisant les fonctions d'enchères au point de ségrégation on obtient u_1 comme une fonction de u_2 :

⁶ $\partial u_2^M / \partial u_1 = (2\delta)^\gamma (y_2/y_1) < \partial u_2^m / \partial u_1 = (2\delta)^\gamma$

$$u_1 = g(x_s, u_2) = (2\delta)^{-\gamma} \left(\frac{y_1 - cx_s}{y_2 - cx_s} \right) u_2 \quad (3.27)$$

La fonction $g(x_s, u_2)$ est croissante par rapport à x_s si l'effet aménités l'emporte sur l'effet revenu. On poursuit notre raisonnement en déterminant les valeurs extrêmes de u_1 :

$$u_1^m(u_2) = g(0, u_2) = (2\delta)^{-\gamma} \frac{y_1}{y_2} u_2 \quad (3.28)$$

$$u_1^M(u_2) = g(x_f, u_2) = (2\delta)^{-\gamma} \left[u_2 + \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_1 - y_2) \right] \quad (3.29)$$

Ces deux fonctions sont croissantes et linéaires par rapport à u_2 , $u_1^m(0) = 0$ et $u_1^M(0) = (A/RA)^\beta (2\delta)^{-\gamma} (y_1 - y_2) > 0$. Pour pouvoir comparer les conditions des deux scénarios, il faut exprimer les fonctions inverses de (3.28) et (3.29). Puisque le point de ségrégation est identique dans les deux scénarii, $u_1^m(u_2)$ est l'inverse de la fonction $u_2^M(u_1)$. Nous retrouvons alors la même expression que dans la relation (3.21) :

$$u_2^{m'}(u_1) = (2\delta)^\gamma u_1 - \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_1 - y_2) \quad (3.30)$$

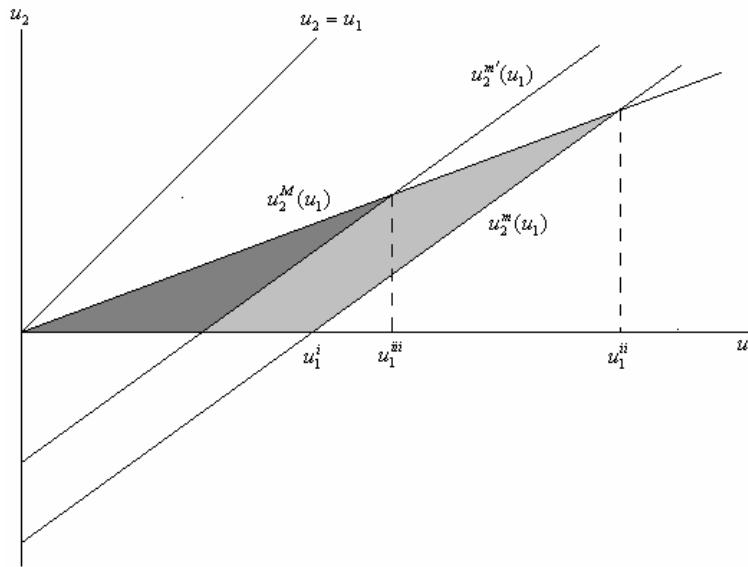
Avec l'hypothèse $\delta < 1/2$ (un niveau d'utilité supérieur pour les riches), nous pouvons définir les valeurs de (u_1, u_2) permettant l'équilibre de type européen : pour $u_1 \in (0, u_1^{iii})^8$, $u_2 \in \left(\max\left(0, u_2^{m'}(u_1)\right), u_2^M(u_1) \right)$ (avec les conditions supplémentaires (3.22) et (3.23)).

Les valeurs de (u_1, u_2) qui permettent l'existence simultanée des deux types d'équilibre (si les conditions (3.22) et (3.23) sont respectées) sont représentées par la surface de couleur gris foncé sur la Figure 3.5. Notons que ce sont les mêmes que celles de l'équilibre européen. La surface gris clair représente les couples (u_1, u_2) qui permettent seulement l'existence de l'équilibre de type américain.

⁷ $u_1^i = \text{sol}(u_2^m(u_1) = 0) = (y_1 - y_2)(A/RA)^\beta \delta^{-\gamma}$

⁸ $u_1^{iii} = (2\delta)^{-\gamma} (A/RA)^\beta y_1$ est le point d'intersection entre $u_2^M(u_1)$ et $u_2^{m'}(u_1)$

Figure 3.5 : Les niveaux d'utilité pour lesquels les deux équilibres existent



Cette analyse montre que, sous certaines conditions, les deux équilibres sont possibles, mais les conditions nécessaires à l'existence d'un équilibre de type européen sont plus restrictives. De plus, l'équilibre européen est « inclus » dans l'équilibre américain : si l'équilibre européen est possible, alors l'équilibre américain l'est également.

3.4 COMPARAISONS EN TERMES D'OPTIMALITE

Dans cette section, nous allons procéder à des comparaisons entre les deux types de structures urbaines (américaine et européenne) pour deux situations : ville ouverte et ville fermée. Dans une ville ouverte, les niveaux d'utilités sont exogènes, et notre comparaison se fera alors en termes de surplus de l'économie, tandis que dans un cadre de ville fermée, où les niveaux d'utilité sont endogènes, nous pouvons mener une comparaison en termes de bien-être.

3.4.1 Comparaison du surplus dans le cadre d'une ville ouverte

Puisque notre analyse se situe dans le cadre d'une ville ouverte, les niveaux d'utilité des deux catégories de ménages sont exogènes et identiques pour les deux types de structures sociales. Ainsi, pour réaliser une comparaison en termes d'optimalité entre une ville avec une structure sociale de type américain et une ville de type européen, il faut comparer le surplus de l'économie qui, dans notre cas, est représenté seulement par la rente différentielle.

Dans le cas américain, la rente différentielle est :

$$RD^a = \int_0^{x_s} (\psi_2(x) - RA) dx + \int_{x_s}^{x_s+d} (\psi_1^b(x) - RA) dx + \int_{x_s+d}^{x_f^a} (\psi_1^c(x) - RA) dx$$

et dans une configuration spatiale de type européen, la rente différentielle devient :

$$RD^e = \int_0^{x_s-d} (\psi_1^c(x) - RA) dx + \int_{x_s-d}^{x_s} (\psi_1^e(x) - RA) dx + \int_{x_s}^{x_f^e} (\psi_2(x) - RA) dx$$

Ces deux expressions ne peuvent pas être calculées analytiquement, ainsi nous serons obligés de réaliser des simulations numériques.

Tableau 3.1 : Valeurs des paramètres stationnaires

Paramètre	Ménages Riches	Ménages Pauvres
$\alpha / \beta / \gamma$	0,6 / 0,4 / 0,25	0,6 / 0,4 / 0
Revenu	100	90
Coûts de transport	1,5	
Rente agricole	3	
Taux de dépréciation des aménités	0,10	
Distance de voisinage	5	

Dans cette série de simulation, nous fixons les paramètres stationnaires relatifs aux préférences, aux revenus, aux coûts de transport et à la rente agricole et par la suite nous déterminons toutes les combinaisons (u_1, u_2) qui respectent les conditions d'existence des

deux types d'équilibre. Pour toutes les valeurs (u_1, u_2) qui respectent ces conditions, nous comparons la rente différentielle dans chacune des deux situations.

Nous posons $\gamma_2 = 0$ (les pauvres n'ont pas des préférences pour les aménités) car on considère que les aménités représentent un bien supérieur. De plus, si les riches et les pauvres ont les mêmes préférences pour les aménités ($\gamma_1 = \gamma_2$), les premiers vont toujours occuper la zone périphérique parce que les aménités ne jouent plus aucun rôle. Le revenu est exprimé en K/période et la distance de voisinage correspond à 50 mètres.

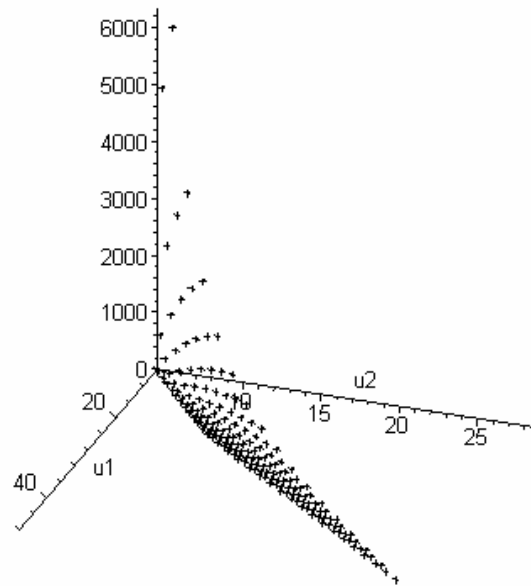
Selon les conditions de présence des deux catégories sociales dans la ville, la valeur maximale de u_1 pour le scénario américain est $u_1^{ii} = 58,46$, et $u_1^{iii} = 49,16$ pour le scénario européen. Puisque nous cherchons les couples (u_1, u_2) qui permettent l'existence des deux équilibres, la valeur maximale retenue est u_1^{iii} . La procédure de vérification des équilibres est présentée dans l'Annexes 3.C.1.1.

Dans nos simulations, les deux niveaux d'utilité évoluent de 0 jusqu'au u_1^{iii} , avec un pas de 0,1. Après cette série de simulations, on constate qu'à quelques exceptions près, pour toutes les valeurs de (u_1, u_2) , la rente différentielle d'une structure américaine est supérieure à la rente différentielle dans la configuration européenne. Ces exceptions apparaissent lorsque les niveaux d'utilité sont très élevés et qu'il existe une différence très importante entre ces niveaux d'utilité (l'utilité des ménages riches est quasiment double de celle des pauvres). Dans ces situations, les rentes différentielles sont quasiment identiques⁹. La procédure de calcul des rentes différentielles est présentée dans l'Annexes 3.C.1.2.

Par souci de visibilité, nous utilisons un pas de 0,5 et retenons des niveaux d'utilité supérieurs à 5 pour représenter graphiquement les triplets $(u_1, u_2, \Delta RD)$. La Figure 3.6 représente en trois dimensions les couples (u_1, u_2) qui permettent l'existence des deux équilibres et la différence entre la rente différentielle américaine et européenne :

⁹ $[u_1, u_2, \Delta RD] = [22.1, 11.6, -0.032], [22.3, 11.7, -0.36], [22.4, 11.7, -0.28], [22.4, 11.8, -0.34], [22.5, 11.8, -0.68], [22.6, 11.9, -0.70], [22.7, 11.9, -0.98], [22.7, 12.0, -0.36], [22.8, 12.0, -1.05], [22.9, 12.1, -0.76], [23.0, 12.1, -1.37], [23.0, 12.2, -0.12], [23.1, 12.2, -1.14], [23.2, 12.3, -0.57], [23.3, 12.3, -1.50], [23.4, 12.4, -0.99], [23.5, 12.5, -0.16], [23.6, 12.5, -1.39], [23.7, 12.6, -0.63], [23.9, 12.7, -1.08], [24.0, 12.8, -0.08], [24.2, 12.9, -0.58]$

Figure 3.6 : Différence des rentes différentielles entre les deux structures urbaines



Dans ce graphique, on voit qu'autour du couple ($u_1 = 20, u_2 = 10$) la différence entre les rentes différentielles est plus faible (voir négative). Par ailleurs, on peut voir les contraintes sur les deux niveaux d'utilité pour que les deux types d'équilibre existent. Avec une augmentation des niveaux d'utilité, il y a un rapprochement entre les rentes différentielles dégagées par les deux structures sociales. Plus la différence entre les deux niveaux d'utilité est faible (ce qui induit un rapprochement du point de ségrégation vers le centre ville) plus l'écart entre les deux rentes différentielles est important.

3.4.2 Comparaison dans le cadre d'une ville fermée

Dans un cadre de ville fermée, il n'y a pas de migration entre villes. Ainsi, la population est exogène, et le niveau d'utilité d'équilibre des deux catégories sociales devient endogène. L'analyse dans un cadre fermé trouve son intérêt dans le fait qu'elle permet des comparaisons non seulement en termes de surplus, mais aussi en termes de bien-être des ménages. La question est alors la suivante : est-ce que le résultat obtenu (une supériorité des villes américaines) reste le même si les villes comparées sont de taille similaire en termes de population ? Ainsi, pour une population donnée (\bar{n}_1 respectivement \bar{n}_2), on « laisse » les ménages se localiser en ville selon une structure sociale de type européen (respectivement américain) et on effectue des comparaisons de niveaux d'utilité.

Le système d'équilibre est formé par les équations qui déterminent la frontière de la ville (14 ou 19 selon le scénario américain ou européen), le point de ségrégation (13 ou 14, selon scénario) et les contraintes de population, qui bouclent le système:

$$\begin{cases} N_1 = \bar{n}_1 \\ N_2 = \bar{n}_2 \end{cases}$$

où N_1 et N_2 représentent la population riche et pauvre, déterminées dans le modèle par les équations (3.9) et (3.10).

Dans le cas américain le système devient :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_f^a = \frac{1}{c} \left[y_1 - \left(\frac{RA}{A_1} \right)^\beta \delta^\gamma u_1^a \right] \\ x_s^a = \frac{(2\delta)^\gamma u_1^a y_2 - u_2^a y_1}{c \left((2\delta)^\gamma u_1^a - u_2^a \right)} \\ \frac{2\pi}{B} (u_1^a)^{-1/\beta} (2\delta d)^{-\gamma/\beta} \int_{x_s^a}^{x_s^a+d} x (y_1 - cx)^{\alpha/\beta} (x + d - x_s^a)^{\gamma/\beta} dx + \frac{2\pi}{B} (u_1^a)^{-1/\beta} (\delta)^{-\gamma/\beta} \int_{x_s^a+d}^{x_f^a} x (y_1 - cx)^{\alpha/\beta/\beta} dx = \bar{n}_1 \\ \frac{2\pi}{B} (u_2^a)^{-1/\beta} \int_0^{x_s^a} x (y_2 - cx)^{\alpha/\beta/\beta} dx = \bar{n}_2 \end{array} \right.$$

Le système pour déterminer les valeurs d'équilibre du niveau d'utilité des deux catégories de ménages dans le cas européen s'écrit :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_f^e = \frac{1}{c} \left[y_2 - \left(\frac{RA}{A_2} \right)^\beta u_2^e \right] \\ x_s^e = \frac{(2\delta)^\gamma u_1^e y_2 - u_2^e y_1}{c \left((2\delta)^\gamma u_1^e - u_2^e \right)} \\ \frac{2\pi}{B} (u_1^e)^{-1/\beta} (\delta)^{-\gamma/\beta} \int_0^{x_s^e-d} x (y_1 - cx)^{\alpha/\beta/\beta} dx + \frac{2\pi}{B} (u_1^e)^{-1/\beta} (2\delta d)^{-\gamma/\beta} \int_{x_s^e-d}^{x_s^e} x (y_1 - cx)^{\alpha/\beta} (x_s^e + d - x)^{\gamma/\beta} dx = \bar{n}_1 \\ \frac{2\pi}{B} (u_2^e)^{-1/\beta} \int_{x_s^e}^{x_f^e} x (y_2 - cx)^{\alpha/\beta/\beta} dx = \bar{n}_2 \end{array} \right.$$

On ne peut résoudre analytiquement ces deux systèmes, le recours aux simulations numériques est alors nécessaire. Les valeurs des paramètres sont les mêmes que celles fixées dans le Tableau 3.1, sauf concernant les préférences des ménages où l'on pose $\alpha = 0,5$ et $\beta = 0,5$ afin d'alléger les calculs.

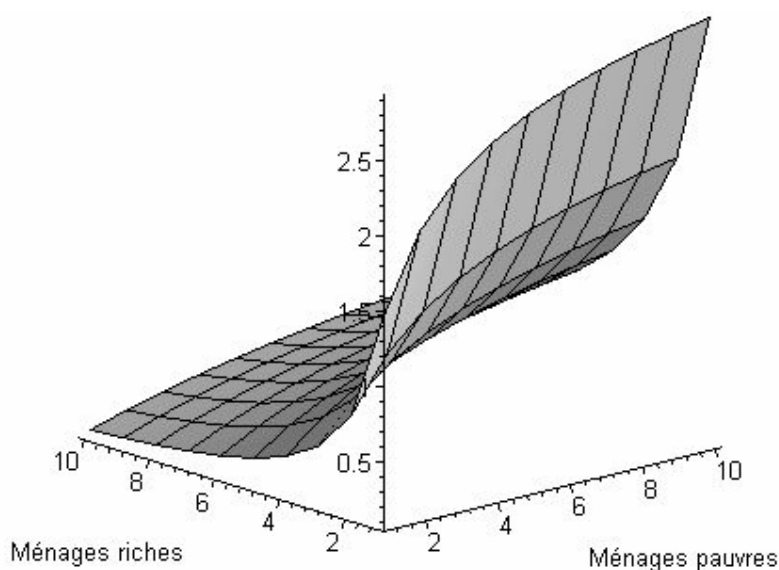
Dans cette série de simulations, le nombre d'habitants de chacune des deux catégories de population varie. Pour chaque couple de population riche-pauvre, on obtient une matrice

avec les valeurs d'équilibre des variables endogènes qui respectent les conditions d'existence des deux types d'équilibre. Puisque le nombre de simulations est très important, nous avons choisi d'utiliser un pas de 10.000 habitants et la population de chaque catégorie varie entre 10.000 et 100.000 habitants. Les procédures de calcul des équilibres sont présentées dans les Annexes 3.C.2.

Dans les graphiques suivants (en trois dimensions), par souci de clarté, nous avons préféré représenter une seule matrice avec les différences entre les niveaux d'utilité entre les deux scénarios, plutôt que de représenter deux matrices avec leurs valeurs absolues.

La Figure 3.7 illustre la matrice des différences de niveau d'utilité des ménages riches entre une ville de type américain et une ville de type européen. Comme on pouvait s'y attendre, cette différence est toujours positive, ce qui signifie une supériorité d'une ville avec structure américaine.

Figure 3.7 Différence des niveaux d'utilité des ménages riches

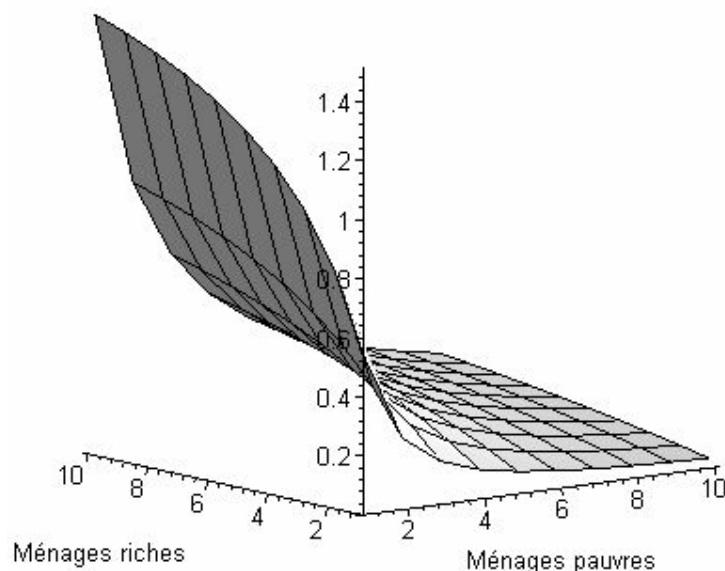


Il est intéressant de constater que pour une évolution linéaire des deux types de populations, l'impact sur les niveaux d'utilité n'est pas du tout linéaire. Plus le rapport riches/pauvres est faible, plus cette différence de niveau d'utilité est élevée. A l'inverse, une population riche importante et une population pauvre réduite, favorisent une convergence d'utilité des ménages riches dans les deux scénarios. Concernant l'ampleur de la différence d'utilité des ménages riches, comme on s'y attendait, le facteur « taille population riche » est plus important que le facteur « taille population pauvre ». Ce trait ressort par une simple comparaison entre les deux situations suivantes : les deux catégories sont nombreuses ou les

deux catégories sont peu nombreuses. Une ville grande détermine un rapprochement de niveau d'utilité des ménages riches entre les deux scénarios.

La Figure 3.8, qui présente la différence d'utilité des pauvres dans les deux scénarios, montre toujours la supériorité d'une structure urbaine de type américain, mais la forme de la matrice des différences présente des valeurs plus faibles que celle des individus riches, et elle a une forme inversée. Ainsi, une population riche nombreuse favorise un écart important entre les deux scénarios, tandis qu'une population pauvre importante joue en faveur d'une convergence des deux structures. Si le nombre des deux catégories est comparable, comme pour les ménages riches, une ville de taille importante favorise également une convergence en termes d'utilité des ménages pauvres entre une ville de type américain et une ville de type européen.

Figure 3.8 Différence des niveaux d'utilité des ménages pauvres



Pour expliquer la supériorité des structures urbaines de type américain, le facteur le plus évident est la taille physique de la ville. Parce que la frontière de la ville est déterminée en fonction des enchères de la catégorie la plus éloignée du centre, une ville américaine est plus large qu'une ville de européenne. Ce phénomène n'est pas suivi par une augmentation proportionnelle de la densité de la population. Ainsi, il y aura moins de concurrence pour le sol et des logements plus spacieux, ce qui améliorera le bien-être des ménages, même si les coûts de transports seront plus élevés.

3.4.3 Comparaison des villes ouvertes de même surface

Il est également intéressant de savoir s'il y a d'autres facteurs qui peuvent expliquer la supériorité de la structure urbaine américaine. Pour ce faire, nous réalisons une comparaison en termes de bien-être entre villes de même taille physique. Nous fixons la surface de la ville et déterminons ainsi les intervalles de variations des deux niveaux d'utilité qui permettent l'existence des deux équilibres à long terme.

Pour la taille de la ville, on fixe la surface de la ville à (\bar{x}_f) . On commence d'abord avec une ville de type américain et une localisation périphérique des ménages riches. Puisqu'on connaît la frontière de la ville, on connaît le niveau d'utilité (fixe) des riches pour lequel les enchères de ces derniers égalisent la rente agricole en \bar{x}_f :

$$\bar{u}_1 = \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_1 - c\bar{x}_f) \delta^{-\gamma} \quad (3.31)$$

On continue en déterminant le niveau d'utilité des ménages pauvres, à partir de \bar{u}_1 , en sachant que les fonctions d'enchères s'égalisent en x_s :

$$u_2(x_s, \bar{x}_f) = 2^\gamma \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_2 - cx_s) \left(\frac{y_1 - c\bar{x}_f}{y_1 - cx_s} \right) \quad (3.32)$$

Cette fonction a le même comportement que la fonction générale $u_2 = f(x_s, u_1)$, qui est une fonction décroissante en x_s . On détermine les valeurs extrêmes de $u_2(x_s, \bar{x}_f)$:

$$u_2^M(\bar{x}_f) = u_2(0, \bar{x}_f) = 2^\gamma \left(\frac{A_2}{RA} \right)^\beta y_2 \left(\frac{y_1 - c\bar{x}_f}{y_1} \right) \quad (3.33)$$

$$u_2^m(\bar{x}_f) = u_2(\bar{x}_f, \bar{x}_f) = 2^\gamma \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_2 - c\bar{x}_f). \quad (3.34)$$

On applique la même démarche pour une ville de type « européen ». On détermine le niveau d'utilité fixe des ménages pauvres pour lequel la frontière de la ville est bien \bar{x}_f :

$$\bar{u}_2 = \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (y_2 - c\bar{x}_f) \quad (3.35)$$

Le niveau d'utilité des ménages riches vaut quant à lui :

$$u_1(x_s, \bar{x}_f) = \left(\frac{A}{RA} \right)^\beta (2\delta)^{-\gamma} \left(\frac{y_2 - c\bar{x}_f}{y_2 - cx_s} \right) (y_1 - cx_s) \quad (3.36)$$

Comme dans le cas précédent, cette fonction a un comportement similaire à celui de la fonction générale $u_1 = g(x_s, u_2)$:

$$\text{sgn}\left(\frac{\partial u_1(x_s, \bar{x}_f)}{\partial x_s}\right) = \text{sgn}(y_1 - y_2) > 0$$

Les valeurs extrêmes de $u_1(x_s, \bar{x}_f)$ sont :

$$u_1^m(\bar{x}_f) = u_1(0, \bar{x}_f) = \left(\frac{A}{RA}\right)^\beta (2\delta)^{-\gamma} \left(\frac{y_2 - c\bar{x}_f}{y_2}\right) y_1 \quad (3.37)$$

$$u_1^M(\bar{x}_f) = u_1(\bar{x}_f, \bar{x}_f) = \left(\frac{A}{RA}\right)^\beta (2\delta)^{-\gamma} (y_1 - c\bar{x}_f) \quad (3.38)$$

On constate que $u_2^m(\bar{x}_f) = 2^\gamma \bar{u}_2 > \bar{u}_2$ et $u_1^M(\bar{x}_f) = 2^{-\gamma} \bar{u}_1 < \bar{u}_1$. Ces inégalités montrent que l'utilité minimale des ménages pauvres dans une ville de type américain de taille \bar{x}_f est supérieure au niveau d'utilité obtenu dans une ville de type européen de même taille \bar{x}_f et le niveau maximal d'utilité des ménages riches dans une ville « européenne » est inférieure au niveau d'utilité des riches dans une ville « américaine » de même taille.

Pour une même surface, les deux catégories de ménages d'une ville de type américain atteignent, à l'équilibre stationnaire, au moins le niveau d'utilité obtenu dans une ville de type européen. On peut penser que la structure européenne ne représente pas la tendance « naturelle » de localisation et que le switch de population a un effet négatif sur le bien-être des ménages. La ville sera trop dense : les riches qui se trouvent au centre doivent maintenant renoncer à l'espace d'habitation pour l'accessibilité mais aussi pour le niveau plus élevé des aménités ; et les ménages pauvres également car, étant localisés dans la périphérie, ils sont confrontés à des coûts d'accessibilité trop élevés.

3.5 EVOLUTION DYNAMIQUE DE LA VILLE

Dans cette section, nous allons réaliser deux séries de simulations pour représenter l'évolution de la ville. A l'équilibre de long terme, sous certaines conditions, les schémas de localisation extrêmes (riches au centre versus pauvres au centre) sont possibles, mais d'autres configurations peuvent apparaître. Le scénario de référence montre que pour les mêmes paramètres, la ville peut avoir une structure sociale de type américain ou européen, la déterminante étant le temps. Nous obtenons une simulation annexe pour laquelle on peut aboutir à un équilibre de long terme « bloqué » dans une structure sociale américaine. Les principales procédures utilisées dans les simulations sont présentées dans les Annexes 3.C.3.

Dans nos simulations, les variables exogènes sont définies sous la forme: $\mu_t = \mu_{t-1} + \tau_\mu t^{-\varepsilon}$, où μ est la variable en question (le revenu, le niveau d'utilité et la rente agricole), τ_μ représente le taux d'incrément de la variables μ , t est la période de simulation, et ε ($0 \leq \varepsilon \leq \infty$) est un paramètre qui influence le sentier temporel des variables : plus ε prend une valeur élevée, plus l'évolution des variables exogènes est lente. Pour $\varepsilon = 0$, l'évolution est linéaire, et pour $\varepsilon = \infty$ les variables sont constantes dans le temps. Notons que cette formalisation nous permet d'avoir une évolution concave des variables au cours du temps. Les coûts de transport sont constants et identiques pour les deux catégories, afin d'éviter une influence de ceux-ci sur la localisation des ménages.

3.5.1 Le scénario de référence : structure sociale de type européen

L'équilibre « européen » représente une structure sociale caractérisée par une localisation centrale des riches et une localisation périphérique des ménages pauvres. Les paramètres choisis sont très proches des valeurs du Tableau 3.1 :

Le revenu est exprimé toujours en K/période. Quel que soit le taux de dépréciation, les aménités sont bornées à un niveau qui représente l'équilibre stationnaire. Pour un taux de dépréciation de 10%, la limite des aménités est à 10.

Dans ce scénario, la préférence des riches pour les aménités est forte (ainsi ils seront plus attirés vers les zones habitées antérieurement par les riches). De plus, quel que soit le niveau initial des aménités, elles convergent vers le même niveau à l'équilibre stationnaire. Notons que nous choisissons un niveau initial supérieur à l'unité pour que les deux catégories soient bien présentes dans la ville, et que, par ailleurs, nous faisons évoluer rapidement les

variables exogènes (une valeur faible de ε). Ainsi, avec un tel jeu de paramètres, les aménités vont jouer un rôle important dans la structuration de l'espace urbain.

Tableau 3.2 : Valeurs des paramètres du scénario de référence

Paramètre	Ménages Riches	Ménages Pauvres
$\alpha / \beta / \gamma$	0,6 / 0,4 / 0,45	0,6 / 0,4 / 0
Revenu	100	90
Taux d'incrément du revenu	5	4,95
Niveau d'utilité	10	7
Taux d'incrément de l'utilité	0,5	0,3
Rente agricole	3	
Taux d'incrément de la rente agricole	0,1	
Taux de dépréciation des aménités	0,10	
Distance de voisinage	5	
Aménités à la période initiale	1.5	
ε	1/8	

Initialement, les aménités étant constantes, la ville est partagée en deux zones selon un schéma de type américain : la partie centrale est occupée par les ménages pauvres et l'extérieur par les ménages riches (voir Annexes 3.B.1.1). Toutes les fonctions ont les caractéristiques spécifiques aux modèles urbains standards : fonctions d'enchères décroissantes, rente urbaine décroissante. La surface des logements ainsi que la densité de la population sont croissantes, avec un point de discontinuité pour ces deux fonctions au point de ségrégation. Après cette période, les aménités augmentent dans la zone occupée par les riches et dans son voisinage, mais avec un effet négatif vers le centre ville, effet dû au voisinage des pauvres. On constate une forte augmentation du niveau d'aménités dans la zone extérieure de la ville qui a été habitée successivement par les ménages riches.

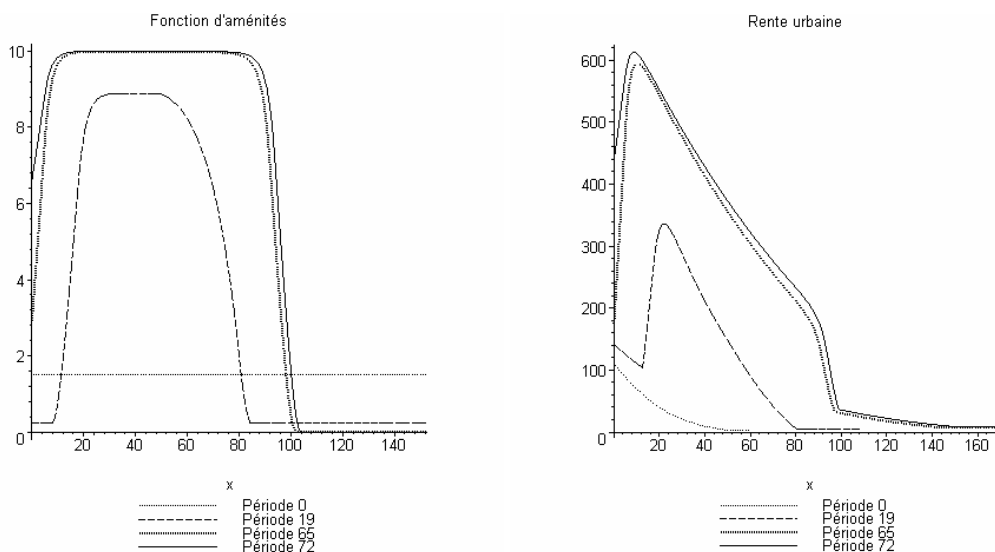
Avec le temps, la taille de la ville augmente. Les nouveaux ménages riches sont attirés vers les zones où les aménités sont plus élevées. Ce résultat est dû au fait que leurs prédécesseurs y habitaient ou étaient localisés à proximité. Les pauvres qui arrivent en ville se localisent au centre dans un premier temps, mais, coincés par l'anneau occupé par les riches, ils s'y entassent jusqu'à ce qu'une partie d'entre eux aient intérêt à migrer vers la périphérie. La ville est maintenant composée de trois zones : pauvres – riches – pauvres (Annexes 3.B.1.2). Les fonctions n'ont plus les formes habituelles. Les enchères des pauvres présentent une forte augmentation dans la zone riche, selon leurs préférences pour les aménités. Ils sont

prêts à céder une partie de leur surface d'habitation, ce qui détermine une concentration de la population.

De plus en plus des nouveaux ménages pauvres se délocalisent vers la périphérie, pendant que l'extension de la zone occupée par les riches les amène progressivement à absorber la zone centrale. On retrouve une ville européenne avec deux zones, les riches habitant maintenant le centre alors que les pauvres sont localisés dans la périphérie. Il y a un fort avantage comparatif du centre face à la périphérie en termes d'aménités (Annexes 3.B.1.3). Ce processus de ségrégation se renforce au cours du temps (Annexes 3.B.1.4), avec une plus forte différenciation entre les deux zones. Les fonctions d'enchères et d'aménités prennent une forme très proche de celle à l'équilibre stationnaire (Figure 3.4).

Puis, les changements de structure sociale urbaine ralentissent pour arriver à des variations très faibles. Cette évolution s'explique aussi par la formalisation des variables exogènes, dont l'augmentation est de moins en moins forte au cours du temps (forme concave). De plus, en termes de structure, la ville ne change pas (Annexes 3.B.1.3 et B.1.4) et on constate une plus forte différenciation entre la zone riche et les zones pauvres, en termes de rente, densité de la population et aménités. On peut considérer que cette structure est très proche de celle de l'équilibre stationnaire, car les aménités se situent elles-même à leur niveau d'état stationnaire et l'évolution des variables exogènes est de plus en plus faible.

Figure 3.9 : L'évolution de la ville dans le scénario de référence



La Figure 3.9 nous montre l'évolution des principales caractéristiques de la ville. Cette représentation est très intéressante car elle nous permet de mettre en lumière l'effet de « verrouillage » des ménages riches. Leur localisation initiale est périphérique, mais avec

l'évolution de la ville, leur zone ne représente plus l'extérieure de la ville, mais le centre. La rente urbaine augmente fortement dans la zone riche.

3.5.2 Equilibre de type américain

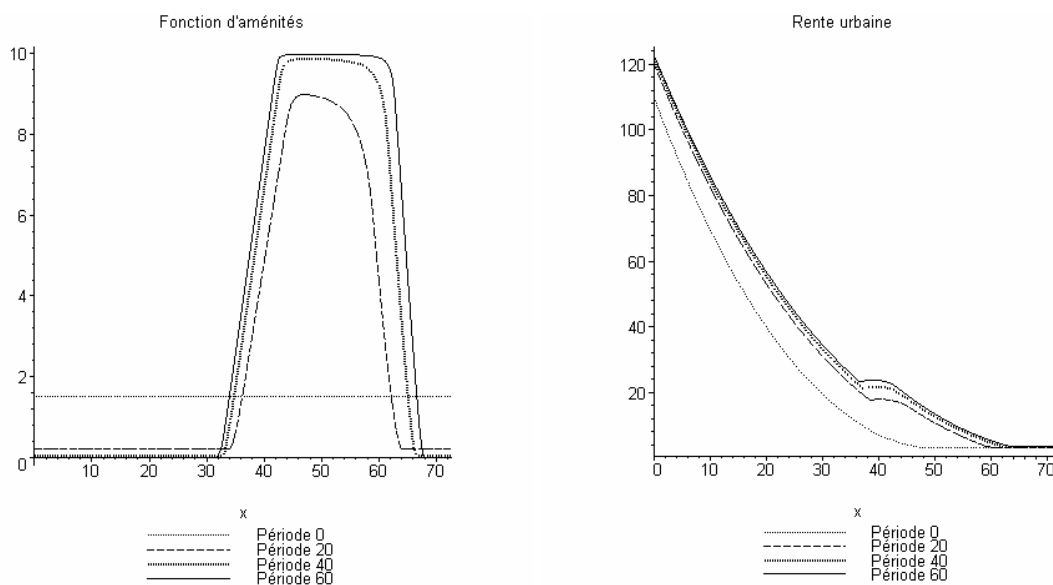
Dans ce paragraphe, on montre qu'il existe d'autres évolutions possibles pour la ville. On peut aboutir à un schéma de localisation où les aménités ne peuvent pas jouer un rôle important dans la localisation des ménages et on retrouve à long terme une ville de type américain.

Par équilibre de type américain, on entend une structure socio-spatiale caractérisée par une ségrégation complète des riches et des pauvres, avec une localisation centrale des ménages pauvres et une localisation périphérique des ménages riches. Pour arriver à cet équilibre, on part de la simulation de référence et on diminue les paramètres qui favorisent l'équilibre de type européen : on réduit le rôle joué par les aménités dans la structuration de l'espace et on ralentit l'évolution des variables exogènes.

Tableau 3.3 : Changements des paramètres pour l'équilibre « américain »

Paramètre	Ménages Riches	Ménages Pauvres
γ	0,15	0
ε	1	

Figure 3.10 : L'évolution de la ville dans le scénario « américain »



Pour ces valeurs des paramètres, on retrouve la même tendance dans les localisations que pour la simulation de référence, mais les aménités ont un effet faible sur la localisation

des deux classes sociales (Annexes 3.B.2.1-B.2.4). Ainsi la ville est complètement ségrégée en deux zones : le centre pauvre et la périphérie riche. Les aménités sont concentrées dans la zone périphérique de la ville, là où se trouvent les riches, et leur évolution est de moins en moins rapide au fur et à mesure que l'on approche de l'état stationnaire. La rente augmente au cours du temps, de façon un peu plus accentuée dans la zone riche. On constate qu'à la dernière période de simulation (Annexes 3.B.2.4), la forme des fonctions d'enchères et de la fonction d'aménités est très proche de celle à l'équilibre stationnaire, comme dans la Figure 3.3.

3.6 L'IMPACT DES COÛTS DE TRANSPORT DIFFÉRENTIÉS

Dans les sections précédentes, notre analyse s'est concentrée sur le rôle joué par les aménités dans la structuration sociale de l'espace urbain. Mais le coût de transport s'avère être un autre facteur important qui peut influencer fortement les décisions de localisation. Jusqu'ici nous avons utilisé des coûts de transport identiques pour les deux classes sociales. Dans cette section, nous montrons qu'un coût différencié peut induire également un changement dans la structure spatiale d'une ville.

Pour mettre en évidence le rôle joué séparément par les coûts de transport différenciés, nous supposons que les aménités ne jouent aucun rôle, leur niveau étant constant et égal à l'unité. Puisque les aménités restent constantes, nous pouvons porter notre analyse directement dans un cadre statique. Dans une telle situation, les enchères des deux catégories s'écrivent :

$$\psi_i(x, u_i) = A(y_i - c_i x)^{1/\beta} (u_i)^{-1/\beta}$$

où les coûts de transport des deux catégories sociales sont différents : $c_1 \neq c_2$

Le point de ségrégation entre les deux catégories est :

$$x_s = \frac{y_1 u_2 - y_2 u_1}{c_1 u_2 - c_2 u_1}$$

Avec des aménités constantes, les deux fonctions d'enchères présentent une pente négative :

$$\frac{\partial \psi_i(x)}{\partial x} = -\frac{A}{\beta} (u_i)^{-1/\beta} c_i (y_i - c_i x)^{1-\beta/\beta}$$

Pour établir la répartition des deux catégories par rapport au point de ségrégation, il faut faire une comparaison de la pente des deux fonctions d'enchères au point de ségrégation. Ainsi, la condition nécessaire pour une localisation centrale de riches est :

$$-\left. \frac{\partial \psi_1(x)}{\partial x} \right|_{x=x_s} > -\left. \frac{\partial \psi_2(x)}{\partial x} \right|_{x=x_s} \Leftrightarrow \frac{c_1}{u_1} > \frac{c_2}{u_2}$$

D'après cette condition, il est suffisant que les coûts de transport des ménages riches soient assez importants par rapport aux coûts des ménages pauvres pour qu'ils se localisent dans la zone centrale de la ville. Une telle situation est possible si on considère les coûts de transport en fonction non seulement des coûts monétaires directs, mais aussi en termes de coûts liés au temps. Le coût du temps étant un coût d'opportunité, on peut alors considérer qu'il est plus important pour les ménages riches.

3.7 CONCLUSIONS

Le principal résultat de ce chapitre réside dans le fait que le développement historique d'une ville, caractérisé par la formation d'aménités localisées, joue un rôle déterminant dans la structuration de la population dans l'espace urbain.

L'étude des équilibres stationnaires nous montre que les conditions d'existence d'un équilibre de type européen sont plus restrictives que celles de l'équilibre de type américain. Cela résulte du fait qu'un équilibre européen nécessite un processus temporel de switch de populations.

En plus des conditions de présence des deux catégories dans la ville, qui sont plus restrictives pour le scénario européen, s'ajoutent d'autres restrictions, nécessaires pour que la répartition de la population suive le schéma européen (un point de ségrégation unique et le centre occupé par les ménages riches).

Ainsi, pour des paramètres qui satisfont les conditions (3.20)-(3.23), les deux types d'équilibre sont possibles et nous ne pouvons pas prédire lequel va l'emporter. Si seulement les conditions (3.15) et (3.16) sont respectées, le seul équilibre possible est l'équilibre de type américain. Si aucune de ces deux conditions n'est respectée, la ville n'atteindra pas l'équilibre de long terme. Selon ces conditions, les facteurs qui favorisent l'équilibre européen jouent à deux niveaux : sur les aménités (préférence des riches pour les aménités et leur dépréciation) et sur les enchères des deux catégories (rapport entre les revenus et les niveaux d'utilité des deux catégories sociales).

La comparaison en termes d'optimalité entre les deux types de structures urbaines montre une supériorité d'une structure de type américain. Dans le cadre d'une ville ouverte, les niveaux d'utilités sont exogènes et identiques entre les deux types de structures urbaines. Ainsi la comparaison entre les surplus dégagés par les deux types de structures urbaines porte sur la rente différentielle. Cette comparaison nous montre que, sauf quelques cas extrêmes, une structure de type américain est plus efficace qu'une structure de type européen. Cette proposition est vraie uniquement lorsque les paramètres du modèle permettent l'existence des deux types d'équilibre.

Pour des villes de même taille en termes de population (cadre fermé) ou de surface (ville ouverte), l'analyse confirme cette supériorité des villes de type américain, parce que les niveaux d'utilité des deux catégories sont toujours supérieurs à ceux résultants d'une structure de type européen.

Une explication possible des contrastes entre les structures sociales des villes américaines et des villes européennes peut être une différence de préférences, de revenus et/ou des niveaux d'utilité des ménages. Dans le cas où les préférences des riches pour les aménités est faible, ceux-ci se localisent vers la périphérie à long terme, tandis que les ménages pauvres occupent la zone centrale de la ville. Ce type de structure sociale correspond aux villes nord-américaines. Les riches continuent d'occuper la périphérie et de ce fait les aménités seront concentrées.

Dans nos simulations dynamiques, on constate que les aménités peuvent à elles seules transformer la structure d'une ville au cours du temps. Ainsi, une autre explication pour les contrastes de structures socio-spatiales des villes européennes et des villes nord-américaine tient au fait que les dernières sont plus récentes et n'ont donc pas encore atteint leur équilibre d'état stationnaire. Cette situation correspond au scénario de référence. Initialement, la ville est sans aménités et les ménages riches se localisent vers la périphérie, tandis que les ménages pauvres occupent la zone centrale de la ville. Ce type de structure sociale correspond aux villes nord-américaines, dont l'histoire est récente, et donc, les aménités quasi-inexistantes. Au contraire, les villes européennes sont beaucoup plus « anciennes ». Ainsi, dans un premier temps, les ménages riches étaient localisés à la périphérie, mais comme la ville a connu un long développement, les riches y sont restés, ce qui constitue aujourd'hui la zone centrale de la ville. Puisque la localisation des riches détermine une augmentation du niveau des aménités, les centres des villes européennes présentent un fort avantage comparatif en termes d'aménités par rapport aux banlieues.

Enfin, la valeur que les ménages accordent au temps constitue un autre facteur explicatif important concernant l'attraction des ménages riches vers le centre. Si les ménages riches ont une valeur du temps plus importante que celle des ménages pauvres, leurs coûts de transports généralisés seront aussi beaucoup plus élevés. Comme dans les modèles standard d'économie urbaine, nous avons montré qu'une différenciation des coûts de transport des deux catégories sociales peut déterminer un équilibre de long terme de type européen.

Annexes 3.A. LES RELATIONS ENTRE LES NIVEAUX D'UTILITE DES DEUX CATEGORIES SOCIALES

Pour vérifier que le dénominateur du x_s (dans les deux scénarii) est positif ($(2\delta)^\gamma u_1 - u_2 > 0$), nous allons utiliser les fonctions d'utilité indirecte :

$$V_i(x) = \alpha^\alpha \beta^\beta (y_i - cx) a(x)^\gamma \psi_i(x)^{-\beta}$$

A l'équilibre, la fonction d'utilité indirecte doit être égale dans toutes les localisations au niveau d'utilité exogène de chaque catégorie :

$$u_1 = \alpha^\alpha \beta^\beta (y_1 - cx) a(x)^\gamma \psi_1(x)^{-\beta}$$

$$u_2 = \alpha^\alpha \beta^\beta (y_2 - cx) \psi_2(x)^{-\beta}$$

La condition à vérifier $(2\delta)^\gamma u_1 > u_2$ devient :

$$(2\delta)^\gamma (y_1 - cx) a(x)^\gamma \psi_1(x)^{-\beta} > (y_2 - cx) \psi_2(x)^{-\beta}$$

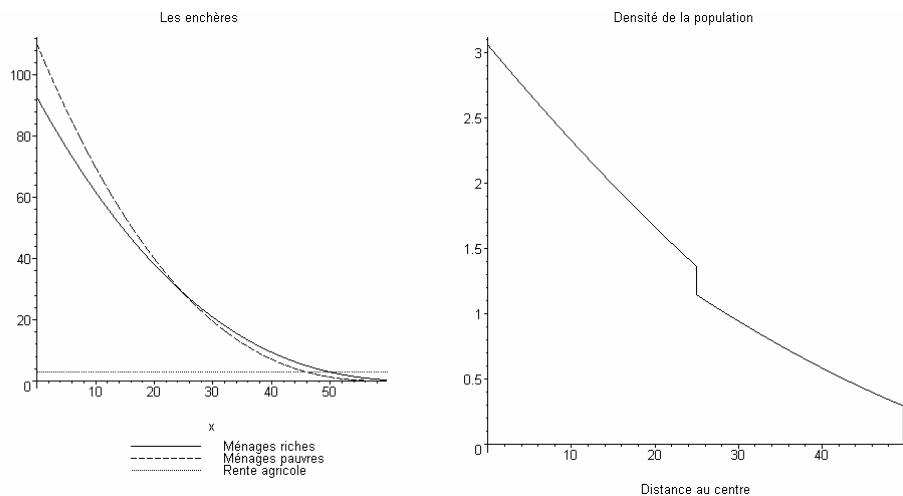
Le point où les deux fonctions d'enchères sont égales (à la rente urbaine) est le point de ségrégation. En remplaçant x avec x_s , après simplification, on obtient $y_1 > y_2$, ce qui est toujours vrai.

On constate également que si $\delta < 1/2 \Rightarrow (2\delta)^\gamma < 1$ et par conséquent, puisque $(2\delta)^\gamma u_1 > u_2$, u_1 doit être supérieur à u_2 . Cette hypothèse paraît vraisemblable parce qu'un taux de dépréciation de 1/2 paraît très élevé.

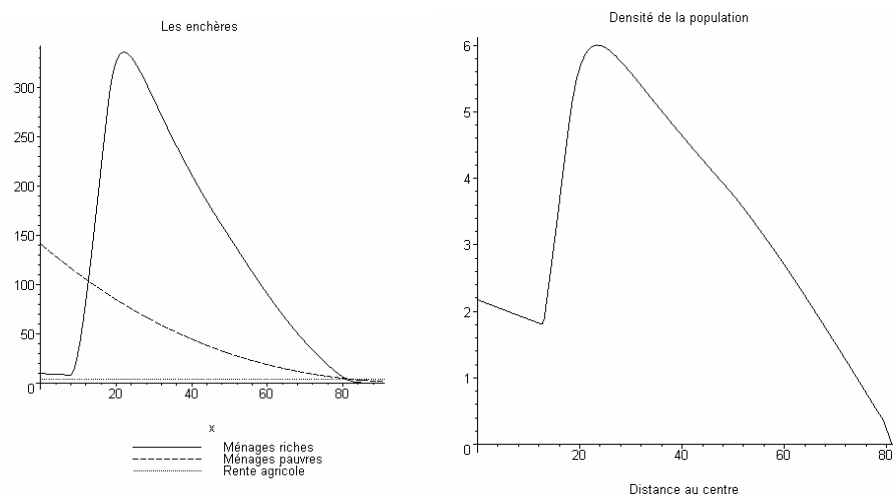
Annexes 3.B : LES RESULTATS GRAPHIQUES DES SIMULATIONS NUMERIQUES

Annexes 3.B.1. Le scénario de référence : structure sociale de type européen

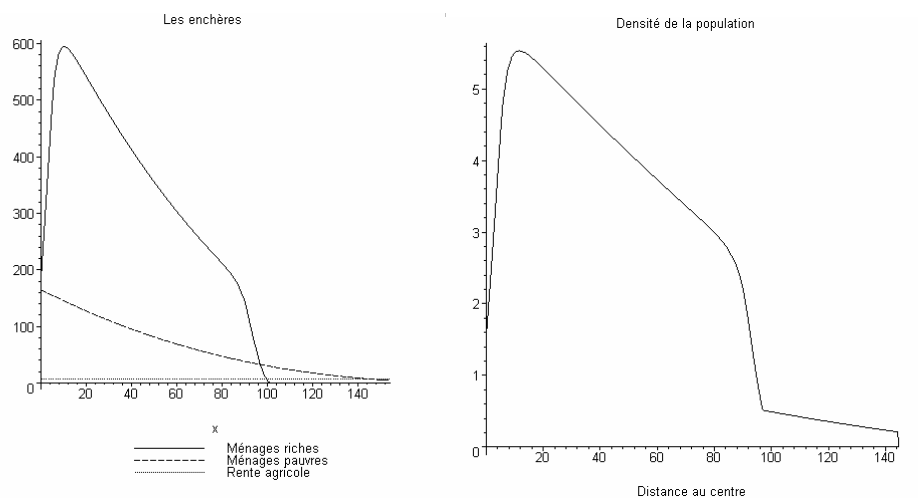
3.B.1.1. Période initiale



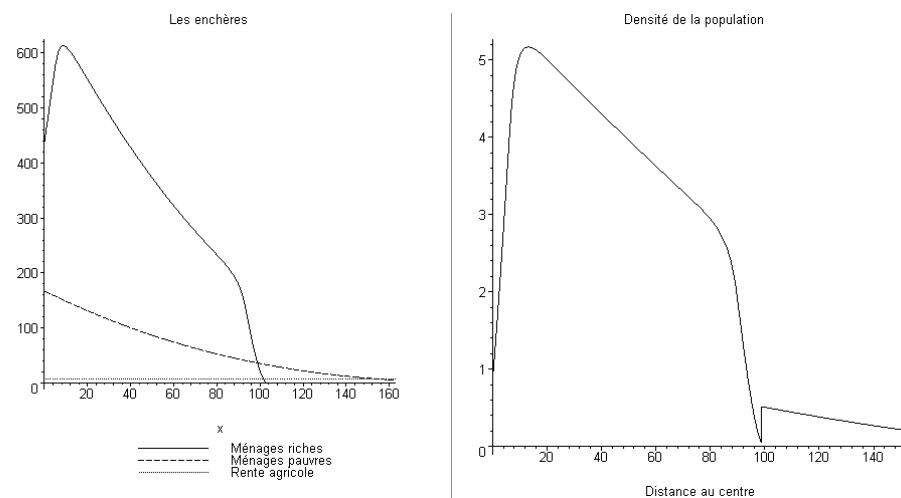
3.B.1.2. La ville à la 19-ème période



3.B.1.3. La ville à la 65-ème période



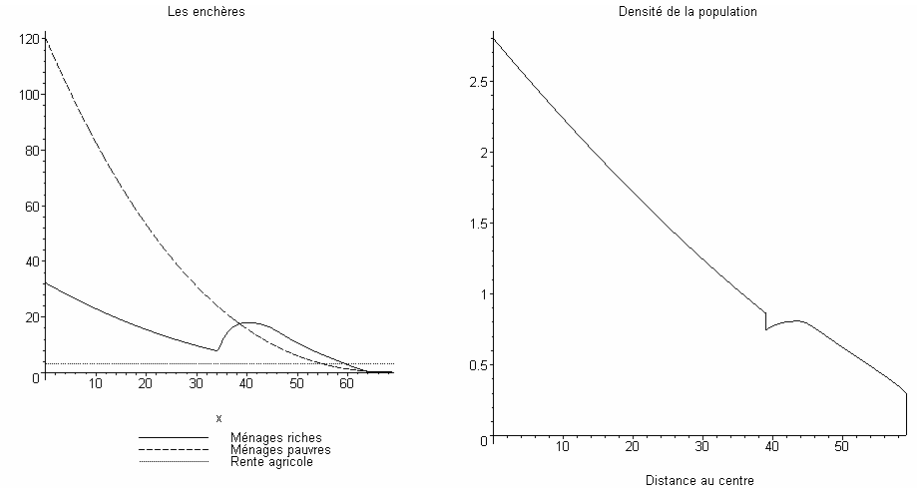
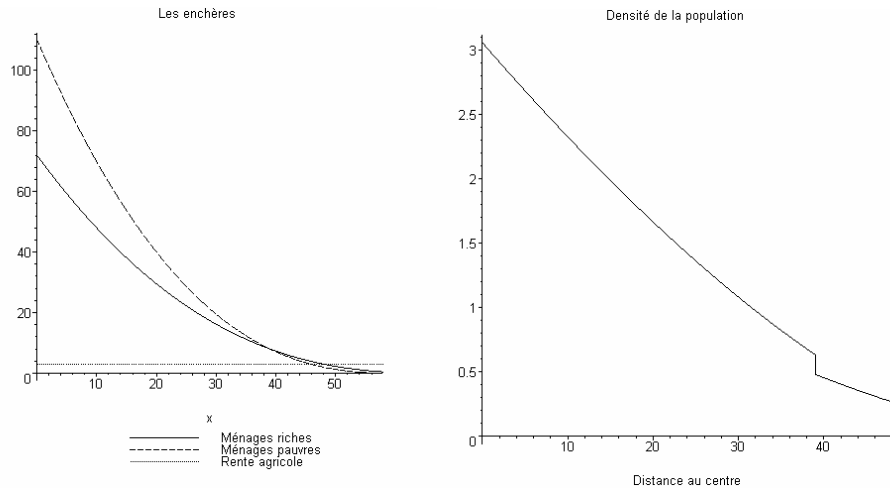
3.B.1.4. La ville à la 72-ème période



Annexes 3.B.2. Structure sociale de type américain

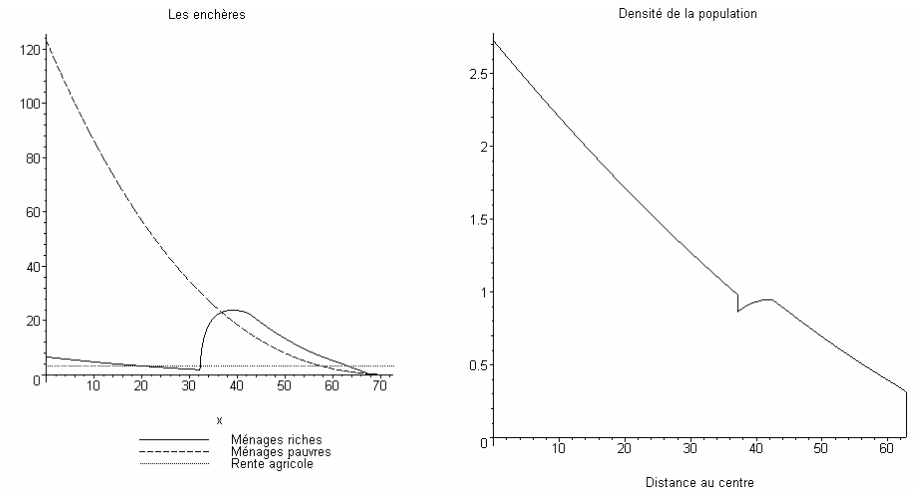
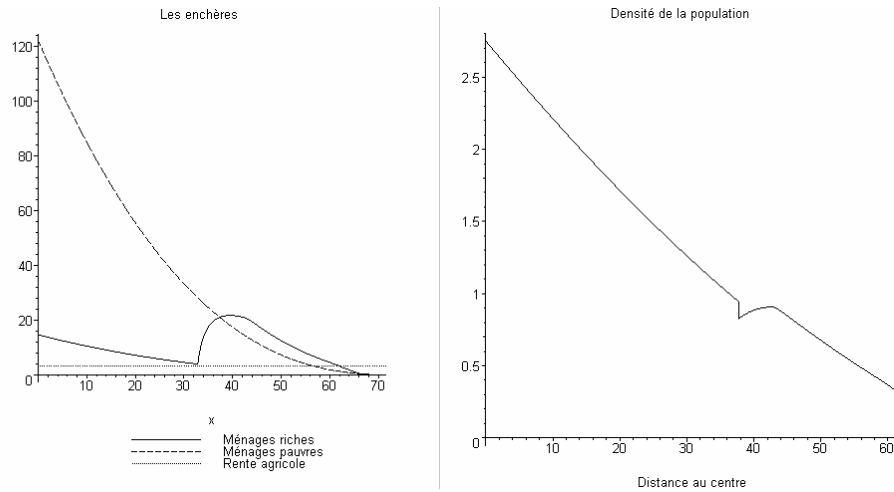
3.B.2.1. Période initiale

3.B.2.2. La ville à la 20-ème période



3.B.2.3. La ville à la 40-ème période

3.B.2.4. La ville à la 60-ème période



Annexes 3.C LES PRINCIPALE PROCEDURES INFORMATIQUES

Pour nos simulations numériques nous avons utilisé le logiciel Maple. Dans ces annexes nous présentons seulement les principales procédures utilisées.

Annexes 3.C.1. Comparaison du surplus en villes ouvertes

3.C.1.1. Procédure de vérification des conditions d'équilibre

```
contor:=1;
for u1 from 0.1 to uliii by .1 do
for u2 from .1 to u1 by .1 do
conda1:=0:conda2:=0:
conde1:=0:conde2:=0:conde3:=0:conde4:=0:
xsa:=(1/c)*((2*delta)^g*y2*u1-y1*u2)/((2*delta)^g*u1-u2);
xfa:=(1/c)*(y1-(RA/A)^b*delta^g*u1);
xse:=(1/c)*((2*delta)^g*y2*u1-y1*u2)/((2*delta)^g*u1-u2);
xfe:=(1/c)*(y2-(RA/A)^b*u2);
if (2*delta)^g*u1-2^g*(A/RA)^b*(y1-y2)<u2 then conda1:=1; end
if;
if (2*delta)^g*(y2/y1)*u1>u2 then conda2:=1; end if;
if (2*delta)^g*u1-(A/RA)^b*(y1-y2)<u2 then conde1:=1: end if:
if conda2=1 then conde2:=1 end if:
if y2+c*d*((2*delta)^g*u1-u2)^2/(g*(2*delta)^g*u1*u2)<y1 then
conde3:=1: end if:
if delta^g*u1*y2/u2<y1 then conde4:=1: end if:
if conda1=1 and conda2=1 and conde1=1 and conde2=1 and
conde3=1 and conde4=1 then
    contor:=contor+1:
    uv[contor,1]:=u1:
    uv[contor,2]:=u2:
end if;
end do;end do;
```

3.C.1.2. Procédure de calcul de la rente différentielle pour tous les équilibres

```
for i from 1 to contor do
u1:=uv[i,1]:
u2:=uv[i,2]:
xsa:=(1/c)*((2*delta)^g*y2*u1-y1*u2)/((2*delta)^g*u1-u2);
xfa:=(1/c)*(y1-(RA/A)^b*delta^g*u1);
xse:=(1/c)*((2*delta)^g*y2*u1-y1*u2)/((2*delta)^g*u1-u2);
xfe:=(1/c)*(y2-(RA/A)^b*u2);
B2:=x->A*(y2-c*x)^(1/b)*u2^(-1/b);
Blb:=x->A*(2*delta*g)^(-g/b)*(y1-c*x)^(1/b)*(x+d-
xse)^(g/b)*u1^(-1/b);
Blc:=x->A*(delta)^(-g/b)*(y1-c*x)^(1/b)*u1^(-1/b);
```

```

B1e:=x->A*(2*delta*g)^(-g/b)*(y1-c*x)^(1/b)*(d+xse-
x)^(g/b)*u1^(-1/b);
RDa:=int(B2(x),x=0..xsa)+int(B1b(x),x=xsa..xsa+d)+int(B1c(x),x
=xsa+d..xfa)-RA*xfa;
RDe:=int(B1c(x),x=0..xse-d)+int(B1c(x),x=xse-
d..xse)+int(B2(x),x=xse..xfe)-RA*xfe;
DR[i]:=RDa-RDe;
end do:

```

Annexes 3.C.2. Comparaison des niveaux d'utilité en villes fermées

3.C.2.1. Scénario américain

```

simam:=proc(n1v,n2v)
global xf,xs,N1,N2,xf2,xs2,N22,N12, u1a, u2a:
xf:=1/c*(y1-(RA/Ct1)^b*delta^g*u1);
xs:=(2*delta)^(g)*u1*y2-u2*y1/(c*((2*delta)^(g)*u1-u2));
N2:=(2*Pi/Ct2)*u2^(-1/b)*int(x*(y2-c*x)^(a/b),x=0..xs):
N1:=(2*Pi/Ct2)*u1^(-1/b)*(2*delta*d)^(-g/b)*int(x*(y1-
c*x)^(a/b)*(x+d-xs)^(g/b),x=xs..xs+d)+(2*Pi/Ct2)*u1^(-
1/b)*delta^(-g/b)*int(x*(y1-c*x)^(a/b),x=xs+d..xf):
fsolve({N1=n1v,N2=n2v},{u1=0..infinity,u2=0..infinity});
end:

```

3.C.2.2. Scénario européen

```

simeu:=proc(n1v,n2v)
global prag,xf,xs,N1,N2,xf2,xs2,N22,N12:
xf2:=1/c*(y2-(RA/Ct1)^b*u22);
xs2:=(2*delta)^(g)*u12*y2-u22*y1/(c*((2*delta)^(g)*u12-
u22));
N22:=(2*Pi/Ct2)*u22^(-1/b)*int(x*(y2-c*x)^(a/b),x=xs2..xf2):
N12:=(2*Pi/Ct2)*u12^(-1/b)*(2*delta*d)^(-g/b)*int(x*(y1-
c*x)^(a/b)*(xs2+d-x)^(g/b),x=xs2-d..xs2)+(2*Pi/Ct2)*u12^(-
1/b)*delta^(-g/b)*int(x*(y1-c*x)^(a/b),x=0..xs2-d):
fsolve({N12=n1v,N22=n2v},{u12=0..infinity,u22=0..infinity});
end:

```

Ces deux procédures sont appelées (en versions modifiées) jusque les valeurs d'équilibres présentes les conditions économiques nécessaires : des points de ségrégation et frontières de la ville positives et point de ségrégation inférieure à la frontière de la ville.

3.C.2.3. Calcul des valeurs d'équilibre

```

for j from 1 to 10 do
vn2:=0+j*10000:
for i from 1 to 10 do
vn1:=0+i*10000;
sola:=simam(vn1,vn2);sole:=simeu(vn1,vn2);

```

```

if op(1,sola[1])=u1 then
  ula[j,i] := op(2,sola[1]);u2a[j,i]:=op(2,sola[2]);
else
  ula[j,i] := op(2,sola[2]);u2a[j,i]:=op(2,sola[1]);
end if;
if op(1,sole[1])=u12 then
  ule[j,i] := op(2,sole[1]);u2e[j,i]:=op(2,sole[2]);
else
  ule[j,i] := op(2,sole[2]);u2e[j,i]:=op(2,sole[1]);
end if;
xsa[j,i]:=((2*delta)^(g)*ula[j,i]*y2-
u2a[j,i]*y1)/(c*((2*delta)^(g)*ula[j,i]-u2a[j,i]));
xfa[j,i]:=1/c*(y1-(RA/Ct1)^b*delta^g*ula[j,i]);
xse[j,i]:=((2*delta)^(g)*ule[j,i]*y2-
u2e[j,i]*y1)/(c*((2*delta)^(g)*ule[j,i]-u2e[j,i]));
xfe[j,i]:=1/c*(y2-(RA/Ct1)^b*u2e[j,i]);
while xsa[j,i]<0 or xsa[j,i]>xfa[j,i] or xse[j,i]<0 or
xse[j,i]>xfe[j,i] do
if xsa[j,i]<0 then
  prag:=ula[j,i]+0.01;
  sola:=simamb(vn1,vn2);
  if op(1,sola[1])=u2b then
    ula[j,i] := op(2,sola[2]);u2a[j,i]:=op(2,sola[1]);
  else
    ula[j,i] := op(2,sola[1]);u2a[j,i]:=op(2,sola[2]);
  end if;
  if ula[j,i]<u2a[j,i] then prov:=ula[j,i]:
ula[j,i]:=u2a[j,i]: u2a[j,i]:= prov: end if:
xsa[j,i]:=((2*delta)^(g)*ula[j,i]*y2-
u2a[j,i]*y1)/(c*((2*delta)^(g)*ula[j,i]-u2a[j,i]));
  xfa[j,i]:=1/c*(y1-(RA/Ct1)^b*delta^g*ula[j,i]);
end if;
if xsa[j,i]>xfa[j,i] then
  prag:=ula[j,i]+0.01;
  sola:=simamc(vn1,vn2);
  if op(1,sola[1])=u2b then
    ula[j,i] := op(2,sola[2]);u2a[j,i]:=op(2,sola[1]);
  else
    ula[j,i] := op(2,sola[1]);u2a[j,i]:=op(2,sola[2]);
  end if;
  if ula[j,i]<u2a[j,i] then prov:=ula[j,i]:
ula[j,i]:=u2a[j,i]: u2a[j,i]:= prov: end if:
xsa[j,i]:=((2*delta)^(g)*ula[j,i]*y2-
u2a[j,i]*y1)/(c*((2*delta)^(g)*ula[j,i]-u2a[j,i]));
  xfa[j,i]:=1/c*(y1-(RA/Ct1)^b*delta^g*ula[j,i]);
end if;
if xse[j,i]<0 then
  prag:=ule[j,i]+0.01;
  sole:=simeub(vn1,vn2);
  if op(1,sole[1])=u12b then
    ule[j,i] := op(2,sole[1]);u2e[j,i]:=op(2,sole[2]);

```

```

else
    ule[j,i] := op(2, sole[2]); u2e[j,i] := op(2, sole[1]);
end if;
xse[j,i] := ((2*delta)^(g)*ule[j,i]*y2-
u2e[j,i]*y1)/(c*((2*delta)^(g)*ule[j,i]-u2e[j,i]));
xfe[j,i] := 1/c*(y2-(RA/Ct1)^(b)*u2e[j,i]);
end if;
if xse[j,i]>xfe[j,i] then
    prag:=u2a[j,i]+0.01;
    sole:=simeuc(vn1,vn2);
    if op(1,sole[1])=u12b then
        ule[j,i] := op(2, sole[1]); u2e[j,i] := op(2, sole[2]);
    else
        ule[j,i] := op(2, sole[2]); u2e[j,i] := op(2, sole[1]);
    end if;
    xse[j,i] := ((2*delta)^(g)*ule[j,i]*y2-
u2e[j,i]*y1)/(c*((2*delta)^(g)*ule[j,i]-u2e[j,i]));
    xfe[j,i] := 1/c*(y2-(RA/Ct1)^(b)*u2e[j,i]);
end if;
is(c/(y2-c*xse[j,i])<c/(y1-c*xse[j,i])+g/b);
end do;
end do;
end do;

```

Annexes 3.C.3. Evolution dynamique de la ville

3.C.3.1. Structure américaine

```

y1:=y1+ty1/t^epsi:y2:=y2+ty2/t^epsi:RA:=RA+tRA/t^epsi:
u1:=u1+tu1/t^epsi:u2:=u2+tu2/t^epsi:
amb[t]:=x->ta*am[t](x):
B1:=x->Ct11*(y1-c1*x)^((a1+b1)/b1)*amb[t](x)^(g1/b1)*u1^(-
1/b1):
B2:=x->Ct12*(y2-c2*x)^((a2+b2)/b2)*amb[t](x)^(g2/b2)*u2^(-
1/b2):
xs[t]:=fsolve(B1(x)=B2(x),x);
xf[t]:=fsolve(B1(x)=RA);
plot({RA,B1(x),B2(x)},x=0..xf[t]+10,title="Les enchères");
if xf[t]>(xs[t]+d) then am[t+1]:=x->amb[t](x)+Heaviside(x-
xs[t]+d)*((x-xs[t]+d)/(2*d))-Heaviside(x-xs[t]-d)*((x-
xs[t]+d)/(2*d)-1)+Heaviside(x-xf[t])*((xf[t]-x)/d)-
Heaviside(x-xf[t]-d)*((xf[t]-x)/d+1)
else
am[t+1]:=x->amb[t](x)+Heaviside(x-xs[t]+d)*((x-
xs[t]+d)/(2*d))-Heaviside(x-xf[t])*((x-
xs[t]+d)/(2*d))+Heaviside(x-xf[t])*(-(xf[t]+d-
xs[t])/(2*d*d)*x+(xf[t]+d)*(xf[1]+d-xs[t])/(2*d*d))-
Heaviside(x-xf[t]-d)*(-(xf[t]+d-
xs[t])/(2*d*d)*x+(xf[t]+d)*(xf[t]+d-xs[t])/(2*d*d))
end if:

```

```
plot (am[t+1] (x) , x=0..xf[t]+d+10, title="Aménités");
```

3.C.3.2. Structure mixte

```
y1:=y1+ty1/t^epsi:y2:=y2+ty2/t^epsi:RA:=RA+tRA/t^epsi:
u1:=u1+tu1/t^epsi:u2:=u2+tu2/t^epsi:
amb[t]:=x->ta*am[t] (x) :
B1:=x->Ct11*(y1-c1*x)^( (a1+b1)/b1)*amb[t] (x)^(g1/b1)*u1^(-
1/b1) :
B2:=x->Ct12*(y2-
c2*x)^( (a2+b2)/b2)*amb[t] (x)^(g2/b2)*u2^(-1/b2) :
xf[t]:=fsolve (B2 (x)=RA, x=50..120) ;
xs [t, 1]:=fsolve (B1 (x)=B2 (x) , x) ;
xs [t, 2]:=fsolve (B1 (x)=B2 (x) , x) ;
plot ({RA,B1 (x) ,B2 (x) }, x=0..xf[t]+10, title="Les enchères");
if xs [t, 2]-xs [t, 1]>2*d then
am[t+1]:=x->amb[t] (x)+Heaviside (x-xs [t, 1]+d)*((x-
xs [t, 1]+d)/(2*d))-Heaviside (x-xs [t, 1]-d)*((x-xs [t, 1]+d)/(2*d)-
1)+Heaviside (x-xs [t, 2]+d)*((xs [t, 2]-x+d)/(2*d)-1)-Heaviside (x-
xs [t, 2]-d)*((xs [t, 2]-x+d)/(2*d)) :
else
am[t+1]:=x->amb[t] (x)+Heaviside (x-xs [t, 1]+d)*((x-
xs [t, 1]+d)/(2*d))-Heaviside (x-(xs [t, 1]+xs [t, 2])/2)*((x-
xs [t, 1]+d)/(2*d))+Heaviside (x-(xs [t, 1]+xs [t, 2])/2)*((-
x+xs [t, 2]+d)/(2*d))-Heaviside (x-xs [t, 2]-d)*((xs [t, 2]-
x+d)/(2*d))
end if:
plot (am[t+1] (x) , x=0..xf[t]+d+10, title="Aménités");
```

3.C.3.3. Structure européenne

```
y1:=y1+ty1/t^epsi:y2:=y2+ty2/t^epsi:RA:=RA+tRA/t^epsi:
u1:=u1+tu1/t^epsi:u2:=u2+tu2/t^epsi:
amb[t]:=x->ta*am[t] (x) :
B1:=x->Ct11*(y1-c1*x)^( (a1+b1)/b1)*amb[t] (x)^(g1/b1)*u1^(-
1/b1) :
B2:=x->Ct12*(y2-
c2*x)^( (a2+b2)/b2)*amb[t] (x)^(g2/b2)*u2^(-1/b2) :
xf[t]:=fsolve (B2 (x)=RA, x) ;
xs [t]:=fsolve (B1 (x)=B2 (x) , x) ;
plot ({B1 (x)-B2 (x) }, x=0..xf[t] , title="Différence d'enchères");
plot ({RA,B1 (x) ,B2 (x) }, x=0..xf[t]+10, title="Les enchères");
am[t+1]:=x->amb[t] (x)+1-Heaviside (x-xs [t]+d)*((x-
xs [t]+d)/(2*d))+Heaviside (x-xs [t]-d)*((x-xs [t]+d)/(2*d)-1) :
plot (am[t+1] (x) , x=0..xf[t]+d+10, title="Aménités");
```


CHAPITRE 4

L'IMPACT DES POLITIQUES DE TRANSPORTS SUR LA STRUCTURE SOCIO-SPATIALE ET LE FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE D'UNE VILLE

4 L'IMPACT DES POLITIQUES DE TRANSPORTS SUR LA STRUCTURE SOCIO-SPATIALE ET LE FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE D'UNE VILLE

4.1 INTRODUCTION

Pour analyser l'impact des politiques de transports urbains sur la structure socio-spatiale des villes et leur niveau de pollution, nous avons élaboré un modèle microéconomique simple intégrant l'ensemble des mécanismes nécessaires à l'étude des interactions entre politiques de transport, déplacements, structures urbaines et effet de serre. Il s'agit d'un modèle standard, conforme à la tradition de l'économie ouverte. Un hyper-centre (CBD- Central Business District) d'activités productives, commerciales mais aussi résidentielles, est entouré par trois zones résidentielles (un centre résidentiel, une banlieue et une périphérie) dont les habitants se rendent au CBD pour y travailler et/ou y faire leurs achats.

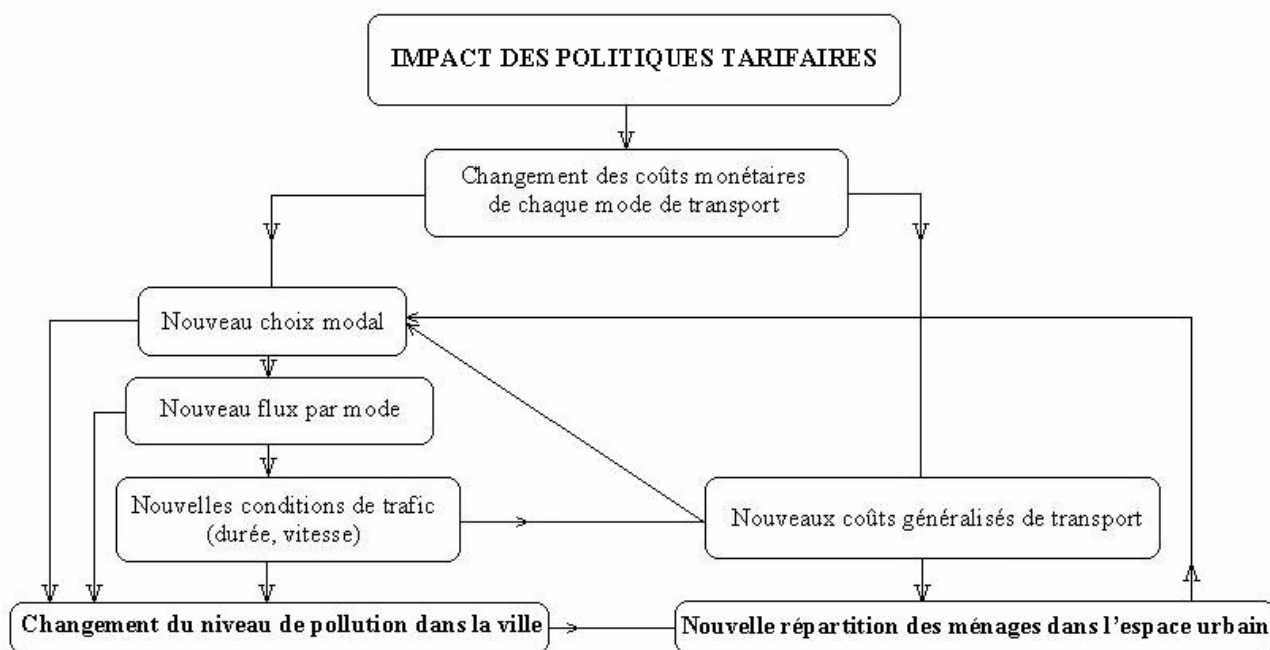
La première originalité de ce modèle est de spécifier la demande de transport et ses liens avec les politiques de transports urbains. Les habitants, qui sont à l'origine de la demande de transport, ont deux possibilités. La première est l'utilisation d'un système de transports en commun public. La seconde est l'usage d'un véhicule privé. La décision de se déplacer et l'arbitrage entre modes de transport sont issus de la maximisation d'une fonction d'utilité aléatoire dont la partie connue est fonction du coût de transport généralisé. Du côté du transport public, ce coût intègre le coût monétaire acquitté auprès du transporteur et la valeur du temps de déplacement, lui même influencé par la congestion. Du côté du véhicule privé, ce coût intègre les coûts monétaires de l'usage du véhicule, y compris les outils du décideur urbain (péages, taxes), ainsi que la valeur du temps de déplacement intégrant, comme plus haut, les pertes de temps dues à la congestion et à la recherche d'un stationnement.

La deuxième originalité du modèle est d'intégrer la liaison entre la circulation et sa contribution à l'effet de serre, ainsi que les coûts de celui-ci. Pour ce qui est du transport public, on suppose ici qu'il n'est pas polluant. On suppose de plus que chaque habitant de la ville est affecté par le niveau global de pollution. En conséquence, on intègre un coût global pour chaque habitant, fonction du volume total des émissions.

Avec cette structure, on peut examiner les conséquences globales des choix de tarification et d'aménagement. Le planificateur peut en effet influencer le fonctionnement de la ville de deux manières. D'une part, il peut, par la tarification, modifier les prix sur la base desquels les consommateurs prennent leurs décisions. Ainsi, par exemple, en l'absence de péage ou de stationnement payant, un automobiliste considère que le coût monétaire de son déplacement est la somme du coût du carburant et du coût d'usage du véhicule. Il ajoutera le montant du péage ou celui de la place de stationnement si ceux-ci deviennent payants.

L'impact des politiques tarifaires sur le fonctionnement de la ville est représenté dans la Figure 4.1. Une politique tarifaire, comme dans le cas particulier du péage, induit un changement des coûts monétaires du mode de transport concerné. Comme effet direct, chaque ménage fera un nouveau choix modal, en fonction du nouveau rapport des coûts généralisés entre les modes de transport. Comme conséquence, il en résulte des nouvelles conditions de trafic et donc des coûts généralisés de transport modifiés. Le résultat final est un changement du niveau de pollution dans la ville, mais aussi une nouvelle répartition des ménages dans l'espace urbain. Tous ses mécanismes sont interdépendants, ce qui montre la complexité des liens qui existent entre le système de transport, la pollution dans la ville et la distribution spatiale des ménages dans l'espace urbain.

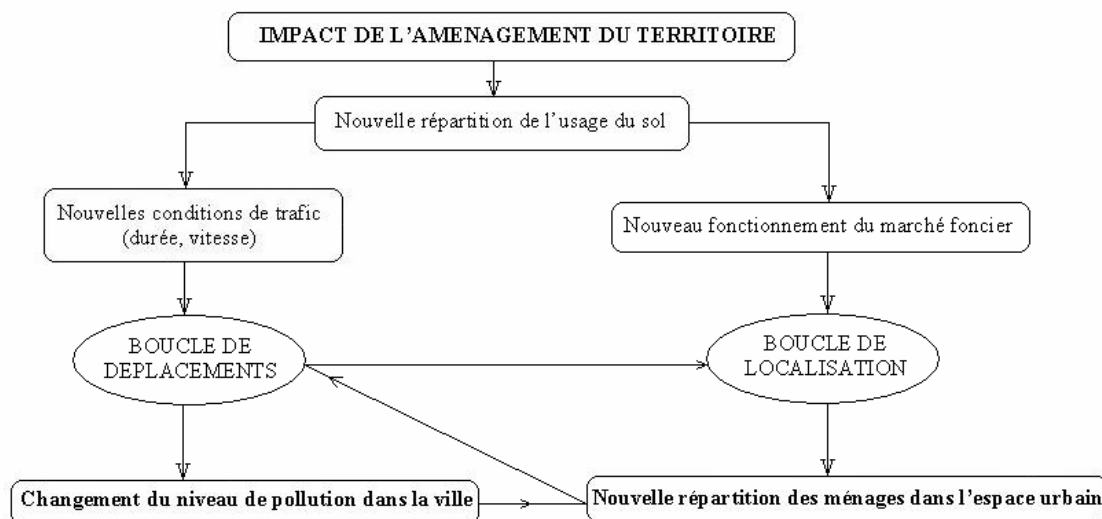
Figure 4.1. L'impact des politiques tarifaires sur la structure socio-spatiale de la ville



D'autre part, il peut, par l'aménagement de surfaces de voirie ou de stationnement, modifier les conditions du déplacement, la congestion étant plus ou moins forte. Egalement,

les décisions d'aménagement affectent directement la surface disponible pour les logements, ce qui peut avoir un impact direct sur la structure sociale de la ville. Les mécanismes déclenchés par une nouvelle politique d'aménagement sont représentés dans la Figure 4.2.

Figure 4.2. L'impact de l'aménagement du territoire sur la ville



Pour qu'un modèle soit utile, il faut pouvoir le résoudre, c'est à dire déterminer ses valeurs à l'équilibre pour différentes configurations des paramètres. Cependant, même simplifié, le modèle d'une ville prenant en compte à la fois les choix de déplacement et les choix de localisation n'est pas soluble analytiquement. Il a donc été nécessaire de réaliser un module de simulation permettant :

- de déterminer les équilibres du modèle, la répartition de la population et ses choix de déplacement à l'équilibre.
- d'analyser l'impact sur l'équilibre des instruments à la disposition du planificateur (aménagement, tarification) en faisant varier les paramètres.
- de guider le choix des instruments permettant de rapprocher l'équilibre de la solution efficace et, dans ce contexte, d'étudier plus particulièrement l'impact des politiques de transport.

La version actuelle du module utilise le logiciel MAPLE. Elle permet, à partir d'un ensemble de paramètres décrivant la structure de la ville, les coûts monétaires directs et les déterminants des durées de déplacement (en particulier les fonctions de congestion), de calculer les valeurs d'équilibre du système urbain.

La structure du chapitre est la suivante. Nous commençons en présentant les hypothèses du modèle, les questions qui peuvent être traitées, mais aussi ces limites et les

prolongements possibles. Dans un deuxième temps, nous présenterons la structure générale du modèle, qui repose sur trois boucles enchaînées : une boucle des déplacements, une boucle des localisations et une boucle de la pollution. Ensuite, nous présenterons le fonctionnement du module de simulation, en commençant par la structure la plus interne, la boucle des déplacements, pour passer ensuite à la structure qui l'englobe, la boucle des localisations. Puis nous présenterons les équations du modèle analytique et les paramètres utilisés pour le scénario de référence, sans intervention publique, sur lequel reposent nos simulations. Ces dernières sont regroupées en scénarios consistant chacun à faire varier un instrument à la disposition du planificateur. Nous examinons les conséquences de l'usage séparé de chaque instrument disponible, les autres n'étant pas utilisés.

Les résultats montrent que l'intervention publique peut fortement influencer le fonctionnement de la ville, on arrivant non seulement à changer le comportement de déplacements et de consommation des ménages, mais, même modifier les choix de localisation, en changeant complètement la structure socio-spatiale d'équilibre.

4.2 LES QUESTIONS TRAITÉES ET LES ÉVOLUTIONS POSSIBLES

La structure actuelle du modèle résulte d'un certain nombre de choix visant à traiter de manière prioritaire un ensemble restreint de questions jugées comme centrales, dans un cadre aussi simple que possible, qui malgré cela pose d'ores et déjà des problèmes techniques importants.

De ce fait, il est utile de faire la liste des problèmes que le modèle permet d'analyser et de ceux qui restent ouverts, le modèle pouvant évoluer pour les inclure. Au préalable, nous rappellerons quelques unes des caractéristiques fondamentales du modèle actuel.

4.2.1 De quelques caractéristiques fondamentales du modèle actuel

Le modèle actuel a quelques caractéristiques fondamentales qu'il est utile d'avoir en tête :

1. Le comportement des entreprises, dont la localisation est fixée, est entièrement exogène. Les entreprises occupent au centre une superficie fixe (que, de ce fait, on peut ignorer) Elles n'ont pas d'enchères foncières et elles ne bougent pas. On ne peut donc pas examiner les conséquences des contraintes de circulation sur les choix de localisation des entreprises
2. La représentation de l'espace se réduit à quatre zones, le hyper-centre et trois couronnes résidentielles : centre, banlieue et périphérie. C'est une structure suffisante pour tenir compte des interactions engendrées, notamment par la congestion.
3. La consommation de logement des ménages se réduit à l'usage du sol. On laisse donc de côté tout ce qui tourne autour des conséquences sur le bâti.
4. Le volume des déplacements est fixé et ces déplacements ne se font qu'entre les trois zones périphériques et le hyper-centre de la ville. Il n'y a ni déplacements internes aux couronnes ni déplacements entre couronnes.
5. La circulation automobile et les transports en commun sont les seuls modes de transport disponibles. A ce stade, on ignore les modes doux, marche à pieds et deux roues.
6. Les transports en commun et les transports individuels fonctionnent sur des infrastructures complètement séparées, sans interactions entre l'un et l'autre (par exemple effets de congestion croisés), ce qui revient à considérer que l'infrastructure de transport en commun est en site propre. Chaque mode de transport a une fonction de congestion qui lui est propre.

7. La capacité de transport des transports en commun est fonction de la seule superficie de l'infrastructure correspondante, ce qui conduit à négliger les aspects liés en particulier aux véhicules. Implicitement, on fait l'hypothèse d'une complémentarité entre l'infrastructure et les équipements de transport qui l'empruntent.
8. Il y a deux catégories des ménages : les « riches » et les « pauvres ». Les ménages sont hétérogènes en termes de revenus et de préférences (la valeur du temps). On s'intéresse particulièrement à l'impact des politiques de transport sur la structure sociale des villes, surtout sur la ségrégation sociale, mais aussi sur l'existence des équilibres multiples.
9. Tous les ménages peuvent utiliser un véhicule automobile. Il n'y a pas de prisonniers des transports en commun. De ce fait, les politiques de stationnement et de circulation n'auront pas de conséquence sur la décision de détenir un véhicule. Seuls entrent en ligne de compte les choix faits pour utiliser ce véhicule
10. Le comportement de détention d'un véhicule automobile n'est pas explicité.
11. Le modèle fonctionne en statique comparative. Il permet de déterminer l'effet d'une modification des paramètres ou des instruments du planificateur sur l'équilibre.

4.2.2 Ce qu'on peut faire avec le modèle actuel

Dans le modèle actuel, le planificateur dispose des instruments d'intervention suivants :

- Il aménage la ville, c'est à dire qu'il répartit le sol disponible dans chacune de ses zones entre les différents usages (habitat, voirie utilisée par les transports individuels, voirie réservée aux transports collectifs, stationnement de surface au centre ville) et qu'il engage les coûts d'infrastructure liés à la mise en place du système de transports, y compris la production de places de stationnement hors sol.
- Il détermine les coûts monétaires d'utilisation du système de transport via un système de tarification.

En conséquence, la version actuelle du modèle est bien adaptée pour répondre à deux grands types de questions :

- Des questions relatives aux choix d'aménagement du planificateur. Il s'agit ici de déterminer quelles sont les caractéristiques des choix optimaux d'aménagement
- Des questions relatives à la tarification. Il s'agit de déterminer les choix de tarification optimale dans une optique de second rang et de voir leurs conséquences sur le fonctionnement d'ensemble de la ville.

4.2.3 Les évolutions possibles

Comme indiqué plus haut, nous avons volontairement laissé de côté un certain nombre de questions qui, pour être analysées, supposent des évolutions à partir de la version actuelle.

En premier lieu, il y a des limites concernant la modélisation du système de transports urbains. Cette version n'est pas apte à l'étude de la dichotomie entre stationnement des résidents et stationnement des usagers de passage : travailleurs non résidents ou chalandes des zones commerciales. Un traitement convenable de cette question suppose que les résidents puissent réagir aux choix tarifaires du planificateur, la principale réaction à étudier étant le choix de posséder ou non un véhicule. C'est une question que, pour l'instant, nous avons laissé de côté, car elle conduit à deux types de complications. La première est d'introduire un arbitrage entre posséder ou non un véhicule, qui doit évidemment être fonction de l'usage qui en est attendu et donc des choix de transports ultérieurs. A priori, ces aménagements peuvent et devraient être introduits dans une version ultérieure. Un autre point à souligner sur le fonctionnement du système de transports est d'ignorer les transports à l'intérieur du CBD. Ainsi, nous ne pouvons pas à l'heure actuelle inclure le niveau de pollution générée par les voitures qui cherchent un lieu de stationnement. Dans une version ultérieure, nous envisageons de modéliser également le transport à l'intérieur du hyper-centre, et ainsi ce problème sera résolu.

En deuxième lieu, le modèle actuel considère comme totalement exogène une localisation des activités économiques que, de plus, il postule comme étant purement centrale. S'il est important que, à terme, on puisse aborder dans ce cadre des questions relatives à l'impact de la régulation de la circulation sur les activités économiques, en particulier le fait que cette régulation puisse induire des déplacements vers la périphérie, ceci supposera une évolution très significative du modèle. En particulier :

1. A partir du moment où l'on considère des entreprises mobiles, il faut expliciter leur demande de foncier et la confrontation entre ces dernières et la demande de logement des ménages. Ce qui passe par une représentation de leur demande de facteurs de production, en particulier le travail et la terre.
2. Il faut analyser le lien entre activités économiques et déplacements des ménages. Là encore, pour partie au moins, il faudra disposer d'une formalisation de la demande en facteur travail.
3. De ce point de vue, on ne peut négliger le fait que l'activité économique génère deux types de déplacements intra-urbains des ménages très différents, les navettes domicile-travail et

les déplacements pour l'acquisition de biens et/ou de services. Une des raisons essentielles de cette différence tient au fait que, dans le premier cas, les ménages satisfont une demande de facteur de production par les entreprises alors que, dans la seconde, ils vont à la rencontre d'une offre d'une partie de ces entreprises, celles qui relèvent principalement des secteurs du commerce et des services aux particuliers. Il faudra que le modèle rende compte de cette dichotomie, ce qui passera sans doute par l'introduction de deux secteurs d'activité.

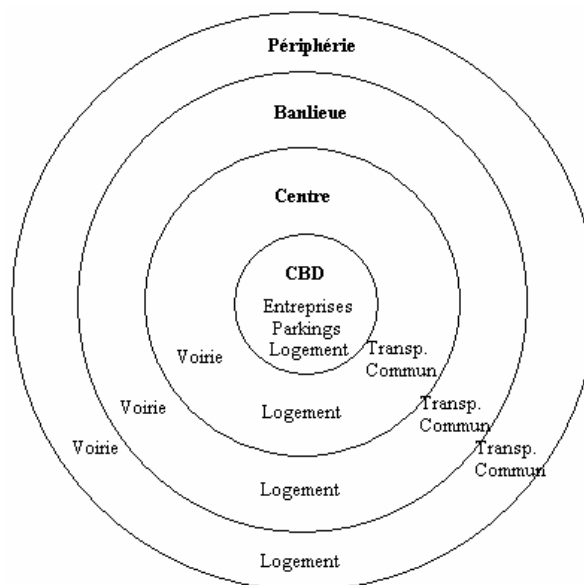
4. A l'heure actuelle, le modèle prend le revenu des ménages comme exogène, mais l'institution d'un marché de travail implique une endogénéisation des revenus et donc il faut trouver un autre moyen de différenciation des classes sociales (secteur de travail, qualification, etc...), afin d'aboutir une hétérogénéité exprimée en termes de revenus d'équilibre.

4.3 STRUCTURE DU MODELE

4.3.1 La structure géographique de la ville

Rappelons que notre modèle représente une ville dont la structure géographique de base est décrite par la Figure 4.3. Au CBD, la superficie disponible est partagée entre les activités économiques, le logement et le stationnement de surface ; le stationnement peut également s'y faire hors voirie, dans des parkings (souterrains par exemple) spécialement aménagés. Ces parkings ne font pas concurrence à l'habitat pour l'usage du sol, mais leur coût d'aménagement est plus élevé. Autour de ce centre s'organise une couronne résidentielle dont les trois principaux usages correspondent au logement, à la voirie et aux transports collectifs. Cette couronne résidentielle est elle-même divisée en trois zones : une première couronne, le « centre », une deuxième, qu'on désignera également par le terme de banlieue ; et une troisième couronne, plus éloignée, qu'on désignera par le terme de périphérie.

Figure 4.3. La structure géographique de la ville



Les ménages qui habitent dans les trois zones de la couronne résidentielle, doivent se rendre au CBD (pour y travailler ou pour d'autres usages, le modèle n'ayant pas besoin de le préciser puisque nous ne modélisons pas la décision de se déplacer ou non). Les habitants de la zone hyper-centrale, qui y sont déjà, n'ont pas besoin de se déplacer. Ces déplacements centripètes sont actuellement les seuls pris en compte par le modèle. Il n'y a ni déplacements centrifuges (du centre vers l'une ou l'autre des couronnes résidentielles), ni déplacements transversaux, ni entre les quatre zones de la ville et l'extérieur.

Pour se rendre au CBD, les habitants de la couronne résidentielle, ont le choix entre deux modes de transport. Le premier est un mode individuel, assimilable à la voiture. Le second est un mode collectif, avec un système de transports en commun. L'existence de ces deux modes de transport se traduit dans l'usage du sol : les disponibilités en sol urbain sont réparties en trois usages, l'habitat, la voirie publique empruntée par les véhicules individuels et la voirie réservée empruntée par les transports en commun. Ce faisant, nous faisons l'hypothèse implicite que les transports en commun se font en site propre, situation de plus en plus trouvée dans les grandes villes. Cette hypothèse est destinée à faciliter la modélisation parce qu'on évite d'introduire les interactions entre modes de transport utilisant simultanément la même voirie.

Les entreprises sont des acteurs passifs qui restent localisés au centre, ce qui permet de les ignorer. On s'intéresse donc uniquement à l'affectation des sols aux trois usages que sont le logement, la circulation automobile (stationnement au centre, circulation en périphérie) et les transports collectifs.

4.3.2 La structure économique de la ville

Si l'on met à part les entreprises¹⁰, la ville comprend trois types d'agents : les ménages, les propriétaires fonciers et le planificateur.

4.3.2.1 Les ménages

Les ménages sont divisés en deux classes sociales, selon leurs revenus mais aussi leur préférence pour le temps. Ils disposent d'un revenu exogène qu'ils répartissent en trois usages: le transport, le logement et les autres consommations. Nous allons examiner les décisions relatives aux deux premiers usages (transport et logement). Le troisième est en effet un usage "résiduel", qui sera formalisé simplement comme la consommation d'un bien homogène de prix unitaire (on parle de bien banal ou composite).

Les habitants localisés en zones résidentielles répartissent leurs déplacements entre les deux modes de transport. Cette répartition est fonction de la différence de coût généralisé entre véhicule individuel et transports en commun. Ce coût généralisé est la somme des coûts monétaires et des coûts temporels. Ces derniers sont le produit de la durée de déplacement par la valeur du temps (c'est à dire la somme que les agents sont prêts à payer pour économiser

¹⁰ Rappelons qu'on a fait l'hypothèse que les entreprises n'ont pas dans ce modèle de décisions à prendre qui interfèrent avec la structure et le fonctionnement de la ville. En particulier, elles ne choisissent pas leur localisation qui est toujours le centre et elles ne génèrent pas de flux de transports autres que ceux que font les ménages pour se rendre au centre.

une unité de temps dans les transports), posée comme paramètre du modèle. La durée de déplacement est déterminée pour chaque mode de transport par la structure du réseau et son encombrement, via une relation vitesse-débit : la vitesse de passage à une distance donnée est une fonction croissante de la superficie consacrée à cette distance au mode de transport utilisé et une fonction décroissante du nombre de passagers de ce mode de transport passant à cette distance.

Si les habitants localisés en zone résidentielle ont à choisir entre les deux modes de transport, ils ont au préalable choisi leur localisation dans la ville, au hyper-centre ou dans une des trois couronnes. Ce choix de localisation est aussi un choix d'usage du sol, modélisé de manière classique dans un contexte de ville ouverte, c'est à dire de ville dont les occupants sont libres de circuler entre l'intérieur et l'extérieur. Le niveau d'utilité qu'obtiennent les agents s'ils quittent la ville (où qu'ils obtenaient avant de la rejoindre) est un paramètre exogène au modèle. La conséquence de la libre circulation des individus est que, à l'équilibre, tous les membres d'une catégorie sociale atteignent le même niveau d'utilité, égale au niveau national de la même catégorie.

Tout habitant, où qu'il soit localisé, connaît le coût de transport qu'il devra subir pour se rendre au hyper-centre, sachant qu'il répartit ses déplacements de manière optimale entre véhicule individuel et transports en commun. Il répartit également de manière optimale ses ressources disponibles, nettes du coût de transport correspondant, entre ses dépenses en habitat et sa consommation d'un bien banal. Connaissant cette répartition optimale et le prix du logement en un lieu donné, on en déduit le niveau d'utilité atteint.

En partant du niveau d'utilité exogène qu'atteignent tous les habitants de chaque catégorie, on peut inverser la relation précédente et déterminer, pour chacune des quatre zones, la consommation de sol et le prix du logement qu'accepte de payer un individu qui atteint ce niveau d'utilité en faisant des choix optimaux. Ce prix est appelé dans la littérature *rente d'enchères (bid-rent function)*.

4.3.2.2 Les propriétaires fonciers

Ils sont propriétaires du sol et utilisent la fraction de ce dernier qui n'est pas affectée au transport pour produire des logements loués aux ménages. La quantité de logement produite et son coût sont proportionnels à la quantité de sol utilisée. Le coût de production comprend le coût d'opportunité des usages alternatifs du sol et le coût de fabrication des logements.

Les propriétaires fixent les prix du logement. Dans chacune des zones, les propriétaires savent que s'ils fixent un prix supérieur à l'enchère des habitants, ils feront face à

une demande nulle. En effet, en acceptant ce prix, un ménage se condamnerait à n'obtenir qu'un niveau d'utilité inférieur à celui qu'il atteint à l'extérieur. Il a donc intérêt à refuser le logement pour quitter la ville, puisque les coûts de déménagement sont nuls. A l'opposé, s'ils proposent un prix inférieur, ils font face à une demande infinie de la part des agents extérieurs à la ville qui, en prenant ce logement, obtiennent un niveau d'utilité supérieur au niveau de référence à l'extérieur. En conséquence, les propriétaires, qui ont intérêt à louer au prix le plus élevé pour lequel ils trouvent preneur, fixent ce dernier à un niveau égal à la rente d'enchère.

4.3.2.3 Le planificateur

La ville est gérée par un planificateur urbain. Celui-ci a trois fonctions. En premier lieu, il intervient en tant qu'aménageur. Il répartit les sols disponibles entre leurs différents usages : le sol non occupé au centre ville entre les parkings sur voirie et l'habitant ; le sol disponible dans les zones résidentielles entre l'habitat, la voirie automobile et l'emprise au sol des transports en commun.

En second lieu, il engage les coûts d'aménagement nécessaires pour l'usage des transports : coûts d'aménagement des garages sur voirie et hors sol, coûts d'aménagement de la voirie et du système de transport en commun. On fait l'hypothèse que le sol et les autres équipements (y compris les véhicules de transport en commun) sont des biens complémentaires et donc que le coût d'aménagement de chaque mode de transport est proportionnel à la quantité de voirie qu'il utilise. En troisième et dernier lieu, il fixe une partie des coûts monétaires d'usage des transports privés (par taxation) et la totalité des transports communs.

4.3.2.4 La formation de la rente et le surplus économique

L'existence et le fonctionnement de la ville se traduisent par une modification de la situation des agents, qui est à l'origine d'un surplus économique approprié par une partie d'entre eux.

Plus précisément, que la ville existe ou pas, le niveau d'utilité de référence de chaque catégorie sociale (celui qu'atteignent les ménages à l'extérieur de la ville) est le même. C'est la conséquence première d'une hypothèse similaire à celle qu'on fait souvent en économie internationale sous le nom d'hypothèse de "petit pays": la ville est suffisamment petite pour que sa formation, son développement et son éventuelle disparition ultérieure ne modifie pas le fonctionnement de son environnement économique à l'extérieur. En conséquence, en l'absence de modification de leur niveau d'utilité, les habitants ne reçoivent aucun surplus.

Le surplus se partage donc entre les propriétaires fonciers et le planificateur. Du côté des propriétaires, elle résulte de leur activité de location de logements au ménage. Celle-ci leur permet de percevoir une rente, égale à l'ensemble des sommes perçues suite à la location. Cette rente est facile à calculer. En effet, pour chacune des zones, nous connaissons les enchères de chaque catégorie sociale et nous savons la plus élevée est égale à l'équilibre au prix foncier. En multipliant ce prix par la superficie disponible, nous obtenons la rente acquittée dans chacune des zones. En faisant la somme sur les trois zones, nous obtenons la rente totale.

Cependant, comme nous l'avons noté plus haut, pour louer les propriétaires doivent subir un coût. D'une part, ils aménagent la terre pour produire des logements. D'autre part, ils soustraient cette terre à d'autres usages (en particulier les usages habituels hors zones urbaines), d'où un coût d'opportunité. En faisant la somme de ces deux coûts et en la retirant de la rente globale, on obtient le surplus des propriétaires, qu'on appelle également rente différentielle en économie urbaine.

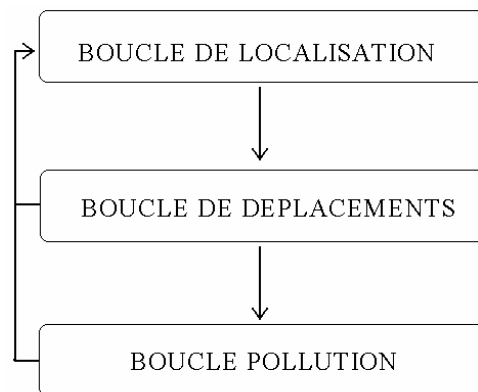
Du côté du planificateur, ses recettes sont égales au produit des taxes qu'il prélève sur les consommateurs à l'occasion de leurs déplacements. En contrepartie, il subit les coûts d'aménagement des parkings, de la voirie utilisée pour les transports privés et du système de transports publics. Son surplus est égal à la différence entre les deux.

Sachant que les habitants ne bénéficient d'aucun surplus, nous prendrons comme mesure du surplus global dégagé par la ville la somme du surplus des propriétaires (la rente différentielle) et du surplus du planificateur. C'est le bénéfice que dégagerait un opérateur intégré, de type aménageur, cumulant les rôles de planificateur et de propriétaire.

4.4 LE FONCTIONNEMENT DU MODELE ET LA DETERMINATION DE L'EQUILIBRE

La détermination de l'équilibre, est le résultat du jeu de trois boucles. Deux de ces boucles correspondent à chacun des deux types de décisions que prennent les ménages : la boucle des déplacements et la boucle des localisations. La troisième est la conséquence des interactions entre fonctionnement urbain et environnement :

Figure 4.4. Les trois boucles du modèle



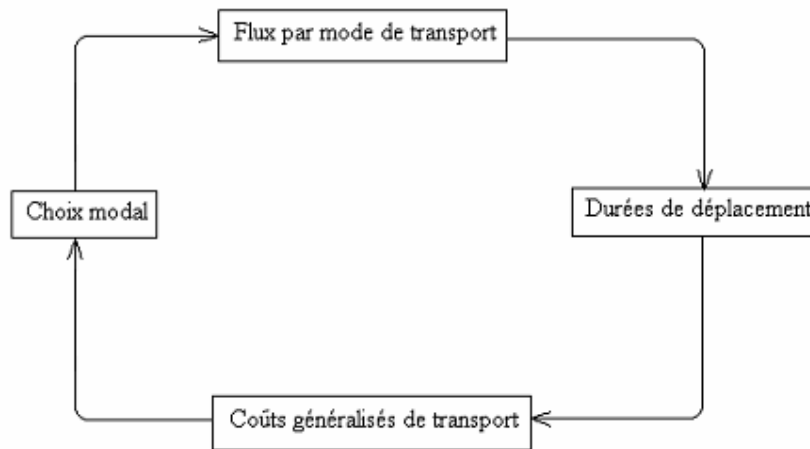
4.4.1 La boucle des déplacements.

A localisation donnée, les ménages localisés dans les zones résidentielles, qui se déplacent obligatoirement vers le centre ville, choisissent leur mode de transport, voiture ou transports en commun. Les déterminants de ces choix et les interactions entre usagers qui en résultent sont décrits par la boucle des déplacements, représentée par le graphe 4.5.

En partant du bas de la boucle, l'utilisateur part des coûts généralisés de transport auxquels il fait face. Rappelons que ces derniers sont la somme des coûts monétaires directs et de l'évaluation monétaire de la durée de déplacement. A l'étape du choix modal, il répartit ses déplacements entre véhicule individuel et transports collectifs en fonction de la différence de coûts généralisés de transport entre les deux modes ; un mode est d'autant plus privilégié que son coût est faible relativement à l'autre.

L'agrégation des décisions individuelles dans chaque zone (centre, banlieue et périphérie) permet de déterminer les flux entrant et sortant de chaque zone pour chacun des modes de transport. Cette agrégation tient évidemment compte du fait que les usagers de la périphérie transitent par la banlieue et le centre et que tous rentrent dans le CBD où ils doivent trouver un stationnement.

Figure 4.5. La boucle de déplacements



Le passage des flux par mode de transport aux durées de déplacement fait intervenir des phénomènes de congestion, formalisés à partir de relations de type débit-vitesse : à volume d'infrastructure donné, plus le flux partant de et transitant par une zone pour un mode de transport donné est important, plus la vitesse de ce mode de transport est réduite, plus la durée de déplacement est importante ; de même, plus les usagers sont nombreux à se rendre au centre ville en voiture, plus le temps nécessaire pour accéder à un stationnement est important.

La connaissance des durées de déplacement permet de boucler la boucle. En multipliant des durées par la valeur du temps et en les ajoutant aux coûts monétaires, on calcule pour chaque zone et chaque mode de transport les coûts généralisés de transport qui sont les ingrédients de base du choix modal.

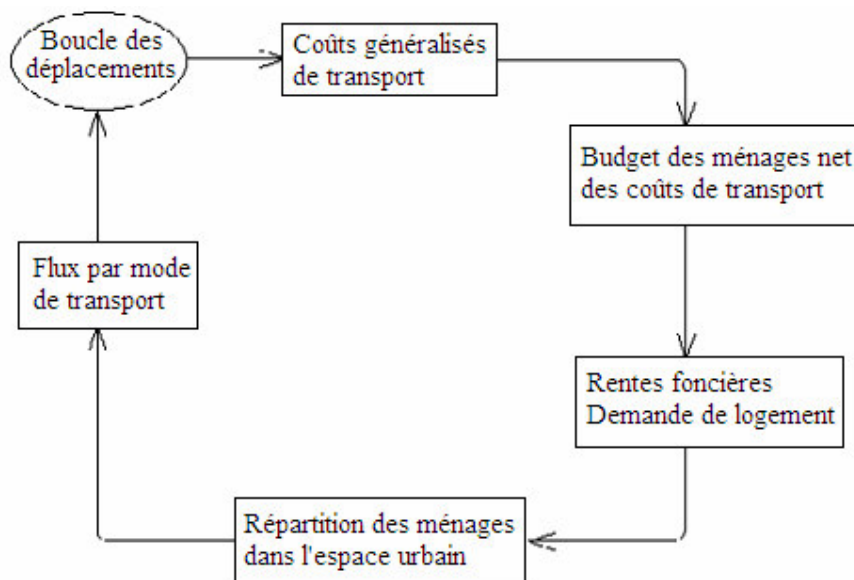
D'un point de vue dynamique, cette boucle a un effet stabilisant sur le fonctionnement du modèle. Supposons en effet qu'une perturbation exogène fasse passer des usagers d'un mode de transport à l'autre. Le mode de transport qui a reçu des voyageurs voit sa congestion augmenter, d'où une augmentation des durées de déplacement et, par ce biais, des coûts généralisés de transport. A l'opposé, le mode de transport qui a perdu des voyageurs voit sa congestion diminuer, d'où une baisse des durées de déplacement et, par ce biais, des coûts généralisés de transport. La différence entre les coûts généralisés de transport du mode qui a reçu des voyageurs et celui qui en a perdu augmente, rendant ce dernier plus attractif. Les usagers modifient en conséquence leurs choix de déplacement, une partie d'entre eux se reportant vers le mode qui avait initialement perdu des voyageurs, atténuant l'écart entre les deux modes jusqu'à stabilisation.

4.4.2 La boucle des localisations

En amont de la boucle des déplacements, les usagers choisissent leur localisation dans la ville, se répartissant entre les espaces résidentiels disponibles au hyper-centre, au centre, en banlieue et en périphérie. Les mécanismes de ce choix et leurs conséquences globales conduisent à la boucle des localisations, représentée dans la Figure 4.6.

On part des coûts généralisés de transport, déterminés à localisations données par le fonctionnement de la boucle des déplacements. Soustraits des ressources des ménages, ces coûts généralisés déterminent dans chacune des quatre zones leur budget disponible pour la consommation et le logement.

Figure 4.6. La boucle de localisation



Interviennent alors les mécanismes classiques de l'économie urbaine. Nous avons considéré que la ville était ouverte, ce qui signifie que les habitants peuvent circuler librement entre la ville et l'extérieur et que ce dernier est suffisamment grand pour ne pas être affecté par ce qui se passe dans la ville. En conséquence, tous les habitants de la même catégorie y atteignent le même niveau d'utilité exogène, fixé de l'extérieur. S'il était inférieur, des habitants partiraient. S'il était supérieur, des habitants viendraient dans la ville. La connaissance du niveau d'utilité et du budget disponible de chaque catégorie sociale, dans chacune des trois zones permet de calculer les rentes d'enchère, c'est à dire ce que chacun est prêt à payer pour se loger dans chacune des zones. Selon le principe du plus fort enchérisseur, chaque zone sera occupée par la catégorie dont les enchères sont les plus fortes, le résultat étant une structure socio-spatiale de la ville ségréguée en zones de population homogène.

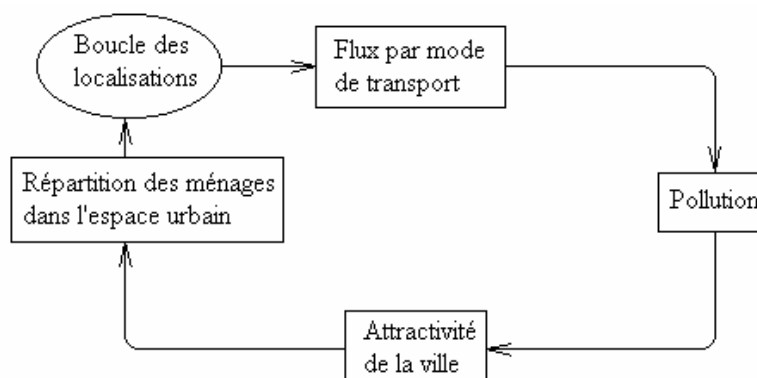
Le mécanisme d'enchères permet également déterminer la demande de logement des habitants de chacune des zones. La confrontation de cette demande avec les superficies disponibles (rappelons qu'elles sont exogènes) aboutit à la répartition des ménages entre les trois zones de la ville. On revient alors sur la boucle des déplacements qui, pour une répartition donnée des ménages, calcule les coûts généralisés de transport dans chacune des deux couronnes.

Comme la précédente, cette boucle a normalement un effet stabilisant. Pour le montrer, on peut analyser les conséquences d'une diminution exogène du ou des deux coûts généralisés de transport, suite par exemple à une amélioration technique ou à une baisse des taxes. Toutes choses égales par ailleurs, des coûts de transports plus faibles entraînent une augmentation du budget des ménages disponible pour le logement et la consommation courante. A niveau d'utilité inchangé, il en résulte une augmentation de la disposition à payer des ménages pour se loger et donc des rentes foncières. Mais des prix fonciers plus élevés induisent une substitution de la demande de bien de consommation à la demande de logement. Cette dernière baisse, quelle que soit la zone. Comme l'offre est inchangée, des surfaces sont libérées qui permettent d'accueillir de nouveaux habitants. La population de la ville augmente, d'où une croissance des flux de transports, une congestion plus forte et donc des durées de déplacement plus longues ; il en résulte une croissance des coûts généralisés de transport qui compense pour partie la baisse initiale.

4.4.3 La boucle de la pollution

On aboutit in fine à la boucle de la pollution, dont on trouvera la représentation dans la Figure 4.7. La boucle des localisations ayant permis de déterminer la répartition des ménages dans les quatre zones de la ville et les choix modaux qui en résultent, on connaît les flux par modes de transport. On a fait l'hypothèse que seule la circulation automobile était génératrice de pollution et que cette dernière dépend des conditions de trafic.

Figure 4.7. La boucle de la pollution



Connaissant les flux automobiles et les conditions de déplacement (la vitesse moyenne de déplacement) entre chacune des trois couronnes et le hyper-centre, on peut donc calculer le volume total de polluants générés. Il en résulte un coût de la pollution qui diminue l'utilité d'habiter dans la ville. En conséquence, le nombre d'habitants de la ville dépend de l'utilité qu'ils tirent de la consommation de logement et de la consommation de bien banal, augmentée de la compensation qu'ils doivent recevoir du fait de la pollution. C'est la somme de ces deux termes qui doit être comparée à l'utilité d'une résidence extérieure à la ville et qui, de ce fait, détermine la répartition des ménages dans l'espace urbain. On rentre alors dans la boucle des localisations.

4.5 LE MODELE ANALYTIQUE

Cette section décrit le modèle de manière détaillée, avec l'ensemble de ses hypothèses et techniques.

4.5.1 Structure physique

La ville comporte un hyper-centre urbain (repéré par $x=0$) où sont localisés tous les emplois ainsi qu'une partie de la population résidente, et trois couronnes résidentielles, le centre, la banlieue et la périphérie (repérés respectivement par $x=1$, $x=2$ et $x=3$). Il n'y a pas de coûts de déplacement à l'intérieur du hyper-centre urbain. La quantité de terre disponible dans la zone x est égale à $S(x)$. En zones résidentielles, cette quantité de terre peut être répartie entre trois usages, l'usage résidentiel, en quantité $L(x)$, l'usage routier (stationnement inclus) en quantité $R(x)$ et l'usage par les transports en communs, en quantité $A(x)$. On a évidemment

$$S(x) \leq L(x) + R(x) + A(x)$$

Les entreprises occupent une superficie nulle. Les ménages consomment directement de la terre. On néglige donc l'existence du bâti.

4.5.2 Structure résidentielle

Il y a deux catégories de ménages, différenciés en fonction de leurs revenus mais aussi en fonction de la valeur du temps qu'ils attribuent. Ils font un arbitrage entre leur consommation de bien banal monétaire, z , et leur consommation de terre, h , sur la base de préférences représentables par la fonction d'utilité $U(z, h)$. La contrainte budgétaire d'un habitant localisé dans la zone x est :

$$z + p_h(x) \leq w^i - t^i(x)$$

où w^i est le niveau des ressources des ménages de catégorie i , $p_h(x)$ est le prix de la terre à une distance x du centre et $t^i(x)$ est le coût de transport vers le CBD. Les terres aménagées étant parfaitement substituables entre elles quelle que soit leur localisation et les habitants parfaitement mobiles, le niveau d'utilité est uniforme dans la ville pour chaque catégorie, égal à u^i . En utilisant les méthodes de la théorie duale du consommateur, on détermine la fonction d'enchère $\psi^i(x)$ du ménage i en x , sa demande de terre $h^i(x)$ et sa demande de bien banal $z^i(x)$, sous la forme

$$\begin{aligned}\psi^i(x) &= \Psi(w^i - t^i(x), u^i) \\ h^i(x) &= H(w^i - t^i(x), u^i) \\ z^i(x) &= Z(w^i - t^i(x), u^i)\end{aligned}$$

telles que

$$\begin{aligned}\Psi(w^i - t^i(x), u^i) &= \max_{m,h} \left[\frac{w^i - t^i(x) - z}{h} \mid U(z, h) = u^i \right] \\ (Z(w^i - t^i(x), u^i), H(w^i - t^i(x), u^i)) &= \arg \max_{m,h} \left[\frac{w^i - t^i(x) - z}{h} \mid U(z, h) = u^i \right]\end{aligned}$$

Les propriétaires fonciers louent le sol au plus fort enchérisseur. Ainsi, chaque zone sera occupée par une seule catégorie de ménages. Dans chaque zone la rente foncière est égale aux enchères maximales $p_h(x) = \max^i \{\psi^i(x)\}$. Dans la zone x , la ville abrite $N^i(x) = L(x)/h^i(x)$ habitants de la catégorie qui enchère le plus dans cette zone et $N^j(x) = 0$ habitants de l'autre catégorie.

4.5.3 Les choix et les coûts de transport

4.5.3.1 Le choix entre voiture et transports en commun

Le coût de transport $t^i(x)$ est un coût moyen sur les déplacements faits à chaque période. A une date donnée, chaque consommateur choisit le moyen de transport (voiture ou transports en commun) qui minimise son coût de transport. Pour un trajet donné, les coûts respectifs de la voiture et des transports en commun évalués subjectivement par un consommateur localisé en zone x sont

$$\begin{aligned}t_v^i(x) &= t_v^i(x) - \mu \ln(1 + \zeta^i) + \mu \varepsilon_v \\ t_c^i(x) &= t_c^i(x) - \mu \ln(1 - \zeta^i) + \mu \varepsilon_c\end{aligned}$$

où ε_c et ε_v sont des aléas indépendamment distribués d'un trajet à l'autre et entre modes, suivant une loi de Gumbel¹¹ de type III et ζ^i est un paramètre compris entre -1 et 1 mesurant la préférence relative pour la voiture relativement aux transports en commun. Quand ζ^i est nul, l'agent est neutre par rapport au choix du mode de transport. Quand ζ^i est proche de 1, il a une très forte préférence pour la voiture, le coût subjectif d'usage des transports en commun

¹¹ La loi de Gumbel de type III a pour cumulative $\exp(-\exp(-\varepsilon))$

étant proche de l'infini. Quand ζ^i est proche de -1, il a au contraire une très forte préférence pour les transports en commun, le coût subjectif d'usage de la voiture étant proche de l'infini. Ce paramètre peut être différent entre les deux catégories de ménages. Enfin, $t_v^i(x)$ et $t_c^i(x)$ sont des coûts objectifs de transport, dont la mesure est précisée plus loin et μ est un paramètre d'incertitude.

Il s'ensuit que la probabilité qu'un agent choisisse l'un des deux modes suit un modèle logit. Plus précisément, pour qu'un consommateur prenne les transports en commun, il faut que $f_c^i(x) < f_v^i(x)$, soit

$$f_c^i(x) - f_v^i(x) = t_c^i(x) - t_v^i(x) - \mu \ln \frac{1 + \zeta^i}{1 - \zeta^i} + \mu(\varepsilon_c - \varepsilon_v) < 0$$

et donc

$$\varepsilon_c - \varepsilon_v < \frac{t_v^i(x) - t_c^i(x)}{\mu} + \ln \frac{1 - \zeta^i}{1 + \zeta^i}$$

En conséquence, sachant que $\varepsilon_c - \varepsilon_v$ est distribué suivant une loi logistique et en faisant jouer la loi des grands nombres, dans la zone x , le nombre $N_c^i(x)$ de consommateurs empruntant les transports en commun est tel que

$$\begin{aligned} \frac{N_c^i(x)}{N^i(x)} &= \frac{1}{1 + \exp \left\{ -\frac{t_v^i(x) - t_c^i(x)}{\mu} - \ln \frac{1 - \zeta^i}{1 + \zeta^i} \right\}} \\ &= \frac{\exp \left\{ t_v^i(x) / \mu + \ln(1 - \zeta^i) \right\}}{\exp \left\{ t_v^i(x) / \mu + \ln(1 - \zeta^i) \right\} + \exp \left\{ t_c^i(x) / \mu + \ln(1 + \zeta^i) \right\}} \\ &= \frac{(1 - \zeta^i) \exp \left\{ t_v^i(x) / \mu \right\}}{(1 - \zeta^i) \exp \left\{ t_v^i(x) / \mu \right\} + (1 + \zeta^i) \exp \left\{ t_c^i(x) / \mu \right\}} \end{aligned}$$

Le coût de transport moyen $t^i(x)$ est égal à l'espérance du coût de transport sachant que l'usager a choisi le meilleur mode, soit

$$\begin{aligned} t^i(x) &= \mathbb{E} \left[\min \left(f_c^i(x), f_v^i(x) \right) \right] \\ &= \mu \ln \left[\frac{1}{1 + \zeta^i} \exp \left\{ t_v^i(x) / \mu \right\} + \frac{1}{1 - \zeta^i} \exp \left\{ t_c^i(x) / \mu \right\} \right] \end{aligned}$$

ce qui permet de réécrire $N_c^i(x)$ sous la forme

$$\frac{N_c^i(x)}{N^i(x)} = \frac{1}{1 + \zeta^i} \exp \frac{t_v^i(x) - t^i(x)}{\mu}$$

4.5.3.2 Les coûts privés de déplacement par les transports en commun

Pour la spécification des coûts privés de déplacement par les transports en commun, on utilise une fonction de coût généralisée, somme du coût monétaire direct et de la valeur monétaire de la durée de déplacement, soit

$$t_c^i(x) = p_c(x) + \gamma^i \theta_c(x)$$

où $p_c(x)$ est le coût monétaire direct, égal au prix du billet fixé par l'autorité organisatrice des transports multiplié par le nombre de personnes du ménage qui effectuent les déplacements au CBD et par deux fois le nombre d'allers-retours faite dans une période, $\theta_c(x)$ est la durée du déplacement de la zone x vers le centre et γ^i est la valeur du temps d'un ménage de catégorie i . On fait l'hypothèse qu'il y a deux personnes qui se déplacent au CBD pour chaque ménage.

Le coût monétaire direct est un paramètre utilisable par le planificateur, par la modification du tarif des transports en commun. Dans la pratique, on rencontre en général des tarifs fixes ($p_c(x) = p_c$) et des tarifs linéaires ($p_c(x) = p_c x$), mais il n'y a pas de raisons de se limiter à ces deux possibilités.

La spécification de la durée de déplacement est plus délicate. On ne fait pas ici une spécification directe :

$$\theta_c(x) = \sum_{k=1..x} \theta_c'(k)$$

où $\theta_c'(x)$ est l'inverse de la vitesse de déplacement à la distance x . Celle-ci est déterminée par la capacité du système de transports en commun, mesurée par son emprise au sol $A(x)$, et par le flux $\phi_c(x)$ de personnes transitant par les transports en commun à travers la zone x , égal au nombre d'usagers de ce mode de transport résidant dans la zone x et dans les zones qui sont plus éloignées du centre. En conséquence,

$$\theta_c'(x) = \theta_c'(A(x), \phi_c(x))$$

$$\phi_c(x) = \sum_{k=x..3} N_c(k)$$

On a évidemment $\partial \theta_c'(x) / \partial A > 0$ et $\partial \theta_c'(x) / \partial \phi_c < 0$.

4.5.3.3 Les coûts privés de déplacement en voiture

Pour la spécification des coûts privés de déplacement en voiture, on utilise également une fonction de coût généralisée, soit

$$t_v^i(x) = p_v(x) + \gamma^i \theta_v(x)$$

où $p_v(x)$ est le coût monétaire direct, $\theta_v(x)$ est la durée du déplacement de la zone x vers le centre et γ^j est comme plus haut la valeur du temps. Le coût monétaire direct est formé par un coût fixe lié à la détention d'une voiture, le coût de parking, le coût de l'essence et les éventuels péages mis en place par le décideur :

$$p_v(x) = c_{fix} + p_g(0) + péages(x) + 2n_{trip} cons(V(x))d(x)(p_{fuel} + p_{fuel}\tau_{fuel})$$

où c_{fix} représente les coûts fixes liés à la voiture (assurances et réparations), $p_g(0)$ l'éventuel coût du parking au centre-ville, $péages$ les différentes formes de péages que le décideur peut mettre en place, n_{trip} le nombre moyen d'allers-retours fait dans une période, $cons(V(x))$ la consommation d'essence qui dépend de la vitesse moyenne dans le secteur x , $d(x)$ la distance de la zone x , et p_{fuel} le prix de l'essence, qui peut être majoré par une taxe τ_{fuel} . La vitesse moyenne dans la zone x est $V(x) = d(x)/\theta_v(x)$.

Afin d'éviter les effets de la congestion le décideur peut utiliser une taxation sur l'essence ou des péages. Les péages peuvent prendre plusieurs formes. Le plus simple (comme il est souvent appliqué aux Etats-Unis) c'est un péage fixe pour tous les utilisateurs du system de transports privés : $péages(x) = n_{trip}\tau_{fix}$. Dans le cas du péage « cordon », chaque utilisateur qui passe ce cordon paie le même montant indépendamment de la distance parcourue et les utilisateurs qui restent à l'intérieur ou à l'extérieur du cordon ne sont pas taxés : $péages(x) = n_{trip}\tau_{cordon}$ si $x \geq cordon$ (parce que dans notre modèles on prends en compte que les voyages vers le centre-ville) et $péages(x) = 0$ si $x < cordon$. Ce type de taxation est utilisé à Singapour. Des charges zonales ont été introduits récemment à Londres, qui imposent le même montant à toutes les voitures observés à l'intérieur de la zone taxée, indépendamment de la distance. Ce type de taxation ne peut pas être appliqué à notre modèle parce que tous les usagers du system de transport routier entrent dans la zone centrale et donc ils seront taxés de même montant, comme dans le cas du péage fixe. Un nouveau système de péage par kilomètre a été considéré aux Pays-Bas (*flat km charges*) : $péages(x) = 2n_{trip}\tau_{flat}d(x)$.

La spécification de la durée de déplacement en voiture est similaire à celle des transports en commun, tout en tenant compte des contraintes éventuelles de stationnement. On écrit :

$$\theta_v(x) = \theta_g(0) + \sum_{k=1..x} \theta_v'(k)$$

où $\theta_g(0)$ est le temps nécessaire à l'obtention d'une place de stationnement et $\theta_v(x)$ est l'inverse de la vitesse de déplacement à la distance x . Celle-ci est déterminée par la capacité du système routier, mesurée par son emprise au sol $R(x)$, et par le flux $\phi_v(x)$ de personnes transitant en voiture à travers la zone x , égal au nombre d'usagers de ce mode de transport résidant dans la zone x et dans les zones qui sont plus éloignées du centre. En conséquence,

$$\begin{aligned}\theta_v'(x) &= \theta_v'(R(x), \phi_v(x)) \\ \phi_v(x) &= \sum_{k=x..3} N_v(k)\end{aligned}$$

On a évidemment $\partial\theta_v'(x)/\partial R > 0$ et $\partial\theta_v'(x)/\partial\phi_v < 0$.

Le centre ville doit permettre le stationnement des $\phi_v(0)$ habitants de la périphérie qui s'y rendent chaque jour. Pour simplifier, nous supposons que, au centre ville, la superficie $R(0)$ est entièrement consacrée au stationnement mais que peut s'y ajouter une capacité de stationnement $G(0)$ fournie par des parkings souterrains ou des parkings à plusieurs niveaux. Le temps $\theta_g(0)$ nécessaire à l'obtention d'une place de stationnement est fonction du nombre de voitures à garer au centre ville et du nombre de places disponibles pour les garer, soit

$$\theta_g(0) = \theta_g(R(0) + G(0), \phi_v(0))$$

avec évidemment, $\partial\theta_g(x)/\partial(R+G) > 0$ et $\partial\theta_g(x)/\partial\phi_v < 0$.

4.5.4 La production de transport

4.5.4.1 Les transports en commun

La production de transport en commun nécessite de manière complémentaire de la terre et du capital. On suppose que l'aménagement d'un réseau de transports en commun utilisant une quantité globale de sol $A(x)$ représente un coût en biens privés $\kappa_c A(x)$, où κ_c est le coût du capital utilisé sur une superficie égale à l'unité. Les transports en commun n'engendrent pas de nuisances. En particulier, ils n'ont pas d'effet sur l'environnement.

4.5.4.2 Le réseau routier

L'utilisation de la voiture suppose l'utilisation d'un réseau routier aménagé par le gestionnaire urbain, éventuellement complété en centre ville par des parkings hors voirie (souterrains ou construits au-dessus de la voirie). L'aménagement de la superficie $R(x)$ consacrée à la voiture a un coût $\kappa_r R(x)$, quel qu'en soit l'usage (voirie ou parking en surface). L'aménagement de la superficie complémentaire de parkings hors voirie dans le centre ville a un coût égal à $\kappa_g G(0)$.

A ce coût privé s'ajoute un coût social, conséquence de l'émission E de polluants. Nous supposons que cette émission est fonction de la vitesse de déplacement et elle est proportionnelle à la distance parcourue en voiture. On a donc, en choisissant une échelle de mesure appropriée,

$$E = 2n_{trip} \sum_{x=1..3} \phi_v(x) d(x) emis(V(x))$$

où $emis(V(x))$ représente l'émission de polluant par véhicule et par kilomètre, qui est une fonction de la vitesse de déplacement. Puisque les transports à l'intérieur du CBD ($x=0$) ne sont pas modélisés, dans cette version du modèle nous ne pouvons pas mesurer la pollution générée par les voitures qui cherchent un lieu de stationnement au hyper-centre.

La pollution est un bien public pur néfaste, dont l'effet sur le bien-être des agents est séparable de l'effet des deux autres biens pris en compte par les consommateurs, le bien banal monétaire et la terre. Les préférences entre ces trois biens sont représentables par la fonction d'utilité $V(z, h, E) = U(z, h) - U_0(E)$.

La consommation totale des carburants dans la ville connaît une modélisation semblable, elle étant la somme des consommation de chaque véhicule du flux de chaque zone : $ConsT = 2n_{trip} \sum_{x=1..3} \phi_v(x) d(x) cons(V(x))$, où $cons(V(x))$ est la consommation moyenne de carburants par kilomètre en fonction de la vitesse de déplacement.

4.5.5 L'équilibre

Nous raisonnons à structure physique donnée de la ville. Pour chacune des quatre zones, le hyper-centre ($x=0$), le centre ($x=1$), la banlieue ($x=2$) et la périphérie ($x=3$), la répartition de la superficie $S(x)$ disponible entre le logement, $L(x)$, l'emprise des transports en commun, $A(x)$, et la voirie routière ou le stationnement de surface, $R(x)$, ainsi que la quantité $G(0)$ de parkings sont données. Les choix du planificateur ont également été arrêtés et sont considérés comme fixés par le consommateur qui prend comme données les coûts monétaires de transport commun $p_c(x)$ et une partie des coûts de la voiture $p_v(x)$. Le coût d'opportunité de la terre, c_n , est donné et indépendant de la localisation. Il peut être interprété comme la rente agricole.

La ville étant ouverte, le niveau d'utilité global atteint par les agents quand ils sont hors de la ville, $v^i = u^i - U_0(E)$ est fixé et l'équilibre est décrit par un ensemble de variables

- $N(x)$, $x=0,1,2,3$ déterminant le nombre d'habitants de la zone x ,

- $N^i(x)$, $x=0,1,2,3$ déterminant le nombre d'habitants de catégorie i de la zone x ,
- $N_c(x)$ et $N_v(x)=N(x)-N_c(x)$, $x=1,2,3$ donnant pour la zone x le nombre d'utilisateurs des transports en commun et de la voiture,
- $h^i(x)$, $x=0,1,2,3$ déterminant la consommation de terre pour le logement des habitants de type i qui occupent la zone x ,
- $\psi^i(x)$, $x=0,1,2,3$ donnant les enchères de la catégorie i dans la zone x ,
- $p_h(x)$, $x=0,1,2,3$ donnant le prix du logement dans la zone x ,
- $\theta_c(x)$ et $\theta_v(x)$, $x=1,2,3$, donnant les durées de déplacement vers le centre pour les résidents de la zone x ,
- $\phi_c(x)$ et $\phi_v(x)$, $x=0,1,2,3$, donnant les flux de trafic à travers la zone x ,
- $t^i(x)$, $x=1,2,3$ déterminant le coût de transport moyen pour un consommateur i habitant dans la zone x ,
- RDT mesurant la rente différentielle totale collectée par les propriétaires fonciers,

Ces quantités sont solutions du système suivant:

- Fonctionnement du marché foncier

$$\forall x = 0,1,2,3 \quad p_h(x) = \max_i \left\{ \Psi \left(w^i - t^i(x), v^i + U_0(E) \right) \right\}$$

$$\forall x = 0,1,2,3 \quad h^i(x) = H \left(w^i - t^i(x), v^i + U_0(E) \right)$$

$$RDT = \sum_{x=0..3} p_h(x) L(x)$$

- Occupation de la ville

$\forall x = 0,1,2,3 \quad N^i(x) = \frac{L(x)}{h^i(x)}$, pour les ménages de catégorie i qui sont les plus forts

enchérisseurs dans la zone x et $\forall x = 0,1,2,3 \quad N^j(x) = 0$ pour l'autre catégorie. La population

totale de la ville est : $N = \sum_{x=0..3} N(x) = \sum_{x=0..3} N^i(x) + N^j(x)$.

- Choix de transport

$$N_c^i(x) = \frac{N^i(x)(1 - \zeta^i) \exp\{t_v^i(x)/\mu\}}{(1 - \zeta^i) \exp\{t_v^i(x)/\mu\} + (1 + \zeta^i) \exp\{t_c^i(x)/\mu\}} = \frac{N^i(x)}{1 + \zeta^i} \exp \frac{t_v^i(x) - t^i(x)}{\mu}$$

$$N_v^i(x) = N^i(x) - N_c^i(x) = \frac{N^i(x)}{1 - \zeta^i} \exp \frac{t_c^i(x) - t^i(x)}{\mu}$$

$$N_c^j(x) = 0, N_v^j(x) = 0, N_c(x) = N_c^i(x), N_v(x) = N_v^i(x)$$

où i représente la catégorie qui occupe la zone x et j l'autre catégorie.

- Flux de transport

$$\phi_c(x) = \sum_{k=x..3} N_c(k)$$

$$\phi_v(x) = \sum_{k=x..3} N_v(k)$$

- Temps de transport

$$\forall x = 1, 2, 3 \quad \theta_c'(x) = \theta_c'(A(x), \phi_c(x))$$

$$\theta_c(x) = \sum_{k=1..x} \theta_c'(k)$$

$$\forall x = 1, 2, 3 \quad \theta_v'(x) = \theta_v'(R(x), \phi_v(x))$$

$$\theta_g(0) = \theta_g(R(0) + G(0), \phi_v(0))$$

$$\theta_v(x) = \theta_g(0) + \sum_{k=1..x} \theta_v'(k)$$

- Coûts généralisés de transport

$$\forall x = 1, 2, 3, \quad t_v^i(x) = p_v(x) + \gamma^i \theta_v(x)$$

$$\forall x = 1, 2, 3 \quad t_c^i(x) = p_c(x) + \gamma^i \theta_c(x)$$

$$\forall x = 1, 2, 3 \quad t^i(x) = \mu \ln \left[\frac{1}{1 + \zeta^i} \exp \left\{ \frac{t_v^i(x)}{\mu} \right\} + \frac{1}{1 - \zeta^i} \exp \left\{ \frac{t_c^i(x)}{\mu} \right\} \right]$$

4.6 LA SIMULATION D'UN SCENARIO DE BASE

4.6.1 Introduction

Pour réaliser les simulations et, surtout, pour être capable de les répéter avec des jeux de paramètres que nous faisons varier pour analyser les conséquences de modifications tarifaires ou d'aménagement, nous avons programmé en utilisant le langage MAPLE 8, un module de simulation et un ensemble de procédures permettant de le mettre en œuvre et d'en extraire les résultats. Les principaux modules sont présentés en annexe.

Dans cette section, nous nous contenterons d'en illustrer le fonctionnement en nous appuyant sur la situation de base. Nous commencerons par présenter les paramètres de ce scénario de base, en expliquant comment nous les avons choisis. Puis nous montrerons comment on détermine un équilibre, en nous appuyant sur les trois boucles analysées plus haut. Cette présentation permettra de concrétiser le fonctionnement de ces boucles.

4.6.2 Les paramètres et les formes fonctionnelles

Notre scénario de base commence par le choix d'un certain nombre de paramètres. Ces paramètres ont été choisis en se référant à une ville peuplée de 160 000 à 170 000 ménages, soient environ 265 000 habitants.

4.6.2.1 La structure physique de la ville

Une première série décrit la structure physique de la ville. Rappelons que la ville comprend quatre zones et dans chacune de ces zones, la superficie disponible est répartie entre trois usages : résidentiel, voiture particulière et transports en commun. S'y ajoute au hyper-centre la production de stationnement hors voirie qui n'empiète pas sur les surfaces disponibles.

Superficies disponibles (hectares)

	Hyper-centre	Centre	Banlieue	Périphérie
Total	320	1200	1200	1220
Usage résidentiel	320	880	880	900
Usage voiture		250	250	250
Transports en commun		70	70	70
Usage garages	55			

Les 320 hectares du CBD correspondent à un disque de deux kilomètres de diamètre, ce qui peut paraître petit (la commune moyenne fait 1500 hectares). Il ne faut cependant pas oublier que, pour en simplifier le fonctionnement, nous n'incorporons pas dans le modèle la circulation au hyper-centre de la ville, c'est à dire que nous faisons l'hypothèse implicite que ce dernier est suffisamment petit pour que les déplacements qui s'y produisent puissent être négligés. L'autre choix important est d'ignorer dans le hyper-centre tout ce qui n'est pas relatif au stationnement. Le choix de la superficie de stationnement reste relativement arbitraire, mais puisque c'est un instrument d'aménagement du décideur, nous allons faire dans une section ultérieure des simulations pour étudier les effets des modifications de cette variable.

Les autres zones sont à peu près de même superficie de 1200 hectares, ce qui met la limite de la ville à environ trois kilomètres et demi du centre, plus si l'on tient compte du fait que nous avons négligé les superficies dont l'usage n'est ni résidentiel, ni consacré à la circulation, comme les surfaces commerciales ou de loisir. Cette superficie globale permet, on le verra plus loin, d'aboutir à des valeurs assez réalistes quant à l'occupation du sol par les ménages. En nous appuyant sur quelques observations, nous avons considéré qu'un quart environ de cette superficie était utilisée par les moyens de transport, dont un quart environ par les transports en commun.

Certains de ces paramètres sont manipulables par le planificateur. Il s'agit de la quantité de stationnement disponible au hyper-centre ; des superficies consacrées au centre, en banlieue et en périphérie pour l'usage routier et les transports en commun ; et de la superficie disponible pour le logement en troisième couronne. Les paramètres non manipulables sont les superficies routières et transports en commun au hyper-centre, nuls par définition (pas de circulation au CBD) ; la superficie totale de ce même hyper-centre, qui ne peut s'étendre au détriment du centre résidentiel qui l'entoure ; la superficie totale du centre résidentiel, qui ne peut s'étendre au détriment du hyper-centre et la banlieue qui l'entoure, la superficie totale de la banlieue, qui ne peut s'étendre ni au détriment du centre, ni au détriment de la périphérie. De ce fait, la superficie consacrée à un usage résidentiel dans les deux premières couronnes résidentielles est égale à la différence entre la superficie totale et les superficies consacrées au transport. A l'opposé, en périphérie, la superficie totale n'est pas limitée ; elle est égale à la somme des superficies consacrées à chacun des trois usages. En fait, on fait implicitement l'hypothèse de l'existence de terre disponible dans cette zone, dont l'extension n'est pas limitée par la présence des autres zones.

4.6.2.2 Les ménages

Vient ensuite une deuxième série de paramètres, qui décrivent les comportements résidentiels des usagers de l'espace urbain, c'est à dire leur niveau d'utilité de référence, leurs fonctions d'enchères et de demande de logement. Ces dernières ont été obtenues en partant d'une représentation des préférences des agents par une fonction d'utilité de Cobb-Douglas,

$$U(c, h) = Ac^{3/4}h^{1/4}$$

avec $A = (1/4)^{-1/4} (3/4)^{-3/4}$. Le choix d'une Cobb-Douglas est fait pour des raisons de simplicité. Les exposants de la Cobb-Douglas correspondant à la répartition de la dépense entre les différents biens, on a fait le choix d'un exposant $1/4$ pour le logement et $3/4$ pour les autres biens en partant du constat qu'en moyenne les ménages consacrent 25% de leur budget à leur dépense en logements. La constante A est un terme de normalisation sans effet sur le modèle, mais qui permet de simplifier les expressions de la fonction d'enchère, $E(w, u)$, et de la demande de logement, $H(w, u)$.

Dérivées de la fonction d'utilité, ces dernières ont la forme suivante :

$$E(w_i, u_i) = w_i^4 u_i^{-4}$$
$$H(w_i, u_i) = \frac{1}{4} w_i^{-3} u_i^4$$

où w_i est le revenu de la catégorie social « i » et u_i est le niveau d'utilité de référence de l'agent. Toutes les quantités monétaires sont ramenées à des K€ en flux annuel, sachant que, pour obtenir la valeur d'un stock, il faut diviser le flux annuel par le taux d'intérêt. Pour le salaire moyen annuel, nous avons choisi la valeur

$$w_1 = 40 \text{ K€ / an} \quad \text{et} \quad w_2 = 20 \text{ K€ / an}$$

Ces valeurs ont été déterminées en tenant compte qu'en moyenne chaque logement est occupé par un ménage avec une moyenne de 1,67 actifs. Les 40 K€ (20 K€) annuels correspondent donc à 24 K€ (12 K€) par personne et par an, soit une rémunération moyenne mensuelle d'environ 2000 € (1000 €). Pour le niveau d'utilité de référence, rappelons qu'il est fonction du niveau de pollution, soit

$$u_i = v_i - U_0(E)$$

où v_i est le niveau d'utilité de la catégorie i hors pollution et $U_0(E)$ est l'effet de la pollution, cette dernière étant fonction du trafic routier. Pour le niveau d'utilité hors pollution, nous avons fixé $u_1 = 7$ et $u_2 = 3$. La forte différence relative entre les deux niveaux d'utilité hors pollution est réduite par l'effet pollution, qui identique pour les deux catégories sociales.

A l'équilibre nous obtiendrons des niveaux d'utilité des riches approximativement le double de celui des ménages pauvres.

Pour l'effet de la pollution, nous avons choisi :

$$U_0(E) = 5 \times 10^{-8} E$$

Ces valeurs ont été déterminées par calage, de manière à obtenir une solution satisfaisante. Les niveaux d'utilité n'ayant pas de signification en soi, ils ne sont pas directement interprétables.

4.6.2.3 Les conditions de circulation

La troisième série de paramètres décrit les conditions de circulation. Il s'agit des fonctions de congestion, fondées sur des relations débit-vitesse. Elles relient les durées de déplacement en centre, en banlieue et en périphérie et la durée de stationnement (exprimées en minutes) à la densité de trafic, mesurée par le ratio du flux à la surface. Il y a trois relations débit-vitesse pour les transports en commun, permettant de déterminer la durée d'un trajet centre résidentiel – hypercentre, banlieue-centre et périphérie-banlieue. En faisant la somme de ces trois durées, on obtient le temps total pour un trajet entre la périphérie et le CBD. Pour la voiture particulière, il faut ajouter la durée d'obtention d'un stationnement, calculée à partir d'une troisième fonction de congestion.

Ces fonctions de congestion sont toutes de la même forme :

$$\text{durée} = \text{minimum} + p \times \text{densité}$$

où « minimum » est la durée de déplacement en l'absence de congestion, « densité » est la densité de trafic, mesurée par le nombre de personnes transitant par la zone divisée par la surface ; les paramètres p ont été déterminés par calage pour retracer des conditions moyennes de circulation. Il s'agit d'une spécification simple, où la durée est une fonction linéaire de la densité avec un coefficient p . La densité de trafic est calculée séparément pour chaque mode de transport, en utilisant le trafic de ce mode et les superficies qui lui sont consacrées. On fait donc implicitement l'hypothèse que les transports en commun fonctionnent en site propre.

Les paramètres correspondent à une vitesse sans congestion d'environ 50 km/heure pour les transports privés et 20 km/heure pour les transports en commun. Pour les voitures, on suppose que la vitesse sans congestion est fixée à la limite légale et que le système des feux est parfaitement synchronisé. Une vitesse moyenne sans congestion plus faible de transports en commun s'explique par les contraintes technologiques et par les arrêts fréquents dans les stations. La fonction de congestion pour un même mode de transport est identique dans toutes

les zones de la ville. Les transports en commun ont la même sensibilité à la congestion que les voitures particulières.

Les valeurs des paramètres utilisées pour la simulation sont les suivantes :

Fonctions de congestion¹²

	minimum	<i>p</i>
<i>Voiture particulière</i>		
Stationnement au CBD	0 min	1/500
Transit centre résidentiel - CBD	1,43 min	1/100
Transit banlieue-centre	0,9 min	1/100
Transit périphérie-banlieue	0,72 min	1/100
<i>Transports en commun</i>		
Transit centre résidentiel - CBD	3,57 min	1/100
Transit banlieue-centre	2,23 min	1/100
Transit périphérie-banlieue	1,80 min	1/100

4.6.2.4 Les facteurs influençant le choix modal

La quatrième série de paramètres décrit les facteurs influençant le choix modal des usagers. Il s'agit en premier lieu des coûts monétaires. Rappelons que ceux-ci se répartissent en deux composantes. La première correspond aux coûts marginaux hors taxes : coût marginal d'usage du véhicule privé, coût marginal de production des transports en commun. La deuxième composante est la taxe perçue par l'autorité publique, sous forme de péage ou de taxe sur les carburants pour les usagers de la voiture, incorporée dans le prix du billet pour les usagers des transports en commun. La somme de ces deux composantes est le coût monétaire total. Ces coûts monétaires sont calculés séparément pour les trajets centre résidentiel – CBD, banlieue-centre et périphérie-banlieue. Le coût monétaire total d'un trajet périphérie-CBD est évidemment la somme des coûts des trois portions de trajet. Pour le scénario de référence nous avons choisi une tarification fixe des transports en commun, quelle que soit l'origine du déplacement. Dans une section ultérieure nous allons analyser d'autres formes de tarification des transports publics.

¹² Les paramètres *p* sont des paramètres sans dimension pour lesquels il n'existe pas d'unités de mesure

Coûts monétaires par trajet (K€/an) pour les transports en commun

	Coût monétaire total	Coût marginal hors taxes
Transit centre - CBD	1,8	1,8
Transit banlieue-centre	0	0
Transit périphérie-banlieue	0	0

On fera sur ce choix deux remarques. La première est que, dans notre scénario de référence, il n'y a pas de taxes, ce qui explique l'égalité entre les coûts monétaires totaux et les coûts marginaux hors taxes. En effet, pour bien préciser la nature et l'importance de la taxation il était important de partir d'une situation où celle-ci était absente. Puisque nous avons choisi un prix unique indépendamment de trajet et que tous les passagers qui traversent une zone résidentielle forcément transite le centre, les coûts monétaires totaux sont nuls pour les transits banlieue-centre et périphérie-banlieue. Afin d'égaliser le coût monétaire total et le coût marginal hors taxes, nous avons fait l'hypothèse implicite que le coût marginal d'un voyageur qui transite une zone supplémentaire à part le centre est négligeable. Cette hypothèse n'influence pas le fonctionnement de la ville, le seul impact étant en termes de surplus de la ville.

Pour interpréter les coûts ci-dessus, il faut rappeler qu'il s'agit de K€ annuels supportés par un ménage pour l'ensemble de ses trajets pendant la dite année. Les 1,8K€ que paye chaque année un ménage habitant une des couronnes résidentielle se répartissent sur 300 allers-retours faits par les deux personnes actives du ménage, soit 3€ par un aller-retour par personne, ce qui est dans la moyenne des tarifs de transport en commun des villes moyennes pour ce type de déplacement.

Le transit d'un ménage dans une de trois zones implique un coût identique pour tous les usagers des transports un commun, indépendamment de leur localisation:

$$pc_x = \frac{2 n_{pers} n_{trip} p_{ticket_x}}{1000}$$

où pc_x est le coût total annuel en K€/an du transit en transports en commun de la zone x , n_{pers} est le nombre de personnes actives du ménage (fixé à 2), n_{trip} est le nombre d'allers-retours faits par le ménages dans l'année ($n_{trip} = 300$) et $p_{ticket_1} = 1,5$ et $p_{ticket_2} = p_{ticket_3} = 0$ sont les prix d'un ticket pour le transit de la zone x . Pour une personne qui réside en périphérie le coût monétaire total annuel sera la somme des coûts pour le transit de chaque zone : $pc_1 + pc_2 + pc_3$. Pour une tarification unique, évidemment $pc_2 = pc_3 = 0$ et donc le coût

monétaire total pour un ménage est égal à pc_1 , quelle que soit sa localisation. Ultérieurement nous allons analyser d'autres types de tarification des transports en commun, avec des prix différenciés en fonction de trajet.

Coûts monétaires des transports privés

Les coûts monétaires pour les usagers des transports privés sont composés par les coûts fixes liés à l'utilisation de la voiture (assurances, réparations), les coûts marginaux hors taxes (les coûts de carburant) et les taxes (péages, taxes sur les carburants, etc...). Par souci de simplification, nous n'avons pas pris en compte les coûts liés aux accidents de la route. Ainsi, les coûts variables de transit de la zone x sont :

$$pv_x = \left[2n_{trip} cons_x d_x (p_{fuel} + taxe_{fuel} p_{fuel}) + péage n_{trip} + 2n_{trip} flat d_x + cordon_x n_{trip} \right] / 1000$$

où pv_x représente le coût total annuel de transit en voiture de la zone x , $n_{trip} = 300$ le nombre d'allers-retours faits par le ménages dans l'année, $cons_x$ est la consommation moyenne de carburant qui dépend des conditions de trafic de la zone x , d_x est la distance qu'il faut parcourir pour traverser la zone x (les distances sont déterminées en fonction de la surface totale de chaque zone $d_1 = 1,19$, $d_2 = 0,74$ et $d_3 = 0,6$), $p_{fuel} = 1$ est le prix hors taxes du carburant en euros par litre et $taxe_{fuel}$ est la taxe sur les carburants. Nous considérons que la distribution du carburant est réalisée par le planificateur, qui fixe le prix au coût marginal et il n'y a pas des coûts de gestion des stations de service.

Les variables $péage$, $flat$ et $cordon_x$ représente trois types de prix de congestion. *Péage* représente des charges zonales, comme celles introduites en Londres : chaque véhicule qui circule dans la zone (la ville) est imposé de même montant indépendamment de la distance parcourue. Une taxation « plate » ou linéaire qui a été considérée aux Pays-Bas, représente une taxation fixe par kilomètre parcouru, qui n'est pas différenciée en temps. Dans le cas d'un péage de type « cordon », comme celui appliqué en Singapour, chaque usager des routes qui passe le « cordon », paye la même charge indépendamment de la distance parcourue avant et après le passage du « cordon ». Les usagers qui restent en dehors ou à l'intérieur du cordon, ils ne payent pas des taxes. Dans le scénario de référence, comme dans le cas des transports en commun, toutes les taxes sont dans un premier temps nulles. Ainsi, le coût total égalisera les coûts marginaux.

Nous fixons aussi le stationnement a un coût marginal nul, ce qui s'interprète comme le fait qu'occuper une place de stationnement disponible a un coût d'opportunité nul (ou

presque), ce qui nous paraît logique. Cela ne signifie pas que le stationnement est sans coût dans notre modèle. En effet, on verra plus loin que la production de places de stationnement a un coût.

Le péage zonal, le cordon localisé au hyper-centre ou au centre et la tarification du stationnement seront identiques dans notre modèle à cause de la prise en compte seulement des déplacements centripètes.

La consommation moyenne de carburant dans la zone x dépend des conditions de trafic (la vitesse moyenne de circulation). La vitesse est en lien inverse avec le temps du trajet de chaque zone, durée calculée précédemment avec les fonctions de congestion : $V(x) = d_x / (\text{durée}_x / 60)$.

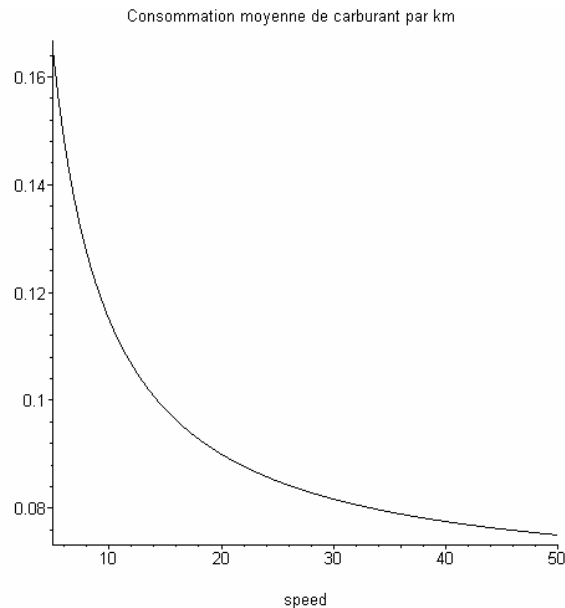
Une première approche concernant la consommation de carburant à vitesse constante est de la mesurer dans des expérimentations en laboratoire. Ces études distinguent trois effets principaux de la vitesse sur la consommation de carburant par kilomètre. Le premier se réfère au carburant utilisé par unité de temps nécessaire pour garder le moteur en fonctionnement, ce qu'implique une relation inverse avec la vitesse. Il y a une constante, qui est indépendante de tout facteur. En enfin un terme quadratique qui reflète une friction mécanique et aérodynamique plus importante à des vitesses plus élevées. Les trois impliquent ensemble une relation en U. Ce type de formalisation de la relation vitesse-consommation de carburant a été utilisé notamment par Rouwendal (1996) et Pronk (1993).

Cette formalisation ignore la consommation augmentée de carburant aux vitesses inférieures provoquées par la congestion. Cet aspect est analysé dans une deuxième série d'études qui se concentrent sur l'utilisation de carburant en états réels du trafic urbain (donc seulement pour des vitesses de circulation réduites). Fwa et Ang (1992) donnent une vue d'ensemble détaillée de ces études, qui emploient une fonction inverse simple pour déterminer la consommation moyenne par km :

$$cons_x = \left(b_{fuel} + \frac{a_{fuel}}{V(x)} \right) / 100$$

où a_{fuel} et b_{fuel} sont des paramètres. On constate que pour une vitesse nulle, la consommation de carburant est infinie. Le paramètre b_{fuel} représente la consommation minimale de carburant en trafic urbain, indépendamment de la vitesse de déplacement. Nous avons fixé ce paramètre à 6,5 litre par 100 km. Le paramètre a_{fuel} représente l'effet jouer par

la vitesse. Nous avons choisi $a_{fuel} = 50$ afin d'obtenir des consommations proches de la réalité :



Comme titre d'exemple la consommation de carburant pour une vitesse constante de 10km/h est de 11,5 l/km, pour 30km/h est de 8,17 l/km et 50km/h est de 7,5 l/km.

Les coûts monétaires totaux des transports privés pour un usager localisé dans la zone x sont la somme des coûts variables, les coûts de parking ($pg_0 = 0$) et les coûts fixes ($c_{fixe} = 1,8$): $c_{fixe} + pg_0 + \sum_{i=1}^x pv_i$. Les 1,8 K€ coûts fixes pour la voiture représentent 150 € par mois. Ce montant peut paraître assez faible, mais puisque nous ne modélisons pas le choix de posséder ou non un véhicule, ces coûts comprennent seulement l'assurance et les réparations.

Paramètres du choix de mode de transport

	Ménages Riches	Ménages Pauvres
Valeur du temps (K€ annuels par minute)	0,4	0,1
Préférence relative pour la voiture ¹³	0,65	0,65
Paramètre d'incertitude ¹⁴	0,5	

A ces coûts monétaires s'ajoutent la valeur du temps, qui permet d'ajouter aux coûts monétaires les coûts induits par la durée des déplacements, le paramètre de préférence pour la

¹³ Paramètre sans dimension pour lequel il n'existe donc pas d'unité de mesure

¹⁴ Paramètre sans dimension pour lequel il n'existe donc pas d'unité de mesure

voiture qui détermine la part modale de cette dernière quand les coûts sont égaux, et le paramètre d'incertitude, qui détermine la sensibilité d'un ménage à la différence de coûts.

Pour interpréter la valeur du temps, il faut là encore se rappeler que les coûts monétaires sont exprimés en K€ annuels alors que les durées sont en minute par déplacement. Or, une minute gagnée sur un trajet correspond à deux minutes sur un aller-retour et, en reprenant l'estimation faite plus haut de 300 allers-retours annuels pour les deux actifs du ménage, on aboutit à une durée totale de 600 minutes, soient 10 heures. Les 0,4 K€ (0,1 K€) sont à rapporter à ce gain total de 10 heures, soit une valeur du temps de 40€ (10€) l'heure, valeurs proches des celle des études sur la valeur du temps. Il faut préciser que nous faisons l'hypothèse que la valeur du temps a une élasticité revenu supérieure à l'unité et ainsi une augmentation de la valeur du temps est plus que proportionnelle que l'augmentation du revenu. Selon les modèles standards urbains, une différence importante de la valeur du temps des ménages riches par rapport aux ménages pauvres peut être suffisante pour attirer les riches au centre de la ville. Ainsi, notre choix s'explique aussi par le désir d'aboutir à un équilibre sans intervention publique de type européen.

Pour interpréter la préférence de la voiture ζ il suffit de noter qu'il résulte des équations du modèle que, en l'absence de différence de coût total (somme des coûts monétaires et de la valeur du temps) entre les deux modes de transport, la part de la voiture est égale à $(1+\zeta)/2$. Il n'y a pas des raisons particulières de différencier les préférences des ménages pour la voiture. Ainsi, avec $\zeta_1=\zeta_2=0,65$ on a donc à coût égal une part modale de 82% pour la voiture et de 18% pour les transports en commun. Cette préférence relative pour la voiture peut se justifier par le confort et par la disponibilité du moyen de transport à tout moment. Quand au paramètre d'incertitude, sa valeur, choisie par calage, est difficile à interpréter.

4.6.2.5 Les coûts de production de l'espace

La dernière série de paramètres regroupe les coûts de production de l'espace pour chacun de ses usages. Ces valeurs ne jouent aucun rôle dans la détermination de l'équilibre. Par contre, elles sont utilisées pour calculer les surplus et donc pour comparer les scénarii entre eux. Il ne s'agit pas de coûts de production calculés directement, mais ramenés à un flux monétaire annuel. Pour illustrer la différence, les coûts ci-dessus correspondraient pour le logement à un loyer équilibrant le coût de construction et d'entretien du logement. Pour fixer ces paramètres de manière raisonnable, nous nous sommes référés au coût du logement déterminé par le modèle sur des bases solides car correspondant à un budget logement d'un

montant usuel (un quart des ressources du ménage) et à des superficies occupées qui sont également dans la moyenne. Le coût de la voirie, pour laquelle il n'y a pas de construction, est pris égal à la moitié du précédent. Pour le stationnement au centre, on a une valeur intermédiaire (rappelons qu'il s'agit de garages et donc de constructions).

Coûts de production de l'espace (K€ par hectare et par an)

Logement	100
Voirie automobile	50
Voirie et équipement TC	50
Garage hors voirie	70

4.6.3 La simulation du scénario de base

4.6.3.1 La configuration socio-spatiale à l'équilibre

La ville est composée de quatre zones et les deux catégories sociales entre en concurrence pour l'occupation du sol. Ainsi, 16 configurations socio-spatiales sont possibles. Dans nos simulations nous allons analyser chaque configuration possible et on retient seulement celles qui sont un équilibre. Pour qu'une structure sociale soit un équilibre, il faut que la comparaison des fonctions d'enchères de deux catégories détermine une structure identique à la structure initiale.

Les seize configurations possibles sont décrites dans le tableau suivant. Pour interpréter notre notation, par exemple la configuration « R R P P » signifie que les deux premières zones (hyper centre et centre) sont occupées par les ménages riches et les deux dernières zones (banlieue et périphérie) sont habitées par les ménages pauvres :

Les configurations spatiales possible d'une ville de 4 zones avec 2 catégories de ménages

<i>R R R R</i>	<i>R P R R</i>	<i>P R R R</i>	<i>P P R R</i>
<i>R R R P</i>	<i>R P R P</i>	<i>P R R P</i>	<i>P P R P</i>
<i>R R P R</i>	<i>R P P R</i>	<i>P R P R</i>	<i>P P P R</i>
<i>R R P P</i>	<i>R P P P</i>	<i>P R P P</i>	<i>P P P P</i>

A l'équilibre, chaque zone sera habitée par catégorie qui est le plus fort enchérisseur. Ainsi, les mécanismes traditionnels de ségrégation spatiale interviennent et une zone sera occupée exclusivement par une seule catégorie sociale. Dans le scénario de référence, il y a une seule structure spatiale qui représente un équilibre « R R P P », caractérisée par une

localisation des ménages riches dans les deux zones les plus centrales et une localisation des ménages pauvres dans les deux zones les plus éloignées de centre. Cette configuration socio-spatiale est très répandue dans les villes européennes (voir Chapitre 2). Ce résultat est conforme aux modèles standard d'économie urbaine, vu l'écart très important entre la valeur du temps des ménages riches et des ménages pauvres. Pour toutes les autres configurations, la structure avant équilibre ne correspond pas avec celle obtenue par la comparaison des fonctions d'enchères des deux catégories sociales.

4.6.3.2 La boucle des déplacements

Nous allons maintenant parcourir la boucle des déplacements pour en préciser le fonctionnement. Rappelons que celle-ci s'intéresse uniquement aux choix de déplacements des habitants de la ville, dont la répartition entre les différentes zones est provisoirement exogène (elle sera déterminée par la boucle des localisations, qui incorpore la boucle des déplacements):

Population de chaque zone de la ville (nombre de ménages)

Configuration d'équilibre	<i>R R P P</i>
Ménages au hyper-centre	<i>19.770</i>
Ménages au centre	<i>33.354</i>
Ménages en banlieue	56.494
Ménages en périphérie	54.376
Ménages riches dans la ville	<i>53.124</i>
Ménages pauvres dans la ville	110.870
Nombre total de ménages	<i>163.994</i>

Dans les modèles standards d'économie urbaine, la densité de la population décroît avec la distance au centre. Cela s'explique par des surfaces des logements plus grandes nécessaires pour compenser l'augmentation des coûts de transport. Ce raisonnement est correcte quand la population de la ville est homogène ou quand la population plus riche habite dans la périphérie. Dans notre cas, ce sont les pauvres qui occupent les deux zones les plus éloignées de centre, et selon leurs revenus et leur niveau d'utilité, nous pouvons avoir des situations où la densité de la population peut augmenter dans une zone plus éloignée. Quand même, si deux zones voisines sont habitées par la même catégorie, la densité de la population sera décroissante.

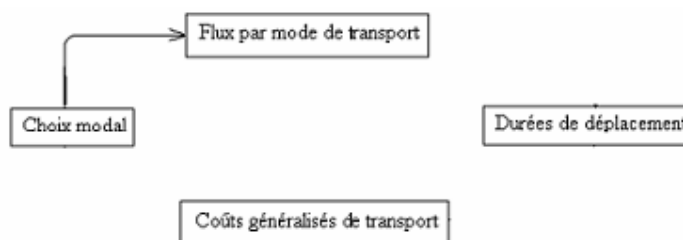
Parce que nous avons fait l'hypothèse que tous les habitants de la ville se déplacent vers le hyper-centre, et que les habitants de ce dernier ne se déplaçaient pas, les choix de déplacement se réduisent au choix entre voiture et transports en commun. Ces derniers sont caractérisés dans le modèle par trois paramètres, les proportions respectives d'usagers des transports en commun dans chacune des trois couronnes qui sont le centre, la banlieue et la périphérie. La simulation de la boucle des déplacements est fondée sur le fait que, une fois connue la répartition des habitants dans la ville, ces trois paramètres suffisent à faire fonctionner la boucle. Les valeurs d'équilibre dans le scénario de base, dont nous allons partir pour en illustrer le fonctionnement, sont les suivantes :

Proportions d'usagers des transports en commun (pourcentages)

Configuration d'équilibre	R R P P
Proportion d'usagers TC en centre	37,44%
Proportion d'usagers TC en banlieue	21,52%
Proportion d'usagers TC en périphérie	19,82%

Ces parts modales des transports en commun ne sont pas très éloignées par rapport à celles qu'on peut calculer sur des sources statistiques comme l'enquête transport. Nous constatons une surreprésentation du nombre d'usagers des transports en commun, due à la congestion très forte du réseau routier privé. Nous avons fait ce choix afin de mettre en évidence l'importance des décisions publiques sur le fonctionnement de la ville. Si au départ, la ville n'était pas encombrée, forcément l'impact des politiques de transports sont très faibles.

Nous allons maintenant parcourir les étapes successives de la boucle. Nous allons d'abord passer du choix modal au flux de transport, en parcourant la flèche de la figure ci-dessous :



Cette étape est simple. On applique les proportions d'usagers des transports en commun aux populations respectives de la banlieue et de la périphérie pour répartir ces dernières entre les deux modes de transport et on cumule les usagers du centre, de la banlieue

et de la périphérie pour un même mode de transport, afin de connaître le nombre d'usagers de ce mode qui passent par le centre (qui en partent ou y transitent) et qui arrivent au hyper-centre. On aboutit au résultat suivant :

Nombre d'usagers selon le mode de transport et la zone de la ville

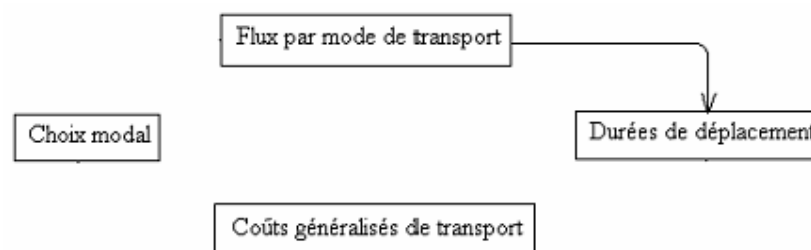
Configuration d'équilibre	R R P P
Nombre d'usagers TC en périphérie	10.776
Nombre d'usagers VP en périphérie	43.599
Nombre d'usagers TC en banlieue	12.157
Nombre d'usagers VP en banlieue	44.337
Nombre d'usagers TC en centre	12.488
Nombre d'usagers VP en centre	20.866

A priori, le nombre d'usagers des transports un commun devrait décroître avec la distance au centre, mais le fait qu'à partir de la banlieue les zones sont habitées par les ménages pauvres se traduit par une baisse des revenus et donc une hausse de l'usage des transports moins chers, c'est-à-dire les transports un commun. Un autre facteur c'est bien évidemment la concentration de la population dans ces zones, et donc le nombre potentiel d'usagers beaucoup plus élevé.

Flux total selon le mode de transport et la zone de la ville

Flux total TC en périphérie	10.776
Flux total VP en périphérie	43.599
Flux total TC en banlieue	22.933
Flux total VP en banlieue	87.936
Flux total TC (en centre)	35.422
Flux total VP (en centre)	108.802

On passe alors à la deuxième étape de la boucle, le passage des flux par mode de transport aux durées de déplacement, illustrée par la deuxième flèche :



Les flux calculés à l'étape précédente sont utilisés conjointement avec les superficies et les fonctions de congestion pour calculer les durées de déplacement par chacun des deux modes de transport et à partir de chacune des trois origines que sont le centre, la banlieue et la périphérie. On trouve les résultats suivants¹⁵ :

Durées de transit par mode et par zone (minutes)

Durée de déplacement TC transit centre	8,63 min
Durée de déplacement VP transit centre	5,78 min
Durée de déplacement TC transit banlieue	5,51 min
Durée de déplacement VP transit banlieue	4,42 min
Durée de déplacement TC transit périphérie	3,34 min
Durée de déplacement VP transit périphérie	2,46 min
Durée pour trouver une place de parking	3,96 min

Pour les durées totales de déplacement en voiture d'une zone résidentielle vers le hyper-centre, nous tenons compte aussi du temps nécessaire pour trouver une place de parking au hyper-centre.

Durées de déplacement cumulées par mode et par zone (minutes)

Durée de déplacement avec (sans) le temps de recherche d'un stationnement		
Durée de déplacement TC à partir du centre	8,63 min	
Durée de déplacement VP à partir du centre	9,73 min	(5,78 min)
Durée de déplacement TC à partir de la banlieue	14,14 min	
Durée de déplacement VP à partir de la banlieue	14,16 min	(10,20 min)
Durée de déplacement TC à partir de la périphérie	17,48 min	
Durée de déplacement VP à partir de la périphérie	16,62 min	(12,66 min)

Nous constatons que si on ajoute le temps nécessaire pour obtenir une place de stationnement, la durée de déplacement en voiture est plus élevée que le temps de déplacement en transport en commun pour les ménages qui habitent dans les premières deux couronnes résidentielles. Seulement pour ceux qui habitent en périphérie la durée totale du trajet est inférieure en voiture. Ce résultat est en lien avec le fait que les deux zones centrales sont habitées par les ménages riches, et aussi parce que la surface disponible pour les transports est constante, quelle que soit la distance au centre.

¹⁵ Les décimales correspondent à des fractions de minutes et non à des secondes

Pour ces durées des trajets par zone, nous pouvons déterminer la vitesse moyenne de déplacement par mode de transport et zone de la ville. Ces vitesses seront nécessaires pour déterminer la consommation moyenne de carburant et le niveau de pollution dans la ville.

Vitesses moyennes de déplacement par mode et par zone (km/h)

Vitesse moyenne de déplacement TC transit centre	8,28 km/h
Vitesse moyenne VP transit centre	12,32 km/h
Vitesse moyenne TC transit banlieue	8,09 km/h
Vitesse moyenne VP transit banlieue	10,10 km/h
Vitesse moyenne TC transit périphérie	10,76 km/h
Vitesse moyenne VP transit périphérie	14,58 km/h

Nous faisons trois remarques sur ces résultats. D'abord, comme on s'attendait, la voiture est un moyen plus rapide de déplacement, même si le réseau routier de la ville est très congestionné. Par contre, c'est surprenant le fait que au lieu d'avoir une vitesse de plus en plus élevée au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre, nous constatons une légère baisse au niveau de la banlieue. Cela vient du fait qu'au centre, la population riche est moins dense, et donc le trafic supplémentaire dans cette zone est faible par rapport à l'infrastructure allouée, ce qui implique une augmentation de la vitesse. Enfin, avec la version actuelle du modèle, nous ne pouvons pas déterminer la vitesse de déplacement pour la recherche d'une place de stationnement au CBD.

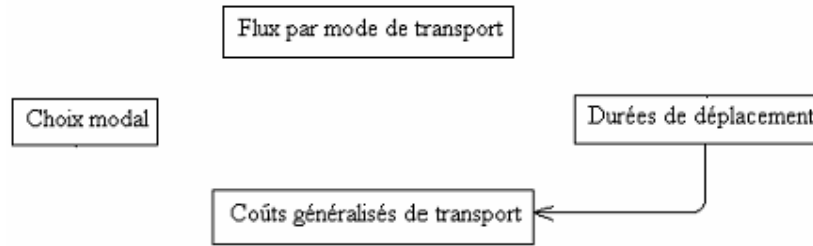
Pour des vitesses moyennes connues, nous pouvons déterminer aussi la consommation des carburants pour les voitures privées, dans chaque zone résidentielle :

Consommations moyennes de carburants par zone (l/100km)

Consommation moyenne VP transit centre	10,55 l
Consommation moyenne VP transit banlieue	11,46 l
Consommation moyenne VP transit périphérie	9,93 l
Consommation totale de carburants dans la ville	14 241 874 litres

Bien évidemment, puisque la consommation de carburants est influencée directement par la vitesse moyenne de déplacement, nous constatons une augmentation de la consommation de carburants en banlieue par rapport au centre.

On peut alors passer à la troisième étape de la boucle, le passage des durées de déplacement et des consommations des carburants aux coûts totaux de déplacement :



Pour ce faire, on cumule pour chaque mode de transport les coûts monétaires et le coût de la durée de déplacement, ce dernier étant calculé en multipliant la durée par le paramètre de valeur du temps¹⁶. Ainsi, il est nécessaire d’abord de déterminer les coûts monétaires pour chaque mode de transport. Pour les transports en commun les coûts monétaires s’élèvent à 1,8K € indépendamment de localisation, parce que le prix d’un ticket simple est fixé à 1,5€ pour tout trajet. Pour les voitures, les coûts monétaires sont la somme des coûts fixes (1,8 K€) et des coûts variables, qui sont en fonction des péages (nuls dans ce scénario) et de la consommation des carburants :

Coûts variables par zone pour les VP (K€)

Coûts variables VP transit centre	0,075
Coûts variables VP transit banlieue	0,051
Coûts variables VP transit périphérie	0,036

Ces coûts variables sont égaux aux coûts marginaux, parce qu’il n’y a pas de taxation. A partir de ces coûts, nous pouvons maintenant calculer les coûts totaux de déplacement en appliquant la formule spécifique au modèle logit (modèle utilisé ensuite pour modéliser le choix de transport) pour agréger les coûts TC et VP et calculer un coût global pour chaque catégorie et chacune des trois zones. Ce coût global peut être supérieur aux coûts de chacun des deux modes de transport calculés séparément, ce qui est le cas ici. En effet, le calcul des coûts séparés n’intègre pas la forte préférence pour la voiture incorporée dans le paramètre ζ. Le calcul du coût de transport global intègre cette préférence en tenant compte du fait que faire une partie de ses déplacements par les transports en commun conduit à utiliser un mode de transport pour lequel la préférence est plus faible.

¹⁶ Plus précisément, les formules utilisées pour ce calcul sont les suivantes :

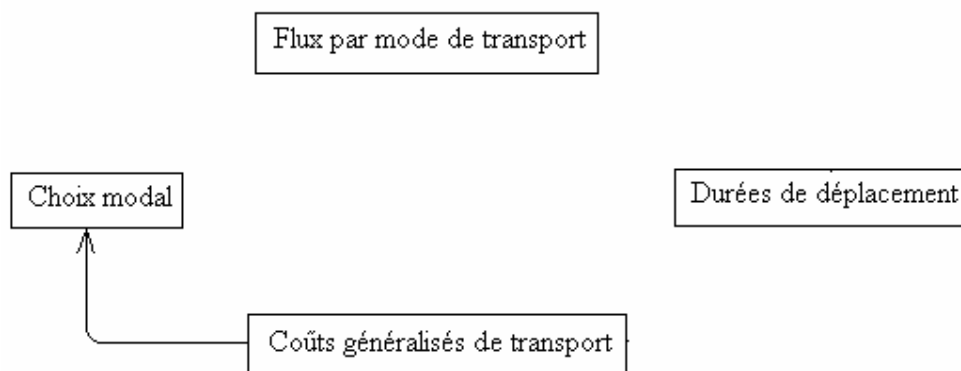
$\begin{aligned} \text{Coût total du déplacement} &= \text{Coût monétaire du déplacement} + \text{Coût de la durée de déplacement} \\ \text{Coût de la durée de déplacement} &= \text{durée} \times \text{valeur du temps} \end{aligned}$

Coûts totaux de déplacement

Configuration d'équilibre	R R P P	
	Riches	Pauvres
Catégorie de ménages		
Coût de transport TC à partir du centre	5,25 K€	2,66 K€
Coût de transport VP à partir du centre	5,77K€	2,85 K€
Coût de transport TC à partir de la banlieue	7,45 K€	3,34 K€
Coût de transport VP à partir de la banlieue	7,59 K€	3,34 K€
Coût de transport TC à partir de la périphérie	8,79 K€	3,62 K€
Coût de transport VP à partir de la périphérie	8,61 K€	3,62 K€
Coût de transport global à partir du centre	6,01 K€	3,32 K€
Coût de transport global à partir de la banlieue	8,10 K€	3,86 K€
Coût de transport global à partir de la périphérie	9,38 K€	4,18 K€

On constate, une différence assez importante entre les coûts de transport des ménages riches et des ménages pauvres à cause de la différence de la valeur du temps. Il faut préciser que dans le tableau précédent, nous avons écrit aussi les valeurs des coûts des transports des ménages même s'ils n'habitent pas une certaine zone, mais ces valeurs sont nécessaires pour déterminer les enchères de chaque catégorie, qui déterminent la structure socio-spatiale de la ville.

Il nous reste à parcourir la dernière étape de la boucle, celle qui part des coûts de transport pour revenir au point de départ, c'est à dire les parts modales des transports en commun dans chacune des deux couronnes, la banlieue et la périphérie.



Dans chacune des trois zones et pour chaque catégorie sociale, les coûts généralisés de transport pour chacun des deux modes de transport sont l'ingrédient de base du choix modal. Ce dernier est une fonction logistique de l'écart de coût, la part modale des transports en

commun étant d'autant plus élevée que le différentiel de coût leur est favorable. Parce que nous sommes partis des parts modales d'équilibre, nous les retrouvons à la fin du calcul.

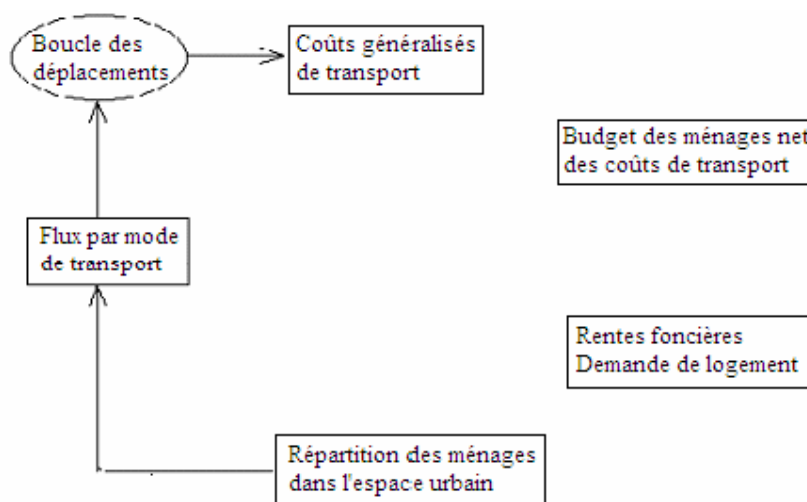
Proportions d'usagers des transports en commun (pourcentages)

Configuration d'équilibre	R R P P
Proportion d'usagers TC en centre	37,44%
Proportion d'usagers TC en banlieue	21,52%
Proportion d'usagers TC en périphérie	19,82%

4.6.3.3 Les boucles des localisations et de la pollution

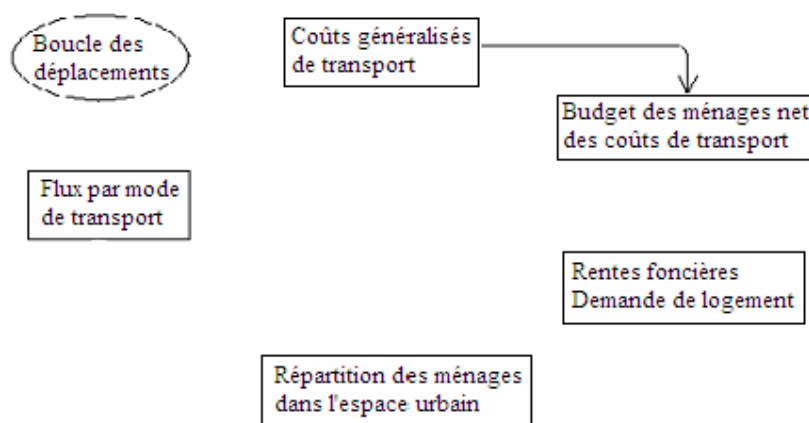
Nous allons maintenant passer au niveau supérieur, en analysant le fonctionnement des boucles des localisations et de la pollution. En travaillant sur la boucle des déplacements, nous avons considéré comme donnée la répartition des ménages dans l'espace urbain, Celle-ci devient maintenant endogène. Plus précisément, pour effectuer les simulations, nous avons besoin de six variables de bouclage, les populations en centre, en banlieue et en périphérie, dont les valeurs d'équilibre et les parts modales des transports en commun pour chacune de ces populations.

Notre point de départ est donc la partie la plus basse de la boucle des localisations, telle que nous l'avons présentée plus haut. La première étape consiste à parcourir la partie gauche de la boucle des déplacements, représentée sur la figure ci-dessous, pour déterminer les valeurs d'équilibre du choix modal et en déduire les trois ingrédients qui sont essentiels pour la suite, les flux pour chacun des deux modes de transport, les durées et les coûts généralisés de transport.



On a vu plus haut les flux par mode de transport, les durées de déplacement et les coûts généralisés de transports à l'équilibre de la boucle des déplacements. Il nous reste à utiliser ces ingrédients pour déterminer les fonctions d'enchères et la demande de logement des ménages et, à partir de là, leur répartition dans l'espace urbain. Rappelons que cette demande de logement est fonction des ressources nettes des coûts de transport et du niveau d'utilité de référence de chaque catégorie sociale.

La détermination des ressources nettes des coûts de transport nous fait parcourir l'étape suivante dans la boucle des localisations.



Cette étape est simple. Nous connaissons le budget global des ménages, égal à 40 K€ par an pour les ménages riches et à 20 K€ par an pour les ménages pauvres. En soustrayant de ce budget les coûts généralisés de transport, on obtient le budget net de ces coûts, soit

Budget net des coûts de transport, par zone et catégorie sociale

Configuration d'équilibre	R R P P	
	Riches	Pauvres
Budget net des coûts de transport en centre	33,99 K€	16,68 K€
Budget net des coûts de transport en banlieue	31,90 K€	16,14 K€
Budget net des coûts de transport en périphérie	30,62 K€	15,82 K€

Quant à la détermination du niveau d'utilité de référence dans la ville, elle tient compte du fait que ses habitants doivent recevoir une compensation pour la pollution qu'ils y subissent. Dans le modèle, nous avons convenu que seuls les véhicules particuliers étaient générateurs de pollution et que celle-ci était fonction des conditions de trafic (vitesse moyenne de déplacement, distance parcourue et nombre d'usagers du réseau des transports routiers).

Dans un premier temps, on calcule les émissions de chaque véhicule dans chaque zone de la ville, en fonction de la vitesse moyenne de déplacement. Il y a une plénitude d'études sur l'effet de la vitesse de déroulement sur l'émission des polluants d'un véhicule. Nous allons utiliser une formalisation qui est compatible aux vitesses faibles de déplacement, spécifiques en milieu urbain. Ainsi, Gartner et al. (1980) estiment une relation de la forme $emis(vitesse) = K_1 + K_2 / vitesse$ pour les émissions de CO, où $K_1 = 9,96$ g/mile et $K_2 = 476,1$ g/h. Nous utilisons des paramètres proches de ceux de Gartner, on les transformant en unités de mesures européennes : $K_1 = 6$ g/km et $K_2 = 475$ g/h.

Les émissions totales sont la somme des émissions de l'ensemble des véhicules qui utilisent le réseau de transport routier :

$$E = 2n_{trip} \sum_{x=1..3} \phi_v(x) d(x) emis(V(x))$$

Les niveaux d'émissions de polluant dans la ville

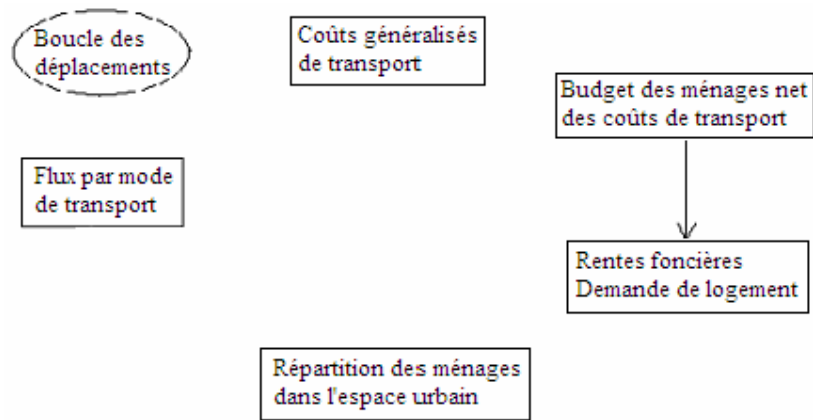
Configuration d'équilibre	R R P P
Emissions moyennes par véhicule au centre	44,45 g/km
Emissions moyennes par véhicule en banlieue	53,08 g/km
Emissions moyennes par véhicule en périphérie	38,57 g/km
Emissions totales dans la ville	6139 Tonnes

Pour compenser cette pollution, il faut augmenter le niveau d'utilité de référence de chaque catégorie dans la ville par rapport à l'extérieur. Nous avons fixé les niveaux d'utilité à l'extérieur à $u_1 = 7$ et $u_2 = 3$. En y ajoutant la compensation pour le niveau de pollution on obtient

$$v_1 = 8,02 \text{ et } u_2 = 4,02$$

Nous constatons que, après l'effet de la pollution, le rapport à l'équilibre entre les deux niveaux d'utilité est approximativement égal au rapport des revenus (le revenu des ménages riches et le double de celui des ménages pauvres).

Nous disposons maintenant des éléments nécessaires pour passer à l'étape suivante, le calcul des enchères des ménages et de leur demande de logement, qui correspond à la partie ci-dessous de la boucle :



Pour le calcul des enchères des ménages, qui déterminent la structure sociale de la ville nous utilisons les fonctions d'enchères issues de la fonction d'utilité de Cobb-Douglas. En appliquant le principe du plus fort enchérisseur, chaque zone sera occupée par le ménage avec les enchères les plus élevées et le prix sera égal aux enchères de cette catégorie.

Enchères, catégorie sociale et prix du logement, par zone

	<i>Enchères Riches</i>	<i>Enchères Pauvres</i>	<i>Catégorie sociale</i>	<i>Prix du logement</i>
Hyper-centre	617,81 K€ / ha	610,72 K€ / ha	Riche	617,81 K€ / ha
Centre	322,06 K€ / ha	295,32 K€ / ha	Riche	322,06 K€ / ha
Banlieue	249,85 K€ / ha	259,04 K€ / ha	Pauvre	259,04 K€ / ha
Périphérie	212,03 K€ / ha	238,91 K€ / ha	Pauvre	238,91 K€ / ha

Rappelons qu'il s'agit d'un budget annuel. En conséquence, les 617,81 K€ / ha s'interprètent comme le base de calcul au m² du loyer annuel d'un logement au hyper-centre, qui pour 100 m² coûterait donc 6178 euros par an, soient 515 euros par mois, une valeur proche aux celles qu'on rencontre habituellement dans les grandes villes hors Paris. Quant au budget qui en résulte, il est sans surprise puisque, par construction, il est égal au quart des revenus disponibles hors coûts de transport. On trouvera sans doute très importante la différence entre les prix au centre et en périphérie, qui sont dans un rapport de presque un à trois. Il faut cependant tenir compte de la catégorie de ménages qui habitent la zone en question et par conséquent le type de logement.

En utilisant de même les fonctions de demande de logement, les superficies occupées par chaque ménage sont :

Superficie des logements en m², par zone

Configuration d'équilibre	R R P P
Superficie de logement au hyper-centre	161,86 m ²
Superficie de logement au centre	263,83 m ²
Superficie de logement en banlieue	155,77 m ²
Superficie de logement en périphérie	165,51 m ²

La superficie d'un peu plus de 160 m² au centre est un peu supérieure à ce qu'occupe une famille dans une grande ville (hors Paris). A l'opposé, même si on fait une compensation pour tenir compte du fait que la superficie de jardin, pour utile qu'elle soit, n'est pas équivalente à la même superficie intra-muros, les 165 m² en périphérie sont sans doute en dessous de la réalité. Mais cela s'explique d'abord par la structure sociale de la ville. Ainsi, puisque les riches habitent le centre, leur logement sera plus spacieux que si le centre était occupé par les ménages pauvres. Et la surface des logement en périphérie est très faible, parce qu'elle habitée par des ménages pauvre, et donc il ne s'agit pas des quartier résidentiels riches, mais plutôt des bâtiments genre HLM.

Egalement, ces résultats sont liés à l'utilisation d'une fonction d'utilité de type Cobb-Douglas qui a l'avantage de la simplicité. Celle-ci se caractérise par une élasticité de substitution fixe, égale à l'unité. Pour avoir une variabilité plus forte des superficies occupées quand on passe du centre à la périphérie, il faudrait que les ménages réagissent plus aux différences de prix, ce qui exige une élasticité de substitution supérieure à l'unité, et donc une autre fonction d'utilité. Nous avons préféré conserver la Cobb-Douglas, l'approximation nous paraissant de qualité suffisante pour privilégier la simplicité des calculs et de l'interprétation des résultats inhérents à cette fonction d'utilité.

En divisant les superficies disponibles pour le logement dans chaque zone par la demande individuelle des ménages, on retrouve les populations dont nous étions partis. Le modèle proprement dit est bouclé. Il reste à calculer les derniers résultats, c'est à dire les mesures de bien être que sont la rente foncière totale, la rente foncière différentielle et le surplus global. La première est la recette des propriétaires, issue de la fourniture de logements aux ménages. La seconde s'obtient à partir de la première en la diminuant des coûts d'aménagement propres au logement. Enfin, la troisième s'obtient à partir de la seconde en lui

ajoutant les recettes fiscales¹⁷ diminuées des coûts d'aménagement des infrastructures. On aboutit à

Rentes foncières et surplus monétaire

Rente totale	924 086 K€
Rente différentielle	626 086 K€
Surplus	574 236 K€

Aucune agglomération n'ayant fait jusqu'à présent l'objet d'une véritable comptabilité qui nous permettrait de disposer de points de repères, nous ne pouvons pas nous prononcer sur le caractère vraisemblable ou non de ces chiffres.

Comme signalé plus haut, on a construit ce module autour du nombre le plus réduit possible de variables de bouclage, à savoir six: les populations des trois couronnes résidentielles et la part des transports collectifs par zone.

La chaîne des calculs présentée plus haut permet d'écrire l'ensemble des équations du modèle en fonction de ces six variables, y compris les choix modaux des habitants et leur demande de logement. Ce sont ces équations, pour chacune des trois zones périphériques, qui composent le système de six équations à six inconnues que la procédure résout. Normalement, le système devrait composer douze équations avec douze inconnues, mais en sachant que si une catégorie sociale n'habite pas dans une zone, forcément il n'y a pas de part modale, on peut enlever les équations et les variables correspondantes. Comme on peut le constater avec les résultats des calculs ci-dessous, il s'agit d'équations non linéaires de structure suffisamment complexe pour qu'une simulation soit indispensable...

Nous allons maintenant nous intéresser à ce qui est notre question centrale : qu'est-ce qui caractérise une politique optimale ? La version actuelle de la maquette de simulation ne permet pas déterminer une tarification optimale de premier rang, mais elle capable de calculer une tarification de second rang portant sur un seul instrument de politique de transports urbains. Quelles sont les conséquences d'un changement de tarification, non seulement sur les volumes de trafics et leur répartition modale, mais également sur la structure de la ville ? Quelles liaisons entre politiques tarifaires et politiques d'infrastructures ?

Tant pour pouvoir déterminer les choix optimaux que pour pouvoir analyser les conséquences d'une variation des instruments tarifaires ou d'aménagement utilisés par le

¹⁷ On notera que, dans le scénario de référence présenté ici, les ménages n'étant pas imposés, ces recettes sont nulles.

planificateur, il est important de pouvoir réaliser des simulations une à une, en les itérant pour une suite de valeurs d'un paramètre, ce qui permet ensuite de tracer les fonctions mettant en évidence la liaison entre les valeurs de ce paramètre et les valeurs prises par les variables endogènes représentant la ville. En conséquence, nous avons mis au point une procédure itérée de simulation et quelques instruments auxiliaires permettant de l'utiliser de manière relativement confortable.

4.7 LES CHOIX DE TARIFICATION DES TRANSPORTS EN VOITURE

Dans la simulation de base utilisée jusqu'à présent, et qui a servi à la présentation du modèle, les coûts subis par les usagers sont égaux aux coûts marginaux directs de la production de transport. Ce qui revient à dire que les déplacements ne sont pas taxés. Nous allons maintenant examiner les effets de la taxation, les usagers payant une taxe qui s'ajoute (ou recevant une subvention qui vient en déduction) aux coûts directs de production proprement dits. Nous allons commencer par examiner l'effet séparé de chacune des taxes possibles : sur le stationnement, sur le carburant, les différents modalités de péage d'utilisation du réseau routier, mais aussi sur les déplacements en transports en commun. Effet séparé signifie qu'une seule taxe est levée, les autres coûts de transport restant inchangés.

Il faut préciser que l'introduction d'une taxation a comme effet non seulement un changement en répartition modale, mais peut induire à long terme même des changements de structures sociales. Il y aura des situations quand aucun équilibre n'est pas possible, ou quand pour une certaine valeur d'une taxe, il y a des équilibres multiples et donc on ne peut pas prédire lequel va emporter. Tout cela fait très difficile la présentation graphique des résultats. Ainsi, quand il est possible, nous allons représenter sur un même graphique les valeurs d'une variable en fonction des changements des paramètres politiques, pour tous les équilibres possibles. Cette représentation présente l'avantage de visualiser non seulement les changements de structure socio-spatiale d'équilibre, mais aussi la différence entre ces équilibres.

Plusieurs formes de péage sont étudiées dans cette partie. La taxation du stationnement affecte tous les usagers des automobiles de même manière. Le péage linéaire consiste à taxer chaque véhicule en fonction de la distance parcourue dans la ville. Ainsi, ce péage fait une discrimination entre usagers, les ménages habitant en périphérie auront des charges plus élevées. Un péage zonal, comme celui introduit à Londres consiste à taxer tous les usagers qui rentrent dans la zone concernée par un même montant. Puisque dans notre modèle, seuls les déplacements centripètes sont pris en compte, ce péage affectera de même façon tous les usagers des transports privés, indépendamment de leur localisation. Ainsi, dans notre modèle cette taxe est identique à la taxation du stationnement.

Une autre forme de péage de congestion est le cordon. Ainsi, tout usager qui traverse le cordon payera la taxe, mais non ceux qui restent à l'intérieur ou à l'extérieur du cordon. Puisque notre modèle est composé par quatre zones et qu'au hyper-centre les transports sont ignorés, le cordon peut être localisé au centre, en banlieue ou en périphérie. Puisque tous les

ménages se déplacent forcément au hyper-centre, un cordon localisé au centre est synonyme à un péage zonal, ce qui signifie qu'il aura les mêmes effets que la taxation du stationnement.

Enfin, le dernier instrument analysé dans cette section est la taxation des carburants. Nous montrons que cet instrument s'avère inadapté pour réduire la congestion et la pollution dans un milieu urbain, parce que la part des coûts des carburants dans les coûts monétaires de la voiture est très faible.

4.7.1 Taxation du stationnement ou péage zonal

A cause de la prise en compte seulement des déplacements centripètes, la taxation du stationnement a le même effet qu'un péage zonal ou comme un péage de type cordon, localisé au centre. Partant de l'absence de taxe, nous allons commencer par taxer le stationnement avec un pas de 0,5€ par jour.

4.7.1.1 L'effet de la taxation du stationnement sur la structure spatiale d'équilibre

D'abord nous nous intéressons à l'impact des politiques de transports sur les configurations socio-spatiales d'équilibre. Comme nous le constaterons, l'introduction d'une taxation à différents niveaux, peut engendrer à long terme des changements de structure sociale de la ville. Le Tableau 4.1 présente l'effet de la taxation du stationnement sur la localisation d'équilibre des ménages riches et des ménages pauvres. Comme nous le constatons, il y a des changements structurels dans la ville au fur et à mesure de l'augmentation de la taxation du stationnement, mais aussi des équilibres multiples sont possibles, ce qui fait difficile une prédiction exacte des effets des politiques de transports urbains.

Tableau 4.1: Effet de la taxation du stationnement sur les configurations d'équilibre

Péage/jour	0	0,5-3,0	3,5-12,0	12,5-19	19,5-22,5	23	23,5-25	25,5-27
Equilibres	RRPP	PRPP	PRPP PPPP	PRPP PPPP PRRR	PRPP PPPP PRRR PRRP	PRPP PRRR PRRP	PRPP PRRR	PRRR

En partant du scénario de référence, pour une taxation nulle, la ville est complètement ségréguée, selon un schéma de type européen : les deux zones les plus centrales sont habitées par les ménages riches et les deux zones périphériques par les ménages pauvres. Pour des niveaux faibles de taxation du stationnement ($pg_0 = [0,5-3,0]$) la ville passe à un équilibre de type « PRPP », avec les ménages riches situés dans la première couronne résidentielle.

L'introduction d'une taxe de stationnement augmente les coûts monétaires des voitures privées, et donc une augmentation de l'usage des transports en commun. En échange le système de transports privés sera moins congestionné, ce qui implique des durées de déplacement et aussi de recherche de stationnement plus faibles. Par conséquent, puisque les ménages riches ont des valeurs du temps beaucoup plus élevées que les ménages pauvres, les riches sont moins « intéressés » de se localiser au hyper-centre, qui maintenant est habité par les pauvres.

Pour $pg_0 = [3,5-12,0]$, un équilibre supplémentaire apparaît, avec une ville entièrement pauvre. Cet équilibre est possible à cause de choix d'une modélisation d'une ville ouverte et d'un effet aditif de la pollution sur le niveau d'utilité des ménages. Ainsi, quand les niveaux de congestion sont faibles, la pollution émise est aussi très basse. Puisque, l'effet de la pollution s'ajoute au niveau d'utilité hors pollution, celui en diminuant, a comme conséquence une augmentation du rapport relatif des niveaux d'utilité des ménages riches et des ménages pauvres. Ce rapport est déterminant dans les enchères des deux catégories sociales, et ainsi, celles des ménages riches, seront plus faibles que les enchères des ménages pauvres. Entre ces deux équilibres possibles, nous ne pouvons pas prédire lequel va emporter.

Pour une taxation encore plus élevée ($pg_0 = [12,5-19,0]$), un nouveau équilibre apparaît, où le hyper-centre est pauvre, et toutes les couronnes résidentielles sont riches. Cette situation peut arriver, quand le système de transports en commun devient tellement congestionné, que même les ménages pauvres sont affectés. En échange, les durées de déplacement sont très faible en voiture, tandis que le coût monétaire est tres élevé. Avec des revenus et les valeurs du temps plus élevées, les ménages riches peuvent surenchérir les ménages pauvres dans les trois couronnes résidentielles. Par contre, puisque les ménages situés en hyper-centre ne se déplacent pas, celui-ci sera occupé par les ménages pauvres, selon les modèles classiques urbains.

Pour des valeurs $pg_0 = [19,5-22,5]$ une quatrième configuration d'équilibre est possible (« PRRP ») quand quasiment la totalité des ménages pauvres qui habitent la périphérie utilisent les transports en commun et la plus part des ménages riches situés en banlieue utilisent leur voiture. Pour des valeurs de la taxation du stationnement encore plus élevées, de moins en moins d'équilibres sont possibles et les résultats devient peu réalistes (par exemple, des superficie des logement au hyper-centre de quelques mètres carrés). D'abord c'est la configuration spatiale de type « PPPP » qui n'est plus un équilibre, puis la structure de type « PRRP » et enfin la configuration de type « PRPP ». La structure spatiale la

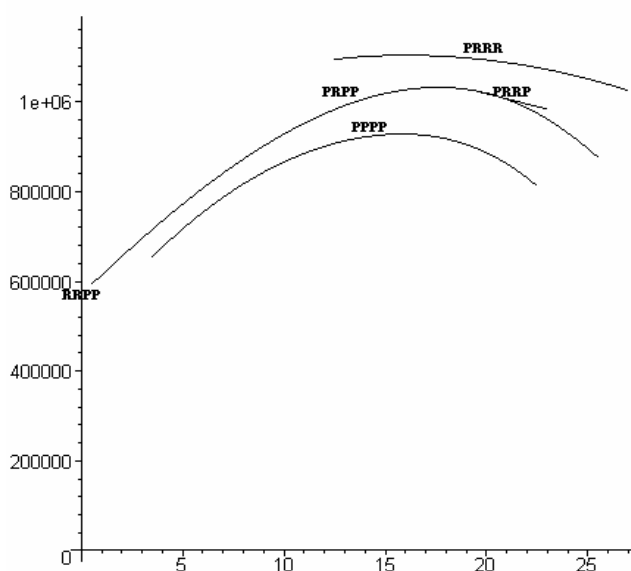
plus stable aux niveaux élevés de taxation du stationnement est caractérisée par un hyper-centre habité par les ménages pauvres et les trois couronnes résidentielles occupées par les ménages riches.

Nous constatons que l'effet immédiat de l'introduction de la taxation du stationnement est la « disparition » de l'équilibre typique européen (« RRPP »). Pour tous les niveaux de tarification (sauf des niveaux vraiment très faibles, inférieurs à 0,5€ par jour), le hyper-centre sera occupé par les ménages pauvres. Cela s'explique par le fait qu'une augmentation du coût monétaire de transports en voiture est synonyme avec une réduction de sa congestion et par conséquence les coûts généralisés de transport des ménages riches deviennent plus faible et donc ils sont moins « attirés » par les localisations hyper-centrales. Il faut nuancer ce phénomène parce que ce résultat est la conséquence du choix des paramètres : une valeur du temps des ménages riches un peu moins élevée aura comme effet une moindre sensibilité de la localisation hyper-centrale des ménages riches aux choix de tarification du planificateur.

4.7.1.2 L'effet de la taxation du stationnement sur l'efficacité économique

Dans la section précédente, nous avons exposé seulement l'impact de la taxation sur le schéma de localisation des ménages à équilibre, mais nous voulons analyser également l'impact de cette politique tarifaire sur l'efficacité de la ville. Nous faisons une analyse dans une optique de l'optimum de second-best, en considérant fixes tous les autres instruments. L'optimum partiel sera différent selon la structure socio-spatiale d'équilibre et donc nous ferons aussi une comparaison entre les équilibres possibles.

Figure 4.8: Effet de la taxation du stationnement sur le surplus



Le surplus de la ville est obtenu par la somme des surplus des propriétaires fonciers (la rente différentielle) et le surplus du planificateur. Les ménages ne tirent pas du surplus, parce que dans une modélisation de ville ouverte, leur niveau d'utilité à l'équilibre est fixe.

Dans la Figure 4.8, comme dans d'autres graphiques ultérieurs, nous allons représenter les courbes des valeurs de la variable endogène pour l'ensemble des configurations spatiales d'équilibre. Nous constatons d'abord que toutes les courbes sont concaves, et donc chaque équilibre possible a un point d'optimalité. On peut penser que le surplus atteint son maximum pour chaque type de configuration d'équilibre, parce qu'à partir d'un certain niveau de taxation il y a une baisse des recettes de la taxation, conséquence de la raréfaction des automobilistes (la hausse des coûts voitures induisant des reports vers les transports en commun). Cet effet contrebalance la hausse de la rente différentielle qui est pour l'essentiel la conséquence de la diminution de la pollution, qui renforce l'attractivité de la ville vis-à-vis de l'extérieur, permettant ainsi aux propriétaires fonciers d'augmenter fortement leurs prix en ville.

Tableau 4.2: Effet de la taxation du stationnement sur le surplus

Equilibre	Taxe stationnement	Surplus maximal
RRPP	0	100,00%
PRRR	16	192,29%
PRRP	19,5	178,27%
PRPP	17,5	179,80%
PPPP	16	161,69%

La configuration qui dégage le surplus maximal est de type « PRRR », avec un niveau de taxation du stationnement de 16€ par jour. Si on compte 8h de stationnement, cela fait un péage horaire de 2€, une valeur retrouvée dans les centres des villes françaises. L'équilibre de type européen (« RRPP ») présente le surplus le plus faible, parce que cet équilibre existe seulement quand il n'y a pas de taxation et donc le surplus est constitué seulement par la rente différentielle. Pour une configuration de type « PRRP », la taxe du stationnement qui maximise le surplus est de 19,5€ par jour, de 17,5 €/jour pour une configuration « PRPP » et de 16€/jour pour une ville entièrement pauvre. Nous constatons que les valeurs optimales de la taxe de stationnement sont proches entre les différentes structures sociales possibles. Le surplus est presque doublé par rapport à sa valeur initiale.

Pour mieux analyser les deux composantes du surplus, nous avons représenté simultanément le surplus et la rente différentielle par type d'équilibre dans la Figure 4.A.1.1 (reportée dans les Annexes 4.A.1). On représente graphiquement les valeurs du surplus et de la rente différentielle en fonction du niveau du coût du stationnement imputé à l'utilisateur.

Rappelons que la rente différentielle est égale à la rente totale (c'est à dire la recette totale issue de la location ou de la vente des logements) nette des coûts d'opportunité de la terre. Elle est donc assimilable au bénéfice des propriétaires fonciers. Nous n'avons pas représenté la rente totale car, la quantité de terre affectée au logement étant fixe dans ce scénario, le coût d'opportunité de la terre est fixe. En conséquence, les deux courbes de rente totale et de rente différentielle sont parallèles et une seule courbe suffit donc pour représenter les évolutions. Rappelons d'autre part que le coût marginal du stationnement est nul. En conséquence, le coût imputé à l'utilisateur est entièrement imputable aux taxes perçues par le planificateur.

L'équilibre de type européen « RRPP » apparaît seulement quand il n'y a aucune taxation du stationnement, et donc il n'y a pas d'évolution en fonction du niveau de taxation. Comme nous l'avons déduit précédemment, la rente différentielle augmente quasiment de façon linéaire, avec une pente plus élevée quand il y a plusieurs zones pauvres en se rapprochant de la rente différentielle dégagée par une ville avec plusieurs zones riches.

4.7.1.3 L'effet de la taxation du stationnement sur les coûts globaux de transports

Nous allons maintenant voir de manière plus précise d'où vient la contribution de la taxation à la formation du surplus. En taxant le stationnement, le planificateur local renchérit le coût de la voiture pour tous les usagers de celle-ci. Le résultat final n'est cependant pas une hausse des coûts de transport voiture de même niveau, comme on peut le voir sur les graphiques A.1.2-A.1.5 qui présentent l'évolution des coûts globaux de transport pour les deux modes et pour les habitants riches et pauvres des trois couronnes résidentielles.

D'abord nous présentons les coûts globaux, qui incorporent les coûts monétaires mais aussi de temps, pour les ménages riches et puis pour les ménages pauvres. Dans un même graphique sont représentées les coûts de transport de ménages riches pour toutes les configurations spatiales d'équilibre, même si dans certaines zones, ils ne sont pas présents. Ce graphique nous permet de savoir quel serait le coût de transport pour chaque mode si un ménage riche décide de se localiser dans une zone pauvre, les conditions de trafic restant identiques.

Comme montré dans la Figure 4.A.1.2, les coûts globaux d'un déplacement d'une zone plus éloignée de hyper-centre sont plus élevés que d'une zone plus centrale. Même si l'effet de l'augmentation n'est pas linéaire, nous constatons que l'évolution des coûts en voiture suit des trajectoires proches, indépendamment de la structure sociale d'équilibre. Ces différences entre évolution des tarifs et évolution des coûts globaux sont la conséquence des

reports d'une partie des usagers vers les transports en commun et des modifications de la congestion qui en résulte.

Ce phénomène est visible dans le graphique A.1.3 où on voit que les coûts de déplacement des transports en commun augmentent même si les coûts monétaires de ce mode reste inchangés. Cela s'explique donc par une augmentation du nombre d'usagers des transports publics et par conséquent une congestion plus forte pour ce mode de transport. L'augmentation des coûts des transports publics est de plus en plus faible, parce que le système devient saturé, et à partir d'un certain seuil de tarification, on constate même une diminution de ces coûts. A la première vue, on pouvait penser qu'il s'agit d'un retour vers l'usage de la voiture, mais le pourcentage d'usagers des transports en commun reste très élevé, proche de la totalité. L'explication est fournie quand on regarde les flux de voyageurs qui diminuent pour les deux modes de transport à partir d'un certain niveau de taxation. Cette réduction des flux arrive à cause de la réduction de la population, causée par une augmentation de la taille des logements, nécessaire pour contrebalancer les coûts de transport très élevés.

Pour les ménages pauvres, les coûts globaux en voiture augmentent presque linéairement avec la taxation du stationnement, parce qu'ils sont moins sensibles aux variations de la durée de déplacement (Figure 4.A.1.4). Par contre, dans la Figure 4.A.1.5 nous constatons que ce n'est pas la même évolution des coûts de transport en commun, même si sont des usagers avec une faible valeur du temps. Cela s'explique donc par une surcongestion du système des transports en commun et à partir d'un certain seuil une réduction des la population de la ville.

Une comparaison entre les coûts de déplacement par mode et par zone entre les deux classes nous montre les effets de la sensibilité plus élevée des ménages riches à la congestion. Ainsi, dans le cas des transports privés, pour les ménages pauvre le principal effet de la taxation du stationnement et l'augmentation des coûts monétaires. Au contraire, les ménages riches ont une valeur du temps plus élevé, et donc nous constatons une convergence des coûts globaux en voiture entre les deux classes. Dans le cas des transports en commun, l'effet est inverse : les coûts monétaires restent inchangés, mais à cause du report modal, le système de transports en commun devient très chargé et donc l'évolution des coûts des deux catégories est plus divergente.

Dans les graphiques suivants nous comparons les coûts de transports entre voiture privée et transports en commun, pour chaque catégorie de ménages et par type d'équilibre. Les graphiques prennent seulement les coûts par mode et par zone des configurations

d'équilibre quand la catégorie sociale analysée est réellement localisée dans la zone en question.

Les seules configurations d'équilibre où les riches habitent le centre (la première couronne résidentielle) sont présentées dans les premiers trois graphiques de la Figure 4.A.1.6. Pour des configurations spatiales de type « PRRR » et « PRRP » les coûts de transports des deux modes divergent en première couronne résidentielle, parce que l'augmentation de la partie monétaire réduite par la diminution de la congestion des déplacements en voiture est plus importante que l'effet congestion des transports en commun. C'est intéressante l'évolution des coûts de transports des ménages riches dans une configuration spatiale de type « PRPP ». Dans ce cas, les deux zones les plus éloignées de la ville sont habitées par les ménages pauvres et à cause de leurs revenus (et donc préférence pour le temps) ils utiliseront plus massivement les transports en commun. Déjà avec une faible tarification du stationnement, l'écart entre le coût de déplacement des riches en voiture et en transports en commun est très faible. Au fur et à mesure de l'augmentation de la taxation du parking, cet écart diminue en arrivant à une situation où les coûts des transports publics sont plus élevés que les transports privés. Bien évidemment, les coûts monétaires des transports publics restent inchangé, mais du au report modal, ils deviennent surcongestionnés, et donc les temps de déplacement sont très longs. On arrive à une situation où le système de transports publics devient tellement encombré, que si on augmente encore les coûts monétaires des transports en voiture, l'effet sera une réduction des flux de voyageurs pour tous les moyens de transport.

Quand les riches habitent en banlieue (configurations de type PRRR et PRRP) nous constatons les deux même tendances : divergences des coûts si la dernière zone est occupée par les riches et donc un plus faible nombre d'usagers des transports en commun et convergence si ce sont les pauvres qui habitent la périphérie. Quand les ménages riches habitent la dernière zone de la ville, leurs coûts globaux de déplacements en voiture augmentent plus vite que les coûts en transports en commun.

Dans le cas des ménages pauvres (Figure 4.A.1.7), qui sont moins sensibles à la durée de déplacement, dans toutes les configurations spatiales d'équilibre l'écart entre les coûts de déplacement en voiture et les transports publics augmente, due à l'augmentation de la taxation du stationnement au hyper-centre.

4.7.1.4 L'effet de la taxation du stationnement sur la répartition modale

Ces différences entre l'évolution des tarifs et l'évolution des coûts globaux de transport sont la conséquence des reports d'une partie des usagers vers les transports en commun et des modifications de la congestion qui en résultent.

Le graphique de la Figure 4.A.1.8. montre quelques tendances générales des effets de la taxation du stationnement sur la répartition des ménages entre les deux modes de transport : la hausse plus importante de coûts globaux de transport en voiture induit un report massif des usagers vers les transports en commun ; le pourcentage des usagers des transports en commun est plus élevé quand on se rapproche de hyper-centre ; ce pourcentage augmente quand il y a plus des zones qui sont habitées par les ménages pauvres ; enfin, avec des valeurs très élevées de la taxation du stationnement, quasiment la totalité des ménages sont usagers des transports publics. Nous allons analyser maintenant chaque type d'équilibre pour voir quelle configuration spatiale a les « bonnes propriétés » et lesquelles constituent des exceptions.

Les configurations « PRRR » et « PPPP » (figures A.1.8.a et d) présentent les propriétés annoncées antérieurement : un pourcentage des usagers des transports en commun plus élevé quand on se rapproche de hyper-centre, qui augmente avec l'augmentation de la taxation du stationnement, en se rapprochant de l'unité.

Un cas à part est l'équilibre de type « PRRP » (Figure 4.A.1.8.b). Ainsi, comme d'habitude, au centre la part des ménages qui prennent les transports est très élevé et augmente avec la taxation du stationnement. Mais, puisque le système de transports il est déjà très congestionné, la majorité des ménages riches qui sont localisés en banlieue vont utiliser la voiture. Les ménages pauvres situés en périphérie vont utiliser quasiment en totalité les transports en commun parce que le coût monétaire de la voiture est trop élevé (cet équilibre existe à partir d'une taxation du stationnement élevée).

Un autre cas intéressant est l'équilibre de type « PRPP » (Figure 4.A.1.8.c). Pour une taxation faible, nous partons d'une répartition modale relativement habituelle (plus en s'éloigne de hyper-centre, plus la part des ménages qui sont usagers des transports en commun diminue), avec des valeurs plutôt faibles. Avec l'augmentation du prix des déplacements en voiture, au lieu d'avoir un report modal vers les transports dans toutes les zones, nous constatons une baisse de l'usage des transports publics au centre. Cela s'explique par le fait que c'est zone est la seule habitée par des ménages riches qui ont une valeur du temps très élevée. Puisque dans les autres deux zones de la ville, la proportion des ménages usagers des transports en commun augmente, la congestion de ce système augmente fortement. Par conséquent, les riches habitant le centre, vont se reporter vers la voiture,

même si son coût monétaire augmente. A partir d'un certain seuil où la grande majorité des ménages pauvres utilisent les transports en commun, l'effet revenu va emporter sur l'effet temps et la part des ménages riches usagers des transports en commun augmentera aussi. Ainsi, nous constatons que dans certains cas, l'application d'un péage destiné à augmenter le prix d'usage de la voiture peut avoir un effet pervers et déterminer une augmentation de l'usage de la voiture dans certaines zones de la ville.

Si on regarde le flux par mode de transport (Figure 4.A.1.9.) nous constatons que l'introduction de la taxation a comme conséquence la diminution du flux des voitures et une augmentation du flux des transports en commun. Mais dans certaines situations le flux des transports en commun diminue à partir d'un certain niveau de taxation sans avoir en contrepartie une augmentation du flux total des voitures. Cela signifie qu'un autre effet apparaît : à partir d'un certain seuil de taxation, une augmentation supplémentaire détermine une diminution du nombre de ménages, et donc une augmentation de leurs superficie des logements, comme contrepartie de l'augmentation des coûts de transport.

4.7.1.5 L'effet de la taxation du stationnement sur la congestion des deux modes de transport

L'effet immédiat de ce report modal est évidemment de modifier les niveaux de congestion. La faiblesse du nombre d'usagers de la voiture fait quasiment disparaître la congestion routière et les durées de déplacement par ce mode de transport sont proches du minimum et les vitesses de maximum. A l'opposé, en se reportant massivement vers les transports en commun, les usagers des trois couronnes résidentielles y augmentent fortement la congestion et les durées de déplacement.

Dans les figures 4.A.1.10 et 4.A.1.11 sont représentées graphiquement les durées de déplacements à partir de chaque zone de la ville, pour les transports privés et publics. Les durées de déplacements en voiture diminuent au fur et à mesure de l'augmentation de la taxation du stationnement, dans toutes les zones et pour tous les équilibres possibles, ce qui confirme le report modal vers les transports en commun.

La conséquence de ce report modal vers les transports en commun est l'augmentation de la durée de déplacement de ce mode de transport (Figure 4.A.1.11). On constate qu'à partir d'un certain seuil de taxation, pour une partie des configurations d'équilibres, la durée de déplacement par les transports publics diminue, ce qui signifie que le système de transports publics il est tellement encombré qu'une augmentation de la taxation détermine une réduction de la population, ce qui diminuent les flux de voyageurs.

En termes de vitesses moyennes de déplacement les effets seront inverses : une augmentation de la vitesse de déplacement en voiture, à cause de la diminution de la congestion du système routier et une diminution de la vitesse de déplacement des transports en commun. Comme on le voit dans la Figure 4.A.1.12, au centre l'augmentation de la vitesse de déplacement des voitures est très importante par rapport à la baisse de la vitesse des transports en commun. En banlieue et périphérie les vitesses des voitures arrivent près de leur niveau maximal sans congestion (50 km/h).

4.7.1.6 L'effet de la taxation du stationnement sur les coûts moyens de déplacement

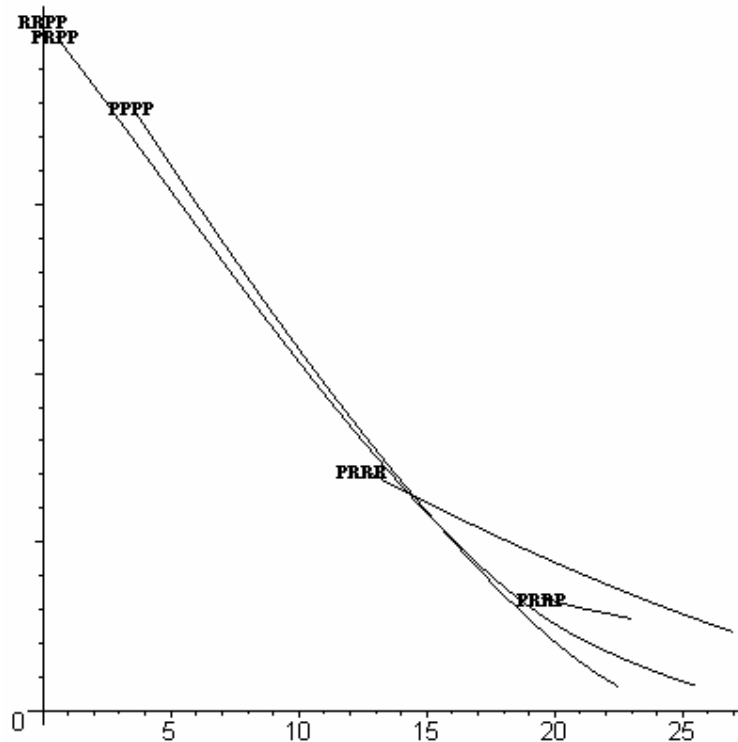
Ce sont ces évolutions des durées de déplacement qui, intégrées aux coûts globaux de transports en utilisant la valeur du temps, expliquent les observations faites plus haut sur les figures 4.A.1.2-4.A.1.8.

Bien que non affectés par la taxation, les transports en commun voient leur coût augmenter en raison de l'augmentation des durées de déplacement induite par une congestion plus élevée, conséquence du report des usagers suite au renchérissement des coûts de la voiture. Bien qu'affectés directement par la taxation, les usagers de la voiture particulière ne voient pas leur coût global de transport augmenter autant que cette dernière car ils bénéficient du raccourcissement des durées de déplacement, grâce à la faiblesse de la congestion dans un réseau routier que beaucoup d'usagers ont quitté. Comme les coûts de déplacement ont augmenté pour la voiture comme pour les transports en commun, on ne sera pas surpris qu'il en soit de même des coûts moyens. Quand même nous constatons que dans certains cas, à partir d'un niveau élevé de taxation du stationnement, une augmentation de cette taxation se traduit par une baisse des coûts moyens des ménages riches (Figure 4.A.1.13.). Cela s'explique par la forte réduction de la durée du trajet qui emporte sur l'effet direct monétaire. Pour les ménages pauvres, l'augmentation du coût moyen est quasiment linéaire avec l'augmentation de la taxation du stationnement (Figure 4.A.1.14).

4.7.1.7 L'effet de la taxation du stationnement sur l'environnement et la consommation énergétique

L'affaiblissement de la circulation automobile a pour effet de diminuer fortement le niveau de la pollution et la consommation de carburants. Même si la modélisation de la pollution émise et de la consommation des carburants n'est pas identique, nous avons constaté que les deux dimensions écologiques sont très liées et connaissent la même évolution. Ainsi, dans la Figure 4.9 nous avons représenté seulement l'évolution du niveau de pollution en fonction de la taxation du stationnement :

Figure 4.9 : Effets de la taxation du stationnement sur la pollution



La diminution de la pollution et de la consommation totale des carburants est le résultat d'un triple effet de la taxation. D'abord, l'augmentation des coûts monétaires de déplacement en voiture détermine une réduction du trafic automobile, ce qui a comme effet direct la diminution de la pollution. Le deuxième effet est la réduction du nombre d'habitants de la ville, comme résultat de l'augmentation de la taille des logements, nécessaire pour que les ménages aient le même niveau d'utilité. Il y a un troisième effet indirect, qui arrive à cause de la réduction de la congestion (augmentation de la vitesse de déplacement) et donc une réduction de la consommation et de la pollution moyenne par kilomètre parcouru. Ce graphique montre l'efficacité écologique de la taxation du stationnement, puisque aux niveaux de taxation optimale (où le surplus est maximisé) nous obtenons en moyenne un niveau de consommation des carburants très faibles par rapport au niveau sans taxation.

Si on regarde le niveau de pollution à un niveau efficace de taxation on constate la forte réduction de la pollution par rapport à la situation sans taxation : un rapport du niveau de pollution inférieur à 30%, quelle que soit la configuration d'équilibre. Nous constatons que généralement, plus il y a des zones riches (synonyme d'une utilisation plus intense de la voiture) plus le niveau de pollution est élevé.

Tableau 4.3: Niveaux de pollution pour une taxation optimale du stationnement

Equilibre	Taxe stationnement	Taux Pollution
RRPP	0	100,00%
PRRR	16	28,37%
PRRP	19,5	16,49%
PRPP	17,5	19,63%
PPPP	16	24,69%

Bien évidemment l'optimum écologique serait une pollution nulle. Ainsi, toute augmentation supplémentaire de la taxation du stationnement aura comme effet une réduction du trafic automobile et donc une diminution du niveau de pollution dans la ville. A cause de ces raisons, pour cet instrument comme les autres instruments tarifaires d'intervention publique, l'optimum écologique est atteint quand il y a un trafic automobile nul, ce qui signifie une taxation infinie.

4.7.1.8 L'effet de la taxation du stationnement sur les enchères des deux catégories sociales

Avant d'analyser le marché foncier, nous étudions d'abord l'effet de la taxation du stationnement sur les enchères des deux catégories sociales, en sachant que le plus fort enchérisseur occupera une localisation donnée et l'enchère la plus élevée donnera le prix réel du foncier. Les enchères seront influencées par deux effets opposés et nous ne pouvons pas prédire lequel sera le plus fort. Il y a une tendance de réduction directe à cause de la diminution des revenus nets des coûts de transports, mais dans le même temps la réduction de la pollution fait toutes les localisations plus attractives.

L'introduction et la majoration d'une taxe de stationnement ont comme impact la diminution de l'usage de l'automobile et donc de la pollution, ce qui fait le hyper-centre plus attractif. Cela implique une augmentation des enchères des deux catégories sociales. Bien évidemment, puisque le seul équilibre avec le hyper-centre occupé par les riches existe quand il n'y a pas de taxation, dans cette zone, toute augmentation de la taxation a comme conséquence une augmentation plus forte des enchères des ménages pauvres par rapport aux ménages riches et donc une occupation des ménages pauvres.

Nous allons analyser l'évolution des enchères selon la configuration spatiale d'équilibre pour chaque zone. L'équilibre de type « PRRR » (Figure 4.A.1.15.a) apparaît seulement à une forte taxation du stationnement. Toute augmentation supplémentaire du péage du stationnement provoque une diminution des enchères des deux catégories, dans toute la ville. L'écart entre les deux enchères augmente en faveur des ménages riches. Ainsi cet

équilibre est stable, même pour des valeurs de plus en plus élevées de la taxation des parkings.

Dans le cas d'un équilibre de type PRPP (Figure 4.A.1.21.c) une augmentation de la taxation du stationnement a comme effet d'abord un rapprochement des enchères des deux catégories au centre et puis une divergence de plus en plus forte. En banlieue, habitée par les ménages pauvres, le renforcement de la taxation du stationnement augmente d'abord l'écart entre les enchères pauvres et les enchères riches, surtout par une forte diminution des enchères des ménages riches. A partir d'un certain seuil, la tendance est renversée et les deux enchères se rapprochent. Pour toute taxation supplémentaire à un certain niveau maximal, cet équilibre n'est plus possible parce que les enchères des pauvres deviennent plus faibles dans cette zone que celles des ménages riches. La même évolution des deux enchères se produit en périphérie, mais l'écart entre les enchères des deux catégories reste assez important.

Cette évolution s'explique la répartition modale des deux catégories en fonction du niveau de taxation. Ainsi, le nombre des riches (situés en première couronne résidentielle) qui utilisent les transports en commun réduit avec l'augmentation de la taxation. Par contre, les ménages pauvres les utilisent de plus en plus intensivement. En sachant que les pauvres ont des valeurs plus faibles du temps, la conséquence est que les deux zones les plus périphériques deviennent plus attractives pour les ménages pauvres par rapport aux ménages riches. Mais, à partir d'un certain seuil, quand le système de transports publics devient saturé, leurs enchères diminuent fortement par rapport aux celles des ménages riches, ce qui détermine un rapprochement des deux fonctions d'enchères.

Le même type de phénomène s'applique aussi pour une ville entièrement pauvre (Figure 4.A.1.15.d) : au début l'écart entre les enchères des pauvres et des riches est très faible dans toutes les zones, puis il augmente, et à partir d'un certain seuil il se réduit jusqu'à ce que les enchères sont quasiment égales en première couronne résidentielle. A partir de ce point, ce type de structure socio-spatiale ne peut plus être un équilibre, parce que les enchères des ménages riches deviennent plus élevées, d'abord au centre, et puis en banlieue et périphérie.

Le dernier équilibre possible « PRRP » (Figure 4.A.1.15.b) existe seulement pour un petit intervalle de valeurs élevées de taxation du stationnement. Au centre, il y a un mouvement habituel, par la réduction des enchères des deux catégories sociales, avec une pente plus élevée pour les ménages pauvres. En banlieue, les enchères des ménages pauvres diminuent, mais celles des ménages riches augmentent. Cela s'explique par le fait que pour les ménages riches, l'augmentation supplémentaire du coût monétaire de déplacement en voiture entraîne une forte baisse de la congestion et en total leur coût de déplacement en

voiture diminue. Par conséquent, puisque la grande majorité des ménages riches de la banlieue utilisent la voiture, leurs enchères augmentent. En périphérie habitée par les ménages pauvres, nous avons la même tendance qu'en banlieue, avec la différence qu'au départ ce sont les pauvres qui ont des enchères supérieures aux riches. Les enchères des riches augmentent et celles des pauvres diminuent, ce qui fait que cette configuration n'est plus un équilibre à partir d'un certain niveau de taxation.

Nous constatons également que les différences des enchères des riches entre zones sont plus importantes que pour les ménages pauvres. Cela s'explique par leur valeur du temps plus élevé, qui affectent plus les coûts de transport généralisé, et par conséquent leur fonction d'enchères.

4.7.1.9 L'effet de la taxation du stationnement sur le marché foncier

La variation des prix fonciers est déterminée par le jeu spécifique des deux forces que sont la baisse de la pollution, qui pousse à la hausse, et la variation des coûts de transport qui, suivant les cas, pousse également à la hausse ou au contraire est facteur de baisse. Comme effet constant, c'est toujours l'augmentation des prix fonciers au hyper-centre, parce que cette zone est influencée seulement par la baisse de la pollution, puisque les ménages habitant cette zone ne font pas de déplacement dans la ville.

Le prix du logement dans chaque zone est le maximum des enchères des deux catégories sociales. Par conséquent, l'évolution des fonctions d'enchères déterminera le comportement du prix foncier par rapport à l'évolution de la taxation du stationnement. L'effet général sera une forte augmentation des prix foncier au hyper-centre et une diminution dans toutes les autres zones. Ce phénomène s'explique par le fait que la seule zone qui n'est pas affectée par l'augmentation des coûts de transport est le hyper-centre et elle bénéficie de la diminution du niveau de pollution. Par conséquent, son attractivité relative aux autres zones de la ville augmente. Dans les couronnes résidentielles, l'augmentation des coûts de transports détermine une diminution du prix foncier.

L'augmentation des coûts de transport par l'introduction d'une taxe sur le stationnement a un impact non seulement sur les prix fonciers, mais aussi sur la taille des logements (Figure 4.A.1.16.). Le premier constat est que si deux zones voisines sont habitées par la même classe sociale, toujours dans la zone la plus éloignée de hyper-centre les logements sont d'une taille plus large. Ce fait correspond à la théorie urbaine standard : afin de contrebalancer l'augmentation des coûts de transport par une localisation plus périphérique, les ménages ont besoin d'une surface de logement plus importante à un prix

unitaire plus faible. Ce schéma n'est pas respecté si deux zones voisines ne sont pas habitées par la même catégorie de ménages. Ainsi, si les riches habitent dans la zone plus centrale, il est possible que leurs logements soient plus larges que les logements des ménages pauvres qui habitent une zone plus périphérique. Ce phénomène existe aussi en réalité, quand les périphéries sont pauvres, de type cité.

C'est difficile de prédire exactement l'impact de l'introduction d'un péage de stationnement sur les superficies des logements à cause de deux raisons. D'abord l'augmentation du coût monétaire des transports en voiture n'est pas forcément accompagné par une augmentation des coûts de transport généralisé et deuxièmement, une réduction de la congestion est accompagnée par une diminution de la pollution ce qui affecte les niveaux d'utilité des ménages à l'équilibre.

Pour une localisation d'équilibre de type « PRRR » (Figure 4.A.1.16.a), la taille des logements diminue légèrement au hyper-centre et augmente dans les couronnes résidentielles. Plus la zone est excentrée, plus la taille des logements est grande. Pour une configuration « PRRP », nous constatons des logements plus grands au centre et banlieue, où habitent les riches, par rapport à la périphérie pauvre, quel que soit le niveau de taxation du stationnement au hyper-centre. Dans les zones riches, la taille des logements augmente, tandis que dans les zones pauvres elle diminue légèrement. Pour les configurations de type « PRPP » et « PPPP », dans les couronnes résidentielles pauvres, l'augmentation de la taxation du stationnement se traduit dans un premier temps par une baisse de la surface des logements et puis par une augmentation.

4.7.1.10 L'effet de la taxation du stationnement sur le nombre d'habitants

La variation des prix fonciers a pour corollaire non seulement une variation de la superficie occupée par les ménages, mais aussi une variation du nombre d'habitants, qu'on observe dans les figures 4.A.1.17.

La superficie occupée par chaque ménage diminue nettement au hyper-centre, y faisant augmenter fortement le nombre d'habitants. La forte croissance des prix a conduit les ménages qui y logent à diminuer leur consommation de logement, permettant à de nouveaux habitants de venir de l'extérieur. Du côté des trois couronnes résidentielles, les superficies occupées et le nombre d'habitants varient beaucoup moins, ce qui était prévisible étant donné la plus faible amplitude de la variation des prix. La légère croissance de ces derniers induit d'abord, comme au centre, une légère baisse des superficies occupées et une légère croissance de la population. L'évolution s'inverse autour de l'optimum car l'effet de la baisse de la

pollution dominant à ce stade celui de la hausse des coûts de transport, le mouvement des prix s'est inversé.

La diminution de la population dans les trois couronnes résidentielles qui sont génératrices de déplacements aura un effet supplémentaire dans la réduction de la congestion et de la pollution dans la ville.

En résumé, la taxation du seul stationnement a des effets qui peuvent fortement varier en fonction de la structure socio-spatiale d'équilibre. Comme caractéristique générale, cette taxation a pour conséquence de renchérir l'ensemble des coûts de transport dans une ville où les usagers ont basculé fortement vers les transports en commun. Dans certain cas, on peut avoir quand même un effet pervers pour certaines zones de la ville, où à partir d'un certain niveau de taxation, toute augmentation entraîne une réorientation vers l'usage de voiture privée.

De ce fait, la pollution et la consommation énergétique ont fortement diminué, le hyper-centre est beaucoup plus attractif, le bilan étant balancé en périphérie du fait des conséquences contradictoires de la hausse des coûts de transport et de la baisse de la pollution. En conséquence, la ville est plus peuplée, en particulier au hyper-centre, et de ce fait plus compacte. Le surplus plus important qu'elle dégage est pour l'essentiel la conséquence de cette baisse de la pollution dont les propriétaires fonciers captent la valeur grâce à la hausse des prix du logement, d'où une forte augmentation de la rente différentielle. Au voisinage de l'optimum, cette hausse est contrebalancée par l'affaiblissement de la circulation automobile, sur laquelle dans ce scénario repose surtout la taxation.

4.7.2 Péage de congestion linéaire

Le péage de congestion linéaire (*flat toll*) ou le péage par unité de distance fixe a été envisagé au Pays-Bas mais n'est pas encore appliqué. Il consiste à taxer les usagers d'un système routier urbain, en fonction de la distance parcourue, avec un taux par kilomètre fixe. Puisque les seuls déplacements pris en compte sont les déplacements allers-retours au hyper-centre, le péage supporté par un usager pour traverser la zone x est $péage(x) = 2n_{trip}\tau_{flat}d(x)$, où n_{trip} est le nombre moyen d'allers-retours dans la période, τ_{flat} est le péage fixe par unité de distance (km) et $d(x)$ est la distance parcourue. Nous faisons l'hypothèse que la distance $d(x)$ est égale à la distance totale de la zone x .

Comme dans le cas d'une taxation du stationnement, nous partons d'une situation sans intervention publique $\tau_{flat} = 0$ et on introduit le péage, en l'augmentant avec un pas de 0,25€ par kilomètre.

4.7.2.1 L'effet du péage linéaire sur la structure spatiale d'équilibre

Comme dans le cas de la taxation du stationnement, l'introduction d'un péage par kilomètre parcouru a comme effet direct la disparition de l'équilibre de type européen « RRPP ». Par rapport à la tarification du stationnement, nous constatons que les équilibres possibles sont plus sensibles au niveau de péage, puisqu'il y a plus de configurations spatiales qui peuvent être un équilibre et elles varient fortement par rapport à la valeur du péage.

Tableau 4.4: Effet du péage linéaire sur les configurations d'équilibre

Péage	0	0,25-0,50	0,75-3,00	3,25-4,25	4,5-4,75	5,00-6,00	6,25	6,50-6,75	7,00-8,50
Equilibres	RRPP	PRPP	PPPP	PPPP PPRR	PPPP PPRR PRRR	PPPP PPRR PRRR PPPR	PPPP PPRR PRRR	PPRR PRRR	PRRR

En absence de péage, le seul équilibre possible (qui correspond au scénario de référence) est de type européen « RRPP ». Pour des valeurs faibles $\tau_{flat} = [0,25 - 0,50]$ la ville passe à un équilibre de type « PRPP ». Ainsi, la seule modification de structure est le changement de la catégorie qui habite en hyper-centre. Maintenant cette zone est occupée par les ménages pauvres, parce que pour les ménages riches l'introduction du péage détermine une diminution de la congestion du système de transports privés et donc une réduction de l'écart entre les coûts de transport généralisés.

Pour un péage unitaire de $\tau_{flat} = [0,75 - 3,00]$ la ville est entièrement habitée par les ménages pauvres. La réduction de la congestion n'est pas suffisante pour contrebalancer l'augmentation des coûts monétaires en voiture. Puisque les ménages riches sont plus sensibles aux durées de déplacement, ils voient leurs coûts de transport généralisés augmentés, tandis que les ménages pauvres se reportent massivement sur les transports en commun, dont le coût monétaire reste inchangé. Par conséquence, les enchères des pauvres seront supérieures aux enchères des ménages riches dans toutes les localisations.

Si le péage passe à un intervalle $\tau_{flat} = [3,25 - 4,25]$, un nouveau équilibre apparaît, avec une structure typique américaine : « PPRR ». Nous arrivons à une situation où la

congestion a tellement diminué, que les ménages riches ont l'intérêt de se localiser dans les deux couronnes les plus périphériques de la ville. Selon la théorie économique urbaine, une telle structure sociale apparaît quand l'écart entre les coûts de transport des ménages riches et des ménages pauvres est faible. Cela signifie que maintenant l'effet réduction congestion est significatif.

Plus on augmente la valeur unitaire du péage, plus d'équilibres apparaissent, mais toutes caractérisées par une localisation centrale des ménages pauvres et une localisation périphérique des ménages riches. Ce qui change c'est le nombre des zones occupées par chaque catégorie. Ainsi pour $\tau_{flat} = [4,50 - 4,75]$ la configuration d'équilibre supplémentaire est « PRRR » et pour $\tau_{flat} = [5,00 - 6,00]$ est « PPPR ».

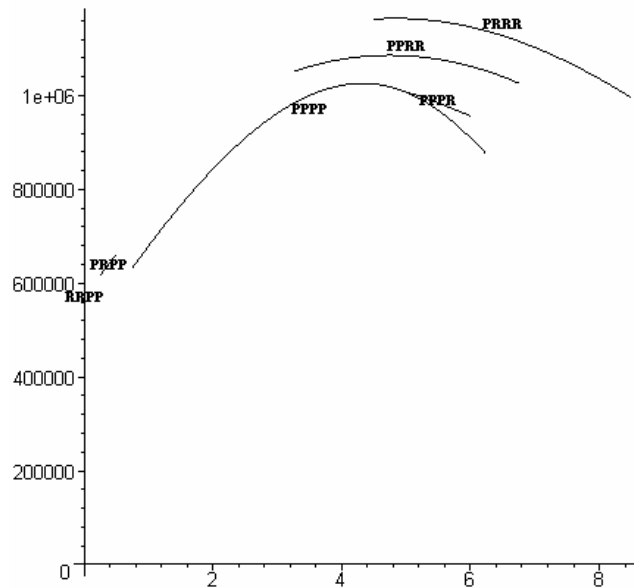
Par rapport à la taxation du stationnement, nous constatons que l'équilibre de type « PRRP » n'est plus possible, mais en échange deux nouvelles configurations ont apparu : « PPPR » et « PPPR ». Ces différences s'expliquent par le fait que le coût du stationnement est le même pour tous les usagers, quelle que soit la distance parcourue, tandis que le péage linéaire dépend de la distance parcourue. Une autre remarque entre les deux instruments est que pour une taxation très élevée, dans les deux cas le seul équilibre qui reste stable est « PRRR ».

Une augmentation supplémentaire du péage urbain détermine une disparition de certains équilibres, d'abord la structure « PPPR » pour $\tau_{flat} = 6,25$ et « PPPP » pour $\tau_{flat} = [6,50 - 6,75]$. Pour $\tau_{flat} \geq 7$ le seul équilibre possible est « PRRR ». On arrête les simulations pour des valeurs supérieures à 8,50, parce que déjà les résultats sont de moins en moins réalistes et le point d'optimum est déjà dépassé pour toutes les configurations possibles.

4.7.2.2 L'effet du péage linéaire sur l'efficacité économique

Comme le montre la Figure 4.10, le surplus dégagé par la ville connaît une évolution concave quelle que soit la configuration d'équilibre. La configuration européenne « RRPP » existe seulement quand il n'y a pas de péage, donc par conséquence la valeur optimale du péage est nulle. L'équilibre de type « PRPP » existe seulement dans la partie croissante du surplus et le niveau optimal du péage sera sa valeur maximale possible. La configuration « PPPR » apparaît seulement quand la taxation est importante et toute augmentation du péage détermine une réduction du surplus. Par conséquence pour ce type d'équilibre, le péage optimal sera égal à sa valeur minimale possible.

Figure 4.10: Effet du péage linéaire sur le surplus



Comme dans le cas d'un péage du stationnement, la configuration la plus efficace est de type « PRRR ». On constate que l'effet sur le surplus du péage zonal est légèrement supérieur à la tarification du stationnement, en arrivant même à augmenter le surplus plus que le double par rapport à la situation sans intervention publique. Pour toutes les configurations spatiales qui constituent un équilibre pour un intervalle assez important de taxation, les niveaux optimaux de péage sont très proches.

Tableau 4.5: L'effet du péage linéaire sur le surplus

Equilibre	Niveau péage	Surplus Maximal
RRPP	0	100,00%
PRRR	4,75	202,82%
PRPP	0,5	115,15%
PPRR	4,75	189,14%
PPPR	5	175,49%
PPPP	4,25	178,72%

Si on regarde l'évolution simultanée de la rente différentielle et du surplus (Figure 4.A.2.1), nous constatons des évolutions différentes, selon la configuration spatiale d'équilibre. Dans le cas des structures de type « PRRR », « PPPR » et « PPPP », le surplus varie surtout à cause de la variation du surplus du planificateur, la rente différentielle restant relativement constante. Le surplus du planificateur connaît une évolution concave, parce que dans un premier temps l'augmentation du péage détermine une croissance des recettes, mais à partir d'un certain seuil, l'effet raréfaction des usagers de l'automobile emporte. La configuration « PRPP » existe seulement pour des valeurs faibles de la taxation et par

conséquence le surplus augmentera plus vite que la rente différentielle. La configuration « PRRR » est un équilibre seulement dans la partie décroissante des courbes du surplus et de la rente différentielle.

4.7.2.3 L'effet du péage linéaire sur les coûts globaux de transports

Puisque le péage linéaire a comme résultat, comme la taxation du stationnement, une augmentation des coûts monétaires de l'usage de voiture pour tous les ménages, ces effets seront vraisemblables.

Pour les ménages riches, les coûts globaux de déplacement en voiture augmentent (Figure 4.A.2.2), mais moins vite que l'augmentation du péage, parce que il y aura un effet de réduction de la congestion, ce qui implique des coûts de temps plus faibles. Par contre, le coût de transport en commun (Figure 4.A.2.3) augmente à cause du report modal vers ce mode de transport. Puisque les ménages riches sont très sensibles à la valeurs du temps, l'augmentation des coûts de transports publics est très forte, jusqu'à un seuil ou le système est saturé. Après, ils commencent même à diminuer, ce qui signifie qu'il y a une baisse du nombre de ménages présents dans la ville.

Puisque les ménages pauvres ont une valeur du temps plus faible, leur coût de transport en voiture augmentent plus vite (Figure 4.A.2.4), à cause de l'augmentation de son coût monétaire, qui est moins réduit par la valeur du gain de temps des trajets. Les coûts généralisés en transports publics connaissent la même évolution que pour les ménages riches, mais d'une ampleur plus faible (Figure 4.A.2.5).

4.7.2.4 L'effet du péage linéaire sur la répartition modale

Le pourcentage d'usagers des transports en commun par type d'équilibre est présenté dans la Figure 4.A.2.6. Habituellement, la part modale des transports en commun diminue quand on s'éloigne de hyper-centre.

Dans une configuration d'équilibre de type « PRRR » (Figure 4.A.2.6.a) nous constatons une répartition modale inverse : plus un ménage est localisé vers la périphérie, plus il y a des chances qu'il prends les transports en commun. C'est exactement le contraire de l'effet de la tarification du stationnement. Ce phénomène s'explique par la variabilité des coûts monétaires des transports privés. Ainsi, pour un ménage situé en périphérie, quand le péage par kilomètre est assez élevé, les coûts sont beaucoup plus élevés que pour un ménage qui habite au centre. Par conséquence, la distance est un facteur qui favorise l'utilisation des transports en commun.

Dans la configuration « PRPP » (Figure 4.A.2.6.b), pour un péage faible, nous avons une répartition modale habituelle, mais avec son augmentation, on retrouve la tendance expliquée juste avant : la part des usagers des transports en commun augmente en périphérie et banlieue, tandis qu'elle diminue au centre.

Pour un équilibre de type « PPRR » (Figure 4.A.2.6.c), au centre nous avons un pourcentage des usagers des transports en commun élevé, parce que ce sont les pauvres qui habitent cette zone. Dans les deux zones les plus excentrées, la part des transports en commun est plus faible, puisque les riches ont des gains importants en termes de temps, mais l'effet coût variable par distance joue encore, elle étant plus élevée en périphérie qu'en banlieue.

Dans le cas d'une structure « PPPR » (Figure 4.A.2.6.d), dans les premières deux couronnes résidentielles les pauvres sont quasiment en totalité des usagers des transports en commun. Par conséquence, ces transports deviennent sur-congestionnés et par la suite quasiment la totalité des ménages riches habitant la périphérie vont prendre la voiture. Enfin, s'il y a que des ménages pauvres dans la ville, il n'y a pas un différentiel des valeurs du temps qui peut jouer sur la répartition modale et nous retrouvons seulement l'effet distance habituel.

4.7.2.5 L'effet du péage linéaire sur la congestion des deux modes de transport

Ce report modal va changer les niveaux de congestion de chaque mode de transport. Sauf une exception, la part modale des usagers des transports en commun augmente dans toutes les zones de la ville. Comme dans le cas de la taxation du stationnement, l'introduction et la majoration du péage auront donc comme effet une diminution générale des temps de déplacement en voiture et de recherche de stationnement (Figure 4.A.2.7). Les durées de déplacement par transports en commun (Figure 4.A.2.8.) connaissent la même évolution concave que dans le cas de la taxation du stationnement.

Une analyse des vitesses de déplacement (Figure 4.A.2.9) montre l'effet joué par le péage sur les vitesses moyennes de déplacement. Ainsi, avec l'augmentation du péage c'est de plus en plus rapide de se déplacer en voiture et plus lent de se déplacer par transports en commun. Quasiment toutes les courbes qui expriment le lien entre la vitesse et le péage ont une forme convexe, sauf quand les vitesses se rapprochent de la limite maximale, de 50km/h. Généralement, plus il y a des zones pauvres, plus les transports en commun sont lents et les transports privés rapides.

4.7.2.6 L'effet du péage linéaire sur les coûts moyens de déplacement

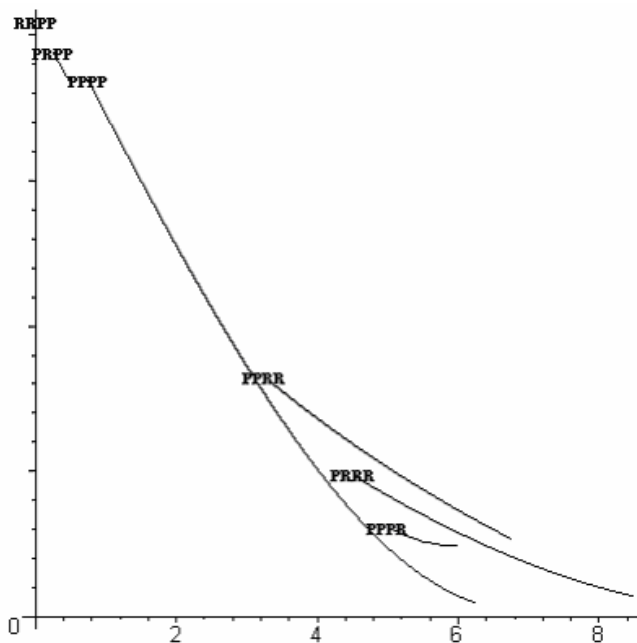
Pour les ménages riches, comme on le voit dans la Figure 4.A.2.10, l'augmentation du coût monétaire de déplacement en voiture n'est pas synonyme d'une augmentation linéaire

des coûts moyens de déplacement, parce qu'il y a une réduction de la congestion. Nous constatons que pour des valeurs très élevées du péage, les coûts moyens peuvent devenir même décroissants. Pour les ménages pauvres, qui sont moins sensibles aux durées de déplacement, les coûts augmentent presque linéairement avec le péage (Figure 4.A.2.11).

4.7.2.7 L'effet du péage linéaire sur l'environnement et la consommation énergétique

Dans la Figure 4.11, nous constatons que le péage de congestion linéaire a comme effet une réduction de la consommation de carburants de la pollution. Ce phénomène arrive à cause des trois facteurs : raréfaction des usagers d'automobiles par un report modal vers les transports un commun, réduction du nombre des ménages dans les couronnes résidentielles et diminution de la pollution émise et de la consommation de chaque véhicule dans le trafic par une amélioration des vitesses de déplacement. Comme on s'attendait, plus il y a des riches dans la ville, plus la pollution est élevée, parce que c'est cette catégorie de ménages qui est plus usagères des automobiles. L'optimum économique ne coïncide avec l'optimum écologique, qui serait une pollution nulle, donc un trafic automobile nul.

Figure 4.11 : Effets du péage linéaire sur la pollution



Comme la taxation du stationnement, le péage linéaire s'avère un instrument pertinent pour la réduction de la pollution. Ainsi, par rapport à une situation sans intervention publique, le niveau de pollution à une taxation optimale peut atteindre des valeurs très faibles (Tableau

4.6). Le seul équilibre qui reste à un niveau de pollution très élevé est de type « PRPP », parce qu’il existe seulement pour une très faible taxation de congestion.

Tableau 4.6: Niveaux de pollution au niveau efficace de péage linéaire

Equilibre	Péage unitaire	Taux Pollution
RRPP	0	100,00%
PRPP	4,75	22,09%
PRRR	0,5	89,54%
PPRR	4,75	27,06%
PPPP	5	15,05%
PPPR	4,25	21,09%

4.7.2.8 L’effet du péage linéaire sur les enchères des ménages

La comparaison des enchères des deux catégories sociales nous permet de vérifier et de comprendre l’existence des différentes configurations d’équilibres. Dans le cas d’une structure de type « PRRR » (Figure 4.A.2.12.a), pour un péage unitaire inférieur à 4,5 euros par kilomètre (qui est la limite inférieure du péage qui permet l’existence de cet équilibre), les enchères des ménages pauvres sont supérieures aux enchères des ménages riches et donc cette zone n’est plus habitée par les ménages riches. Avec la majoration du péage, la tendance est de réduction des enchères, puisque le revenu net des coûts de transports diminue. Nous constatons également que l’augmentation du péage a comme effet d’augmenter l’écart entre les enchères des deux catégories, ce qui démontre la stabilité de cet équilibre pour des valeurs élevées du péage.

Pour une configuration « PRPP » (Figure 4.A.2.12.b), l’écart entre les deux enchères augmente sauf au centre où les enchères des pauvres se rapprochent de celles des ménages riches. Par conséquent, à partir de la limite supérieure du péage, cette structure ne peut plus être un équilibre. Au centre les enchères des ménages pauvres augmentent par rapport aux ménages riches, parce que les premiers sont moins affectés par l’augmentation du péage, puisqu’ils utilisent plus les transports en commun. Pour les ménages riches, à ces niveaux de péage, l’augmentation du son niveau n’est pas accompagnée par une baisse suffisante de la congestion et de la pollution pour augmenter leurs enchères.

Dans un équilibre de type « PPRR » (Figure 4.A.2.12.c), l’augmentation du péage linéaire détermine une divergence des enchères des deux catégories sauf dans la première couronne résidentielle. Ainsi, à partir d’un certain seuil, les enchères des riches dépassent celles des pauvres, et par conséquent l’équilibre se « transforme » dans un équilibre de type « PRRR » qui est le seul équilibre possible pour un péage supérieur à 7 euros par kilomètre. La Figure 4.A.2.12.d) montre que pour une configuration « PPPR », les enchères des ménages

riches se rapprochent de celles des ménages pauvres en banlieue, et pour un péage supérieur à un certain seuil, cette configuration devient « PPRR ». Dans le cas d'une ville entièrement pauvre (Figure 4.A.2.12.e), ce sont les riches de la périphérie qui vont surenchérir les ménages pauvres, ce qui fait que cet équilibre n'est plus possible.

Tous ces mouvements d'enchères s'expliquent notamment par la différence de la valeur accordée au temps par les deux catégories. Puisque les voitures sont plus rapides, les riches ont une tendance plus forte de les utiliser. Si l'augmentation du péage est accompagnée par une forte réduction de la congestion, les enchères des ménages riches augmentent en bénéficiant aussi de la baisse de la pollution et dépassent celles des ménages pauvres. Ainsi, finalement, toutes les configurations convergent vers l'équilibre « PRRR ». Les pauvres vont continuer d'habiter le hyper-centre mais la superficie de leurs logements sera très faible.

4.7.2.9 L'effet du péage linéaire sur le marché foncier

Le prix foncier est l'enveloppe supérieure des enchères des deux catégories sociales. Ainsi, son évolution sera identique aux fonctions d'enchères des catégories qui occupent chaque zone. En regardant la Figure 4.A.2.12 qui présentent les enchères des deux classes sociales par zone et type d'équilibre, nous constatons que généralement l'augmentation du péage a comme conséquence une réduction du prix du foncier, ce qui implique que l'effet augmentation coûts de transports emporte sur l'effet réduction de la pollution.

Si deux zones voisines sont habitées par la même classe sociale, la superficie des logements doit augmenter avec la distance pour compenser l'augmentation des coûts de transport (Figure 4.A.2.13). Ce phénomène est renforcé dans le cas où les deux zones voisines sont habitées par des classes différentes et les riches habitent la zone la plus excentrée. Par contre, si les riches habitent une zone plus centrale, ce schéma n'est plus respecté, parce qu'ils doivent consommer plus de logement pour acquérir un niveau d'utilité plus élevé.

4.7.2.10 L'effet du péage linéaire sur le nombre d'habitants

La population de la ville (Figure 4.A.2.14.) est en étroit lien avec la superficie des logements : dans chaque zone de la ville, le nombre de ménages est égal à la surface résidentielle divisée par la superficie moyenne d'un logement. Ainsi, une zone caractérisée par des logements plus grands a une population plus faible qu'une zone avec des petits logements. Par conséquent, dans les zones riches, il y a moins d'habitants que dans les zones pauvres et si deux zones voisines sont habitées par la même classe, la zone la plus périphérique a une population plus faible.

L'augmentation du péage a généralement comme effet une augmentation du coût de déplacement dans les couronnes résidentielles ce qui détermine un accroissement de la taille des logements et donc une diminution de la population. Ce mouvement reste quand même assez faible, parce qu'il est contrebalancé par la réduction de la pollution qui constitue un facteur d'attraction pour les ménages. Par contre, au hyper-centre les ménages ne se déplacent pas et donc ils sont influencés seulement par la baisse de la pollution. Cela implique une forte attractivité de cette zone par rapport aux autres zones de la ville, donc une augmentation de la population.

En résumé, même si le péage linéaire a comme un effet l'augmentation des coûts monétaires de déplacement en voiture, par rapport à une taxation du stationnement, cette augmentation n'est pas identique pour tous les usagers de l'automobile, mais elle varie avec la distance. Ainsi, une la majorité des effets du péage linéaire sont identiques aux effets de la taxation du stationnement, mais avec certaines nuances. L'exemple qui illustre l'effet de la variabilité des coûts monétaire est la répartition modale par zones. Ainsi, au lieu d'avoir une part des ménages usagers des transports en commun qui diminue avec la distance au hyper-centre, nous constatons que pour un péage linéaire important, c'est l'inverse : plus la zone est excentrée plus il y a des chances qu'un ménage se déplace en transports publics.

4.7.3 Cordon en banlieue

Le péage de type cordon consiste dans l'institution d'un « barrage » sur la route où chaque automobile passant acquitte la taxe de congestion. Par conséquence tous les usagers de la route qui restent à l'intérieur ou à l'extérieur du cordon ne sont pas affectés. Dans notre modèle tous les ménages travaillent au hyper-centre, donc forcément ils vont traverser le cordon. Ceux qui restent non taxés sont les ménages localisés plus proche de hyper-centre que le cordon.

Le péage de cordon fait une discrimination entre les ménages qui sont à l'intérieur et à l'extérieur du cordon, mais les ménages qui payent le péage sont taxés de même montant, indépendamment de leur localisation. En quelque sort c'est une combinaison du péage zonal (péage identique pour tout le monde) et le péage de congestion linéaire.

Si le cordon est situé quelque part en banlieue, normalement les ménages qui sont dans la banlieue mais plus proches de hyper-centre ne devrait pas payer le péage. Puisque nous utilisons une modélisation discrète de l'espace, on fait l'hypothèse que tous les ménages de la banlieue (et implicitement les ménages localisés en périphérie) seront taxés. Nous pouvons

dire que le cordon est localisé plutôt à la frontière entre le centre et la banlieue, mais par convention nous utiliserons toujours le nom de cordon en banlieue.

Nous passons directement à un cordon en banlieue parce qu'un cordon localisé au centre affectera de même façon tous les usagers des routes et par conséquent il sera identique à un péage zonal ou à une taxation du stationnement au hyper-centre.

Pour avoir un effet aussi important que le péage linéaire, le péage de cordon doit être plus élevé pour la simple raison qu'un péage de cordon d'un euro correspond à un péage linéaire d'approximatif 0,25 euros pour un ménage localisé en banlieue et de 0,20 euros pour un ménage localisé en périphérie. Ainsi, les valeurs optimales du péage de cordon seront de 4 à 5 fois supérieures au taux du péage linéaire.

4.7.3.1 L'effet du cordon en banlieue sur la structure spatiale d'équilibre

Puisque un péage de cordon installé en banlieue est un quelque sort une combinaison entre le péage linéaire et le péage zonale (ou la taxation du stationnement), ses effets seront proches des effets de ces deux autres péages de congestion. Ainsi, sans intervention du planificateur la ville est ségréguée en deux parties, où les deux zones les plus centrales sont habitées par les ménages riches et les deux zones les plus périphériques sont habitées par les ménages pauvres. Puisque un péage unitaire de type cordon a un impact plus faible sur les coûts monétaires d'usage de la voiture, cette structure « résiste » comme équilibre après l'introduction du péage de cordon, mais seulement pour des valeurs très faibles de la taxation.

Comme dans le cas des deux autres péages de congestion, la ville passe à une structure de type « PRPP » parce que pour les ménages riches, le coût du temps a diminué, suite à la réduction de la congestion du système de transports en automobiles. Avec l'augmentation du péage, comme dans le cas du péage linéaire, la ville passe à une structure où tous les ménages présents sont pauvres.

Une augmentation supplémentaire du péage fait possible l'équilibre de type américain (« PPRR ») parce que pour des coûts monétaires assez élevés des transports en voiture, la congestion qui en résulte sera très faible. Un nouveau type d'équilibre apparaît sous une structure « PPRP ». Pour un péage de type cordon, cette configuration peut être un équilibre parce que le péage affecte seulement les ménages localisés en banlieue et en périphérie. Ainsi, les ménages pauvres du centre et de la périphérie seront majoritairement usagers des transports en commun, parce qu'ils sont moins affectés par le temps de déplacement. Par conséquent, les transports en voiture seront peu congestionnés et les ménages riches de la banlieue useront massivement la voiture dont les coûts de temps seront très faibles.

Tableau 4.7: Effet du cordon en banlieue sur les configurations d'équilibre

Cordon 2	0-0,5	1-3	3,5-6	6,5-9	9,5-10,5	11-16,5	17-18	18,5-20
Equilibres	RRPP	PRPP	PRPP PPPP	PPPP	PPPP PPRR	PPPP PPRR PPRP	PPPP PPRR	PPRR

Avec l'augmentation du péage, la seule configuration qui reste un équilibre est de type américain (« PPRR »). Pour les ménages pauvres les coûts de déplacement deviennent trop élevés et ils se localiseront au centre et au hyper-centre. Les ménages riches des deux zones les plus périphériques seront contraints d'utiliser dans une grande proportion les transports en commun, qui sont moins préférés et plus lents. Par conséquent, pour atteindre le même niveau d'utilité que celui à l'extérieur, leurs logements seront plus grands. Ainsi, la population en banlieue et en périphérie sera plus faible, et donc aussi le niveau de congestion des deux modes de transport.

4.7.3.2 L'effet du péage cordon en banlieue sur l'efficacité économique

Sauf les deux structures sociales qui peuvent être un équilibre seulement pour un niveau faible de taxation, les autres configurations spatiales dégagent un surplus qui évolue de façon concave par rapport à l'augmentation du péage (Figure 4.12). Cette évolution concave s'explique par la même raison que les autres instruments tarifaires : une forte raréfaction des usagers des voitures, qui représentent les sujets de la taxe. Pour les deux exceptions, le péage optimal sera égal à sa valeur maximale qui permet l'existence de ces équilibres.

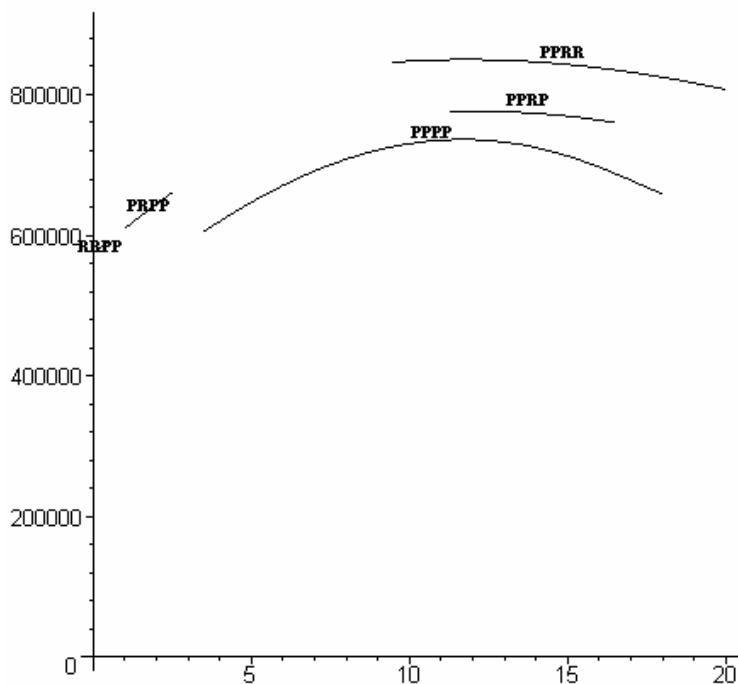
Tableau 4.8: L'effet du cordon en banlieue sur le surplus

Equilibre	Cordon 2	Surplus
RRPP	0,5	102,94%
PRPP	2,5	115,08%
PPRR	12	147,97%
PPRP	12,5	135,07%
PPPP	11,5	128,17%

Dans le Tableau 4.8 nous observons que pour les configurations qui arrivent à l'optimum partiel, il n'y a pas une forte disparité du niveau efficace du péage de type cordon. Plus la structure s'approche d'un schéma américain (les riches en périphérie) plus elle devient efficace. Ainsi, à l'optimum partiel, le surplus maximal est atteint pour une structure « PPRR ». Nous constatons que l'effet sur le surplus est plus faible que les péages qui affectent l'ensemble des usagers des transports privés. Cela s'explique par le fait que cette

politique touche directement seulement une partie des ménages. Par conséquence le surplus du planificateur sera plus faible. Egalement, cette politique n'est pas suivie par une réduction de l'usage de la voiture dans toutes les zones, et donc la pollution diminuera peu. Ainsi, le surplus des propriétaires fonciers augmentera peu.

Figure 4.12: Effet du péage cordon en banlieue sur le surplus



4.7.3.3 L'effet du péage cordon en banlieue sur le système de transports urbains

Puisque le péage affecte seulement les ménages qui habitent en banlieue et en périphérie, les coûts globaux de déplacement en voiture des ménages riches augmenteront seulement dans ces deux zones (Figure 4.A.3.1). Nous constatons que cette augmentation est plus faible que l'augmentation du péage, ce qui implique une diminution des coûts du temps. Le système de transports privés étant moins congestionnés, les ménages situés au centre vont y bénéficier aussi, ainsi leurs coûts de déplacement en voiture diminueront. Le report modal vers les transports en commun détermine une augmentation du temps de déplacement de ce mode et ainsi une augmentation des coûts de transport (Figure 4.A.3.2), mais à partir d'un niveau élevé de taxation, ils deviennent décroissants.

Pour les ménages pauvres, l'augmentation des coûts de déplacement en voiture en banlieue et en périphérie est quasiment linéaire et plus forte que pour les ménages riches, parce que leur valeur de temps est plus faible. Par conséquence, la réduction des coûts en voiture au centre est plus faible (Figure 4.A.3.3). Les coûts de déplacement par transports en

commun connaissent une évolution semblable aux ménages riches, mais les variations dues aux modifications du temps de déplacement sont plus faibles (Figure 4.A.3.4).

L'effet sur la répartition modale des ménages est en lien étroit avec les coûts de déplacement des deux modes de transport. Bien évidemment, cet effet agira différemment sur le comportement des ménages localisés au centre, qui ne sont pas influencés par ce péage et des ménages localisés en banlieue et en périphérie qui représentent le sujet de cette taxe. Ainsi pour toutes les configurations possibles (Figure 4.A.3.5.), la part des ménages du centre qui utilisent les transports en commun décroît, quelle que soit leur classe sociale. Par contre, dans les deux dernières couronnes, la part des ménages usagers des transports en commun augmente. Nous constatons que la part modale des transports en commun est supérieure en périphérie à la banlieue, quand la banlieue est occupée par les ménages riches et la périphérie par les ménages pauvres.

C'est évident l'effet discriminant joué par ce type de péage, puisqu'il affecte seulement les ménages qui habitent en banlieue et en périphérie. Ainsi, normalement les ménages du centre utilisent plus massivement les transports en commun, parce que les pertes de temps restent assez faibles, à cause de la petite distance à parcourir. Mais dans le cas du péage de type cordon, puisque les coûts monétaires de la voiture pour les ménages des deux dernières couronnes sont assez importants, la part des transports en commun de ces zones sera très élevée. Ainsi, le système de transports en commun sera déjà très congestionné pour les ménages du centre et en plus pour eux le coût monétaire des transports privés n'est pas modifié. Par conséquent, ils utiliseront majoritairement l'automobile comme moyen de déplacement au hyper-centre.

Puisque sauf au centre, il y a un massif report vers les transports en commun, ce système devient très congestionné : les durées et de déplacement augmentent fortement, notamment en banlieue et en périphérie (Figure 4.A.3.7). Par conséquent, la vitesse moyenne de déplacement de ce mode de transport diminue dans toutes les zones (Figure 4.A.3.8).

L'autre effet du report modal est la diminution du temps de déplacement en voiture, notamment en banlieue et en périphérie (Figure 4.A.3.6). En symétrie, les vitesses moyennes de déplacement augmentent partout dans la ville, avec un impact plus important dans les deux dernières zones de la ville (Figure 4.A.3.8).

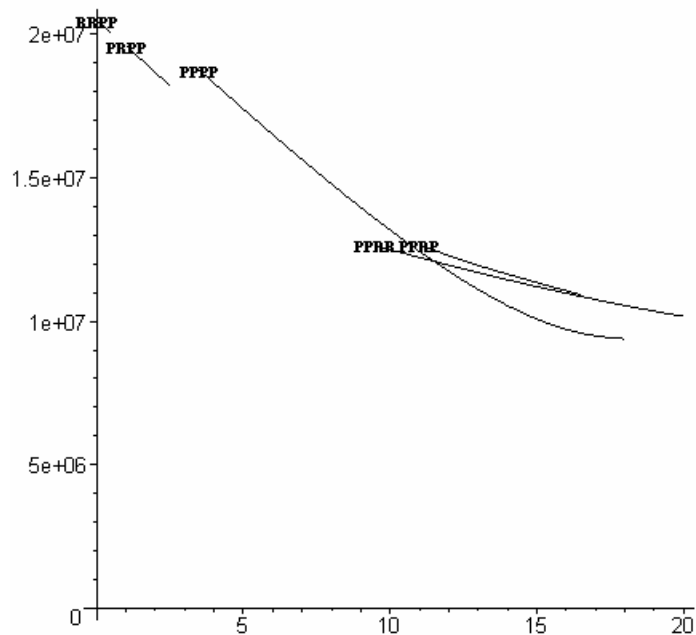
La conséquence des effets du péage de type cordon sur les coûts monétaires et les durées de déplacement est une augmentation concave des coûts moyens de déplacement des ménages riches, qui sont plus sensibles aux gains de temps (Figure 4.A.3.9) et une évolution

presque linéaire pour les ménages pauvres (Figure 4.A.3.10). Au centre il y a une légère croissance des coûts moyens due à l'augmentation des temps de déplacement.

4.7.3.4 L'effet du cordon en banlieue sur l'environnement et la consommation énergétique

Puisque l'introduction d'un péage de type cordon a comme conséquence un report modal vers les transports en commun, le niveau de pollution et la consommation énergétique seront réduites, les deux mesures étant très corrélées. En regardant la Figure 4.13, nous constatons que la « règle » plus de zones riches plus de pollution ne s'applique toujours. La comparaison entre le pollution d'une ville de type « PPRP » et une ville « PPRR » montre que la deuxième peut être plus écologique, même s'il y a une zone riche en plus. Cela peut s'expliquer en regardant la part modale dans les deux équilibres. Bien sur les ménages riches en périphérie utilisent plus la voiture que s'il y avait des ménages pauvres. Mais d'abord ils sont moins nombreux, et le fait qu'ils sont usagers d'automobiles détermine une diminution de la part des transports privés en banlieue par rapport à l'équilibre « PPRP ».

Figure 4.13 : Effets du péage cordon en banlieue sur la pollution



Nous constatons que pour les structures qui arrivent à un optimum partiel pour un péage assez important, l'impact écologique est presque le même mais il est beaucoup moins fort que le péage zonal (ou la taxation du stationnement) et le péage linéaire. Ainsi, la réduction de la pollution est d'autour de 40% par rapport à une situation sans intervention publique, en comparaison avec les deux autres instruments, où on arrivait même à une

réduction de plus de 80%. Cela s'explique par le fait que les ménages qui habitent au centre ne sont pas affectés par ce péage et le nombre de ménages utilisant la voiture augmente.

Tableau 4.9: Niveaux de pollution par équilibre au niveau efficace de cordon en banlieue

Equilibre	Cordon 2	Taux Pollution
RRPP	0,5	97,90%
PRPP	2,5	88,87%
PPRR	12	59,16%
PPRP	12,5	59,01%
PPPP	11,5	59,01%

4.7.3.5 L'effet du cordon en banlieue sur les enchères des ménages, le marché foncier et la population de la ville

Puisque le péage cordon affecte seulement les ménages des deux dernières couronnes résidentielles, les enchères au hyper-centre et au centre restent quasiment constantes ou même elles augmentent, tandis qu'en banlieue et en périphérie elles diminuent (Figure 4.A.3.11).

Nous n'avons pas représenté les enchères au hyper-centre, parce que nous savons que toute augmentation des coûts monétaires de déplacement accompagnée par une réduction de la congestion à comme conséquence directe l'augmentation des enchères des ménages pauvres par rapport aux ménages riches et ainsi cette zone devient pauvre. Par rapport aux deux autres péages de congestion qu'on a étudié jusqu'ici, le péage de cordon en banlieue a un impact plus faible et il n'affecte pas directement les ménages des deux zones les plus centrales. C'est pour cette raison, que l'équilibre de référence RRPP « résiste » même après l'introduction du péage, mais seulement pour des valeurs très faibles.

Ainsi pour un péage supérieur à un euro par passage, la ville change vers une structure « PRPP ». Avec l'augmentation du péage, les enchères des ménages pauvres au centre se rapprochent de celles de ménages riches (Figure 4.A.3.11.b).

La ville se « stabilise » à une structure entièrement pauvre pour un péage de cordon de 6,5 euros. Avec l'augmentation du péage, les enchères des ménages riches en banlieue se rapprochent des enchères des ménages pauvres. Un autre équilibre possible qui apparaît aux valeurs élevées de péage est de type « PPRP » où dans toutes les zones il y a une tendance de divergence entre les fonctions d'enchères sauf en périphérie. C'est pour ces raisons, que pour des valeurs très élevées du péage, le seul équilibre qui reste stable est de type « PPRR » : dans toutes les zones de la ville, avec l'augmentation du péage, il y a une augmentation de l'écart entre les deux fonctions d'enchères.

Le prix foncier est égal à la fonction d'enchères des ménages qui habitent une certaine localisation. Vue l'évolution des enchères en fonction du péage de cordon, l'effet sera identique : une augmentation des prix fonciers au hyper-centre et au centre, puisque le principal effet sur les prix est joué par la diminution de la pollution, et une baisse en banlieue et périphérie, à cause l'augmentation des coûts de transport.

Les configurations « RRPP » et « PRPP » sont équilibrées seulement pour des faibles variations du péage de cordon. Puisqu'une partie des effets de ce péage sur le niveau d'utilité est absorbée par les changements de l'usage de transports urbains, les implications sur le marché foncier (en terme de prix et de superficie des logements) seront très faibles (Figure 4.A.3.12.a et b). Bien évidemment la taille des logements de chaque zone dépend fortement de la classe sociale qui l'habite. Pour les autres équilibres, dans les zones où le péage prend effet (banlieue et périphérie), la taille des logements augmente afin d'annuler l'effet de l'augmentation des coûts de transport sur le niveau d'utilité d'équilibre. Cet effet est réduit par la diminution du niveau de pollution dans la ville. Dans les deux zones centrales, la superficie des logements réduit légèrement, parce que ces deux zones deviennent plus attractives par rapport aux zones périphériques.

L'effet du péage de cordon en banlieue sur la population de chaque zone est juste l'envers de l'effet sur la superficie des logements. Ainsi, dans les deux zones centrales, la population généralement augmente tandis qu'en banlieue et périphérie elle diminue. Si une zone est habitée par les ménages riches, la population présente dans cette zone est plus faible que s'il y a avait des ménages pauvres.

Nous avons vu que le péage de type cordon localisé en banlieue réalise une discrimination entre les usagers des routes qui sont à l'extérieure et à l'intérieur du cordon. Mais une fois cette discrimination faite, le péage reste homogène pour les usagers de chaque sous-groupe, quelle que soit leur localisation. Ces caractéristiques impliquent des effets différenciés par rapport au péage linéaire (discrimination pour chaque usager en fonction de la distance parcourue) et la taxation du stationnement ou le péage zonal (pas de discrimination).

Les principaux effets de ce péage découlent de ces caractéristiques : les coûts de transports augmentent surtout dans les deux zones les plus périphériques, ce qui implique une augmentation de l'usage de la voiture au centre. Par conséquent la réduction de la pollution est beaucoup plus faible que les instruments tarifaires qui touchent tous les usagers. La taille des logements diminue au hyper-centre et au centre et augmente dans les deux autres zones.

Ainsi, les zones centrales deviennent plus peuplées, tandis que les zones périphériques connaissent une réduction de la population.

4.7.4 Péage de type cordon localisé en périphérie

Si le cordon est localisé à la frontière entre la banlieue et la périphérie, le péage affecte seulement les ménages localisés en périphérie. Ainsi, tous les autres ménages de la ville ne seront pas taxés, mais l'introduction de ce péage aura seulement un effet indirect sur eux, par les changements provoqués aux conditions de trafic et au niveau de pollution. Par conséquent, le nombre des configurations spatiales qui peuvent être un équilibre est réduit :

Tableau 4.10: Effet du cordon en périphérie sur les configurations d'équilibre

Cordon 3	0-0,5	1-5	5,5-6	6,5	7-12	12,5-15
Equilibres	RRPP	PRPP		PPPP	PPPP PPPR	PPPR

Puisque l'influence du péage sur les ménages localisés ailleurs qu'en périphérie est indirecte, la structure sociale « RRPP » du scénario de référence (quand il n'y a pas d'intervention du planificateur) continue d'être un équilibre, mais seulement pour une faible taxation. Puisque le péage déterminera toujours un report modal vers les transports en commun et une réduction de la congestion du trafic routier, à partir d'un péage de un euro, le hyper-centre devient pauvre.

Nous constatons que pour un péage de cordon en périphérie de 5,5-6 euros, aucune configuration ne peut pas constituer un équilibre. Nous constatons que pour des valeurs juste inférieures la configuration d'équilibre est de type « PRPP » et pour des valeurs juste supérieures, la ville à l'équilibre est entièrement pauvre. Pour comprendre cette situation il faut regarder les fonctions d'enchères des deux catégories (Figure 4.A.4.10). Dans le cas d'une configuration « PRPP », pour un péage supérieur à 5 euros, les enchères des pauvres sont plus élevées que celles des riches au centre. Mais dans le cas d'une structure « PPPP » pour un péage inférieur à 6,5 euros, ce sont les enchères des ménages riches qui emportent au centre. Ainsi, entre ces deux valeurs, aucune des deux configurations ne constitue pas un équilibre. Si la ville aurait été organisée selon une structure « PRPP », pour les ménages riches, forts usagers de la voiture, les coûts de déplacement restent très importants et ainsi ils ont intérêt de quitter la ville. Mais si la ville est maintenant entièrement pauvre, parce que la part des transports en commun est plus élevée, les durées de déplacement en voiture seront

plus faible, et ainsi les ménages auront intérêt de revenir au centre. Cette situation détermine un cycle, qui ne permet pas la réalisation d'un équilibre.

Plus le péage est élevé, plus la classe qui occupe la périphérie est confrontée à des coûts de transport élevés et la seule configuration spatiale qui représente un équilibre sera de type « PPPR ».

4.7.4.1 L'effet du péage cordon en périphérie sur l'efficacité économique

La Figure 4.14 montre l'effet du péage cordon en périphérie sur le surplus des configurations spatiales d'équilibre. Les variations par type d'équilibre sont assez faibles.

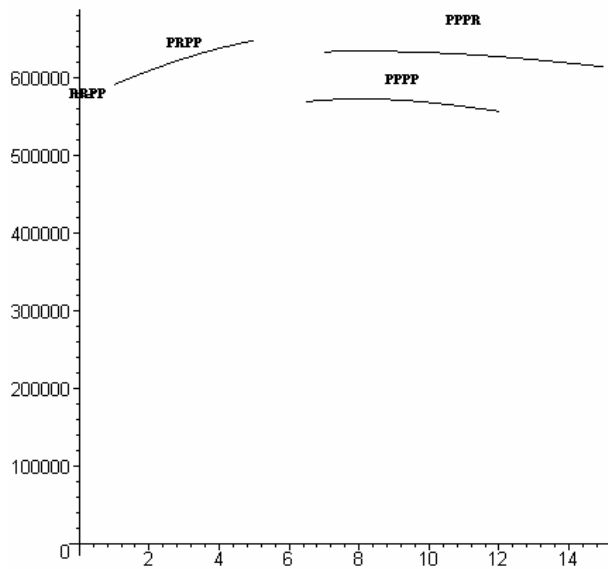
Pour les autres type de péages, les ménages sujets de la taxation étaient localisés non seulement en périphérie, mais aussi dans les autres zones de la ville. Même si une partie de la population s'oriente vers les transports en commun, il reste une proportion assez importante qui utilise les transports privés, à cause de la réduction des durées de déplacement en voiture et de la hyper-congestion des transports publics. Par conséquent, avec l'augmentation de la taxation, au moins dans un premier temps, il y a une forte croissance des recettes du planificateur.

Dans le cas d'un péage cordon localisé en périphérie, les ménages qui payent la taxe sont localisés seulement en périphérie. L'augmentation de la taxe déterminera un report massif en périphérie vers les transports en commun et une augmentation du nombre d'utilisateurs des voitures dans les couronnes plus centrales, qui ne payent pas le péage. Evidemment, l'augmentation de la taxe ne sera pas accompagnée par une forte augmentation des recettes publiques, à cause de la forte réduction de l'assiette fiscale. Egalement la rente différentielle collectée par les propriétaires fonciers ne bénéficiera pas d'une forte diminution de la pollution. Finalement, les effets du cordon en périphérie seront très proches de cordon en banlieue, mais avec un impact encore plus faible, parce que la population atteinte par cette politique est encore réduite. Ainsi, nous constatons dans le Tableau 4.11 que pour une taxation cordon optimale, le surplus augmente très peu par rapport à la situation sans intervention publique, et si la ville est entièrement pauvre, on constate même un surplus inférieur.

Tableau 4.11: Effet du cordon en périphérie sur le surplus

Equilibre	Péage	Surplus
RRPP	0,5	101,55%
PRPP	5	112,94%
PPPR	8	110,52%
PPPP	8	99,85%

Figure 4.14: Effet du péage cordon en périphérie sur le surplus



4.7.4.2 L'effet du péage cordon en périphérie sur les transports urbains

Le péage de cordon localisé en périphérie augmentera les coûts de déplacement en voiture de ménages qui habite cette zone, quelles que soit leur classe sociale (Figure 4.A.4.1 pour les ménages riches et Figure 4.A.4.3. pour les ménages pauvres). Ces ménages vont se reporter plus vers les transports en commun, et par conséquence, l'ensemble du système routier sera moins encombré, ce qui fait une diminution des coûts de déplacement dans les deux autres couronnes résidentielles. Cette diminution est plus accentuée pour les ménages riches (Figure 4.A.4.1.) que pour les ménages pauvres (Figures A.4.3). Même s'il n'y a pas un effet monétaire du péage de cordon sur les transports en commun, leurs coûts augmenteront à cause de l'augmentation de leur congestion, plus fortement pour les ménages riches (Figure 4.A.4.2) dont le coût du temps est élevé, que pour les ménages pauvres (Figure 4.A.4.4).

La conséquence de ces changements des coûts par mode détermine des modifications dans la répartition modale (Figure 4.A.4.5). Comme on s'attendait, la forte augmentation des coûts monétaires d'utilisation des automobiles pour les ménages de la périphérie, implique une forte croissance de la part de ces ménages utilisant les transports en commun. Puisqu'il y aura comme effet une réduction de la congestion du système de transports privés, et puisque les déplacements en voiture en banlieue et au centre ne sont pas taxés, la part des ménages utilisant la voiture dans ces deux zones augmentera.

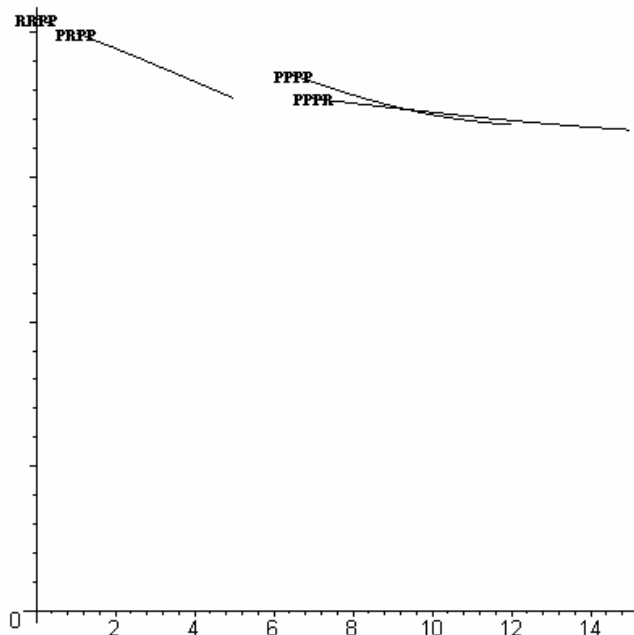
La durée de déplacement en voiture pour un ménage situé en périphérie sera de plus en plus faible, avec l'augmentation du péage de cordon. Puisque des nouveaux ménages de la

banlieue et du centre utiliseront les automobiles, la durée de déplacement à partir de ces deux zones diminue plus lentement (Figure 4.A.4.6). Par contre, la durée de déplacement par transports en commun augmentera (Figure 4.A.4.7) avec un effet plus important pour les ménages habitant la périphérie. Ainsi, les vitesses moyennes de déplacement en voiture augmentent dans toutes les zones, plus fortement en périphérie.

4.7.4.3 L'effet du cordon en périphérie sur l'environnement et la consommation énergétique

Le péage de cordon en périphérie arrive à réduire très peu le trafic automobile, parce que les ménages situés au centre et en banlieue vont augmenter l'usage de la voiture. Par conséquent l'impact sur la consommation des carburants et sur l'environnement sera encore plus faible que dans le cas d'un cordon en banlieue :

Figure 4.15 : Effets du cordon en périphérie sur la pollution



Comme dans le cas du cordon localisé en banlieue, nous constatons qu'il est possible qu'une ville de structure sociale avec plus des ménages riches (« PPPR ») puisse polluer moins qu'une ville entièrement pauvre. Au niveau de péage optimal, la pollution sera très peu réduite par rapport à l'équilibre sans intervention publique.

Tableau 4.12: Le niveau de pollution pour un cordon en périphérie optimal

Equilibre	Péage	Taux Pollution
RRPP	0,5	98,83%
PRPP	5	86,54%
PPPR	8	85,74%
PPPP	8	87,11%

4.7.4.4 L'effet du cordon en périphérie sur le marché foncier et la population de la ville

L'étude des enchères des deux catégories (Figure 4.A.4.10) confirme la stabilité de chaque équilibre pour chaque fourchette de péage. La seule structure spatiale qui est stable pour des valeurs très élevées du péage est de type « PPPR ».

L'évolution des plus fortes enchères dans chaque zone représente aussi l'évolution des prix du l'immobilier. Ainsi, l'effet du péage de cordon en périphérie sera une forte baisse des prix du logement dans cette zone à cause de l'augmentation des coûts de transport, tandis que dans les autres zones, les variations seront plus faibles. La taille des logements connaîtra une évolution opposée, ce qui implique en général une diminution de la population de la périphérie et une augmentation de la population localisée dans les autres zones (Figure 4.A.4.11).

Nous avons constaté que le péage de type cordon localisé en périphérie a un impact beaucoup plus faible que les autres instruments tarifaire analysés. Cela s'explique par le fait que ce péage affecte directement seulement les ménages situés en périphérie et tout report modal dans cette zone vers les transports en commun sera suivie par une augmentation de l'usage de la voiture dans les zones plus centrales, où il n'y a pas un effet monétaire du péage.

Nous pouvons envisager l'introduction de plusieurs cordons dans la ville, comme par exemple les autoroutes autour d'Athènes. Mais, le fait que nous traitons l'espace sous forme discrète, la discrimination entre les usagers des différentes zones sera quasiment identique à la discrimination introduite par le péage linéaire. Les éventuelles différences seront marginale et les grandes tendances des effets induits par le péage seront les mêmes.

4.7.5 Taxation des carburants

Comme pour les autres taxes, nous partons de scénario de référence, quand il n'y a pas de taxation. Comme le péage linéaire, cette taxe a un effet variable sur les coûts monétaires de déplacement en voiture, en fonction de la distance parcourue. La différence par rapport au péage c'est que le taux par unité de distance n'est plus constant, parce que pour chaque zone, la vitesse de déplacement est différente et par conséquence aussi la consommation des carburants et le coût afférent.

En milieu urbain, la part des coûts monétaires d'usage d'un véhicule qui est consacrée aux coûts des carburants est très faible. Par exemple pour notre ville, la distance maximale qu'on doit parcourir pour aller au hyper-centre est d'approximatif 2,5 kilomètres. Pour une

moyenne de 300 allers-retours par an, la distance maximale parcourue dans l'année est de 1500 kilomètres. Avec une consommation moyenne de carburants de 10 litres par kilomètres (ce qui est une valeur vraisemblable en régime urbain) et pour un prix hors taxes du carburant de 1 euro par litre, le budget annuel total pour le paiement de l'essence est de 150 euros par an. Rapporté aux revenus des ménages cela fait 0,375% du revenu des ménages riches et 0,75% du revenu des ménages pauvres.

Par conséquent l'effet d'une taxation des carburants sera marginal. Par exemple pour une taxe d'un euro par litre (ce qui implique un prix de deux euros par litre) la part des coûts du carburant dans le budget va doubler, en restant à des valeurs négligeables (0,75% pour les ménages riches et 1,5% pour les ménages pauvres). En comparaison avec les autres instruments tarifaires mentionnés, l'augmentation de la taxation des carburants a un impact très faible sur les coûts monétaires de l'automobile. Par exemple pour une taxation de type péage linéaire de seulement 1 euro par kilomètre, l'augmentation des coûts monétaires variables d'usage d'une automobile est dix fois supérieure à l'augmentation due à une taxation des carburants d'un euro par litre.

Afin d'utiliser cet instrument efficacement pour l'utilisation de la voiture en milieu urbain, le niveau de taxation des carburants devrait être approximativement dix fois supérieur aux autres taxes, ce qui signifie des valeurs d'ordre de 60-70 euros par litre. Bien évidemment ces valeurs sont invraisemblables et impossible d'appliquer en réalité.

Toutes ces remarques indiquent que la taxation du carburant n'est pas un instrument envisageable pour réduire la congestion et la pollution dans une ville. L'augmentation du prix des carburants aura des effets surtout pour les longs trajets, à l'extérieur de la ville. Ainsi, cette politique peut être efficace si on souhaite augmenter l'utilisation des transports en commun pour des longues distances (trains, avions).

Puisque cette taxation influence les coûts monétaires de déplacement en voiture en fonction de la distance parcourue, ses effets seront très proches du péage linéaire. Cela s'explique par le fait que le différentiel de consommation entre zones reste d'ordre de 1%, ce qui est négligeable.

Ainsi tous les autres effets constatés dans le cas du péage linéaire se reproduisent dans le cas de la taxation des carburants, quant au fonctionnement du système de transports et au marché foncier. La réduction du trafic automobile et un rapprochement vers vitesse de déplacement optimale de point vue écologique déterminent une diminution de la pollution et de la consommation totale des carburants.

4.7.6 Synthèse des instruments de tarification des déplacements privés

Nous allons maintenant faire la synthèse et comparer les premiers quatre instruments qui, rappelons-le, consistaient chacun à manipuler un des instruments fiscaux à la disposition du planificateur : péage zonal (ou tarification du stationnement), péage linéaire, cordon 2 (péage de cordon localisé en banlieue) et cordon 3 (péage de cordon localisé en périphérie).

Pour pouvoir faire une comparaison des effets de ces instruments, il est nécessaire d'homogénéiser la taxation imposée aux ménages. Le problème est que chaque instrument a une autre base de mesure, ce qui peut impliquer des niveaux de taxation différents selon la localisation des ménages. Ainsi, nous allons calculer d'abord la taxe annuelle en K€ pour chaque couronne résidentielle de la ville et pour chaque instrument étudié :

Tableau 4.13: Niveau annuel optimal de taxes par instrument, zone et type d'équilibre

	Péage zonal	Péage linéaire			Cordon 2		Cordon 3	
	z1-z2-z3	z1	z2	z3	z1	z2-z3	z1-z2	z3
RRPP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,15
PRRR	4,80	3,39	5,51	7,22				
PRRP	5,85							
PRPP	5,25	0,36	0,58	0,76	0,00	0,75	0,00	1,5
PPRR		3,39	5,51	7,22	0,00	3,6		
PPRP					0,00	3,75		
PPPR		3,57	5,80	7,60			0,00	2,4
PPPP	4,80	3,04	4,93	6,46	0,00	3,45	0,00	2,4

Comme on l'avait noté plus haut lors de la présentation détaillée de chaque scénario, à l'optimum partiel où il n'utilise qu'un instrument, le planificateur intervient plus lourdement avec les instruments qui touchent l'ensemble de la population, centre, banlieue et périphérie (paiement du stationnement ou zonal et péage linéaire) qu'avec les instruments qui touchent seulement une partie la population (les deux péages de cordon). Les instruments qui ne touchent directement qu'une partie de la population semblent trouver plus rapidement leurs limites.

Il faut souligner le fait que pour certaines configurations, la fourchette de taxation qui permet l'existence de l'équilibre est trop petite pour que le surplus atteigne le maximum et c'est pour cette raison que la taxation optimale sera à la limite supérieure ou inférieure du péage possible. En tenant compte de cet élément, pour ces structures d'équilibre, le surplus maximal dégagé sera beaucoup plus faible parce que les recettes du planificateur seront aussi très faibles.

Pour les péages qui influencent l'ensemble des usagers des transports privés le surplus dégagé par ces instruments sera plus élevé (Tableau 4.14). Ainsi, quand une configuration

existe pour plusieurs instruments tarifaires, constamment le surplus dégagé avec une taxe zonale ou linéaire est supérieur au surplus obtenu avec un péage de type cordon. L'exception est une structure européenne de type « RRPP », parce qu'elle existe après l'introduction du péage, seulement dans le cas du cordon. Le péage zonal et le péage linéaire arrivent à dégager presque le double du surplus sans intervention. Par contre, le surplus dégagé à optimum partiel par les péages de cordon augmente par rapport au surplus sans intervention seulement d'approximatif de 30-50% pour le cordon en banlieue et de 10-20% pour le cordon en périphérie. On constate également, que généralement, le péage linéaire est plus efficace que le péage zonal. En regardant la dernière ligne du tableau, la structure la plus efficace est de type américain (avec deux ou trois zones riches). L'exception est dans le cas du cordon en périphérie, où la structure intermédiaire « PRPP » est supérieure aux deux autres configurations possibles.

Tableau 4.14: Surplus par instrument tarifaire par rapport au scénario de référence

	Péage zonal	Péage linéaire	Cordon 2	Cordon 3	Max
RRPP	100,00%	100,00%	102,94%	101,55%	C2
PRRR	192,29%	202,82%			PL
PRRP	178,27%				PZ
PRPP	179,80%	115,15%	115,08%	112,94%	PZ
PPRR		189,14%	147,97%		PL
PPRP			135,07%		C2
PPPR		175,49%		110,52%	PL
PPPP	161,69%	178,72%	128,17%	99,85%	PL
Max	PRRR	PRRR	PPRR	PRPP	

Nous allons voir maintenant comment les différents instruments influencent le choix modal (Tableau 4.A.5.1). Dans le scénario de base, conformément à ce qu'on observe dans les enquêtes transport, les transports en commun sont peu utilisés, surtout en périphérie. Dans tous les cas, l'usage des instruments tarifaires conduit à des optima partiels où la part des transports en commun a augmenté sur l'ensemble de la ville. Mais, d'une part, les résultats varient fortement d'un scénario à l'autre et selon les configurations spatiales, les impacts respectifs sur les trois couronnes résidentielles sont très différenciés. En règle générale, on peut dire que le planificateur choisit un optimum conduisant à une part modale des transports en commun d'autant plus élevée qu'il utilise un instrument global touchant toute la population (paiement du stationnement et péage linéaire).

Les différents types de discrimination entre usagers spécifique à chaque instrument déterminent des effets différents. Ainsi la comparaison entre le péage zonal qui ne fait pas de discrimination et le péage linéaire qui produit une discrimination parfaite montre que pour un

même type d'équilibre dans les zones centrales la part des transports en commun est plus élevée dans le cas du péage zonal et en périphérie dans le cas du péage linéaire. Cela s'explique par le fait que dans le cas d'un péage zonal, tout le monde paye le même montant, tandis que pour un péage linéaire, les coûts monétaires de déplacement en voiture sont beaucoup plus élevés pour les ménages localisés en périphérie. L'exception est l'équilibre « PRPP », parce que dans le cas du péage linéaire, cette configuration existe seulement pour une taxation très faible.

A l'opposé, le choix d'un instrument touchant les seuls habitants des zones ou de la zone périphérique ne conduit à un report modal vers les transports en commun que pour ces derniers. La baisse de la congestion routière qui en résulte pousse au contraire les habitants des banlieues à utiliser la voiture encore plus qu'avant.

La part modale de chaque zone est fortement influencée par la catégorie sociale qui occupe cette zone, la proportion des usagers des transports en commun étant plus élevée s'ils sont des ménages pauvres.

On trouvera dans le Tableau 4.A.5.2 les conséquences de chacun de ces instruments sur les durées de déplacement. Les durées de déplacement étant déterminées par la congestion, il n'est pas étonnant de constater que, plus le scénario envisagé conduit à un report important de la voiture vers les transports en commun, plus la durée des déplacements par les transports en commun est élevée et plus celle des déplacements en voiture est faible. C'est ainsi que pour le paiement du stationnement (ou le péage zonal) et pour le péage linéaire, les durées par les transports en commun sont les plus longues et les durées en voiture les plus courtes.

Les durées moyennes des déplacements (Tableau 4.A.5.3.) pour chaque mode de transport confirme ces résultats : la durée moyenne de déplacement en voiture diminue plus fortement pour les instruments globaux que pour les péages cordon. Par contre la durée moyenne de déplacement (tous moyens de transport confondus) peut augmenter encore plus en raison du report d'une partie des usagers du mode le plus rapide vers le plus lent.

Ces durées de déplacement se traduisent par une évolution quasiment opposée des vitesses moyennes de circulation (Tableau 4.A.5.4). Pour les instruments globaux, il y a un plus fort report vers les transports en commun dans toutes les zones, et ainsi la vitesse de circulation des voitures augmente fortement dans toute la ville, tandis que la vitesse des transports en commun baisse fortement. Pour les instruments qui affectent seulement la partie des habitants qui passent le cordon, la vitesse moyenne des transports privés augmente fortement dans les zones plus éloignées et légèrement dans les zones plus centrales.

Les coûts globaux de déplacement, somme des coûts monétaires et de la valeur monétaire du coût imputé à la durée de déplacement, figurent dans le Tableau 4.A.5.5 pour les ménages riches et dans le Tableau 4.A.5.6 pour les ménages pauvres. C'est, de manière logique, le mode de transport par lequel passent les mesures fiscales dont le coût global varie le plus fortement: en hausse pour la voiture dans les trois zones résidentielles avec le paiement du stationnement et le péage linéaire. Bien évidemment, puisque le péage linéaire fait une discrimination entre les usagers provenant de localisations différentes, les coûts des ménages localisés plus loin de centre augmentent plus fortement que pour les ménages plus centraux. Pour les péages de cordon, les coûts seront en hausse pour la voiture dans les seules couronnes affectées par la taxation et en baisse dans les autres due à la diminution de la congestion de ce mode de transport. L'autre mode de transport est seulement affecté par les effets du report modal, avec des variations toujours de même sens. Ces variations peuvent être même plus importantes que l'augmentation des coûts de transport en voiture qui sont affectés directement par l'introduction de la taxation. Cela peut arriver seulement dans le cas des ménages riches, quand les transports en commun deviennent tellement encombrés, que les durées de déplacement sont très grandes.

Puisque la valeur du temps est plus faible pour les ménages pauvres, toujours le coût de déplacement de ceux-ci sera inférieur au coût des ménages riches (Tableau 4.A.5.7). Nous constatons que l'introduction de la taxation des transports privés détermine une réduction de l'écart relatif entre les coûts de déplacement des ménages riches et des ménages pauvres. C'est la raison pour laquelle, quel que soit l'instrument utilisé, avec l'augmentation de la taxation, la ville converge vers une structure sociale de type américain, avec les ménages riches en périphérie et les ménages pauvres au centre. Le nombre de zones occupées par chaque catégorie dépend de l'instrument utilisé. Les instruments globaux déterminent une augmentation plus forte des coûts moyens de déplacement, à cause de deux raisons : d'abord affectent l'ensemble de la population et deuxièmement il y a une plus fort report modal du mode rapide de transport vers le mode lent, ce qui implique pour les transports en commun des durées de déplacement très élevées et une partie importante de la population qui les utilisent.

Ces changements de répartition modale et de conditions de trafic, auront des effets sur la qualité de l'environnement urbain. Les instruments globaux (le péage zonal ou de stationnement et le péage linéaire) sont, de loin, ceux qui parviennent le mieux à maîtriser la pollution. La baisse est spectaculaire, encore plus pour le péage linéaire que le péage zonal, qui arrive à discriminer les usagers de chaque zone, en les poussant à se reporter vers les

transports en commun. Pour les péages de type cordon, l'effet est plus important pour le cordon en banlieue que celui en périphérie, parce qu'il affecte directement plus d'usagers des transports privés.

De manière générale, la capacité à réduire la pollution est à relier à l'intensité de l'intervention à l'optimum et à sa capacité à transférer des usagers de la voiture vers les transports en commun, ce qui est logique quand on tient compte de l'hypothèse que nous avons faite d'une pollution générée par le seul trafic automobile. Une pollution générée également par les transports en commun, mais avec une intensité moindre qu'avec la voiture, réduirait les écarts mais ne modifierait pas la nature des différences entre scénarios.

La réduction du niveau de la pollution n'est seulement le résultat du simple report modal vers les transports en commun, mais aussi il y a une réduction de la pollution émise par chaque véhicule, causée par la réduction de la congestion : durée de déplacement plus faible, rapprochement de la vitesse moyenne de la vitesse qui génère la pollution minimale. Un autre facteur important et la population de la ville.

Tableau 4.15: Niveau de pollution par instrument tarifaire

	Péage zonal	Péage linéaire	Cordon 2	Cordon 3	Min
RRPP	100,00%	100,00%	97,90%	98,83%	C2
PRRR	28,37%	22,09%			PL
PRRP	16,49%				PZ
PRPP	19,63%	89,54%	88,87%	86,54%	PZ
PPRR		27,06%	59,16%		PL
PPRP			59,01%		C2
PPPR		15,05%		85,74%	PL
PPPP	24,69%	21,09%	59,01%	87,11%	PL
Min	PRRP	PPPP	PPPP	PPPR	

La variation des prix fonciers (Tableau 4.A.5.8) au hyper-centre, dont les habitants ne sont pas affectés par la variation des coûts de transport, est le reflet de la réduction de la pollution: très forte hausse pour les premiers deux scénarios, hausse faible pour les deux derniers. Comme on l'a précisé dans le commentaire détaillé de chaque scénario, dans les trois couronnes résidentielles, la variation des prix fonciers est déterminée par le jeu spécifique des deux forces que sont la baisse de la pollution, qui pousse à la hausse, et la variation des coûts de transport qui, suivant les cas, pousse également à la hausse ou au contraire est facteur de baisse. En moyenne, les loyers deviennent plus élevés, quelle que soit l'instrument et la configuration d'équilibre, due à la forte augmentation des prix au hyper-centre.

L'effet des différents instruments analysés sur la population de la ville est reporté dans le Tableau 4.A.5.9. On voit une nette opposition entre la population des deux scénarios où l'intervention est globale (paiement du stationnement et péage linéaire) et les deux scénarios où seuls les usagers des zones périphériques font l'objet d'une intervention directe. La population de la ville à l'optimum est nettement plus élevée dans le premier cas que dans le second. Les exceptions apparaissent pour les configurations qui sont des équilibres seulement pour une très faible taxation. La ville où le péage linéaire ou la taxation du stationnement sont élevés, attire parce qu'elle pollue peu, mais les déplacements y sont coûteux.

On notera de plus des différences importantes de structure d'un instrument à l'autre. La ville avec des péages globaux est plus compacte. Le hyper-centre est dominant à la périphérie, quelle que soit la configuration spatiale d'équilibre. En taxant les seuls déplacements voiture des deux couronnes les plus périphériques, le planificateur diminue l'importance de ces zones, mais aussi celle du hyper-centre qui bénéficie moins de la réduction de la pollution. La population de chaque zone est fortement liée à la classe sociale qui l'habite.

En conclusion, une politique partielle, c'est à dire fondée sur un seul instrument, paraît d'autant plus efficace qu'en taxant la voiture elle en dissuade l'usage et qu'elle touche la population dans son ensemble. Il y a un argument fort en faveur du péage linéaire et de la tarification du stationnement, si du moins cette dernière n'entraîne pas une forte augmentation du stationnement illégal, une question que nous avons laissée à l'écart de nos analyses.

4.8 LES CHOIX DE TARIFICATION DES TRANSPORTS EN COMMUN

Nous allons maintenant nous intéresser aux transports en commun. Pour la tarification des transports en commun nous envisageons deux politiques distinctes. Une première politique, comme dans le scénario de référence, est une taxation fixe quelle que soit le trajet parcouru. Une deuxième politique est de créer une discrimination entre les usagers, avec une tarification différente pour chaque trajet. Puisque dans notre modèle, seuls les déplacements centripètes sont pris en compte, cette politique consiste à ajouter un prix supplémentaire pour chaque zone supplémentaire parcourue.

4.8.1 Tarification unique des transports en commun

Comme précédemment, partant de l'absence de taxe, nous allons commencer par modifier les coûts des seuls déplacements en transports en commun en modifiant le prix du ticket unique de la ville. Une augmentation du prix du ticket par rapport au scénario de référence correspond à une taxation, une diminution à une subvention. Un titre de transport de coût inférieur au coût marginal est un titre de transport subventionné par l'autorité publique, qui doit couvrir le déficit du gestionnaire pour que ce dernier puisse continuer à opérer.

Signalons enfin avant d'aborder les résultats que la politique d'un tarif unique des déplacements par les transports en commun a un point commun avec la taxation du stationnement ou le péage zonal et le péage linéaire: dans les deux cas, tous les usagers du mode de transport considéré en subissent les effets directs. En plus, cette politique, comme la tarification du stationnement est non-discriminante : tous les usagers des transports en commun payent le même prix, quelle que soit le trajet.

4.8.1.1 L'effet de la tarification unique des transports en commun sur les configurations spatiales d'équilibre

Nous constatons dans le Tableau 4.16, que si les usagers sont payés pour prendre les transports en commun, le seul équilibre possible correspond à une ville entièrement pauvre. Cette situation serait possible, parce que les ménages pauvres ont une valeur très faible du temps, et ainsi ils seront prêts à accepter des durées de déplacement énormes en échange d'une somme d'argent.

Pour un prix du ticket des transports en commun entre 0,75 et 1,00 euros, ce mode de transport reste très encombré parce qu'il est toujours subventionné. Ainsi, la seule

configuration qui peut être un équilibre est de type européen, où seulement le hyper-centre est habité par les ménages riches. Plus la subvention du ticket est faible (un prix entre 1,25-1,5 euros), le système de transports en commun devient moins encombré, mais dans le même temps plus cher. Puisque les niveaux de congestion restent assez importants, la configuration d'équilibre sera de type « PRPP ». Pour un prix unique de 1,50 euros, on retrouve bien évidemment le scénario de référence (sans intervention publique). Quand on passe à un prix où les usagers des transports en commun sont taxés, on trouve un schéma de localisation de forme « PRRP ». Après un deuxième intervalle où aucun équilibre n'est pas possible, pour un prix unitaire des transports en commun supérieur à 2,75 euros, la seule configuration stable est « PRRR ». Les coûts de transport moyen seront très élevés pour les deux classes sociales (due à la forte congestion des transports privés et aux prix très élevés des transports en commun) et par conséquent les enchères des ménages riches seront plus grandes dans toutes les couronnes résidentielles. Nous remarquons, que pour un certain prix des transports en commun, une seule configuration à la fois peut être un équilibre, par rapport à la taxation des transports privés, quand il y avait la possibilité d'existence des équilibres multiples.

Tableau 4.16: Configurations d'équilibre pour une tarification unique des TC

Ticket	-1,5-0,5	0,75-1	1,25-1,5	1,75	2	2,25-2,5	2,75-4
Equilibres	PPPP	RPPP	RRPP		PRRP		PRRR

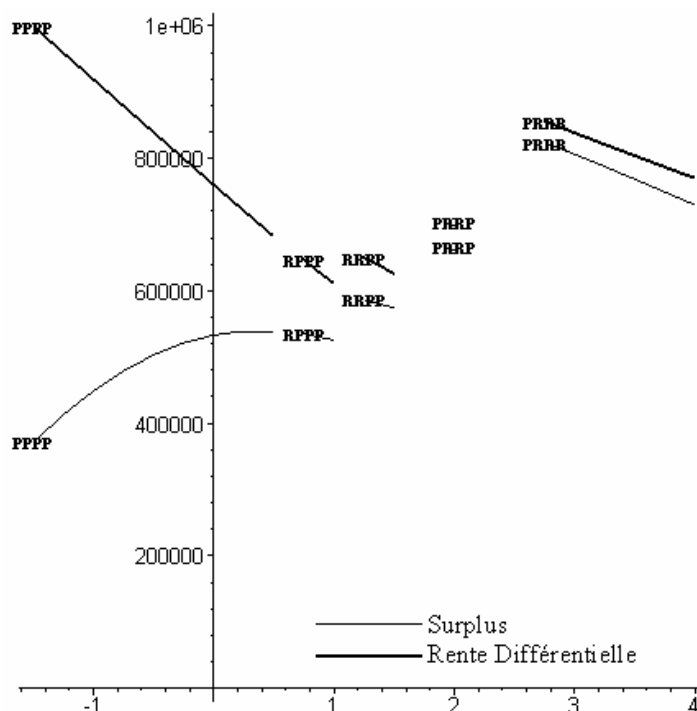
4.8.1.2 L'effet de la tarification unique des transports en commun sur le surplus

On trouvera dans la Figure 4.16 les valeurs du surplus et de la rente différentielle en fonction du prix du ticket unique des transports en commun.

Nous constatons que quelle que soit la configuration d'équilibre et pour des prix des transports en commun positifs, toute augmentation de ces prix entraîne une diminution du surplus. Seulement dans le cas d'une configuration de type « PPPP », le prix connaît une évolution concave, le prix optimal étant à 0,25 euros. C'est une valeur beaucoup au-dessous du coût marginal, ce qui signifie une subvention des transports en commun. Ca peut paraître apparemment paradoxal que, quelle que soit la configuration d'équilibre, même quand les transports en commun sont subventionnés, la puissance publique doit accepter de réduire encore les prix des transports en commun pour vaincre les réticences des ménages à prendre les transports en commun. Apparemment seulement, parce que, au delà de ces effets

redistributifs en faveur des usagers des transports en commun, la subvention des transports en commun a, via la réduction de la circulation automobile, le même effet que la taxation (positive) de cette dernière : diminuer la pollution. Et c'est cet effet qui explique l'accroissement du surplus plus que la réduction de la congestion qui est transférée d'un mode à l'autre.

Figure 4.16 : Effets de la taxation unique des transports en commun sur le surplus



Symétriquement à ce que nous avons observé dans les cas précédents, la rente différentielle continue à croître quand l'augmentation des subventions (réduction du prix) fait baisser le coût monétaire de transport. Dans le cas d'une ville entièrement pauvre, le surplus atteint son maximum parce que le coût des subventions de plus en plus importantes à des usagers des transports en commun de plus en plus nombreux, contrebalance la hausse de la rente différentielle. Ici encore, cette hausse est pour l'essentiel la conséquence de la diminution de la pollution, qui renforce l'attractivité de la ville vis-à-vis de l'extérieur, permettant ainsi aux propriétaires fonciers d'augmenter fortement leurs prix au centre ville.

4.8.1.3 L'effet de la tarification unique des transports en commun sur les transports urbains

Les graphiques A.6.1-A.6.4 présentent l'évolution des coûts globaux de transport pour chacun des deux modes de transport et pour chaque catégorie sociale, en distinguant les habitants de chaque couronne résidentielle. Comme dans le cas d'une taxation du

stationnement, les coûts évoluent presque parallèlement entre les trois couronnes. Plus on subventionne, plus on se déplace vers la gauche des graphiques, plus le coût global (somme des coûts monétaires et du coût du temps de transport) des déplacements des usagers pauvres des transports en commun (qui bénéficient tous de la subvention) est faible parce que leur coût du temps est faible. Par contre pour les ménages riches, dont le coût du temps est très élevé, aussi les coûts de transports en commun subventionnés seront plus élevés. Dans le cas d'une taxation des transports en commun, toute augmentation supplémentaire du prix entraîne une augmentation des coûts globaux, indépendamment de la classe sociale, l'effet étant plus important pour la classe pauvre, parce que les gains en termes de temps économisé sont plus faibles.

Du côté des usagers de l'automobile, bien que leurs coûts monétaires soient inchangés, la diminution de leur durée de déplacement quand les subventions augmentent leur permet également de bénéficier d'une baisse du coût global de déplacement, mais l'effet est plutôt faible.

Comme précédemment, ces évolutions des coûts globaux de transport sont la conséquence des reports modaux des usagers et des modifications de la congestion qui en résultent. Les graphiques b) et d) de la Figure 4.A.6.5 montrent en effet que dans le cas d'une subvention des transports en commun, un accroissement de cette subvention conduit à une augmentation de la part de marché des transports en commun dans les trois couronnes résidentielles. Pour une faible subvention (un prix entre 1,25 et 1,5 euros) nous retrouvons la configuration d'équilibre du scénario de référence : « RRPP ». Dans ce cas, la subvention des transports en commun entraîne une augmentation de l'usage de la voiture au centre où se trouvent les riches, parce que leurs gains en termes de coût de temps sont plus importants que les gains monétaires de la subvention. Enfin, dans une situation de forte taxation des transports en commun (équilibre de type « PRRR ») toute augmentation du prix du ticket unique signifie une réduction du pourcentage des usagers des transports en commun, en arrivant quasiment à l'usage total de la voiture dans toutes les zones de la ville.

L'effet immédiat de ce report modal est, comme dans les scénarios antérieurs, de modifier les niveaux de congestion : changement des durées de déplacement (Figures A.6.6.-A.6.7) et des vitesses moyennes de déplacement (Figure 4.A.6.8).

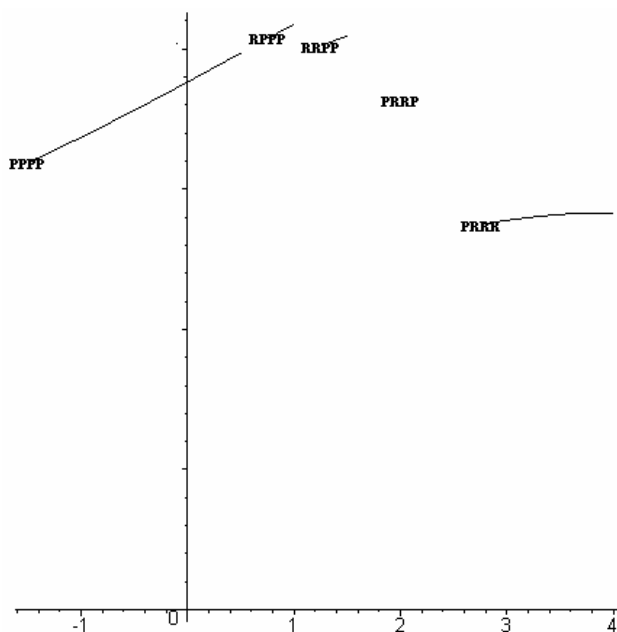
En réagissant à une baisse de leur coût monétaire de déplacement par les transports en commun (et donc à un déplacement vers la gauche du graphique) induite par une subvention plus élevée par un report vers les transports en commun, les habitants diminuent partout la congestion du réseau routier et augmentent partout celle du réseau de transports en commun

Aussi, comme on peut le constater sur les graphiques, les temps de déplacement évoluent dans le même sens, que ce soit la zone de la ville: croissance pour les transports en commun, baisse pour la voiture. Quand il s'agit d'une taxation des transports en commun, les effets sont beaucoup plus faibles. L'évolution des vitesses de déplacement sera juste opposée : toute réduction du prix (ou augmentation de la subvention) entraîne une réduction de la vitesse de déplacement des transports en commun et une augmentation de la vitesse des voitures. Nous constatons que pour une forte taxation (configuration « PRRR ») la vitesse moyenne de déplacement des transports en commun est plus élevée que celle des voitures au centre et en banlieue.

Les effets sur les coûts moyens de déplacement sont reportés dans les figures 4.A.6.9 pour les ménages riches et 4.A.6.10 pour les ménages pauvres. Pour les ménages pauvres, toute augmentation du prix du ticket (ou réduction de la subvention) est synonyme avec une croissance des coûts moyens de déplacement, parce que ils sont plus affectés par la partie monétaire que les ménages riches. Par contre, pour les ménages riches, la diminution de la subvention est accompagnée par une réduction des coûts moyens, tout simplement parce les gains en termes de temps de déplacement sont plus importants que la variation des prix. Dans le cas d'une taxation des transports en commun, l'augmentation du prix du ticket déterminera une croissance des coûts moyens.

4.8.1.4 L'effet de la tarification unique des transports en commun sur la pollution

Figure 4.17 : Effets de la taxation unique des transports en commun sur la pollution



La baisse de la part modale de la voiture et la diminution de la congestion routière vont toutes deux dans le sens d'une baisse de la pollution, bien visible quand on va de la droite (transports en commun non subventionnés) vers la gauche (transports en commun subventionnés) de la Figure 4.17. Nous constatons que même si pour un même type de configuration l'augmentation du prix des transports en commun entraîne une augmentation de la pollution, cette remarque n'est pas vraie si on compare le niveau de pollution entre les différentes structures spatiales qui peuvent constituer un équilibre. Ainsi, on constate que la structure « PRRR » est la moins polluante, même si elle existe seulement pour une forte taxation des transports en commun. Cela s'explique par le fait que pour une forte taxation, les coûts de déplacement sont plus élevés et pour compensation la taille de logements sera plus grande. Par conséquent, la population sera beaucoup plus faible et par induction aussi le nombre total de déplacements.

4.8.1.5 L'effet de la tarification unique des transports en commun sur les enchères et le marché foncier

Dans le cas d'une forte subvention, le seul équilibre possible est une ville entièrement pauvre et toute augmentation de la subvention augmente les enchères des pauvres et diminue les enchères des ménages riches, ce qui montre la stabilité de cet équilibre (Annexe A.6.11.d). A l'opposé pour une forte taxation des transports en commun (Annexe A.6.11.c), dans toutes les couronnes résidentielles les ménages riches emportent les enchères et toute augmentation du prix creuse l'écart entre les enchères des deux catégories sociales.

L'évolution des prix fonciers sera aussi opposée en fonction des choix de politiques de transports en commun. Dans le cas d'une subvention, son augmentation se concrétise dans une diminution de la pollution et donc augmentation des prix fonciers. Par contre une taxation détermine un report vers la voitures, et donc plus de pollution et une diminution des prix fonciers.

Logiquement, la variation des prix fonciers a pour corollaire une variation de la superficie occupée par les ménages et du nombre d'habitants, qu'on observe figures A.6.12 et 4.A.6.13. De manière prévisible, en cas de subvention, les ménages réagissent à l'augmentation des prix fonciers en substituant de la consommation de biens courants à leur consommation de logement. Dans toutes les zones, la superficie occupée par chaque ménage diminue, y faisant augmenter le nombre d'habitants. Contrairement à ce que nous avons constaté dans les scénarios précédents, ce n'est plus que le hyper-centre qui est la destination

privé par cet afflux de nouveaux habitants. Ainsi il y a un mouvement quasiment parallèle de la population des zones.

La situation est différente en cas de taxation des transports en commun : la taille des logements va augmenter dans les couronnes résidentielles et diminuera au hyper-centre. Par conséquent, la population diminue dans les couronnes et reste relativement constante au hyper-centre.

En résumé, même si la subvention des transports en commun a comme effet l'augmentation de la part des ménages utilisant ce mode de transport, les effets sur la structure de la ville sont différents par rapport à la taxation des déplacements privés. Ainsi, la subvention des transports en commun attire les ménages pauvres, parce qu'ils baissent leurs coûts moyens de déplacement, à cause de leur faible valeur du temps. A l'opposé, une augmentation des coûts de déplacement en voiture, due à une taxation de ces déplacements, attire les ménages riches parce que la congestion est beaucoup plus faible par rapport à l'augmentation des coûts monétaires.

4.8.2 Tarification différenciée des transports en commun

Puisque les seuls déplacements au hyper-centre sont pris en compte dans ce modèle, une taxation différenciée pour chaque type de trajet des transports en commun implique un prix supplémentaire pour chaque zone supplémentaire traversée. Pour simplifier, nous faisons l'hypothèse que c'est le même prix additionnel, quelle que soit la zone traversée. Ainsi, par exemple pour un prix zonal de 0,50 euros, le prix d'un ticket sera de 0,50 euros pour un ménage localisé au centre, de 1 euro pour un ménage de la banlieue et 1,50 euros pour un ménage situé en périphérie.

La conséquence directe pour ce type de modélisation est la non concordance entre les prix et le coût marginal des transports en commun. Ainsi, dans certaines situations les transports en commun peuvent être subventionnés ou taxés pour tous les usagers. Mais pour des valeurs des prix intermédiaires, il est possible que ce sont les voyageurs des zones plus périphériques qui subventionnent une partie des coûts de déplacement des ménages localisés dans les zones plus centrales.

Comme dans le cas d'un tarif unique, pour une forte subvention de l'ensemble des usagers des transports en commun, le seul équilibre possible est quand la ville est entièrement pauvre. Dans le cas d'une faible subvention des usagers des deux premières couronnes résidentielles et un prix égal au coût marginal pour les ménages de la périphérie (un prix par

zone de 0,50 euros), l'équilibre est de type européen, avec seulement le hyper-centre habité par les ménages riches. Quand seulement les usagers de centre sont subventionnés, la ville passe à un équilibre de type « PPRR ». Enfin, quand tous les usagers des transports en commun sont taxés, comme dans le cas d'une tarification unique, la seule configuration stable est « PRRR ». Comme dans le cas des autres instruments, pour certaines valeurs de tarification, la ville peut ne pas arriver à un équilibre stable (pour un prix entre 0,75 et 1 euro par zone et pour une fourchette de 1,75-2 euros).

Nous constatons que pour des situations extrêmes (forte taxation ou subvention des transports en commun), les effets d'un ticket unique ou différencié sur la structure sociale de la ville sont les mêmes : la subvention des transports en commun attire les ménages pauvres dans la ville tandis que leur taxation attire surtout les ménages riches. Pour des valeurs intermédiaires du prix du ticket, avec l'augmentation de ce prix, les changements de structure sociale sont proches entre les deux types de tarifications, avec une convergence vers une structure de type « PRRR ».

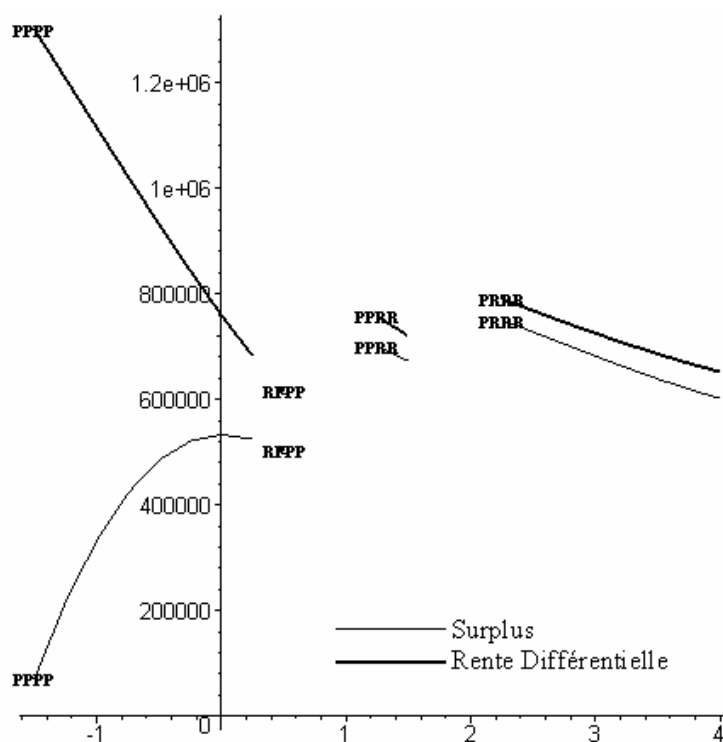
Tableau 4.17: Configurations d'équilibre pour une tarification différenciée des TC

Ticket	-1,5-0,25	0,5	0,75-1	1,25-1,5	1,75-2	2,25-4
Equilibres	PPPP	RPPP		PPRR		PRRR

L'impact de la tarification différenciée des transports en commun le surplus est vraisemblable à l'impact de la tarification unique : sauf dans le cas d'une forte subvention des transports en commun, toute augmentation de ces prix entraîne une diminution du surplus, quelle que soit la configuration spatiale d'équilibre. Cette diminution est le résultat surtout de la réduction du surplus des propriétaires fonciers, causée par le report vers l'usage de la voiture, qui est accompagné par une augmentation du niveau de pollution dans la ville.

Dans le cas d'une forte subvention, le seul équilibre possible est une ville pauvre. Le niveau zonal optimal de tarification serait nul. Ainsi, avec gratuité des transports en commun, les pertes du planificateur sont compensés par la forte augmentation des rentes différentielles, à cause de la réduction de la pollution. Pour toute subvention plus élevée (des prix des transports en commun négatifs), les pertes du planificateur devient trop importantes et le surplus diminue.

Figure 4.18 : Effets de la taxation différenciée des transports en commun sur le surplus



Tous les effets de la tarification différenciée des transports en commun sur le fonctionnement du système des transports urbains seront très proches des effets de la tarification unique, seulement l'intensité de ces effets sera différente selon la zone de la ville, à cause des coûts monétaires de déplacement par transports publics plus élevés quand un ménage habite dans une zone plus éloignée de hyper-centre.

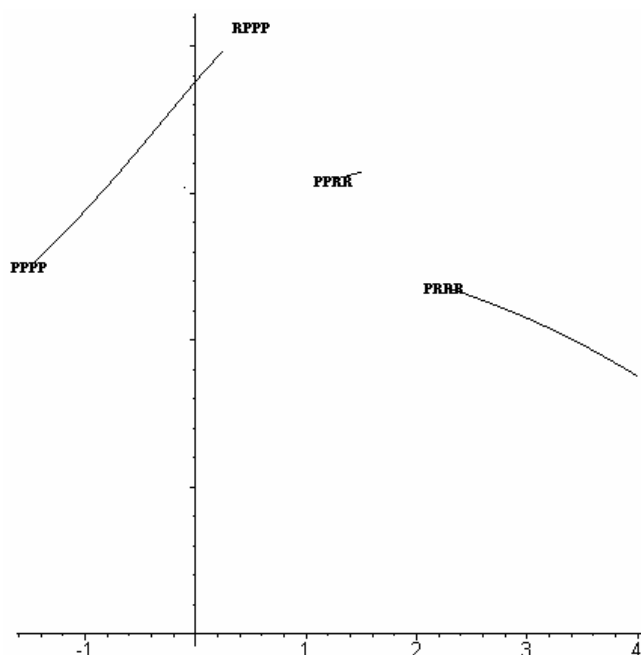
Toutes les figures de l'impact de la tarification différenciée des transports en commun sont reportées dans les Annexes 4.A.7. Plus on subventionne les transports en commun, plus les coûts globaux des déplacements des transports en commun sont faibles pour les ménages pauvres et élevés pour les ménages riches. Dans le cas d'une taxation des transports en commun, toute augmentation supplémentaire du prix entraîne une augmentation des coûts globaux, indépendamment de la classe sociale, l'effet étant plus important pour la classe pauvre.

La conséquence directe sur la répartition entre les deux modes de transports est que toute augmentation du prix du ticket zonal implique une diminution du nombre des usagers des transports en commun. La seule différence par rapport au ticket unique est que quelle que soit le type d'équilibre, toujours la part d'usagers des transports en commun décroît avec la distance au hyper-centre, à cause de la différenciation des coûts monétaires des trois couronnes résidentielles. Ces changements de répartition modale impliquent des effets sur la

congestion des deux modes de transport : l'augmentation du prix du ticket implique une légère augmentation de la congestion des transports privés et une forte réduction de la congestion des transports publics. Le niveau de pollution et la consommation totale des carburants connaîtront une évolution proche du cas d'une tarification unique : toute augmentation du prix détermine un report vers l'usage des voitures, donc une augmentation de la pollution et de la consommation énergétique globale. L'exception est dans le cas d'une configuration « PRRR » qui existe seulement pour une forte taxation des transports en commun. Dans ce cas, quasiment la totalité des ménages utiliseront la voiture, mais le niveau de pollution diminue.

Cela s'explique, par une diminution de la population des trois couronnes résidentielles par rapport aux autres scénarios. Cette réduction est le résultat à deux facteurs : d'abord ce sont seulement des ménages riches qui habitent les couronnes résidentielles et donc ils nécessitent une consommation de logement plus important afin d'arriver à un niveau élevé d'utilité. Deuxièmement, avec l'augmentation de la taxation des transports en commun, les coûts de déplacements sont très importants, quel que soit le mode de transport (coûts monétaires pour les transports en commun, coûts de temps pour les transports en voiture). Par conséquence, pour contrebalancer ces effets, la taille des logements augmentera encore.

Figure 4.19 : Effet de la taxation différenciée des transports en commun sur la pollution



Comme dans le cas de la tarification unique, les deux configurations d'équilibre extrêmes sont stables : toute augmentation de la subvention ou de la taxation implique une divergence des enchères des deux catégories sociales dans toutes les zones de la ville.

L'évolution des prix fonciers sera aussi opposée en fonction des choix de politiques de transports en commun : une subvention se concrétise dans une augmentation des prix fonciers et une taxation détermine une diminution de ces prix. En général, toute augmentation des prix des transports en commun impliquera des logements de plus grande taille et donc une réduction de la population de chaque zone.

4.8.3 Confrontation des instruments de tarification des déplacements publics

Avant de comparer les deux politiques de tarification des transports en commun, c'est nécessaire de réaliser une mise à une valeur annuelle optimale des coûts monétaires de déplacement en transports en commun au niveau :

Tableau 4.18: Tarification annuelle optimale des transports en commun

	Ticket Unique	Ticket Différentié		
	z1-z2-z3	z1	z2	z3
RRPP	1,5			
RPPP	0,9	0,6	1,2	1,8
PRRR	3,3	2,7	5,4	8,1
PRRP	2,4			
PPRR		1,5	3	4,5
PPPP	0,3	0	0	0

Nous le rappelons que sauf pour la configuration « PPPP » qui existe pour une forte subvention, tous les autres niveaux optimaux représentent la tarification minimale pour laquelle la structure est un équilibre. A niveau optimal, les coûts monétaires des transports en commun déterminés par une politique de différenciation semblent généralement plus élevés, sauf pour les ménages situés en première couronne résidentielle.

Tableau 4.19: Surplus par politique de tarification des transports en commun

	Ticket Unique	Ticket Différentié
RRPP	102,07%	
RPPP	93,07%	87,93%
PRRR	143,44%	130,62%
PRRP	115,94%	
PPRR		121,95%
PPPP	93,86%	92,86%
Max	PRRR	PRRR

Le surplus dégagé varie fortement entre les configurations spatiales possibles. Ainsi, on constate que pour une forte subvention, la ville attire plus les ménages pauvres et le surplus dégagé est très faible. Le surplus le plus élevé, pour les deux politiques est dégagé pour une forte taxation des transports en commun, quand la ville a une structure de type

« PRRR ». Par rapport aux instruments de taxation des transports privés qui touchent l'ensemble d'utilisateurs (péage zonal, péage linéaire), la tarification des transports en commun, semble moins efficace. Il faut préciser que le surplus dans le cas de la tarification différenciée est sous-évalué du simple fait que nous avons fait l'hypothèse initiale que les coûts marginaux de traverser une zone supplémentaire est nul.

La répartition modale entre les deux modes de transport (Tableau 4.A.8.1) souffre quelques différences entre les deux politiques de tarification des transports en commun. Ces différences résultent de la discrimination entre les utilisateurs des différentes localisations, introduite par le ticket différencié. Ainsi, pour une même configuration d'équilibre, la part modale des transports en commun est plus élevée au centre pour le ticket différencié et en périphérie pour le ticket unique. Mais en moyenne, entre les deux politiques, la part modale des utilisateurs des transports en commun est très proche.

Une comparaison des durées et des vitesses moyennes de déplacements (Tableaux 4.A.8.2.-4.A.8.4) montre l'effet joué par cette différenciation de répartition modale sur les conditions de trafic. Dans le cas d'une tarification différenciée, en périphérie les transports en voiture sont moins congestionnés que dans le cas d'une tarification unique. Par contre pour les transports en commun, c'est la situation inverse. Nous constatons également que dans le cas d'une configuration de type « PRRR » qui existe seulement pour une forte taxation des transports en commun, l'usage massif de la voiture détermine des transports en commun plus rapides que les voitures privées.

L'impact sur la pollution sera plutôt faible par rapport à la taxation des transports en voiture qui touchent l'ensemble des utilisateurs :

Tableau 4.20: Niveau de pollution par politique de tarification des transports en commun

	Ticket unique	Ticket différencié
RRPP	98,27%	
RPPP	99,55%	101,16%
PRRR	67,15%	57,81%
PRRP	88,78%	
PPRR		75,56%
PPPP	94,49%	91,97%
Min	PRRR	PRRR

Les prix fonciers varient moins entre les deux politiques et entre configurations d'équilibre que dans le cas de la tarification des déplacements en voiture. Nous constatons que la population des trois couronnes résidentielles est beaucoup plus faible pour une configuration de type « PRRR » que les autres structures, ce qui explique la réduction de la

pollution plus forte pour cette configuration. Généralement, pour un ticket différencié, la population est plus importante dans les zones plus centrales et plus faibles dans les zones les plus périphériques. Ce phénomène apparaît à cause de la discrimination entre les usagers des différentes zones de la ville, qui implique des coûts monétaires plus élevés pour les ménages localisés plus loin de hyper-centre.

En conclusion, les différences entre une politique de tarification unique et une tarification différenciée restent assez faibles. Ce qui va différencier les effets de ces deux politiques c'est la répartition modale, la part des usagers des transports en commun étant plus élevée au centre dans le cas d'une tarification différencié et plus élevée en périphérie pour une tarification unique. Nous constatons également que la tarification des transports en commun semble une politique moins efficace, de point de vue économique mais aussi écologique, que la taxation des transports privés.

4.9 LES POLITIQUES D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Quant à l'aménagement du territoire, le décideur peut intervenir sur quatre éléments : la superficie des parkings au hyper-centre, la surface destinée à la voirie des transports en commun et à la voirie des transports privés dans les trois couronnes résidentielles et la superficie résidentielle de la périphérie.

La variation de la superficie totale des parkings au hyper-centre n'interfère pas avec les superficies des autres usages, parce que nous avons fait l'hypothèse qu'il s'agit des parkings hors voirie aménagés (sous-terrains). La décision en matière de voirie des transports influencera la superficie destinée aux logements pour les premières deux couronnes résidentielles, mais pas pour la périphérie, parce que cette zone n'est pas limitée. Ainsi, la seule zone où le décideur peut intervenir directement sur la superficie résidentielle sera en périphérie.

Un élément à préciser porte sur le choix de la superficie des voiries des transports. Le planificateur peut varier ces surfaces pour chaque zone, ou pour différentes combinaisons. Bien évidemment, le nombre de possibilité s'avère très élevé (sept pour chaque mode de transport) et pour des raisons d'espace nous choisissons d'analyser seulement la variation de la voirie pour toutes les zones de la ville.

4.9.1 Choix en matière de superficie de stationnement au hyper-centre

Les choix en matière de superficie des parkings au hyper-centre n'affectent pas l'usage du sol d'autres activités, suite à nos hypothèses concernant l'usage du sol dans cette zone (la totalité de la surface disponible est utilisée pour les logements et les parkings sont hors voirie).

Dans la politique d'aménagement on ne peut pas partir d'une situation sans intervention, parce que quelle que soit le choix de répartition de l'usage du sol, le planificateur intervient dans la structure spatiale de la ville. Ainsi, nous faisons évoluer la variable en question, en partant d'une très faible superficie jusqu'à un niveau très élevé :

Tableau 4.21: Configurations d'équilibre en fonction de la superficie du stationnement

GO	5-25	35	45-75	85-175	185-
Equilibres	PPPP	PRPP	RRPP		PRRP

Les choix de la superficie destinée au stationnement influence directement seulement le temps nécessaire pour trouver une place de parking au hyper-centre. Ainsi, quand la superficie est nulle, le temps de recherche sera infini et pour une superficie infinie, la durée de recherche d'un stationnement sera nulle. Cette variation de la durée de recherche d'un stationnement aura un effet sur la répartition modale, parce qu'elle est une composante de la durée totale d'un trajet en voiture.

D'abord nous sommes intéressés aux effets de la variation de la superficie de stationnement sur la structure socio-spatiale de la ville. Quand la superficie totale des parkings est très faible, la congestion du stationnement sera énorme. Par conséquence, les coûts de déplacement en voiture seront très élevés et la majorité des ménages vont utiliser les transports en commun. Les durées de déplacement seront élevées ainsi pour les deux modes de transports. Pour les transports en commun la cause est le report modal vers ce mode de transport, et pour les transports privés, ce sont les difficultés de trouver une place de stationnement. Pour ces raisons, la seule configuration d'équilibre possible est une ville entièrement pauvre, parce que les ménages pauvres ont une valeur plus faible du temps.

Pour une surface légèrement supérieure (de 35 ha), nous passons à une configuration d'équilibre de type « PRPP ». La durée de recherche d'un stationnement étant plus faible, il y aura une augmentation de l'usage de la voiture dans toutes les zones de la ville et donc une réduction de la congestion de deux modes de transports. Puisque maintenant les durées totales de déplacement sont raccourcies, les ménages riches sont aussi présents dans la ville. Ils se localisent seulement en première couronne, parce que les durées de déplacement restent assez importantes.

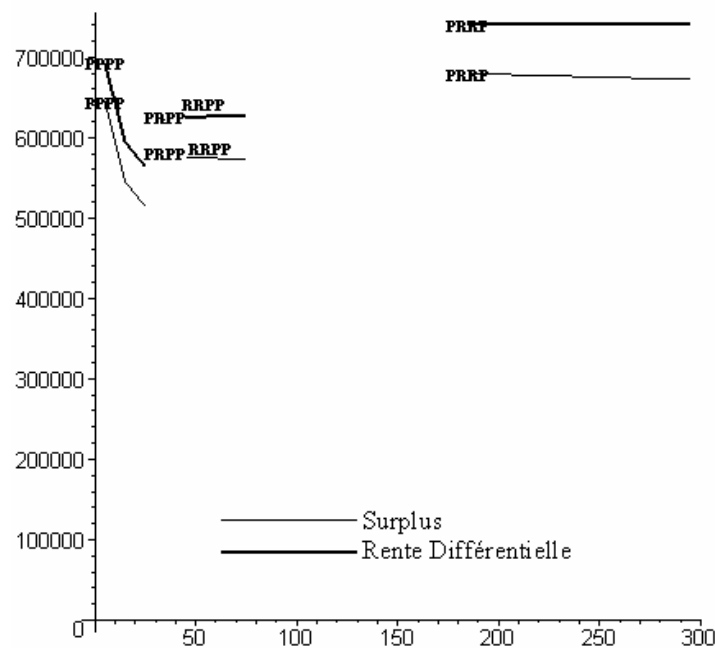
Pour une superficie autour du choix fait dans le scénario de référence (entre 45-75 ha), nous retrouvons la configuration d'équilibre de type européen « RRPP ». Après un intervalle où aucun équilibre n'est possible, la ville se stabilise à une structure « PRRP ». Déjà le temps nécessaire pour trouver une place de parking est très faible, et par conséquence la part d'utilisateurs des voitures est très importante. Les deux modes de transport seront peu congestionnés. Evidemment à partir d'un certain seuil, une augmentation supplémentaire de la superficie destinée au stationnement aura un faible effet sur la congestion des automobiles, parce qu'ils sont contraints par la capacité de la voirie, qui est fixe.

A ce niveau de superficie de stationnement, le temps de recherche d'un parking est presque nul, et toute augmentation de cette superficie aura un impact très faible sur les niveaux de congestion des deux modes de transport. Même si avec l'augmentation de la superficie de stationnement, les enchères des ménages riches se rapprochent des enchères des

ménages pauvres, à cause de la réduction de la durée de déplacement, ce mouvement est trop faible pour arriver à un changement de structure. Ainsi, même pour une superficie infinie et donc pour une durée de recherche de stationnement nulle, la configuration qui constitue un équilibre est de type « PRRP ».

Nous constatons que pour toute configuration spatiale possible, l'augmentation de la surface totale de stationnement est accompagnée par une diminution du surplus. Cette baisse joue sur deux niveaux. D'abord, pour le planificateur, l'augmentation de la superficie de stationnement entraîne des coûts supplémentaires d'aménagement des parkings et puisqu'il n'applique pas simultanément une tarification du stationnement son surplus sera diminué. Également la rente différentielle des propriétaires fonciers sera diminuée parce que la politique d'augmentation des possibilités de stationnement détermine un report vers l'usage des automobiles, ce qui augmente le niveau de pollution dans la ville. Les effets sur le surplus seront de plus en plus faibles pour une surface importante de stationnement :

Figure 4.20: Effet de la variation de la superficie de stationnement sur le surplus



Nous allons analyser en détail l'effet des différents choix d'aménagement du stationnement sur les différents aspects du fonctionnement du système de transports urbain. Bien évidemment, les effets induits par une variation de cette superficie n'affectent pas monétairement les décisions d'usagers, parce que le planificateur n'utilise simultanément les instruments tarifaires. Les implications se déroulent en termes de niveau de congestion des deux modes de transport.

Dans la Figure 4.A.9.1 nous présentons l'évolution des coûts globaux de déplacement en voiture de ménages riches, en fonction de la superficie destinée aux parkings. Nous constatons que toute augmentation de cette superficie détermine une diminution des coûts, diminution qui ralentie pour des valeurs élevées de la superficie. Une évolution presque identique connaît le coût global de déplacement des ménages riches par transports en commun (Figure 4.A.9.2). Cela signifie que la décision d'aménagement qui concerne directement que les transports en automobile a un impact presque identique sur les transports en commun.

Si nous partons d'une très faible surface allouée au stationnement, les deux modes de transports présentent des coûts globaux très élevés. Dans le cas des transports privés, ces coûts sont engendrés par la durée importante nécessaire à la recherche d'une place de stationnement. Cette situation oblige une bonne partie des ménages de prendre les transports en commun, ce qui implique une forte congestion de ce mode de transport et donc des coûts de temps très élevés. Par conséquent, une légère augmentation de la superficie destinée au stationnement aura un impact très fort sur le temps nécessaire à la recherche du stationnement. Ce temps fortement réduit impliquera des coûts plus faibles pour la voiture et donc également un désencombrement du système de transports publics, qui est moins attirant.

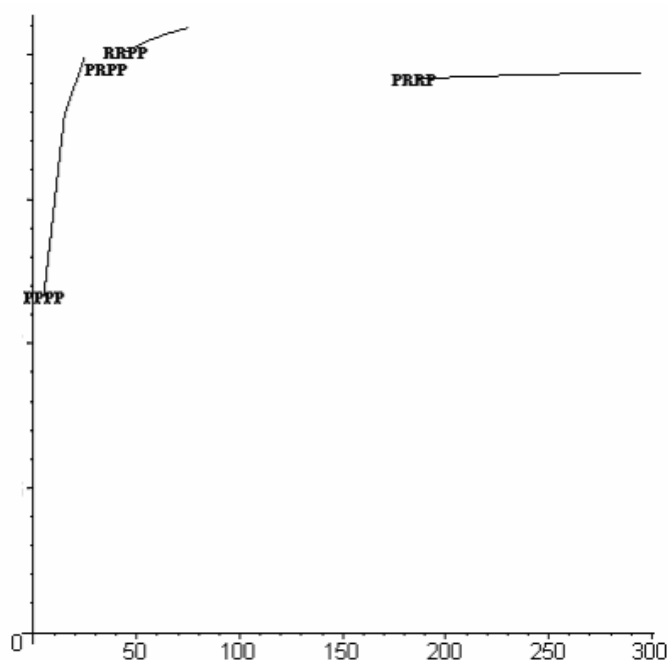
Avec l'augmentation de la superficie de stationnement, le temps de recherche d'une place se rapproche de zéro et forcément l'impact marginal devient décroissant. En plus, même pour une durée nulle de recherche d'un stationnement, les transports privés subissent un niveau de congestion minimal, du à la capacité de la voirie. Ainsi, les coûts de déplacement connaissent une évolution concave en fonction de la superficie de stationnement au hyper-centre. Dans les figures 4.A.9.3 et 4.A.9.4 nous constatons la même évolution des coûts de déplacement des ménages pauvres, mais atténuée, parce qu'ils sont moins sensibles aux durées de déplacement.

La conséquence de cette évolution des coûts sur la répartition modale est évidente (Figure 4.A.9.5) : toute augmentation de la superficie de stationnement détermine un usage plus fort de la voiture. Ces changements atténuent avec l'augmentation de la surface de stationnement. Les durées de déplacement en voiture sont la somme des durées nécessaires de traverser chaque zone et le temps de recherche d'une place de stationnement. Donc, ce temps de recherche aura un impact direct sur la durée totale du trajet, qui connaîtra une évolution décroissante convexe. Puisque pour une durée élevée de recherche de stationnement les ménages vont se reporter vers l'usage des transports en commun, les durées de déplacement pour les deux modes de transports sont corrélées (Figure 4.A.9.7). L'effet sur la vitesse moyenne de déplacement dans les couronnes résidentielles sera inverse. Quand la superficie

de stationnement est très faible, le nombre d'usagers de véhicules privés sera très faible, ce qui implique une vitesse très élevée de déplacement des transports privés dans les couronnes résidentielles et très faible pour les transports en commun. Avec l'augmentation de la surface ces effets deviennent de plus en plus faibles.

Vue toutes ces effets induits sur le fonctionnement des transports, pour chaque type d'équilibre, une augmentation de la superficie totale de stationnement implique un usage plus intensif des automobiles et donc une croissance du niveau de pollution. Cette croissance devient de plus en plus faible avec la l'augmentation de la superficie de stationnement :

Figure 4.21: Effet de la variation de la superficie de stationnement sur la pollution



Maintenant, nous allons analyser les implications des choix du planificateur en termes de superficie de stationnement sur le marché foncier, en commençant avec les enchères des deux catégories sociales (Figure 4.A.9.9). L'augmentation de la superficie entraîne deux effets importants. D'abord c'est la réduction des durées de déplacement des deux modes de transport, qui se concrétise dans une réduction des coûts globaux de transport. Cette réduction est plus forte pour les ménages riches, dont la valeur du temps est plus élevée. La baisse généralisée des coûts de transports augmente le revenu net des ménages, ce qui implique aussi des enchères plus élevées.

L'autre effet est l'augmentation de la pollution due à un usage plus intensif des transports privés, générateurs de pollution. L'effet ainsi sera une réduction des enchères des deux catégories sociales. Entre les deux effets opposés, celui qui emporte dépend fortement de la classe sociale du ménage. Ainsi, pour les ménages pauvres la valeur du temps est plus

faible et leurs enchères sont décroissantes par rapport à la superficie totale de stationnement. Par contre, pour les ménages riches, les gains de temps sont plus importants dans leurs enchères que l'augmentation de la pollution, notamment pour une très faible superficie de stationnement. Il faut rappeler que ces mécanismes actionnent seulement dans les couronnes résidentielles parce que pour les ménages localisés au hyper-centre il n'y a pas de déplacements à faire et donc le seul effet est l'augmentation de la pollution.

Puisque le prix foncier est donné par les enchères de la catégorie qui est habitée une certaine localisation il connaîtra une évolution identique : augmentation avec la superficie du stationnement dans les zones riches et diminution dans les zones pauvres. Généralement la taille des logements augmente, en se stabilisant pour des valeurs élevées de la superficie totale du stationnement. A l'exception de la configuration « PPPP » quand l'augmentation du parking implique une réduction de la population, l'effet sur le nombre de ménages de chaque zone est très faible.

La caractéristique principale de la variation de la superficie du stationnement, est que cette politique agit sur les durées de déplacement des deux modes de transport. Cela arrive à cause du fort report modal vers les transports en commun quand le temps nécessaire pour la recherche d'une place de stationnement est très élevé. Ces effets sont de plus en plus faible quand la superficie du stationnement est élevée.

4.9.2 Choix en matière de superficie de la voirie des transports en commun

Bien évidemment le planificateur peut agir sur la superficie allouée à la voirie des transports en commun dans une ou plusieurs zones de la ville. Puisque le nombre de combinaison est assez important, nous allons résumer notre analyse sur une variation de la voirie dans toutes les couronnes résidentielles, puisqu'au hyper-centre les déplacements sont ignorés dans notre modèle.

L'augmentation de la superficie destinée aux transports en commun est synonyme d'une augmentation de la capacité de cette voirie et donc une réduction de la congestion. Puisque le système de transports en commun sera moins congestionné, une partie des usagers des transports privés vont se reporter vers ce mode de transport. Par conséquent, l'augmentation de la capacité d'un mode de transport n'implique seulement la réduction de la sa propre congestion, mais aussi du mode alternatif.

L'augmentation de la superficie de la voirie de transports en commun a comme effet direct aussi la soustraction d'une partie du sol destiné à l'usage résidentiel dans les premières

deux couronnes résidentielles. Cela aura un effet important sur la population de ces deux zones. Cette politique n'affecte pas la superficie résidentielle en périphérie parce que cette zone n'est pas entourée d'une zone plus éloignée et donc à priori elle n'est pas limitée.

Les choix de la voirie des transports en commun sont limités par le fait que les premières deux couronnes ont une superficie totale limitée. Ainsi la capacité des transports en commun maximale est de 950 ha par zone, déterminée comme la différence entre la superficie totale et la voirie des transports privés. Dans cette situation la superficie résidentielle dans les premières deux couronnes sera nulle et donc ces zones seront désertes.

Comme les autres politiques d'aménagement, nous traitons les choix de voirie des transports en commun dans un contexte d'optimum de deuxième rang et le planificateur n'agit pas sur les prix. Par conséquent les effets de cette politique passent par les modifications des conditions de trafic des deux modes de transport.

L'augmentation de la capacité des transports en commun détermine une convergence de la structure sociale urbaine vers une ville complètement pauvre. Quand la voirie des transports en commun est très faible nous sommes dans une configuration identique au scénario de référence : « RRPP ». En augmentant la surface destinée aux transports en commun, les zones riches seront au fur et à mesure occupées par les ménages pauvres, en arrivant à une ville pauvre.

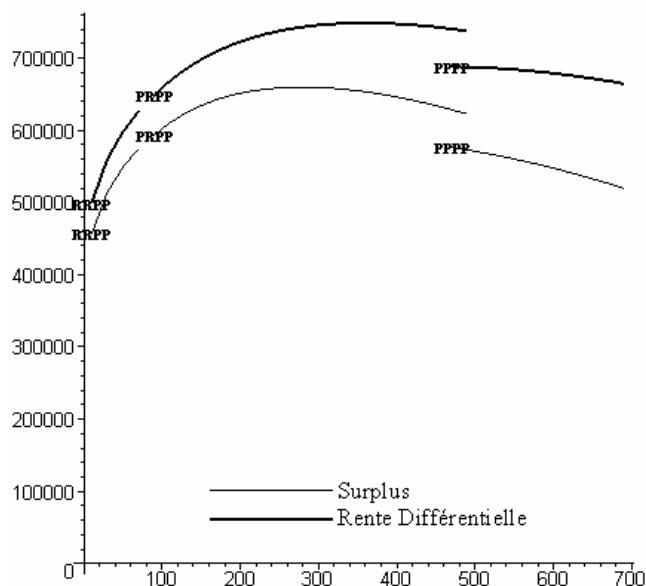
Tableau 4.22 : Effet de la voirie des TC sur la structure socio-spatiale de la ville

A(x)	10-70	90-460	470-490	510-950
Equilibres	RRPP	PRPP	PRPP PPPP	PPPP

L'impact de la variation de la capacité des transports en commun agira différemment sur le surplus dégagé par la ville que le choix de la superficie du stationnement. Un premier effet de l'augmentation de la voirie des transports en commun sera une diminution du surplus du planificateur qui doit augmenter ces dépenses liées à l'aménagement de la voirie. Du côté des propriétaires fonciers il y a deux effets induits par les choix du planificateur dans la matière. Un premier effet est à la baisse de la rente différentielle, causée par la réduction de la superficie à usage résidentiel. Le deuxième effet est à la hausse, par la réduction de la congestion des deux modes de transports et donc une réduction des coûts de déplacement et du niveau de pollution, ce qui fait la ville plus attractive. Cela implique une évolution concave du surplus en fonction de la capacité de la voirie des transports en commun. La forme des

courbes du surplus est très proche de celle des rentes différentielles, mais nous constatons que l'écart entre les deux augmente :

Figure 4.22: Effet de la variation de la capacité des transports en commun sur le surplus



Puisque la configuration « RRPP » est un équilibre seulement quand le surplus est en trajectoire croissante, la valeur optimale de la superficie destinée aux transports en commun est égale à sa valeur maximale. Dans notre cas c'est de 70, qui par hasard est identique au scénario de référence. Pour ces capacités des transports en commun le surplus est croissant parce que l'effet réduction de la pollution et des coûts de déplacement dépassent les coûts d'aménagement du planificateur et l'effet de la réduction de la superficie résidentielle des deux couronnes résidentielle.

Avec l'augmentation de la capacité de la voirie des transports en commun la réduction de la congestion affaiblit et par conséquent les effets négatifs sur le surplus deviennent de plus en plus importants, ce qui explique la forme concave pour la configuration « PRPP ». Le surplus est maximisé pour une capacité de 270 ha. Enfin la configuration « PPPP » est en équilibre seulement pour la trajectoire décroissante du surplus et donc la valeur efficace de la capacité des transports publics est égale à sa valeur minimale (470 ha). Dans cette configuration, déjà la part du sol destinée aux transports est tellement importante que la superficie résidentielle est très faible ce qui fait une diminution de la rente différentielle. A cette baisse, on ajoute aussi l'augmentation du déficit du planificateur qui est confronté à des coûts très élevés d'aménagement de la voirie des transports en commun.

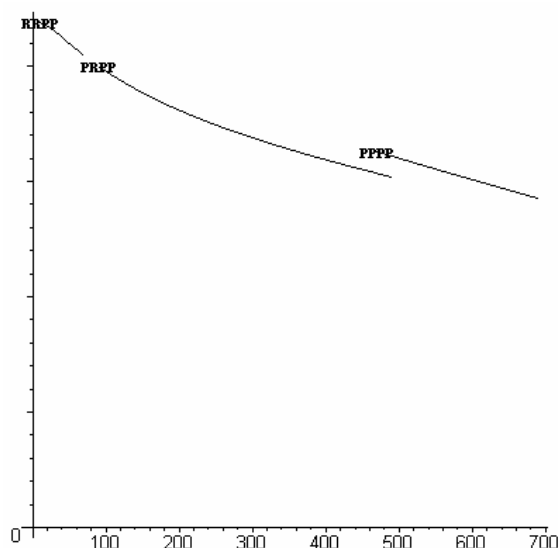
L'impact sur les coûts de transport n'est pas monétaire, mais il se réalise sur les conditions de trafic. Comme dans le cas de l'aménagement du stationnement, la politique de voirie a un effet non seulement sur le mode de transport concerné, mais aussi sur le mode alternatif. Bien évidemment toute augmentation de la capacité du système de transports en commun entraîne une diminution de sa congestion. Mais cette baisse de la congestion des transports en commun va attirer une partie des usagers des transports privés. A cet effet on ajoute aussi la réduction de la population dans les premières deux couronnes résidentielle, qui résulte du changement de l'usage d'une partie du sol résidentiel. Comme nous le constatons dans les figures A.10.1-A.10.4 cette réduction des coûts globaux de déplacement est générale pour les deux catégories sociales, plus accentuée dans le cas des ménages riches. L'effet direct sur les transports en commun reste plus important que l'effet induit aux transports privés. La réduction des coûts de déplacement par les transports en commun connaît une évolution convexe en fonction de la capacité de la voirie publique, tandis que l'impact sur les transports privés est quasiment linéaire.

La répartition modale (Figure 4.A.10.5) connaîtra des changements suite aux modifications de la capacité de la voirie des transports en commun. Avec l'augmentation de sa voirie, les transports en commun devient moins congestionnés ce qui attire une partie des usagers de la voiture. La croissance du pourcentage des usagers des transports en commun diminue et pour des valeurs très élevées ce pourcentage peut même diminuer. Cela arrive à cause de la forte réduction de la population qui implique un trafic léger pour les deux modes de transport.

Puisque les variations des coûts de transports sont induites seulement par des variations des durées de déplacement, ces dernières connaîtront une évolution identique aux coûts globaux : une diminution linéaire des durées de déplacement en voiture et une diminution convexe des durées des transports en commun (Figure 4.A.10.6 et A.10.7). Les vitesses moyennes de déplacement augmentent dans toutes les zones, pour tous les moyens de transport (Figure 4.A.10.8). L'augmentation de la vitesse des transports en commun sera plus prononcée en arrivant même d'être plus rapides que les automobiles.

Puisque l'augmentation de la voirie des transports en commun entraîne aussi une réduction du trafic des transports en voiture, elle sera accompagnée par une baisse du niveau de pollution dans la ville :

Figure 4.23: Effet de la variation de la capacité des transports en commun sur la pollution



En augmentant la capacité du système de transports publics, la ville devient moins congestionnée ce qui implique des coûts de déplacement plus faibles et donc une augmentation des enchères des deux catégories. A cela, s'ajoute aussi l'effet de réduction de la pollution ce qui implique une augmentation générale des enchères des deux catégories sociales (Figure 4.A.10.9). Comme corollaire, le prix foncier augmente également et la taille des logements diminue (Figure 4.A.10.10).

L'effet sur la population de la ville dépendra des deux facteurs : la réduction de la pollution et des coûts de transport implique une attractivité accrue dans toutes les zones de la ville. Mais dans le même temps, l'augmentation de la capacité de la voirie publique soustraie une partie du sol qui était destiné à l'usage résidentiel dans les premières deux couronnes résidentielles. Ainsi, sauf dans le cas d'une configuration « RRPP » la population augmente au hyper-centre et en périphérie et diminue fortement au centre et banlieue. On le sait que si la superficie occupée par les transports en commun est fixée à son niveau maximal, nous arrivons à une situation où les premières deux couronnes résidentielles sont désertes. L'exception de la configuration « RRPP » s'explique par le fait qu'elle est en équilibre seulement pour une faible capacité des transports en commun et toute augmentation déterminera un effet réduction de la congestion plus important que la réduction de la superficie résidentielle.

En résumé, le choix d'aménagement de la voirie des transports en commun n'affecte pas seulement les transports en commun mais aussi les déplacements en voiture. Ainsi, l'augmentation de la capacité de la voirie publique diminue la congestion des deux modes de

transport, en partie à cause de l'adaptation de la répartition modale aux nouvelles conditions de capacité, mais aussi à cause de la forte réduction de la population au centre et en banlieue.

4.9.3 Choix en matière de capacité de la voirie de transports en voiture

Pour le choix de capacité des routes, nous analysons seulement le cas où le planificateur agit simultanément et identiquement sur la voirie des trois couronnes résidentielle, en sachant qu'il peut aménager seulement une ou deux zones de la ville. Ces variations possibles auront des effets très proche du cas analysé, les différences apparaîtront sur l'intensité de ces effets sur chaque zone.

La politique d'aménagement de la voirie de transports privés actionne de même façon que celle des transports en commun, la différence majeure étant le fait qu'elle a un impact direct sur les déplacements en voiture et indirect sur les transports en commun. Comme dans le cas des autres politiques d'aménagement, nous faisons l'hypothèse qu'elle n'est pas accompagnée par une politique tarifaire et par conséquent ces effets directs jouent seulement sur les conditions de trafic. L'augmentation de la capacité des routes diminue la congestion de ce mode de transport, ce qui va attirer une partie des usagers des transports en commun. Ainsi, la congestion des deux modes de transports évoluera dans le même sens.

Comme dans le cas de la voirie des transports en commun, une augmentation de la capacité des routes implique une diminution de la superficie résidentielle des premières deux couronnes résidentielles. Ainsi, la capacité du système routier est limitée par le fait que la surface disponible dans les premières couronnes est fixe. Dans notre cas, cette limite est égale à la différence entre la surface totale de la zone en question et la superficie destinée aux transports en commun (1130 ha). Pour une telle décision, la totalité du sol des premières deux couronnes sera utilisée pour les transports et donc ces zones seront désertes.

Pour une capacité des routes non significative, la ville sera entièrement pauvre, parce que les deux modes de transport sont hyper-congestionnés. Après un court passage par une structure « RPPP » la ville est à l'équilibre selon une configuration européenne : « RRPP ». Nous voyons que dans un premier temps l'augmentation de la capacité du système routier attire les ménages riches parce que la congestion de ce système diminue. Mais à partir d'un certain seuil (290 ha par zone), à cause de la réduction des superficies destinées aux logements, la ville revient au fur à mesure vers une structure sociale où il y a que des ménages pauvres :

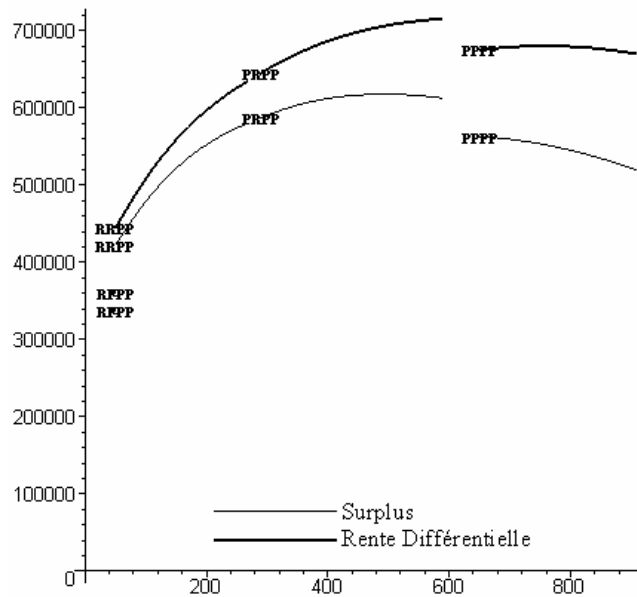
Tableau 4.23 : Effet de la voirie des transports privés sur la structure socio-

R(x)	10	30	50	70-270	290-590	610-630	650-1130
Equilibres	PPPP	RPPP	RPPP RRPP	RRPP		PRPP	PPPP

Dans les figures suivantes nous n'avons pas représenté l'équilibre « PPPP » pour une faible capacité des routes pour des raisons de lisibilité des graphiques. Le surplus dégagé est influencé par deux facteurs : la variation du surplus du planificateur et du surplus des propriétaire fonciers. Les dépenses du planificateur augmente avec la capacité des routes parce qu'il ne met pas en place un système de péage. La rente connaît une double influence : une à la hausse et une à la baisse. Une influence à la hausse est déterminée par la réduction de la congestion qui détermine une diminution des coûts globaux de déplacement pour les deux modes de transport. Ainsi, le revenu net des ménages sera supérieur et donc ils sont prêt à payer plus pour le logement. La réduction de la congestion, accompagnée par une baisse de la population dans les premières deux couronnes résidentielles (causée par la diminution de la superficie résidentielle) a comme conséquence généralement une réduction du niveau du pollution, ce qui renforce l'attractivité de la ville. Dans le même temps il y a un effet direct de diminution de la rente différentielle, déterminé par la réduction de la superficie résidentielle.

L'évolution du surplus donc sera proche de celle de la rente différentielle, atténuée par la réduction du surplus du planificateur (Figure 4.24). Pour une capacité relativement réduite des routes, l'augmentation de la rente différentielle détermine une augmentation du surplus, parce que les effets positifs de la réduction de la congestion emportent. Pour des valeurs élevées, la tendance est renversée parce que les gains supplémentaires de réduction de congestion sont plus faibles et ainsi l'effet principal est le résultat de la réduction de la superficie résidentielle. Sauf la configuration « PRPP », les autres structures sociales d'équilibre existent seulement dans une trajectoire croissante ou décroissante du surplus, ce qui signifie que la capacité optimale de la route sera égale à la valeur maximale (ou minimale) qu'elle puisse prendre pour chaque configuration possible. Dans le cas d'une configuration « PRPP », même si la rente différentielle est croissante, le surplus atteint un maximum, parce que l'augmentation de la rente différentielle ralentie et le déficit du planificateur se renforcent à cause des coûts de plus en plus élevés de l'aménagement de la voirie routière.

Figure 4.24: Effet de la variation de la capacité des transports privés sur le surplus



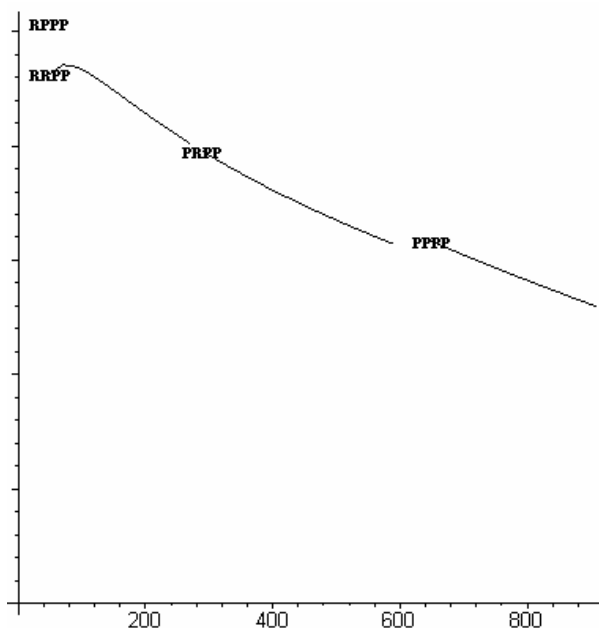
Cette évolution du surplus en fonction de la capacité de la voirie s'explique par les changements induits par cette politique sur le système de transport et le marché foncier. L'augmentation de la capacité de la route a comme effet immédiat la réduction directe de la congestion des transports en voiture (la fonction de congestion est définie par rapport à la capacité du système de transport). Une partie des usagers des transports en commun sera ainsi attirée pour l'usage de la voiture, qui diminue l'effet direct sur les transports privés mais réduit aussi la congestion des transports en commun. Encore une fois nous constatons que toute politique d'aménagement qui vise un mode de transport, aura les mêmes effets sur le mode alternatif, mais moins intenses. Cette réduction de congestion des deux modes de transport sera renforcée par la réduction de la population due à la diminution de la superficie résidentielle au centre et en banlieue. Ces effets s'appliquent pour l'ensemble de la population, seulement l'impact sera plus fort pour les ménages riches, dont le coût d'opportunité du temps est plus élevé (Figure 4.A.11.1-A.11.2).

Bien évidemment, avec l'augmentation de la capacité du système routier, la congestion de ce système est automatiquement réduite, et donc de plus en plus de ménages utiliseront la voiture, ce qui détermine une diminution de la part d'usagers des transports en commun (Figure 4.A.11.3). Dans le cas de déplacement en voiture, l'effet sera une réduction de la durée totale du trajet, quelle que soit l'origine du voyage. L'ampleur du phénomène est réduite partiellement par l'augmentation de la durée nécessaire pour trouver une place de stationnement (puisque le planificateur n'agit pas sur la superficie totale des parkings et le

stationnement devient de plus en plus congestionné). La réduction de la durée des trajets en voiture diminue avec l'augmentation de la capacité des routes (Figure 4.A.11.4). A cause du report modal vers la voiture, les transports en commun seront aussi moins encombrés et donc la durée de déplacement diminue. La vitesse moyenne de déplacement augmente pour les deux modes de transport, plus prononcée dans le cas des véhicules privés, qui sont directement concernés par cette politique d'aménagement.

L'effet sur la pollution est plus ambigu. D'une part, avec l'augmentation de la capacité routière, l'usage de la voiture est plus intensif, ce qui pousse à l'augmentation du niveau de pollution. Dans le même temps, l'augmentation de la superficie destinée aux routes, a comme effet une diminution de la congestion et donc de la pollution émise par chaque véhicule. Un dernier effet est la réduction de la population de la ville qui réduit le flux des voitures. Sauf pour un faible intervalle de capacité dans le cas d'une configuration « RRPP », avec l'augmentation de la voirie routière la pollution réduit dans la ville :

Figure 4.25: Effet de la variation de la capacité des transports privés sur la pollution



Avec l'amélioration de la capacité routière, les enchères des deux catégories augmentent, augmentation causée par la réduction des coûts de déplacement et du niveau de pollution dans la ville (Figure 4.A.11.6). Ainsi, les prix fonciers augmentent aussi dans toute la ville. Par contre, l'effet sur la taille de logements sera inverse (Figure 4.A.11.7). Puisque les ménages bénéficient des coûts plus faibles de transport et d'une qualité environnementale supérieure, pour rester à niveau d'utilité constant, ils vont consommer moins de logement.

Ainsi, la population de la périphérie augmentera à cause du renforcement de l'attractivité de cette zone (coûts de transports plus faibles, environnement plus sain). Le même phénomène se reproduit au hyper-centre, où le seul effet est la réduction de la pollution. Par contre au centre et en périphérie l'impact de l'augmentation de la capacité routière est ambigu, parce que l'effet l'attractivité de la ville est contrebalancé par la réduction de la surface disponible aux logements. Ainsi, quand la capacité est faible, l'effet réduction congestion emporte notamment en banlieue, en déterminant une augmentation de la population. Par contre, quand la capacité du système routier est importante, les effets induits par une augmentation sont plus faibles, et ainsi la réduction de la superficie résidentielle détermine une diminution du nombre de ménages habitant le centre et la banlieue.

En résumé, comme dans le cas des autres politiques d'aménagement du système de transport, les effets de réduction de la congestion du mode de transport visé (les transports privés) par l'augmentation de la capacité de la route détermine une réduction de la congestion du mode de transport alternatif. Les deux modes de transport se caractérisent ainsi par une réduction des durées de déplacement, une augmentation des vitesses et par conséquent une réduction de la pollution. Tous ses effets renforcent l'attractivité de la ville, qui implique une population plus importante, sauf dans les zones où l'augmentation de la superficie destinée aux transports est accompagnée par une réduction de la superficie résidentielle. Comme dans le cas des autres instruments d'aménagement, les effets deviennent de plus en plus faibles avec l'augmentation de la capacité routière.

4.9.4 Choix en matière de superficie résidentielle en périphérie

La seule zone où le planificateur peut intervenir directement sur la superficie destinée aux logements est en périphérie, parce que c'est la seule zone dont la superficie totale n'est pas limitée par une zone plus éloignée de hyper-centre. Par rapport aux autres politiques d'aménagement, cette fois le choix de planificateur n'est limité que par la condition que les enchères de la catégorie qui habite la périphérie soient supérieures au coût d'opportunité du sol. Nous n'avons pas décomposé les différents coûts d'aménagement, mais si on fait l'hypothèse d'une rente agricole très faible, ce coût peut être ignoré. Dans ce cas, les enchères de la catégorie habitant la périphérie doivent être positives.

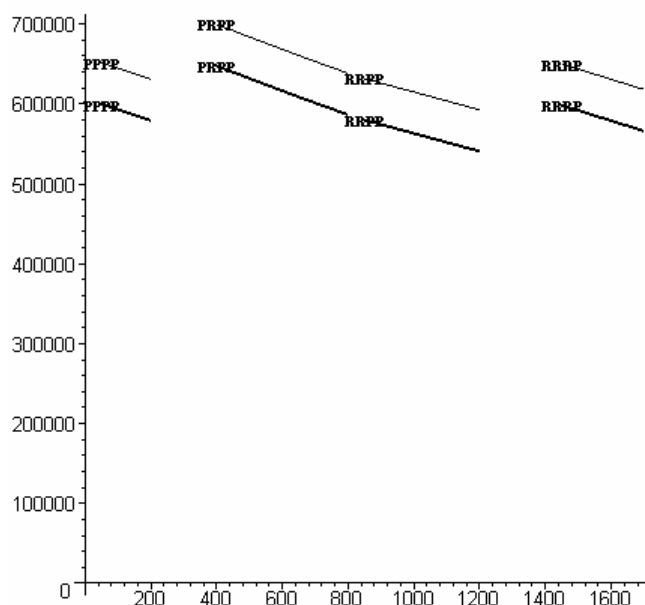
L'augmentation de la superficie résidentielle de la ville implique une augmentation de la taille de la ville, en termes de surface mais aussi de population. Pour une superficie résidentielle en périphérie très faible, la ville est entièrement pauvre. Avec l'augmentation de

cette superficie la structure sociale urbaine converge vers une ville entièrement riche. Nous avons arrêté les simulations à une superficie de 1700 ha en périphérie. Après cette valeur la ville n'est plus en équilibre jusqu'à une taille de cette zone trop importante par rapport aux autres zones de la ville :

Tableau 4.24 : Effet de la superficie résidentielle en périphérie sur la structure sociale

L3	50-200	250-350	400-800	850-1200	1250-1400	1450-1700
Equilibres	PPPP		PRPP	RRPP		RRRP

Figure 4.26: Effet de la variation de la superficie résidentielle en périphérie sur le surplus



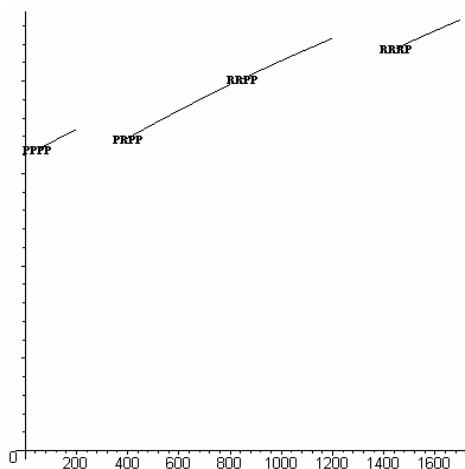
Dans la Figure 4.26 nous constatons que pour chaque configuration possible, l'augmentation de la superficie résidentielle en périphérie diminue le surplus. Ainsi, le niveau optimal pour chaque configuration est égal à la superficie minimale pour laquelle l'équilibre existe. Puisque la variation de la superficie résidentielle en périphérie n'affecte pas le surplus du planificateur, la variation du surplus est expliquée seulement par celle de la rente différentielle. La rente différentielle diminue parce que toute augmentation de la surface résidentielle implique une population plus élevée et donc plus de trafic pour les deux modes de transport et plus de pollution. Cette augmentation des durées de déplacement et de pollution diminuent l'attractivité de toutes les localisation et par conséquent une diminution

des prix fonciers. Cette baisse est plus significative que les gains directs des propriétaires fonciers obtenus par l'augmentation de la superficie en périphérie.

L'augmentation de la superficie résidentielle en périphérie implique évidemment une augmentation de la population de cette zone. Cette population supplémentaire impliquera des niveaux de congestion plus élevés dans toute la ville, parce qu'elle se déplace au hyper-centre où se trouvent les opportunités d'emploi. Ainsi, les coûts de déplacement des deux modes de transport augmentent, quelle que soit la classe sociale (Figures A.12.1-A.12.2). Pour les transports en commun, cette augmentation des coûts est le résultat seulement du changement des conditions de trafic, parce que les coûts monétaires restent inchangés. Par contre, pour les voitures, puisque la distance parcourue par les ménages de la périphérie augmente, la partie monétaire augmente elle aussi, mais pas d'une manière très importante.

La répartition modale changera légèrement en faveur des transports en commun (Figure 4.A.12.3), parce que pour les usagers de la voiture, il y a aussi des implications monétaires directes de la politique en question. Dans ces conditions, les durées de déplacement augmentent, plus fortement pour les transports en commun (Figure 4.A.12.4-4.A.12.5). Les vitesses moyennes de déplacement des deux modes de transport diminuent dans toutes les zones de la ville sauf en périphérie où elles augmentent. Cette augmentation en périphérie s'explique par le fait qu'une augmentation de la superficie en périphérie détermine un élargissement de la taille de la ville en termes de surface qui n'est pas accompagnée par une augmentation aussi forte de la population. Par conséquent, dans cette zone la distance parcourue augmente plus vite que la durée de déplacement, ce qui implique donc des vitesses plus élevées. Cette augmentation de la vitesse ne se traduit pas par une diminution de la durée, mais par une augmentation, parce que la distance à parcourir devient plus grande.

Figure 4.27: Effet de la variation de la superficie résidentielle en périphérie sur la pollution



Puisque le nombre d'usagers des deux modes de transport augmente avec la superficie destinée aux logements en périphérie, la pollution augmentera aussi pour chaque configuration d'équilibre.

Les enchères des deux catégories diminuent dans toutes les zones. Cela s'explique par l'augmentation des coûts globaux de déplacement et l'augmentation de la pollution.

Nous constatons que les effets sur le fonctionnement du système de transport restent assez faibles, même pour une forte variation de la superficie résidentielle en périphérie. Cela s'explique par le fait que l'augmentation de la population en périphérie est accompagnée par une réduction dans les trois autres zones de la ville. Les ménages vont consommer plus de logement, afin de contrebalancer les effets négatifs sur leur utilité induits par l'augmentation de la population en périphérie. Cette augmentation de la taille des logements est vérifiée dans toutes les zones de la ville. Par conséquent la population baisse fortement dans les premières trois zones et elle augmente en périphérie. Il faut souligner que cette augmentation en périphérie reste plus faible que l'augmentation de la surface disponible aux logements.

En résumé, quand on augmente la surface destinée aux logements en périphérie, la population totale de la ville augmente, mais la densité de la population diminue dans toutes les zones. Ainsi, les effets sur le fonctionnement des deux modes de transports seront beaucoup atténués. Quand même, les deux modes de transport deviennent plus encombrés, ce qui implique des coûts de déplacement plus élevés et une pollution plus prononcée.

4.9.5 Confrontation et synthèse des politiques d'aménagement

Nous avons vu que les politiques destinées à un mode de transport influence dans le même sens le mode concurrent. Maintenant, nous allons comparer les effets induits par les quatre politiques étudiées précédemment.

C'est difficile de faire une comparaison entre les surfaces optimales spécifiques au chaque instrument, parce ces superficies sont destinées aux usages très différents (voirie, parkings, logements). Nous constatons quand même que pour chaque instrument il y a une forte disparité des niveaux efficaces en fonction de la configuration d'équilibre. Cela arrive parce qu'il y a très peu d'équilibres simultanés et parce que pour la majorité des configurations, la superficie optimale pour chaque instrument est déterminée par sa valeur minimale ou maximale et pas par un point où le surplus atteint un maximum local. Nous constatons également que les configurations « RRPP », « PRPP » et « PPPP » sont en équilibre pour les quatre instruments : les premières deux parce que ce sont des structures

intermédiaires et la ville entièrement pauvre parce qu'elle est un équilibre à une politique d'aménagement extrême (dans le sens minimal ou maximal, dépendant de l'instrument en question).

Tableau 4.25 : Superficie optimale pour chaque instrument d'aménagement

	G0	A(x)	R(x)	S3
RRRP				1450
RRPP	45	70	270	850
RPPP			50	
PRRP	185			
PRPP	35	270	490	400
PPPP	5	470	650	50

Si nous regardons les niveaux maximaux du surplus, nous constatons que l'aménagement du territoire a un impact très faible sur l'efficacité économique de la ville par rapport au scénario de référence. Dans certains cas, nous voyons ce surplus même fortement diminué. Cela s'explique par le fait que tout effort du planificateur de réduire la congestion par l'aménagement est accompagné par des coûts d'aménagement très importants qui ne sont pas accompagnés par une politique de taxation. Ainsi, pour que l'aménagement soit un instrument efficace il est nécessaire d'accompagner les décisions en matière avec des politiques tarifaires correspondantes. Les variations entre instruments aussi sont très faibles pour une même configuration spatiale d'équilibre :

Tableau 4.26 : Surplus maximal pour chaque instrument d'aménagement

	G0	A(x)	R(x)	S3
RRRP				104,21%
RRPP	100,01%	100,00%	101,14%	100,98%
RPPP			58,91%	
PRRP	118,33%			
PRPP	100,30%	114,86%	107,64%	112,80%
PPPP	112,20%	100,31%	98,11%	104,42%

Les impacts sur le fonctionnement des transports urbains sont différents, en fonction de l'objectif de la politique d'aménagement. Par exemple l'augmentation de la superficie totale de stationnement et de la voirie routière a comme objectif principal la réduction de la congestion automobile, qui est accompagnée par une réduction de la congestion des transports en commun. Par contre, l'augmentation de la voirie des transports en commun a comme objectif surtout de désencombrer ce mode de transport.

Les disparités de répartition modale pour les instruments qui aménagent directement le système de transport sont beaucoup plus importantes que l'aménagement de la superficie

résidentielle, où l'impact sur la part modale moyenne est très faible (Tableau 4.A.13.1). La répartition modale par type d'équilibre est par instrument présente des variations très importantes parce que pour chaque instrument la structure physique de la ville est très différente. Comme conséquence les mêmes constants on peut les faire sur les conditions de trafic (Tableaux A.13.2-A.13.4), les coûts de déplacement qui en résultent (Tableaux A.13.5-A.13.7) et le fonctionnement du marché foncier (Tableaux A.13.8-A.13.9).

Le constat général est que tout effet sur un des modes de transport sera accompagné par un même effet sur l'autre mode de transport, quelle que soit la configuration d'équilibre et le type d'instrument d'aménagement utilisé. Ainsi, quand la durée de déplacement de la voiture diminue suite à un instrument d'aménagement des transports privés (stationnement ou voirie transports privés) la durée des transports en commun diminue aussi. Le même lien existe dans le cas de l'aménagement de la voirie publique. Par conséquent, aussi les vitesses de déplacement des deux modes de transport seront corrélées. L'effet sur les coûts généralisés de transport sera de même : quand les coûts de déplacement par un mode de transport augmente, les coûts du mode alternatif augmente aussi. Nous constatons toujours une supériorité des coûts des ménages riches dont la valeur du temps est plus importante. La variation des prix fonciers est déterminée plus par les changements de structure sociale que par l'utilisation des différents instruments d'aménagement. Par contre l'impact sur la population est fortement liée à l'instrument d'aménagement utilisé, parce que les choix en matière de capacité de la voirie (des transports en commun et des transport en voiture) diminuent la surface disponible aux logements au centre et en banlieue. Ainsi, pour ces deux instruments, dans les premières deux couronnes résidentielles, la population sera beaucoup plus faible que les deux autres instruments (stationnement au hyper-centre et superficie résidentielle en périphérie). Une autre spécificité est le fait que dans le cas d'une variation de la superficie résidentielle en périphérie, la population de cette zone changera fortement d'une configuration spatiale à l'autre, en fonction du niveau efficace spécifique à chaque équilibre.

En analysant les niveaux de pollution pour chaque instrument et type d'équilibre possible (Tableau 4.27) nous constatons que l'aménagement du territoire est un instrument beaucoup plus efficace de point de vue écologique qu'économique. Ainsi, il y a des situations où le niveau de pollution baisse assez fortement. Cela s'explique par le fait que les changements de structure physique de la ville implique des fortes conséquences sur les conditions de trafic (nombre total d'utilisateurs, niveau de congestion). Même si les effets écologiques de l'aménagement sont importants, l'impact reste toujours beaucoup plus faible

que celui induit par les politiques de taxation de l'ensemble d'usagers de voitures (péage zonal, péage linéaire).

Tableau 4.27 : Niveau de pollution pour chaque instrument d'aménagement

	G0	A(x)	R(x)	S3
RRRP				106,46%
RRPP	98,22%	100,00%	98,25%	98,40%
RPPP			124,00%	
PRRP	93,63%			
PRPP	95,58%	84,15%	82,47%	82,61%
PPPP	56,94%	79,63%	77,25%	79,73%

En résumé, les instruments d'aménagement du territoire provoquent des changements des conditions de trafic dans le même sens pour les deux modes de transport, même si la politique vise directement seulement un moyen de transport. Du point de vue économique, ces instruments sont peu efficaces, s'ils ne sont pas accompagnés par des politiques tarifaires correspondantes, mais de point de vue écologique, les effets sont plus importants.

4.10 CONCLUSIONS

Au terme de ces simulations, quelques conclusions générales s'imposent de la comparaison entre les différents scénarios d'optimisation partielle. Résumons les principales :

L'usage des instruments (tarifaire, aménagement) du planificateur a comme conséquence à long terme des forts changements en termes de structure socio-spatiale urbaine.

En intervenant comme tarificateur ou comme aménageur, le planificateur change les conditions de trafic des deux modes de transport. Ces changements auront un impact à long terme non seulement sur les décisions de déplacement de ménages mais aussi sur leurs décisions de localisation. Ainsi, la ville peut changer complètement de structure socio-spatiale en fonction des différents niveaux d'intervention du planificateur. Il y a des situations où aucune configuration spatiale ne peut pas être un équilibre, parce que quelle que soit la localisation des ménages dans la ville, toujours il y a au moins une classe sociale qui a l'intérêt de changer sa décision de localisation. Un autre aspect est que pour un même niveau d'intervention publique la ville peut connaître même plusieurs équilibres possibles à la fois. Le « record » d'équilibres multiples est de quatre configurations simultanées.

La structure socio-spatiale de la ville est plus sensible dans le cas des politiques de tarification des transports en voiture que les autres instruments

Nous constatons que les instruments tarifaires qui affectent les transports privés ont des impacts plus forts sur la structure sociale de la ville que les politiques de transports en commun et les politiques d'aménagement. Ainsi, le nombre d'équilibres possibles pour la première catégorie d'instruments est plus élevé et il y a plus de possibilités d'équilibres multiples. Ce phénomène s'explique par le fait que les politiques tarifaires qui visent les transports en commun permettent une plus grande liberté des choix des ménages que par exemple les choix d'aménagement qui fixent la structure physique de la ville.

Les politiques tarifaires des transports privés sont les instruments essentiels, loin devant les politiques de tarification des transports en commun et d'aménagement du territoire

Les politiques de tarification des transports en voiture sont essentielles pour l'amélioration des fonctionnements urbains, que ce soit pour réduire la pollution ou, plus généralement, améliorer l'efficacité des fonctionnements urbains. C'est une application triviale du principe de taxation des externalités : en prenant sa voiture, un habitant augmente la congestion automobile, et donc (même très faiblement) la durée de déplacement des autres

usagers ; et il augmente le niveau de pollution. Il doit donc payer le coût du temps qu'il fait perdre aux autres automobilistes et le coût de la pollution qu'il génère, sous forme de taxes. Par contre puisque les externalités induites par les usagers des transports en commun se concrétisent seulement sur la congestion propre, les politiques de tarification des transports en commun sont moins efficaces. Les politiques d'aménagement présentent des résultats écologiques assez importants, mais de point de vue économique, elle sont peu efficaces utilisées séparément d'une politique tarifaire : toute augmentation de l'offre de stationnement ou de voirie implique des coûts d'aménagement supplémentaires qui ne retrouvent pas une contrepartie dans les recettes du planificateur.

Les instruments tarifaires globaux des déplacements en voiture (péage zonal, péage linéaire) ont plus d'effet que des mesures partielles ne visant qu'une partie de la ville (les péages de cordon)

Si l'on ne peut jouer sur la totalité de la gamme des instruments tarifaires, on a avantage à utiliser les instruments les plus généraux, applicables à l'ensemble de la population concernée, plutôt que des instruments partiels applicables à une partie de la population. Les inefficacités qu'engendre le fait de laisser certaines catégories de population à l'écart des politiques tarifaires résultent du fait que toute tentation de diminuer l'usage d'automobile des zones concernées par la politique en question est diminuer par l'augmentation des transports privés dans les zones non touchées directement par la politique.

Ces fortes différences entre ces deux catégories d'instruments en termes d'efficacité économique et écologique argument en faveur des politiques de stationnement ou de péage linéaire.

Les instruments tarifaires discriminants sont plus équitables que les instruments non-discriminants

Les instruments non-discriminants (péage zonal ou du stationnement dans le cas de la taxation de l'usage de la voiture et le ticket unique pour une politique de tarification des transports en commun) pèchent par une incapacité à discriminer entre des populations différentes qui ne contribuent pas au même niveau à la pollution et à la congestion. Ainsi, par exemple, un automobiliste partant de la périphérie circule plus longtemps et parcourt des distances plus longues qu'un automobiliste partant de la banlieue, à proximité du centre. De ce fait, le premier contribue plus à la congestion automobile et pollue plus que le second. Il devrait donc être taxé plus lourdement, ce que ne permet pas aisément un instrument général. Il en résulte un écart à l'optimum qu'on pourrait obtenir en individualisant la contribution de chacun. Nous avons utilisé des instruments qui font une discrimination partielle (comme les

péages de cordon) mais aussi des instruments avec une discrimination parfaite (péage linéaire, ticket des transports en commun différencié).

Pour conclure ce chapitre, nous avons vu que les mécanismes engendrés par l'intervention publique en matière de transports urbains sont très complexes et les effets sont des fois difficilement prévisibles. Parmi l'ensemble d'instruments disponibles à l'autorité publique, de loin les instruments globaux de tarification de l'usage de la voiture sont les plus efficaces. Si on pose aussi la question d'équité, dans ce cas l'instrument le plus envisageable pour gérer à la fois l'efficacité économique et de maîtriser la qualité environnementale est le péage linéaire. Malheureusement en réalité ce type de péage pose non seulement des coûts importants qui ne sont pas pris en compte dans nos simulations, mais aussi des difficultés techniques. En réalité, le planificateur peut utiliser à la fois plusieurs instruments (tarifaires et aménagement) et ainsi, dans de recherches futures, une optimisation globale sera nécessaire afin de déterminer l'optimum de premier rang.

Annexes 4.A.1
L'IMPACT DE LA TAXATION DU STATIONNEMENT SUR LE FONCTIONNEMENT
DE LA VILLE

Figure 4.A.1.1: Effets sur le surplus et la rente différentielle selon équilibre

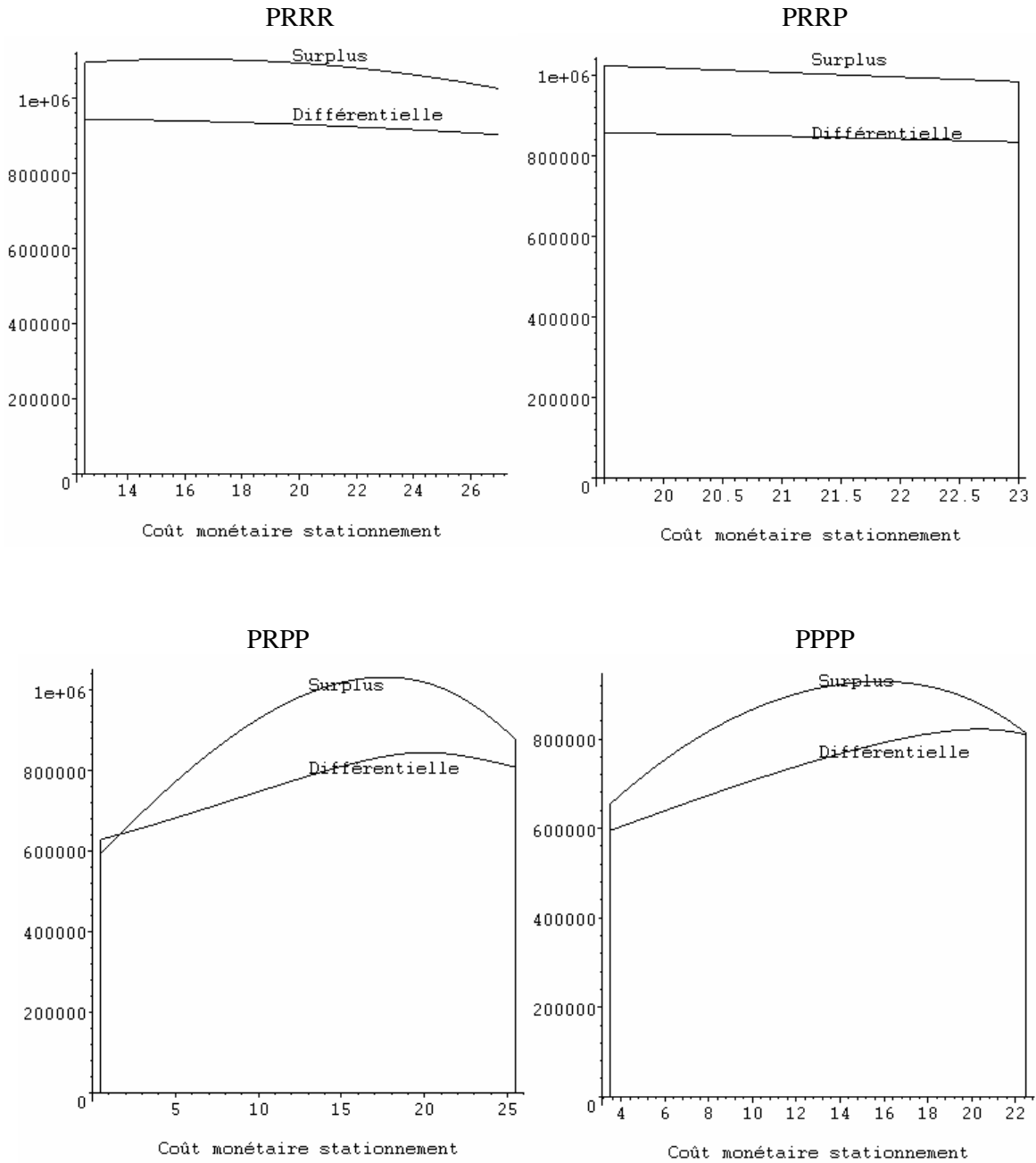


Figure 4.A.1.2 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

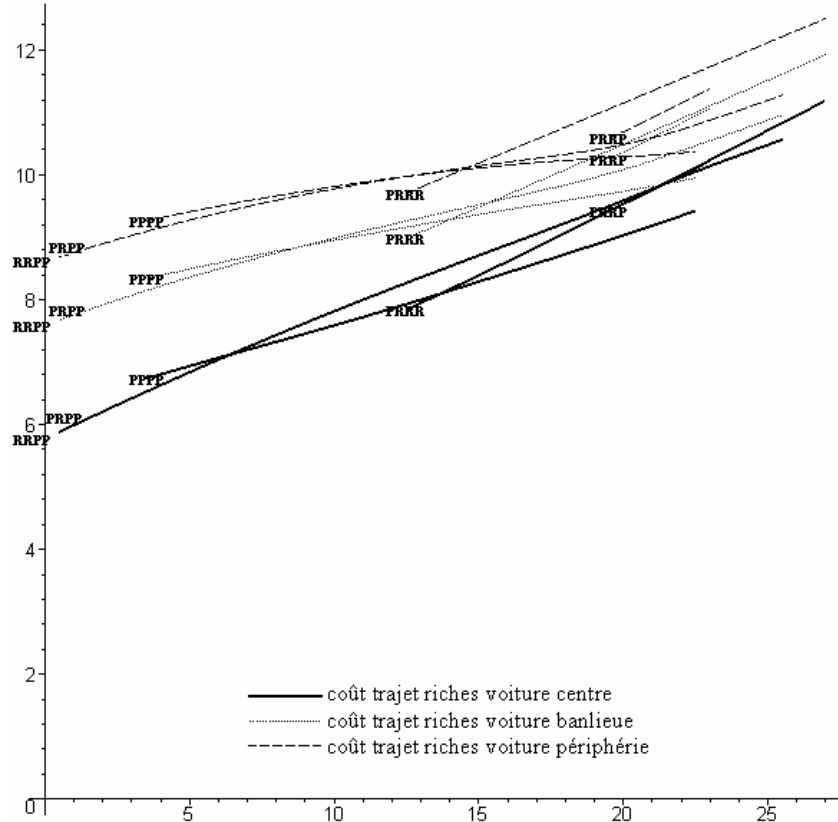


Figure 4.A.1.3 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages riches

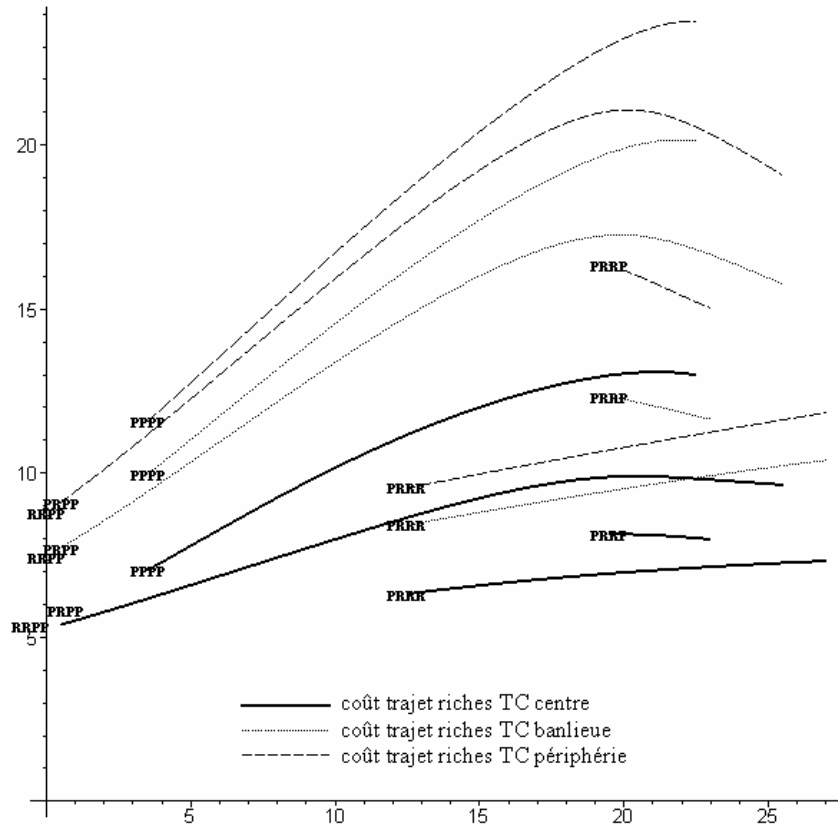


Figure 4.A.1.4 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

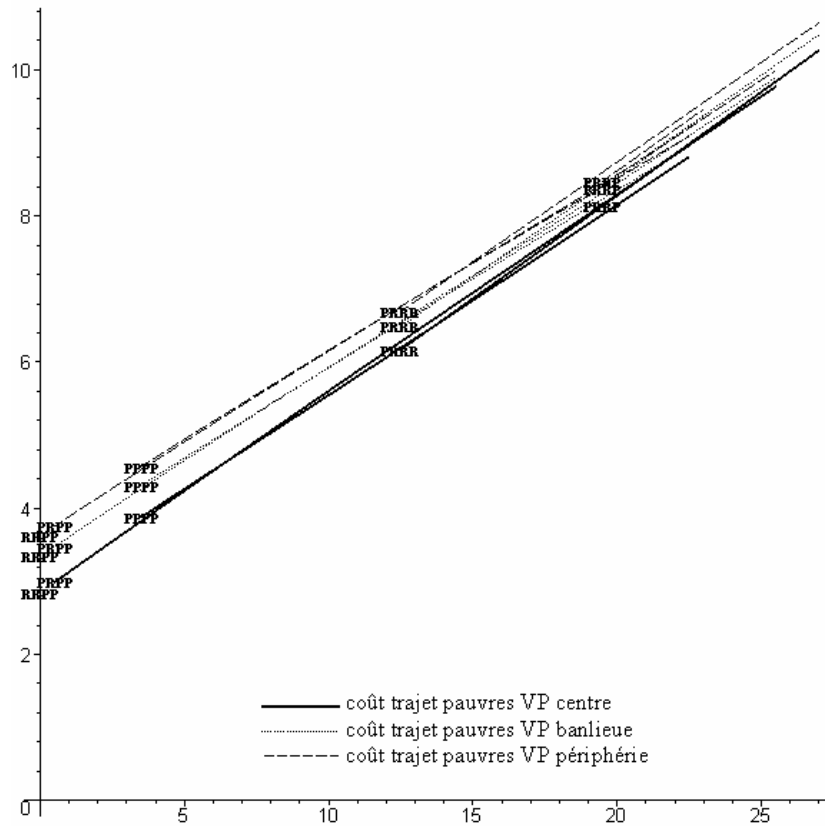


Figure 4.A.1.5 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

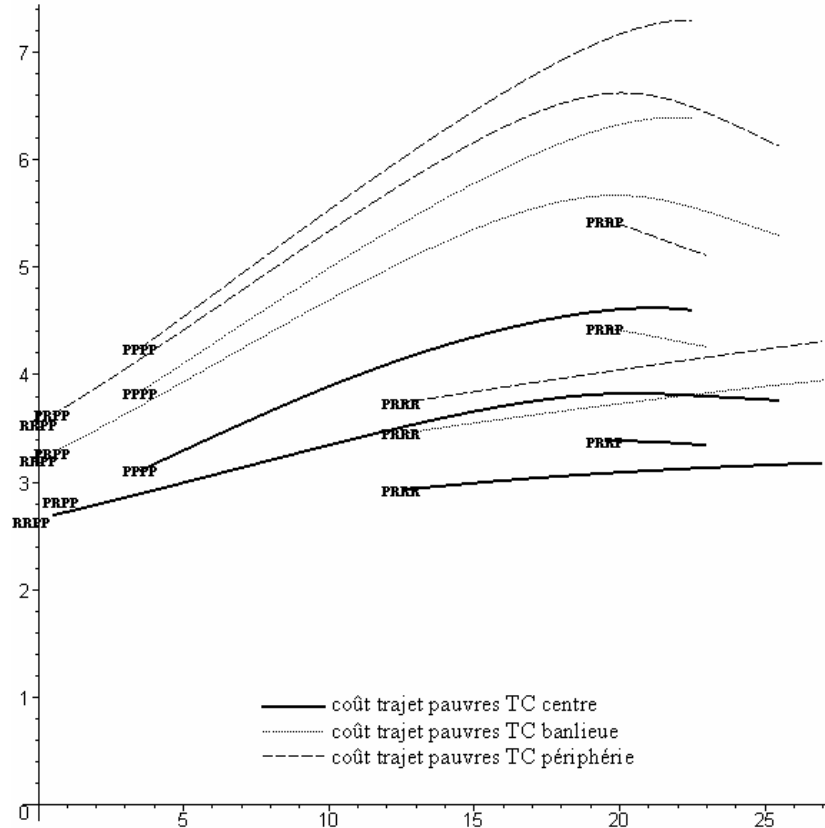


Figure 4.A.1.6: Coûts de transports par mode et par zone des ménages riches

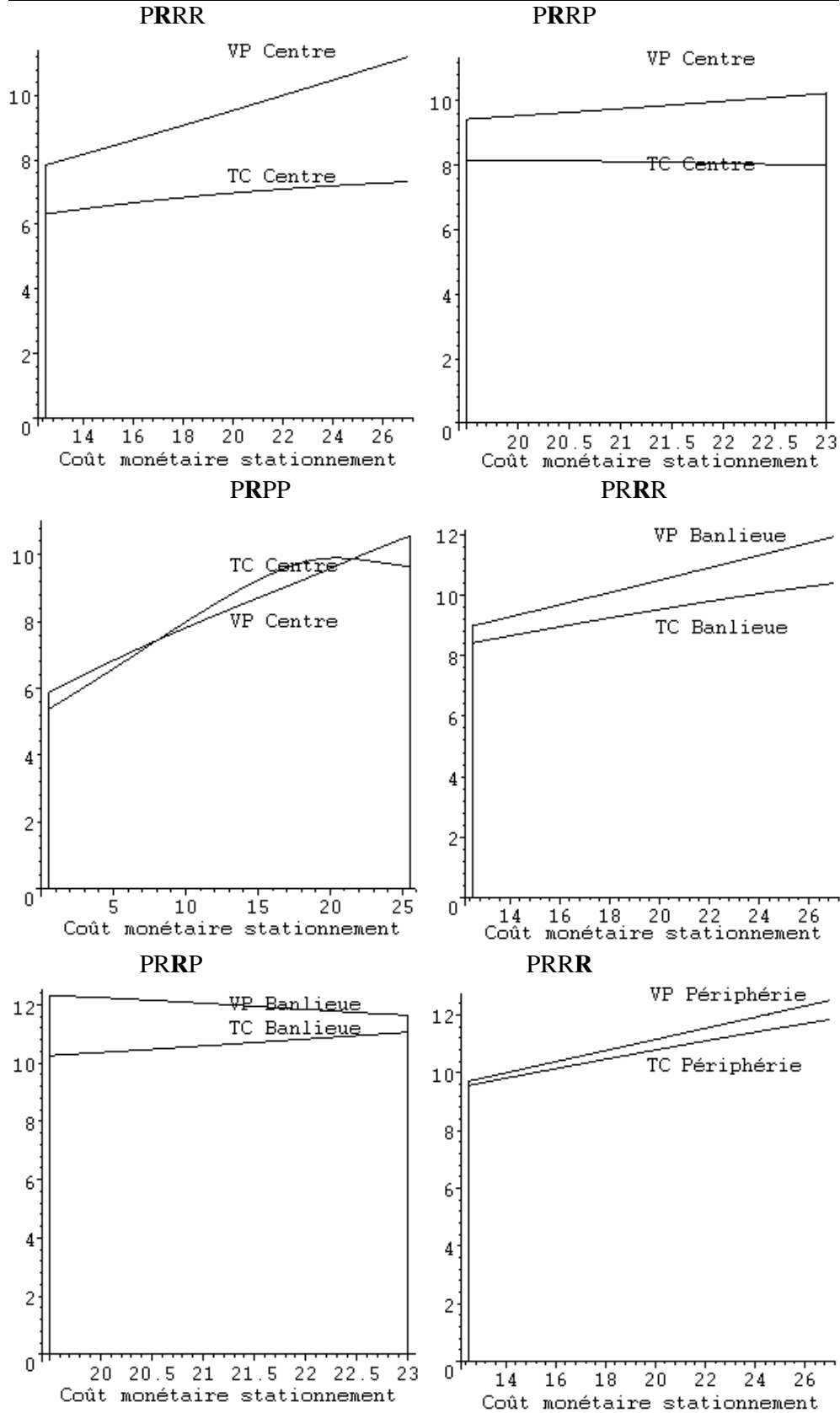


Figure 4.A.1.7 : Coûts de transports par mode et par zone des ménages pauvres

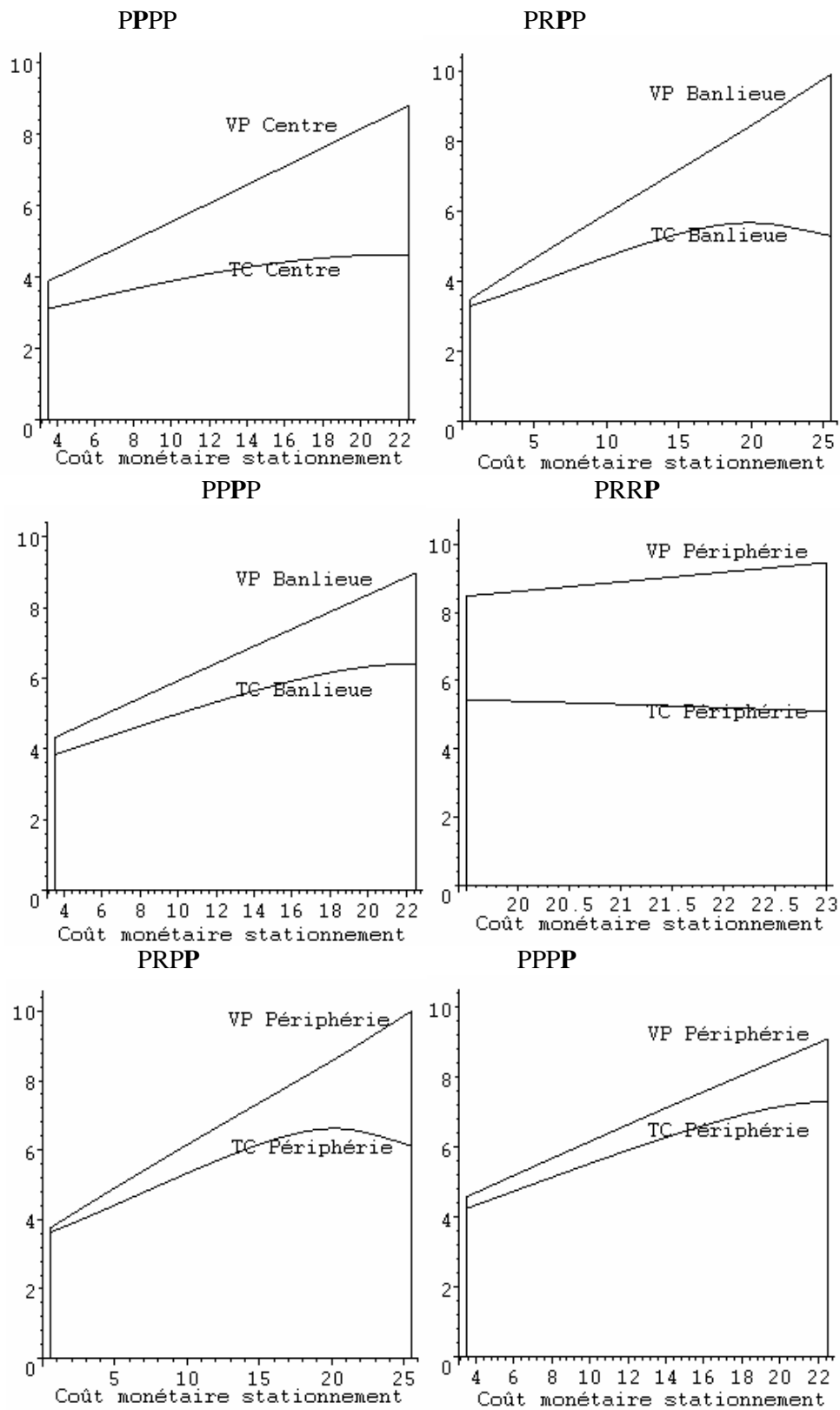


Figure 4.A.1.8 : Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

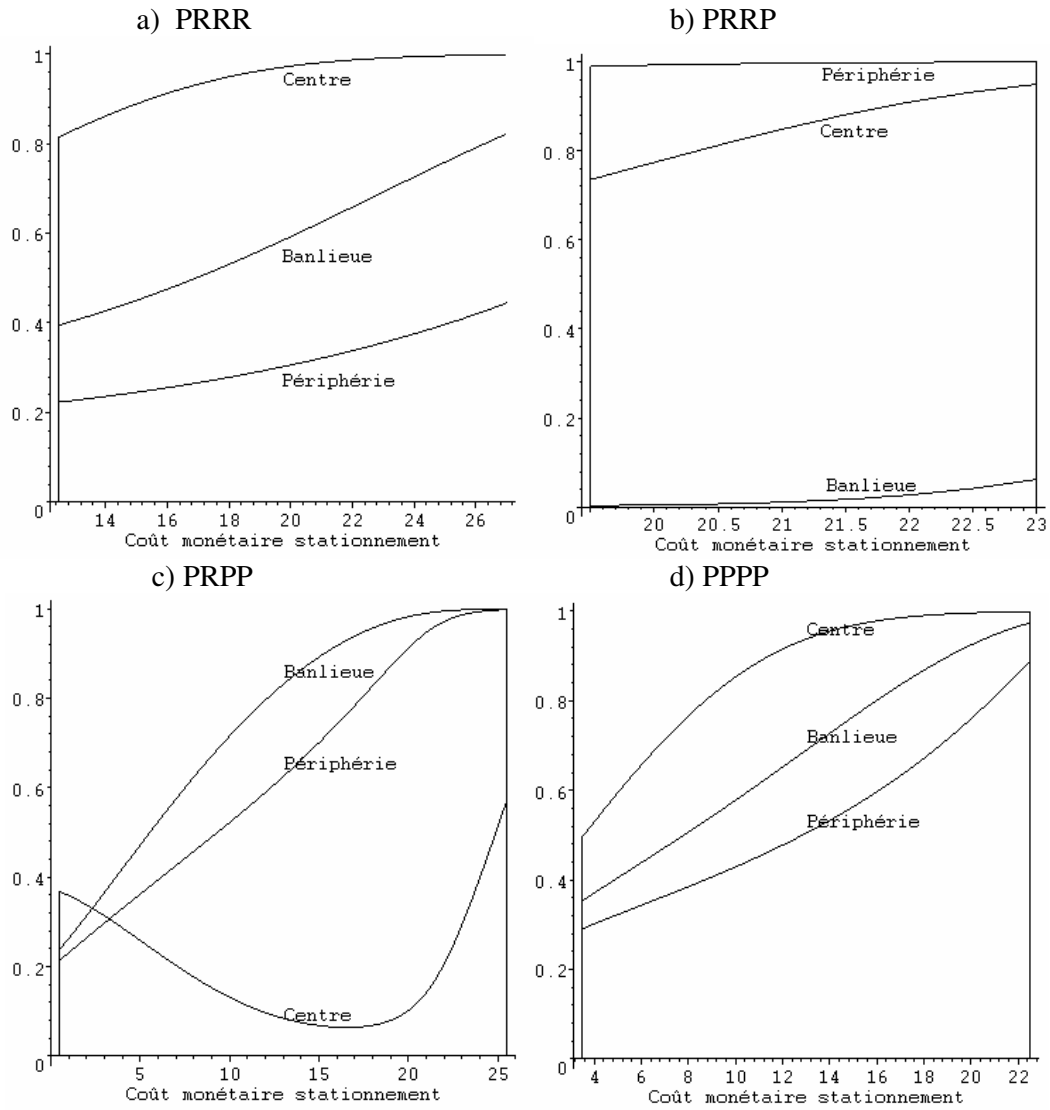


Figure 4.A.1.9 : Le flux des deux modes de transport par zone

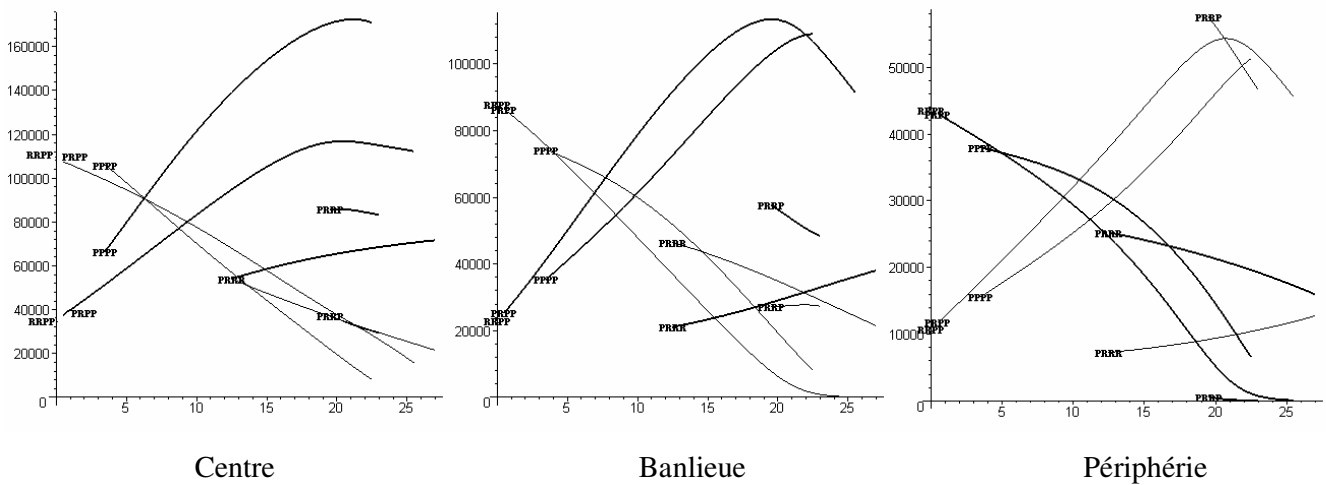


Figure 4.A.1.10 : Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

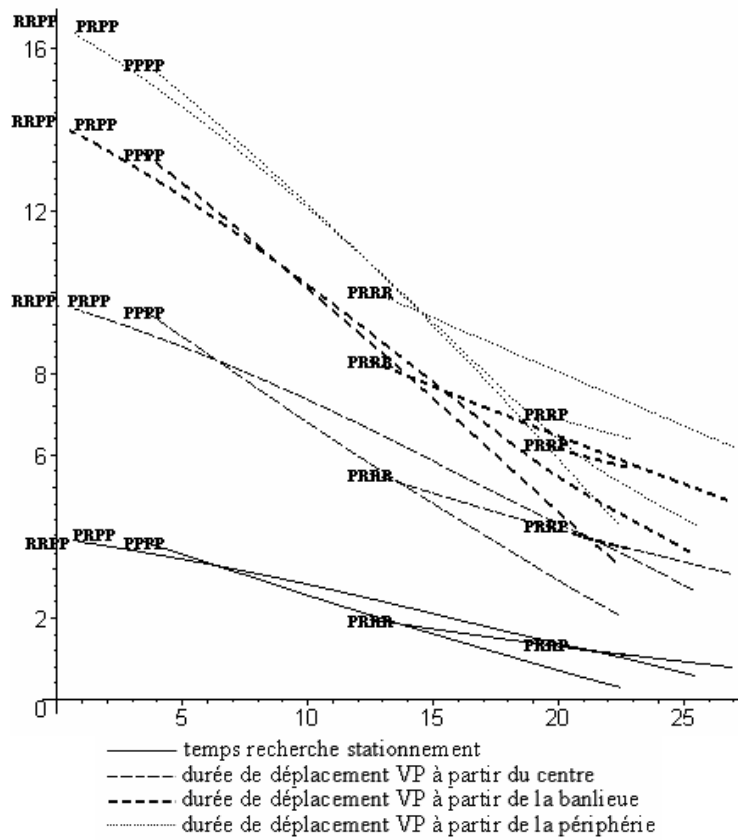


Figure 4.A.1.11 : Durées de déplacement par les transports en commun

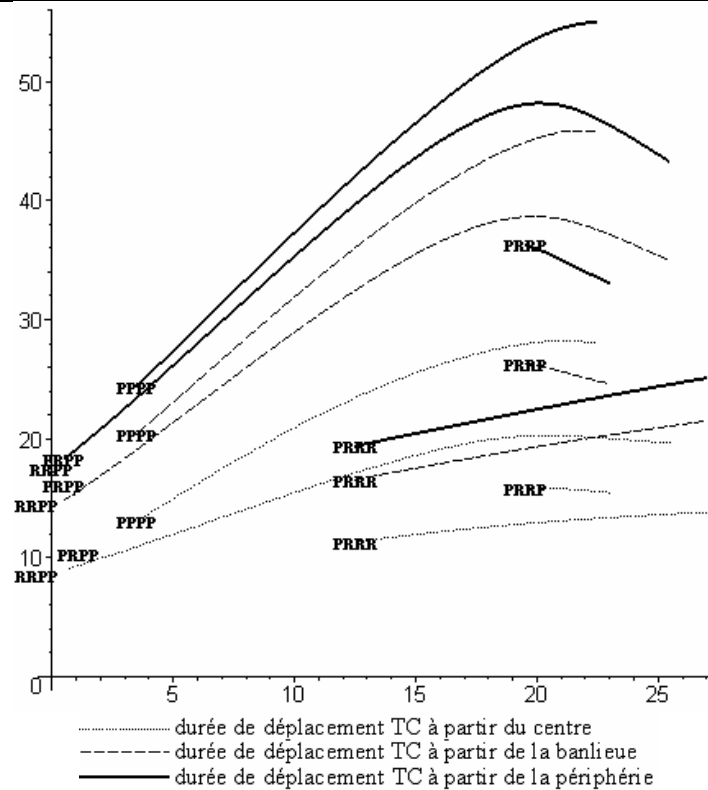


Figure 4.A.1.12 : Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

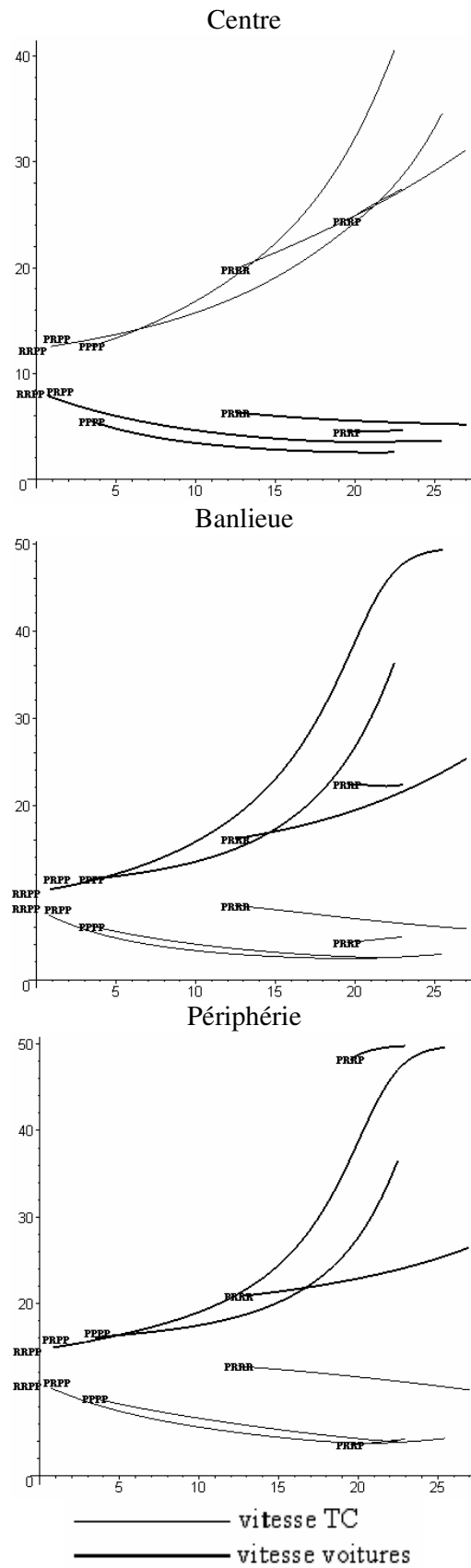


Figure 4.A.1.13 : Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages riches

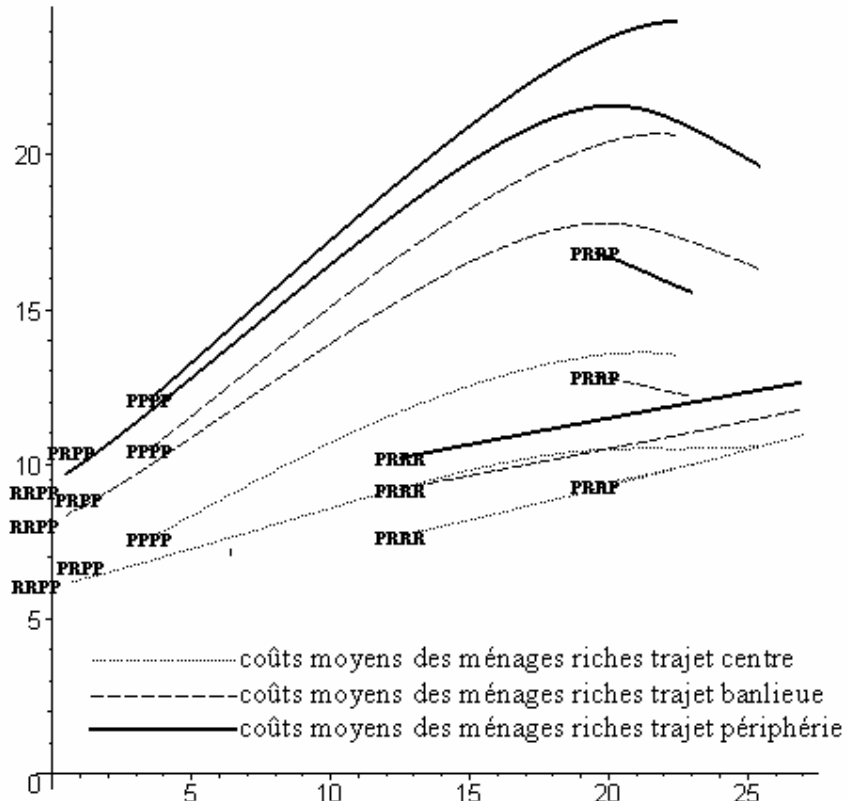


Figure 4.A.1.14 : Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages pauvres

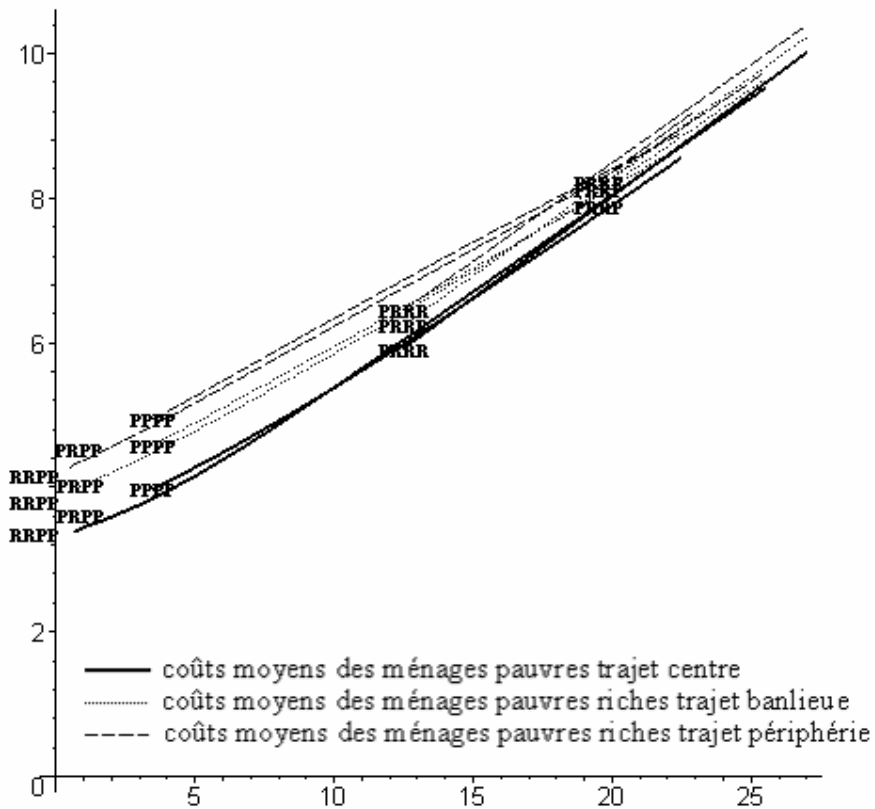


Figure 4.A.1.15 : Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

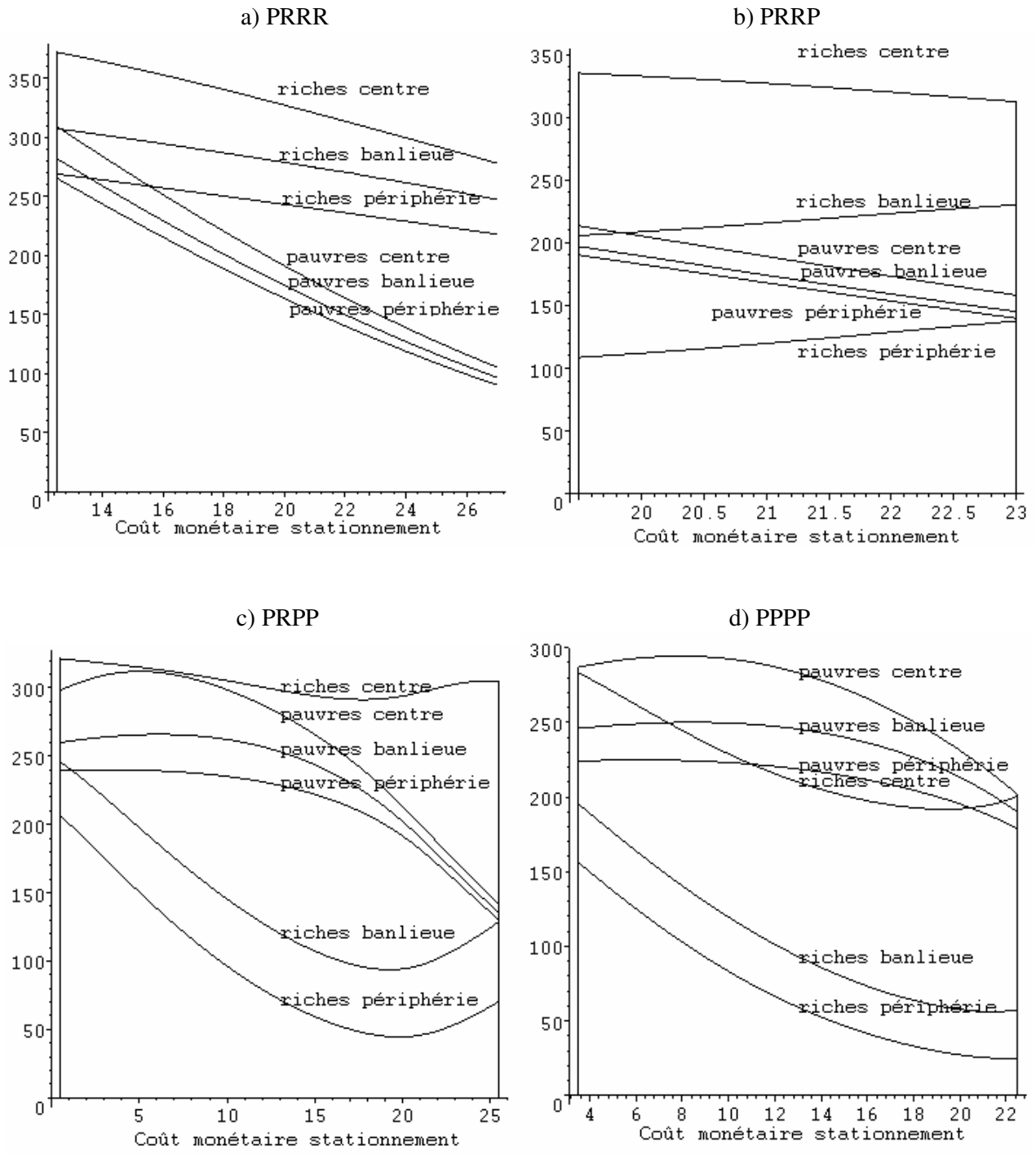
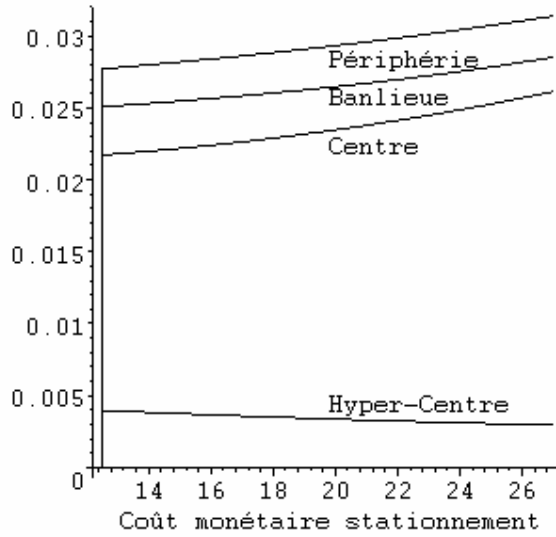
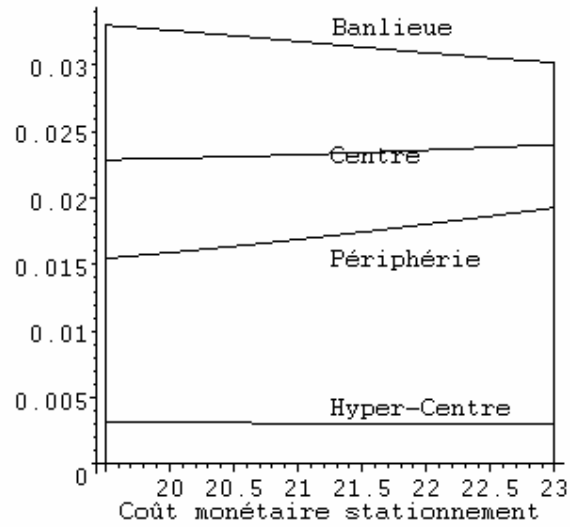


Figure 4.A.1.16 : Effets sur la taille des logements

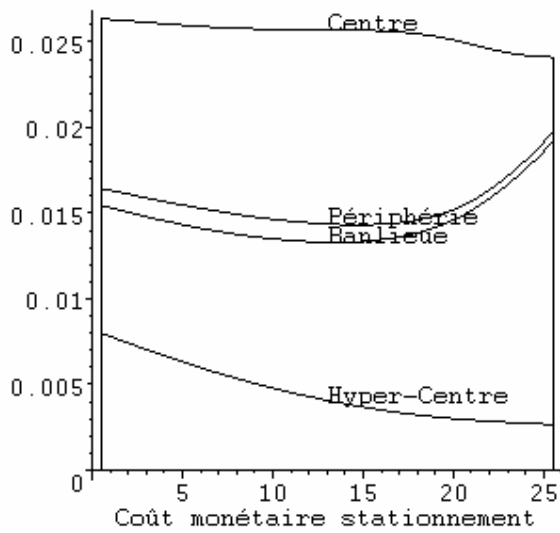
a) PRRR



b) PRRP



c) PRPP



d) PPPP

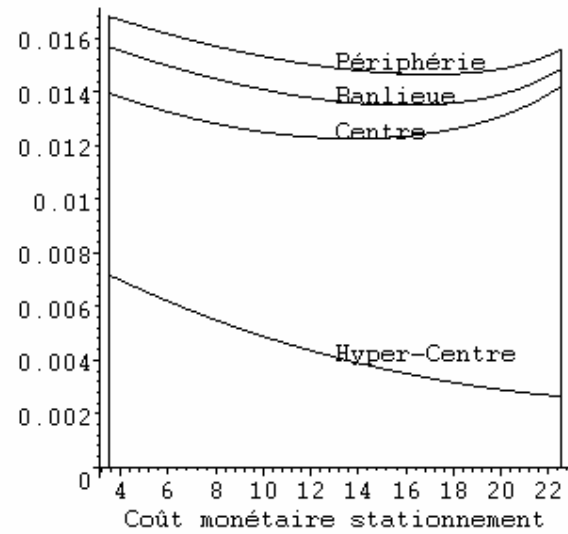
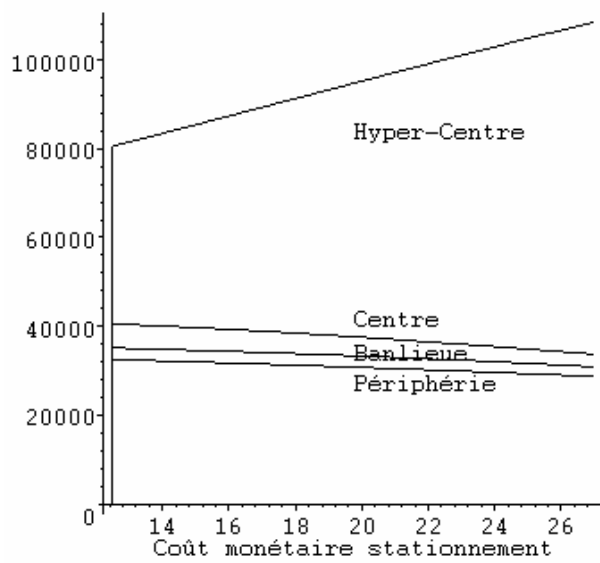
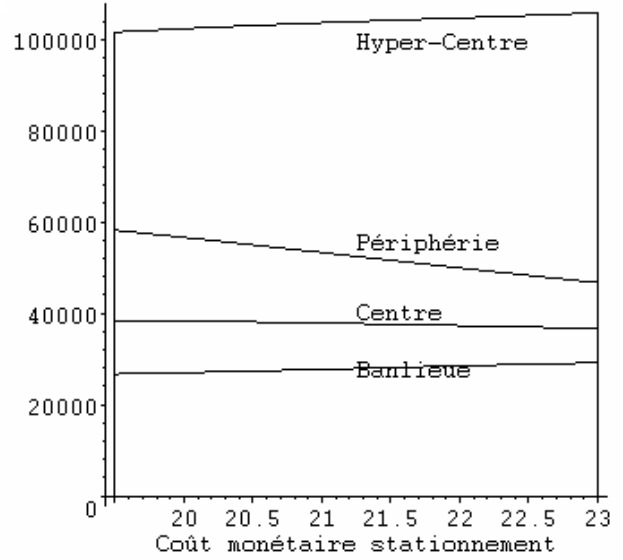


Figure 4.A.1.17 : Effets sur la population de la ville

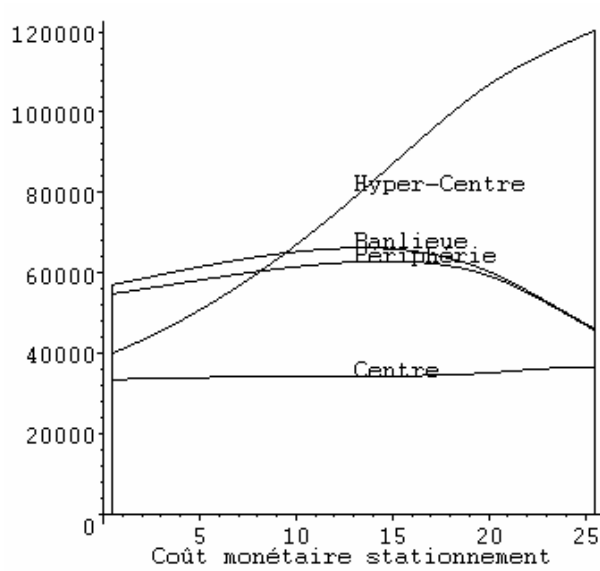
a) PRRR



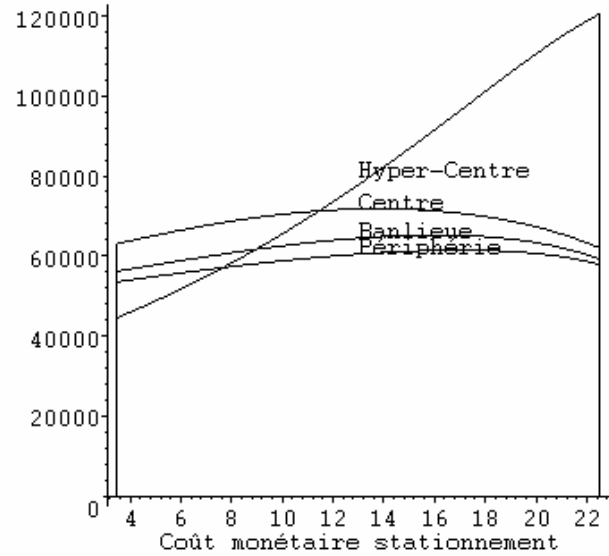
b) PRRP



c) PRPP



d) PPPP



Annexes 4.A.2

L'IMPACT DU PEAGE LINEAIRE SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA VILLE

Figure 4.A.2.1: Effets sur le surplus et la rente différentielle selon équilibre

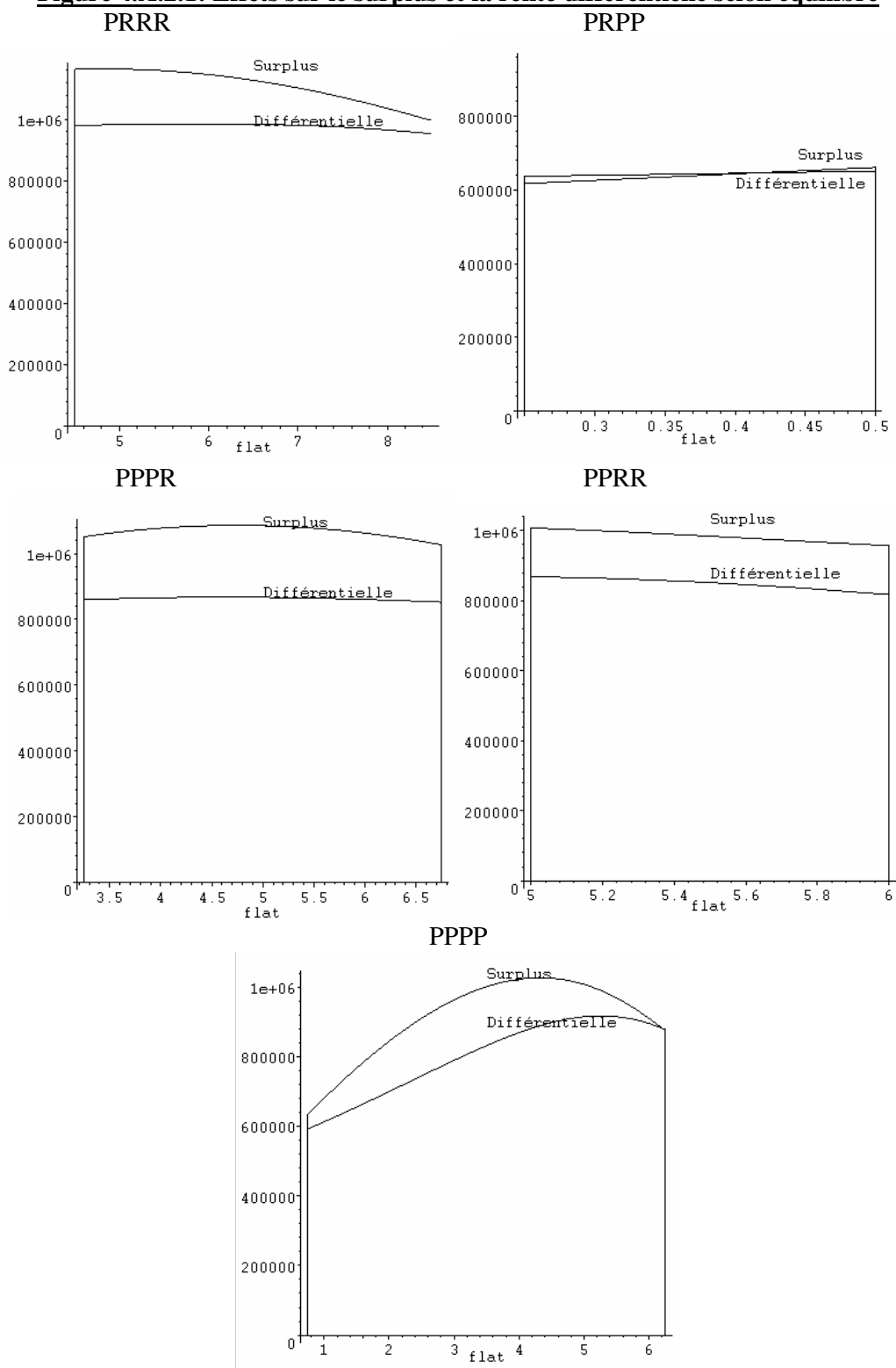


Figure 4.A.2.2 : Effets sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

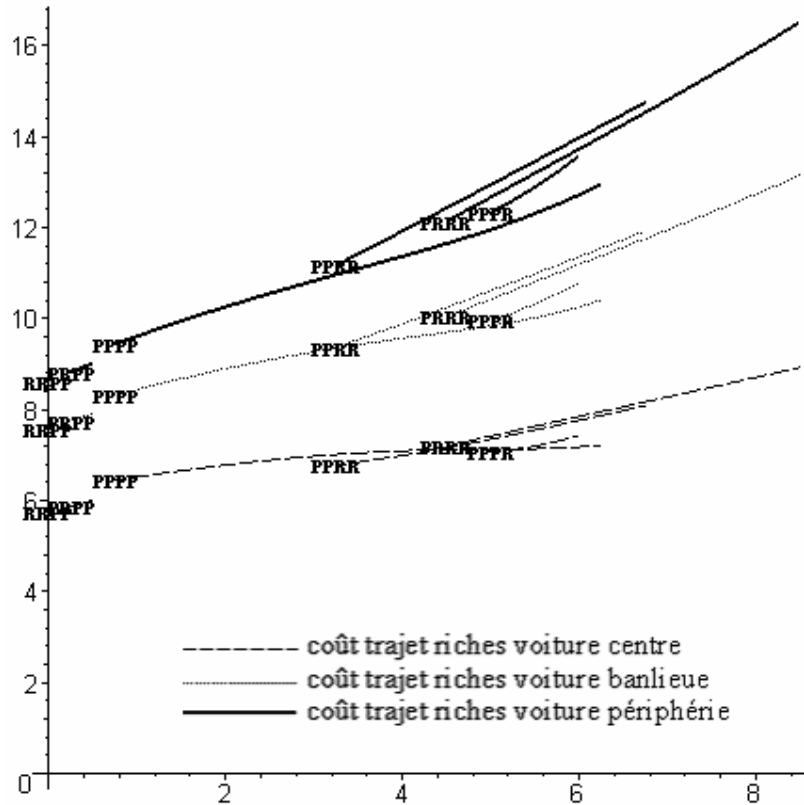


Figure 4.A.2.3 : Effets sur les coûts de transport en commun des ménages riches

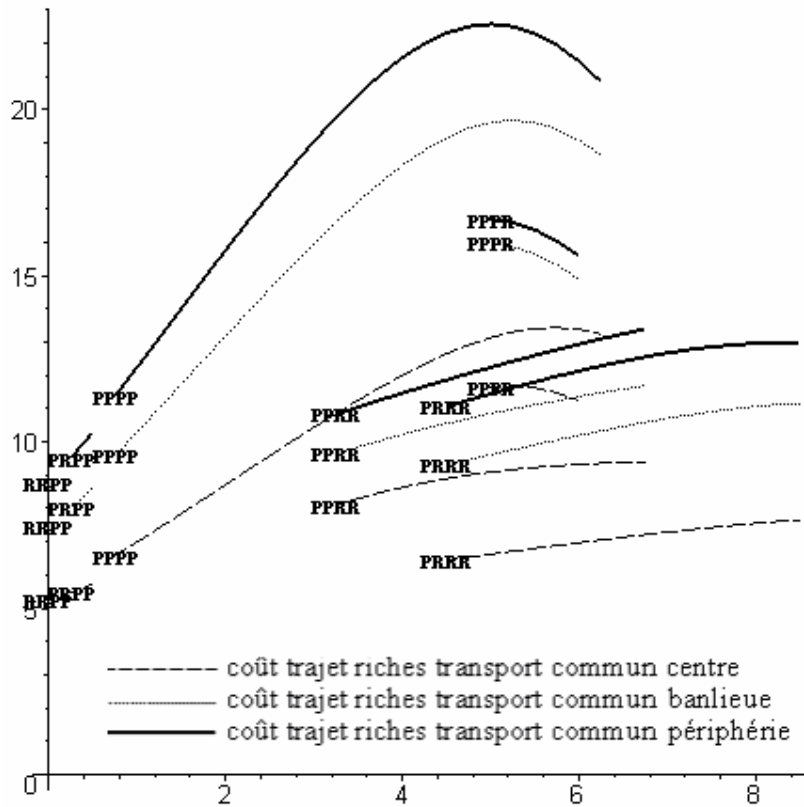


Figure 4.A.2.4 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

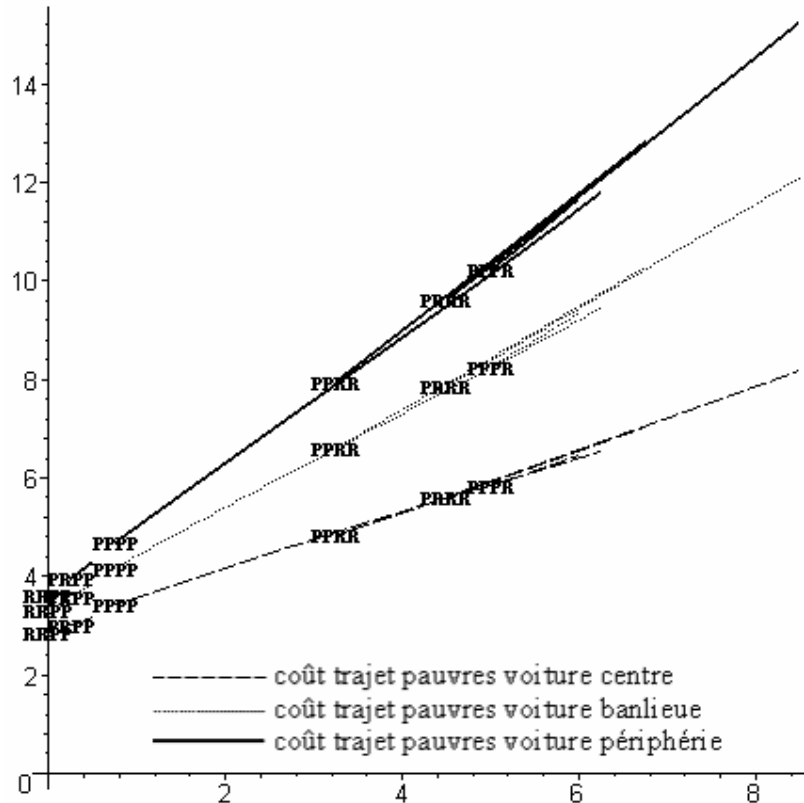


Figure 4.A.2.5 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

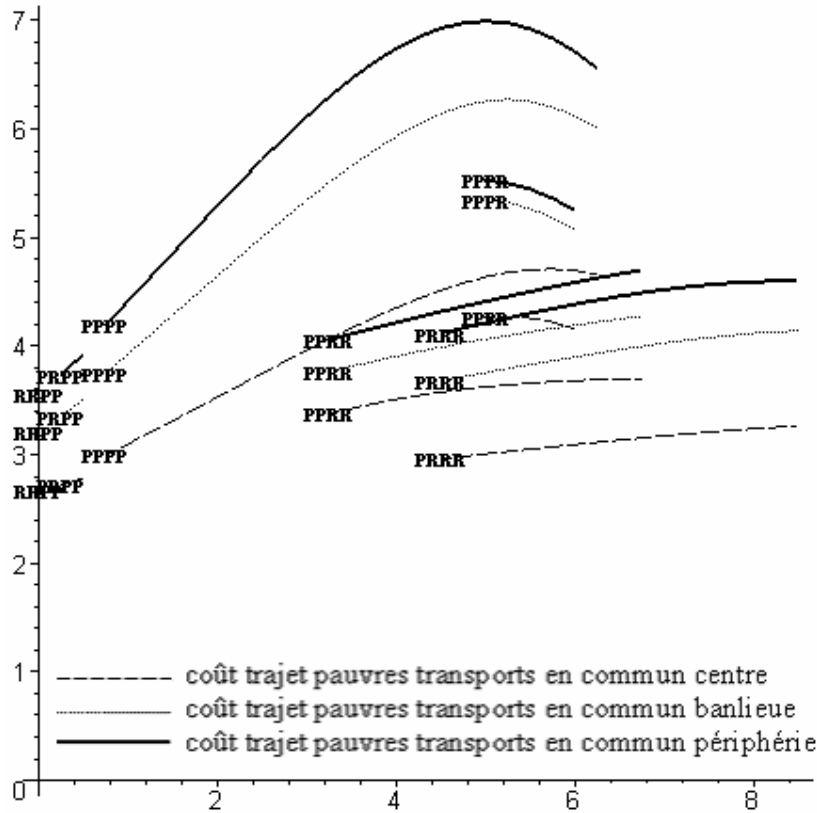


Figure 4.A.2.6: Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

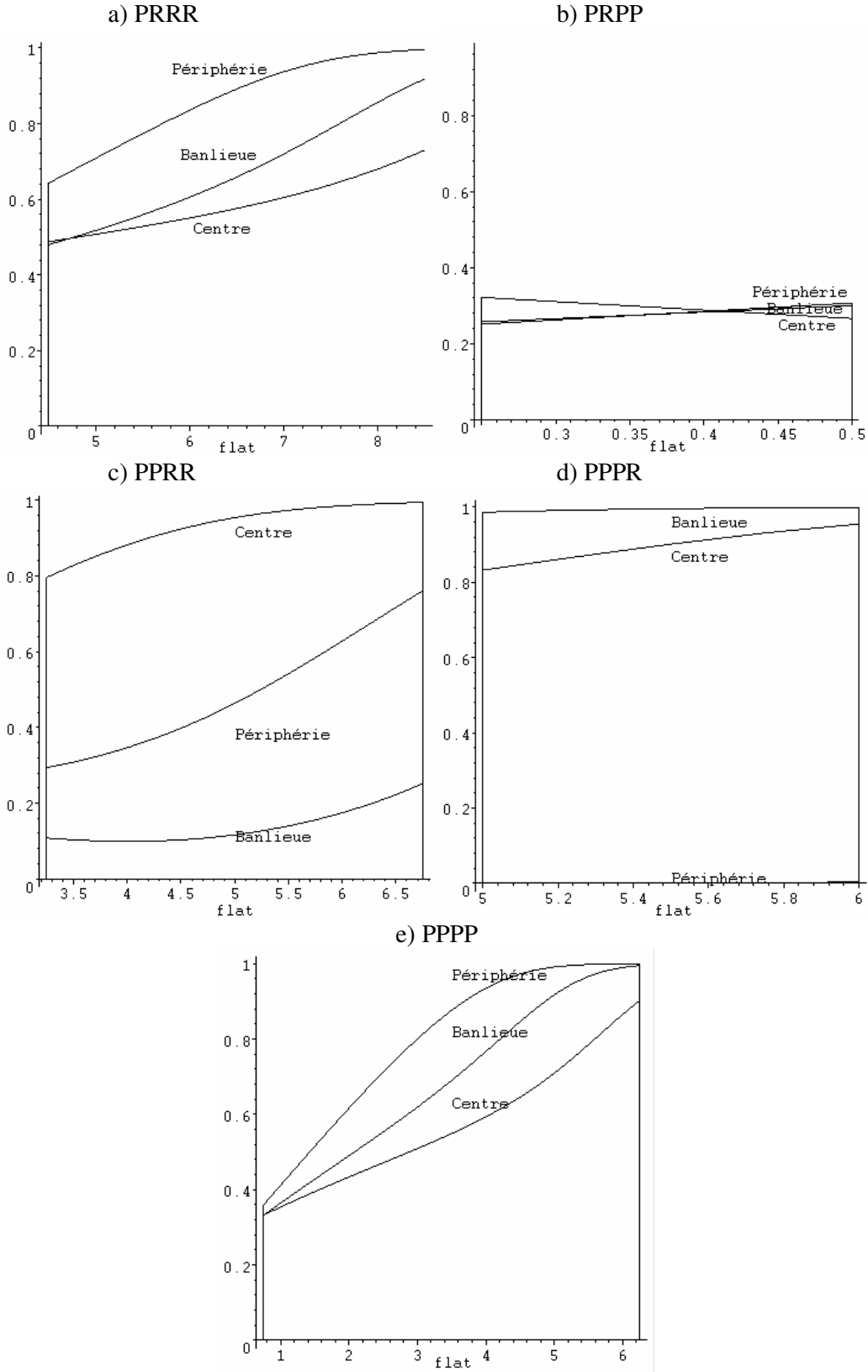


Figure 4.A.2.7: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

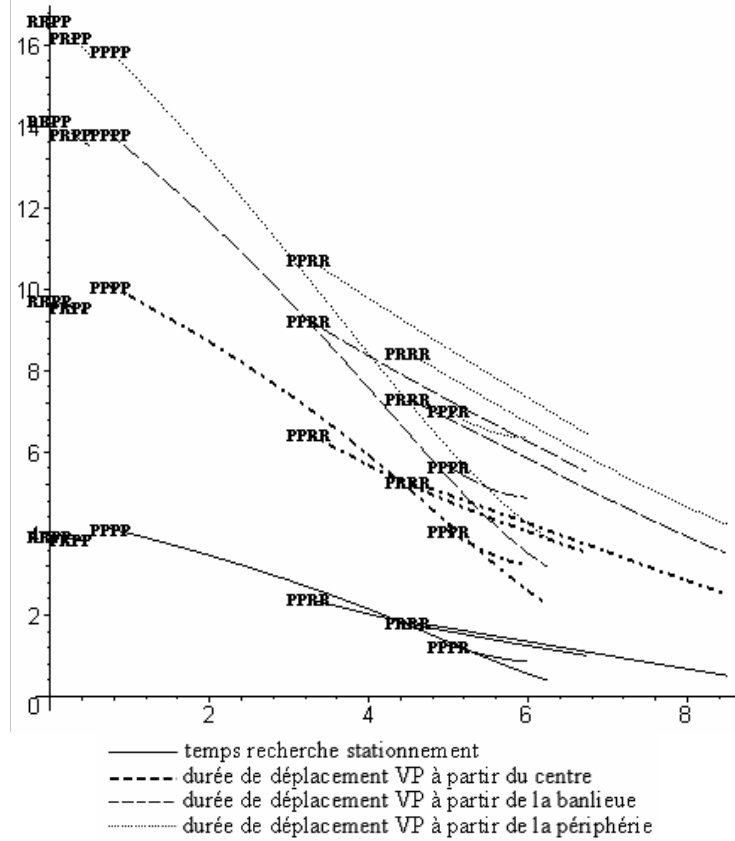


Figure 4.A.2.8: Durées de déplacement par les transports en commun

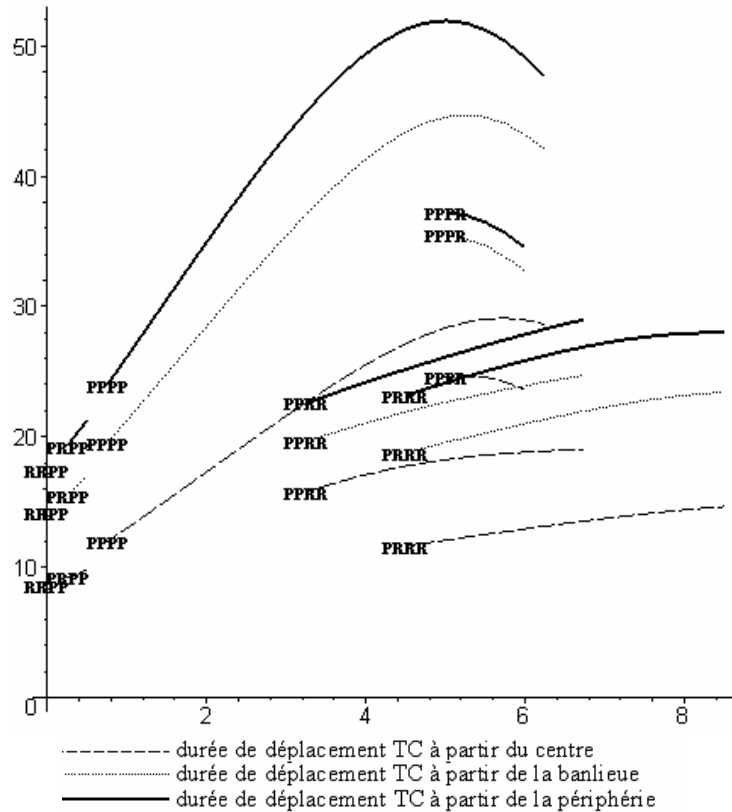


Figure 4.A.2.9: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

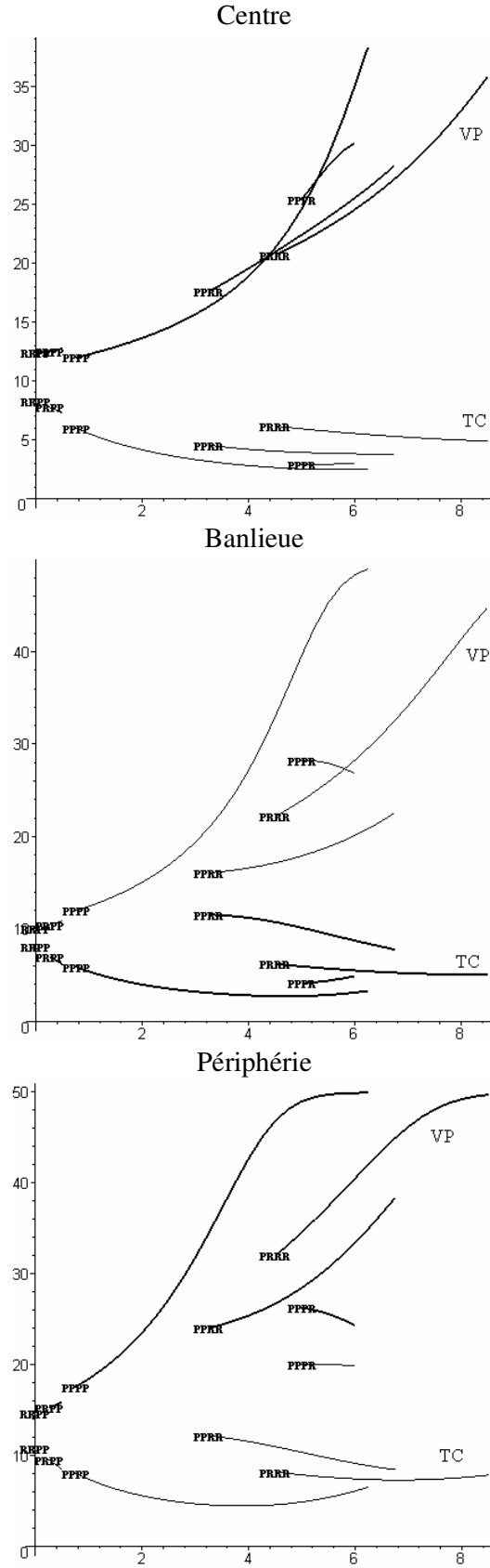


Figure 4.A.2.10: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages riches

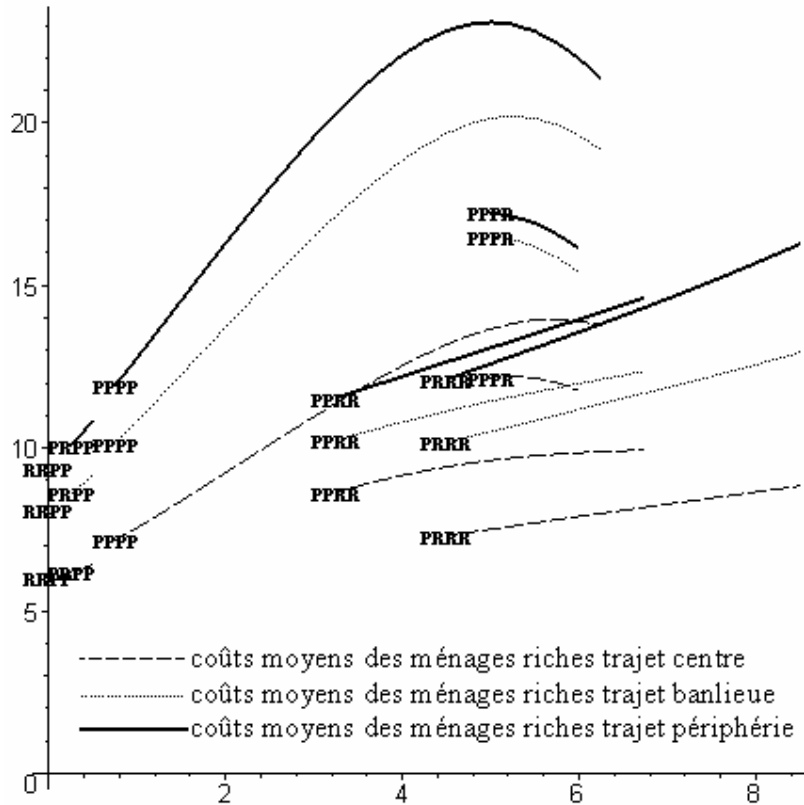


Figure 4.A.2.11: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages pauvres

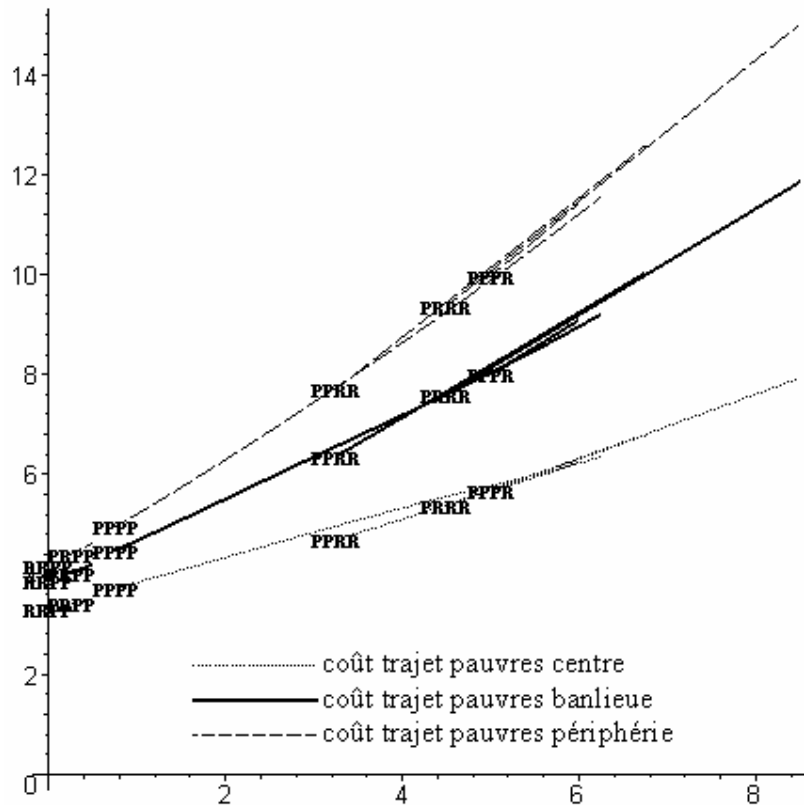
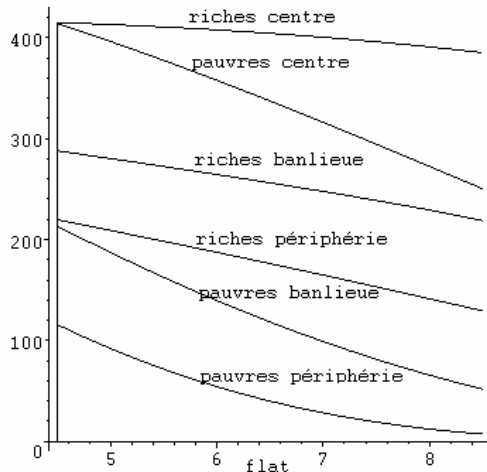
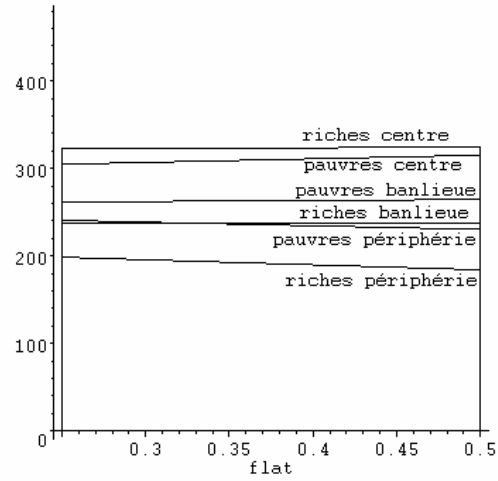


Figure 4.A.2.12 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

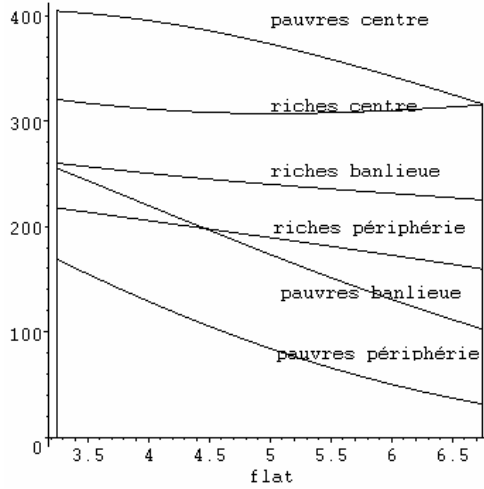
a) PRRR



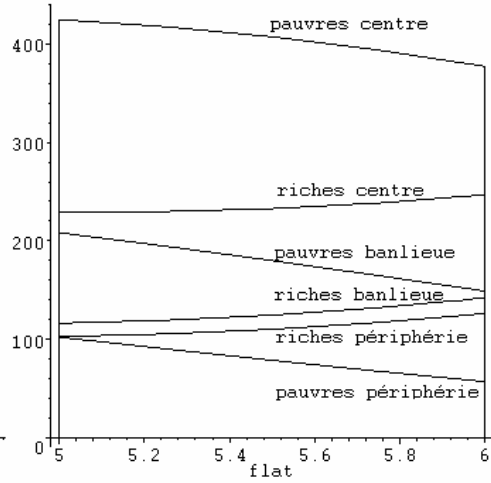
b) PRPP



c) PPRR



d) PPPR



e) PPPP

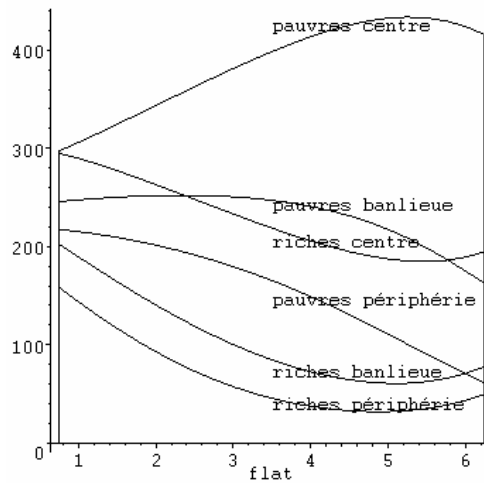
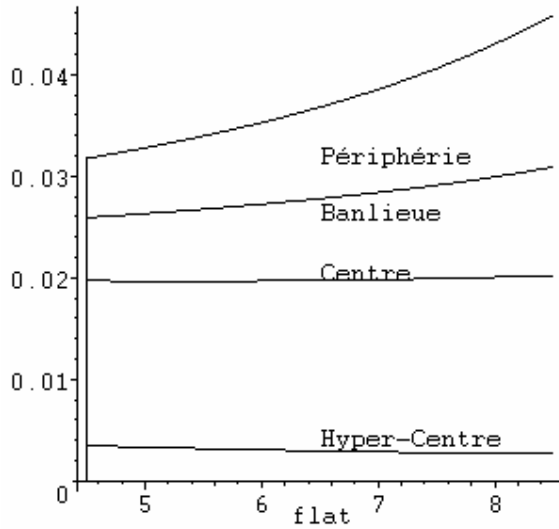
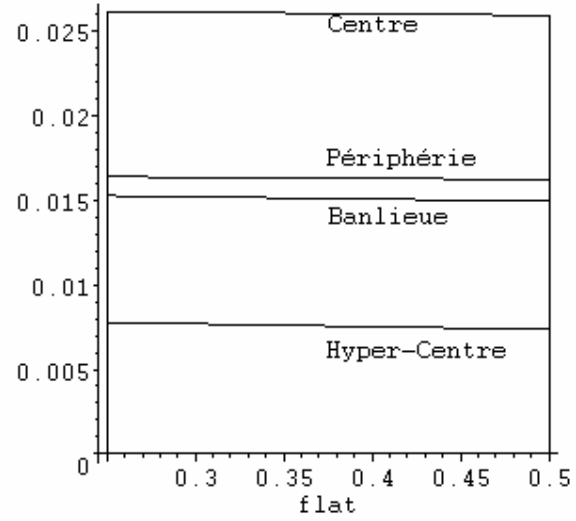


Figure 4.A.2.13 : Effets sur la taille des logements

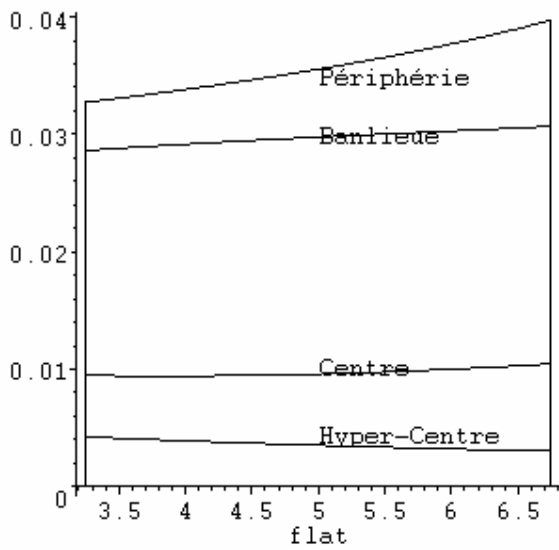
a) PRRR



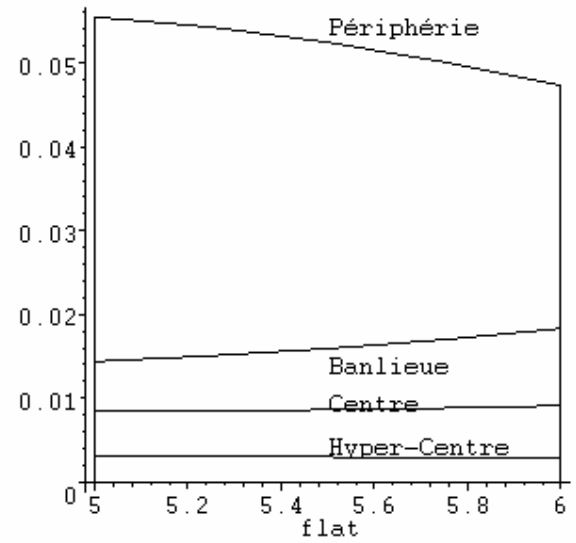
b) PRPP



c) PPRR



d) PPPR



e) PPPP

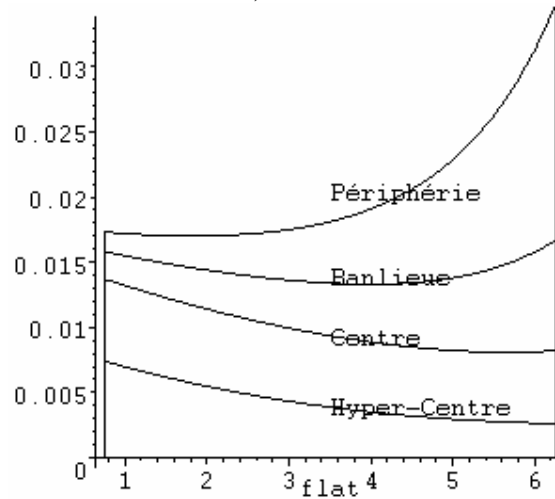
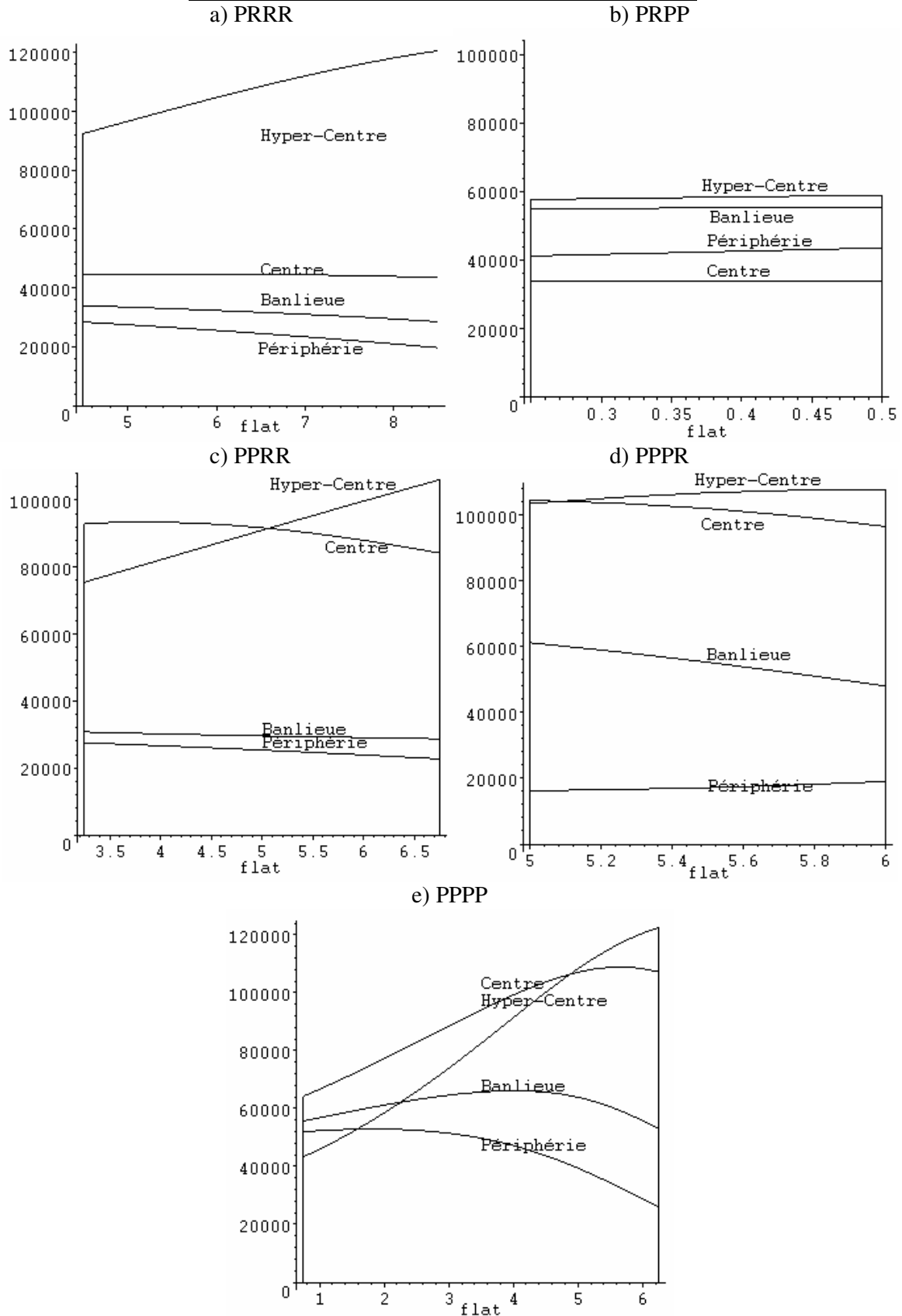


Figure 4.A.2.14 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.3

L'IMPACT DU PEAGE CORDON EN BANLIEU SUR LA VILLE

Figure 4.A.3.1 : Effets sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

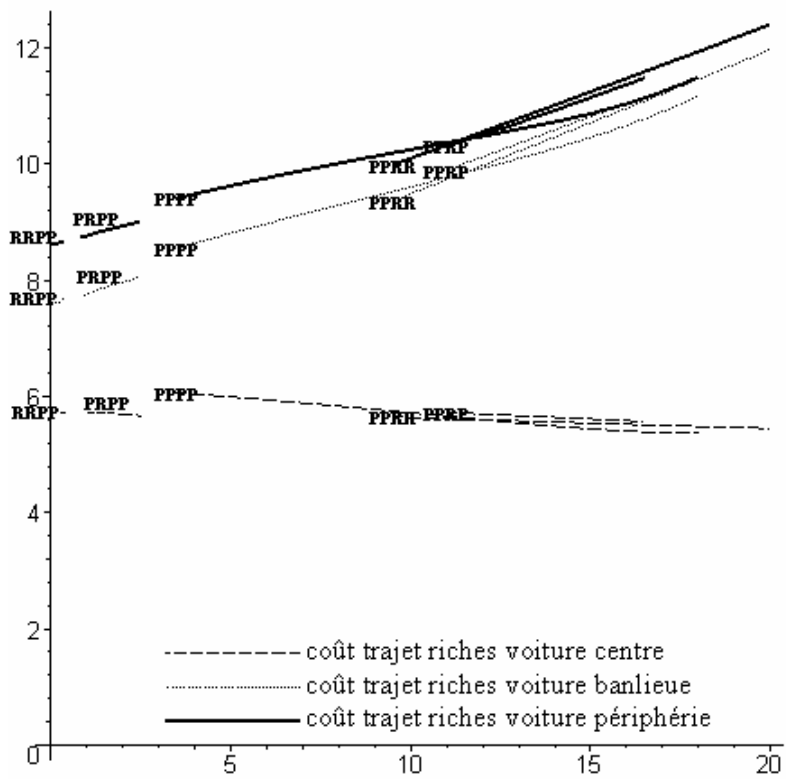


Figure 4.A.3.2 : Effets sur les coûts de transport en commun des ménages riches

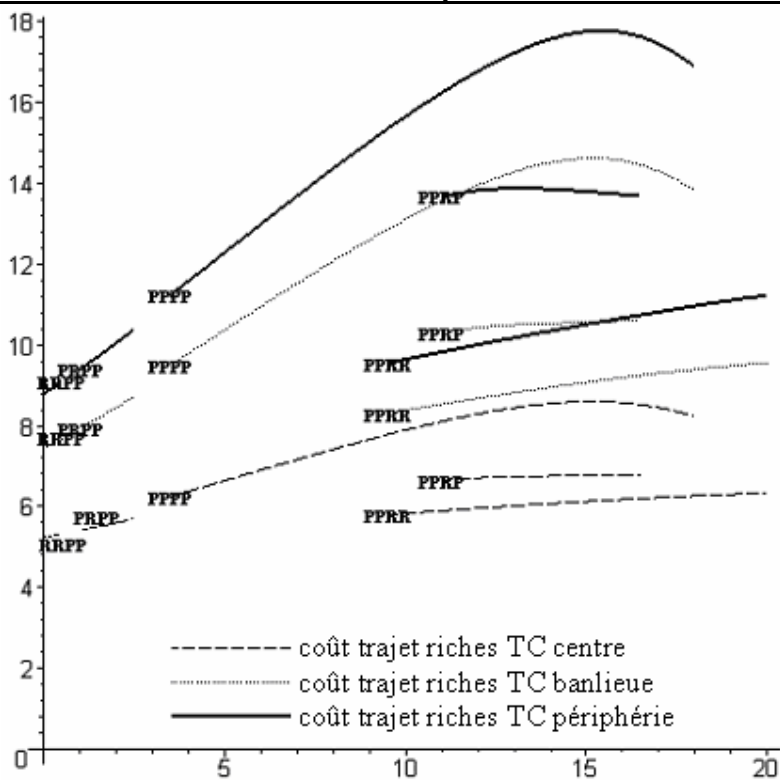


Figure 4.A.3.3 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

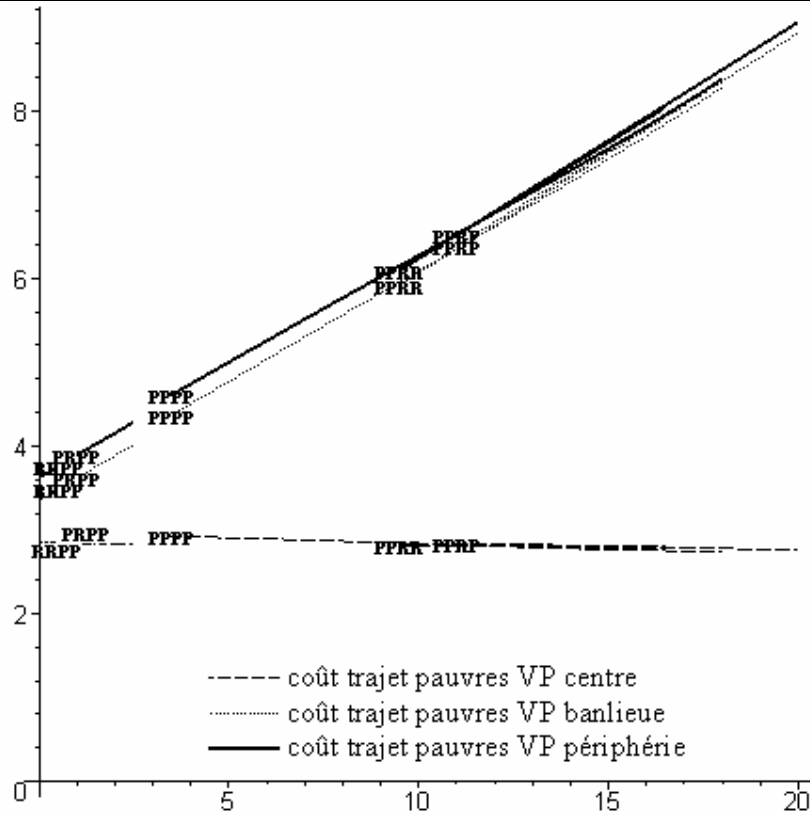


Figure 4.A.3.4 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

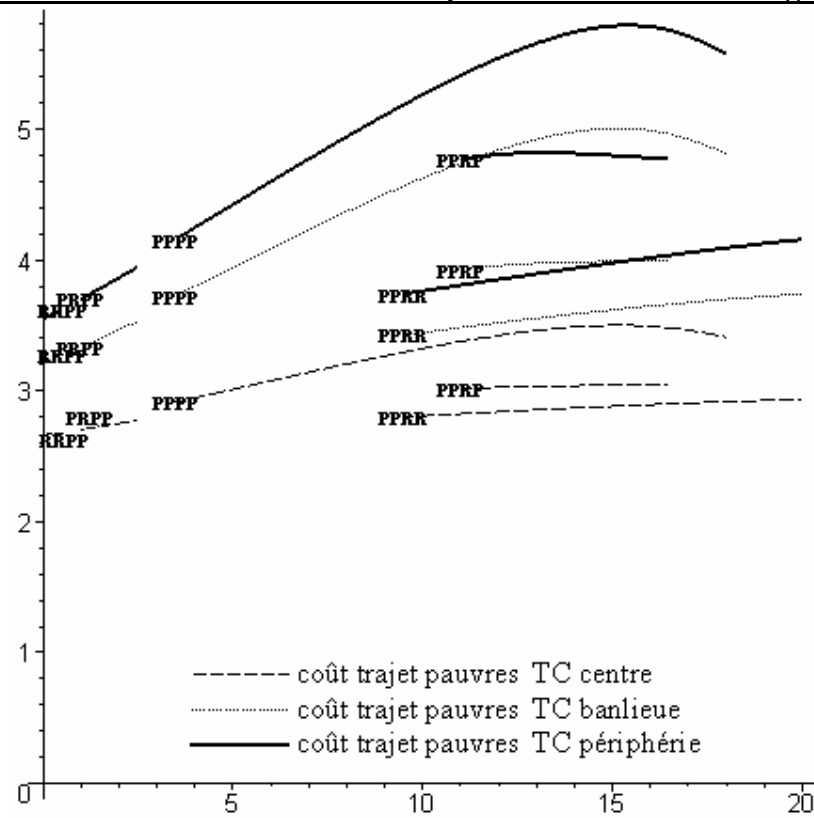


Figure 4.A.3.5: Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

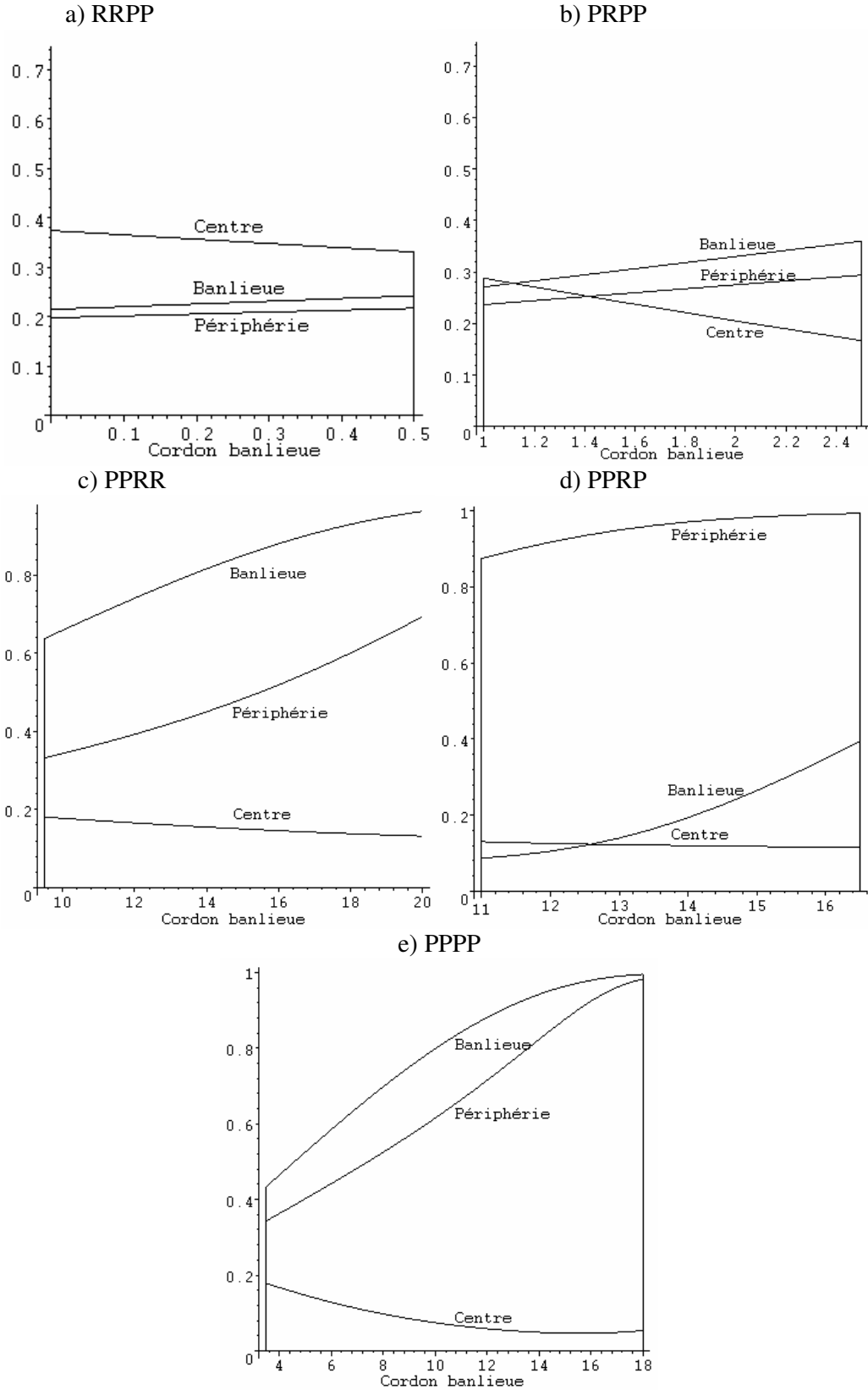


Figure 4.A.3.6: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

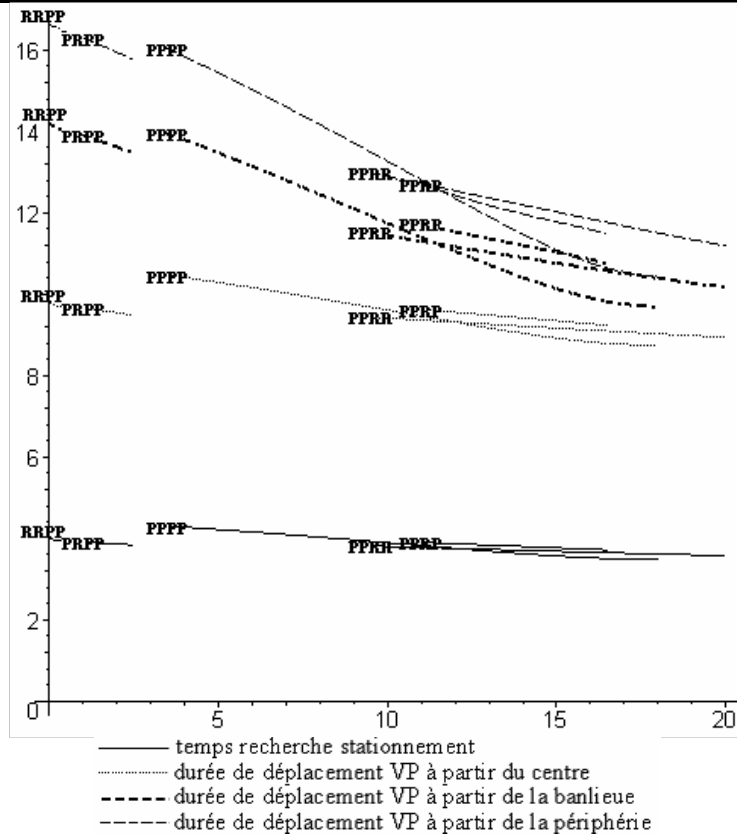


Figure 4.A.3.7: Durées de déplacement par les transports en commun

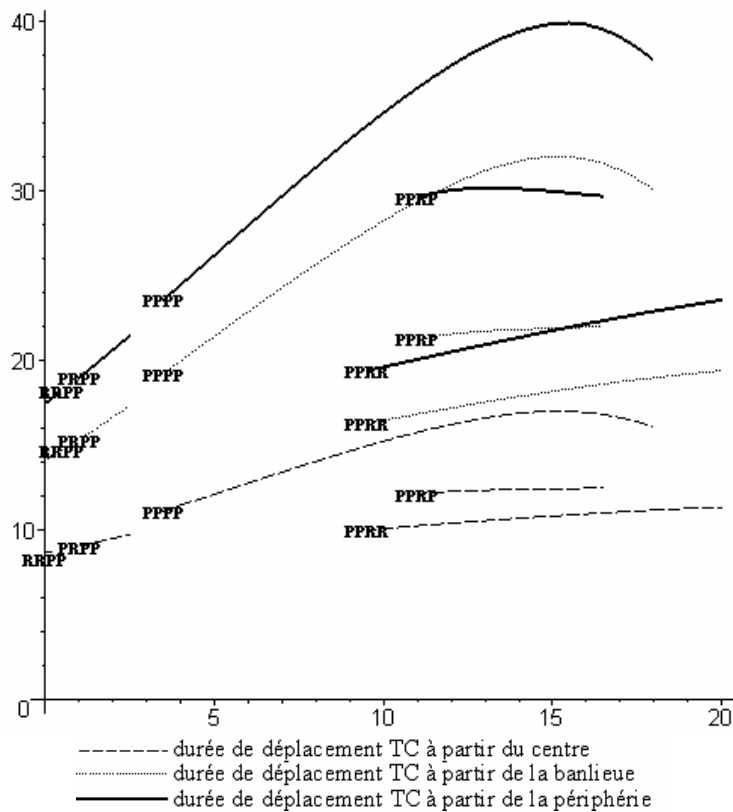


Figure 4.A.3.8: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

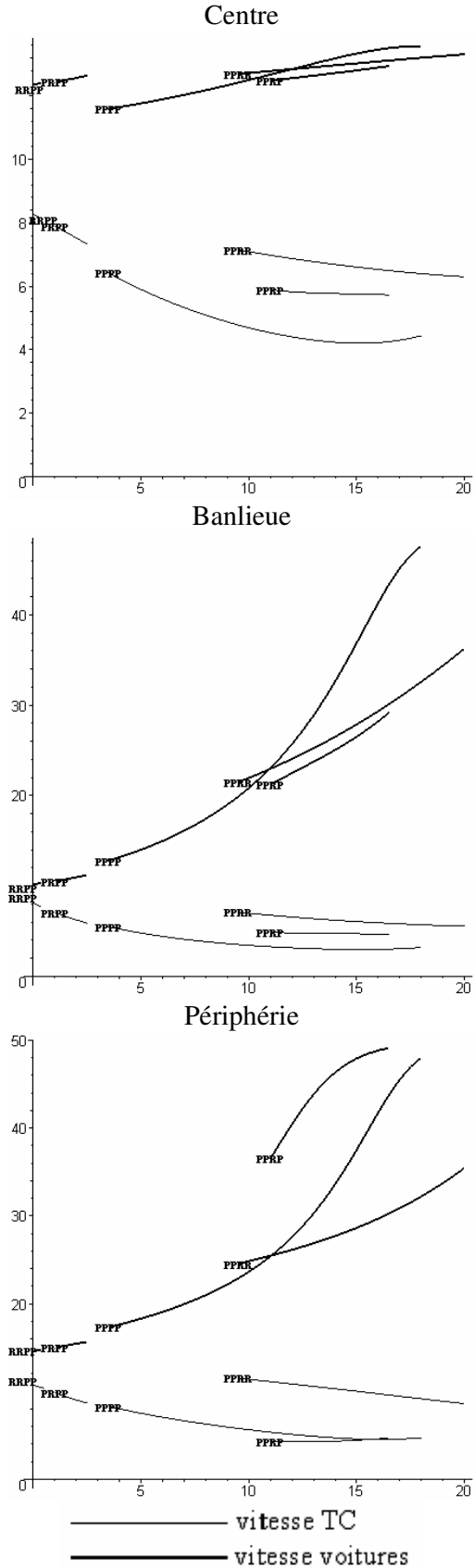


Figure 4.A.3.9: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages riches

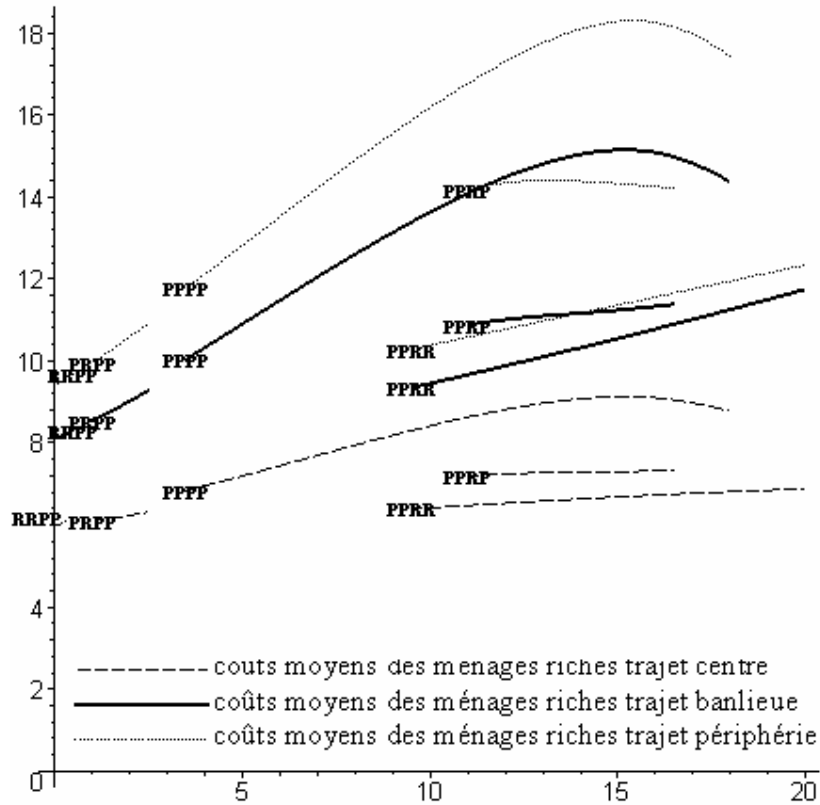


Figure 4.A.3.10: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages pauvres

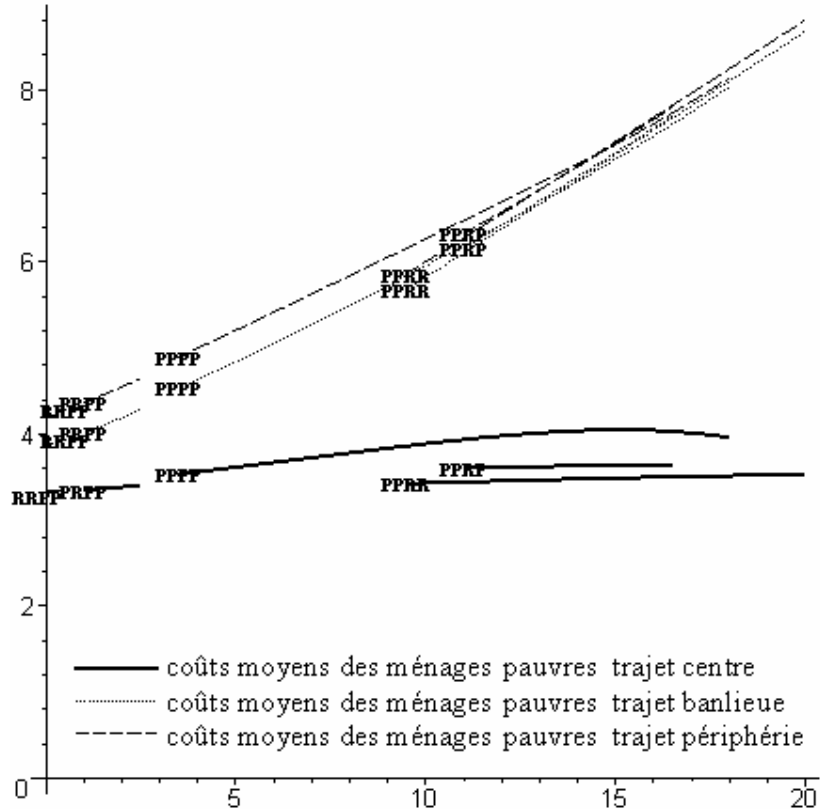
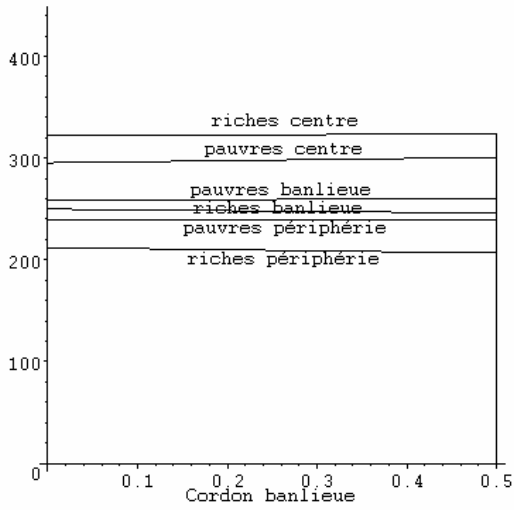
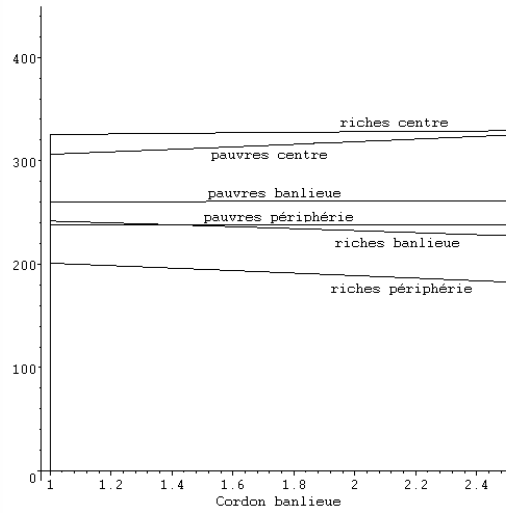


Figure 4.A.3.11 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

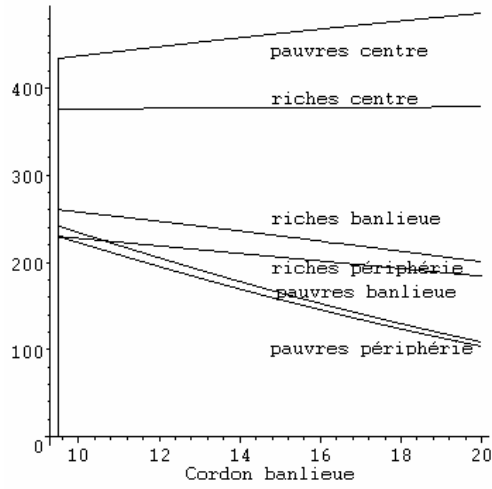
a) RRPP



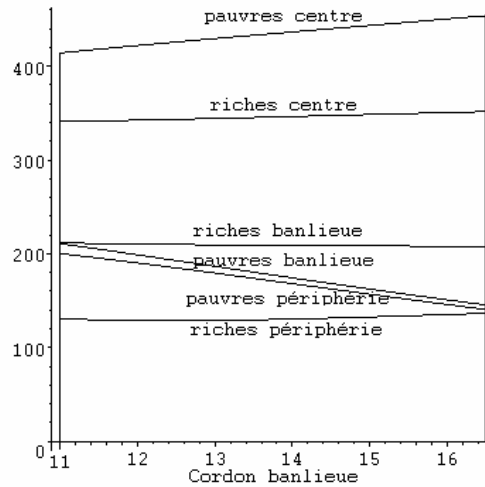
b) PRPP



c) PPRR



d) PPRP



e) PPPP

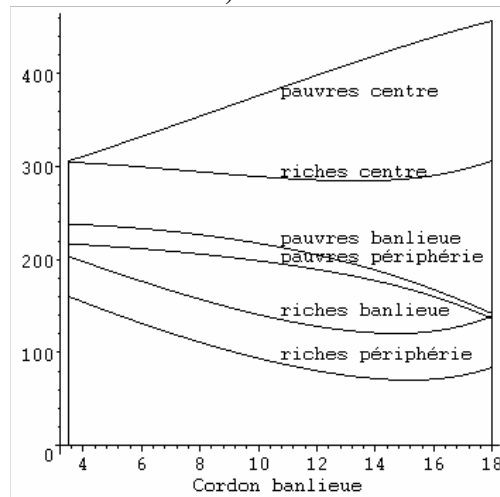


Figure 4.A.3.12 : Effets sur la taille des logements

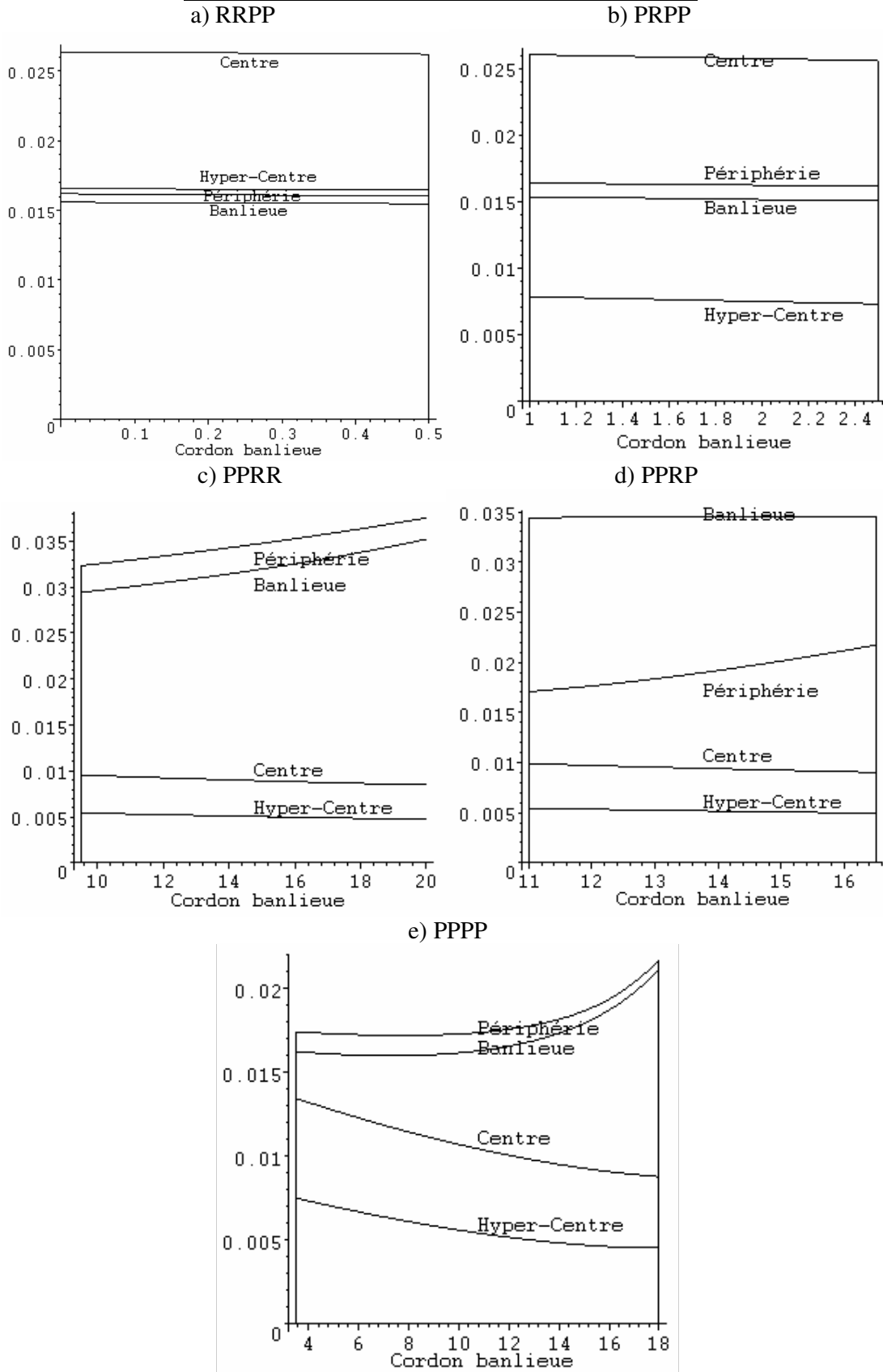
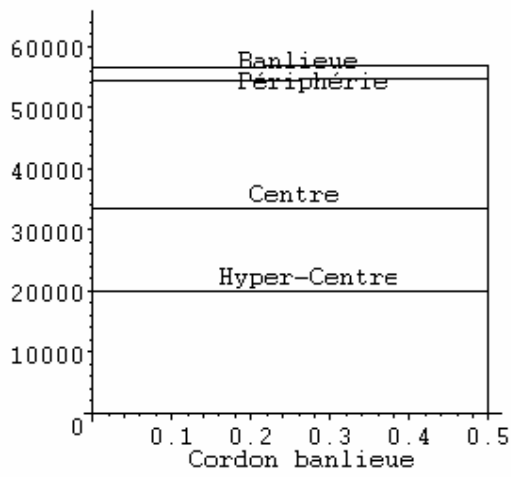
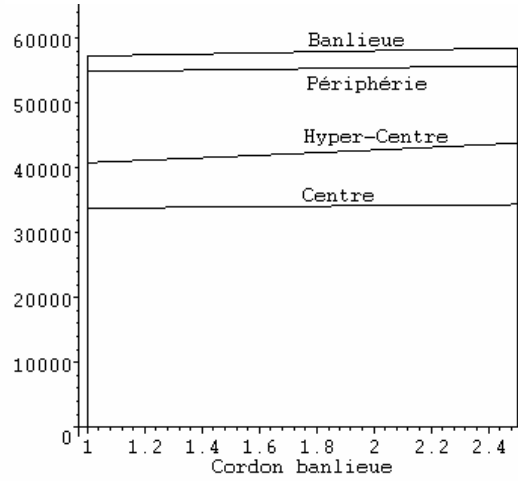


Figure 4.A.3.13 : Effets sur la population de la ville

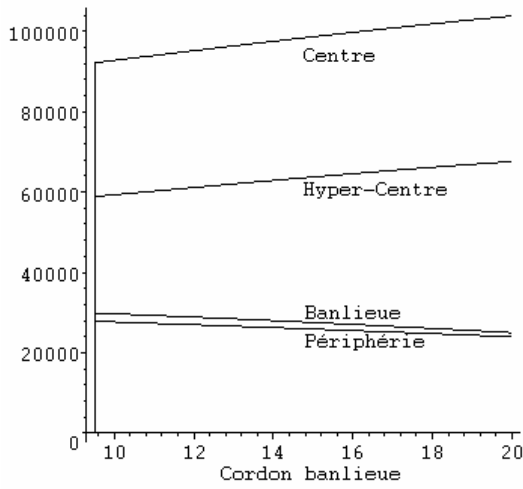
a) RRPP



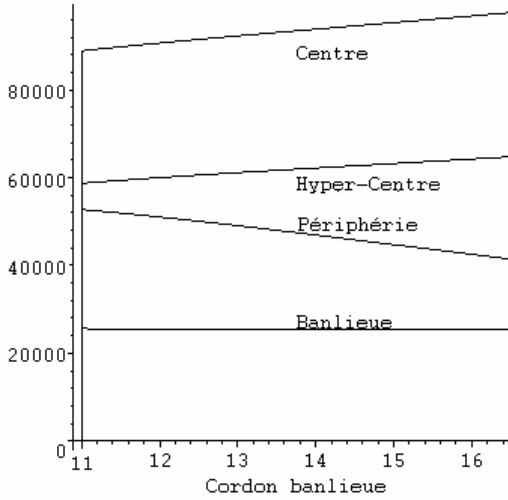
b) PRPP



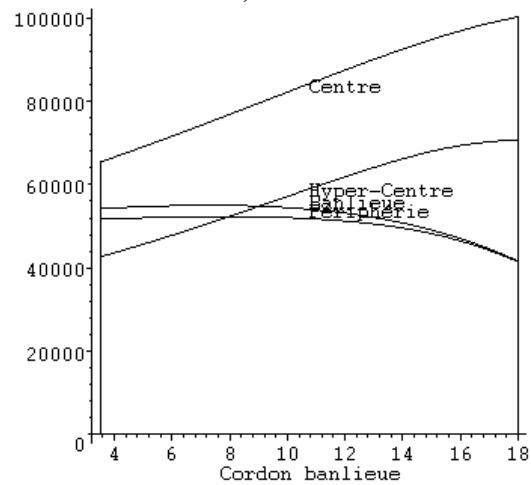
c) PPRR



d) PPRP



e) PPPP



Annexes 4.A.4

L'IMPACT DU PEAGE CORDON EN PERIPHERIE SUR LA VILLE

Figure 4.A.4.1 : Effets sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

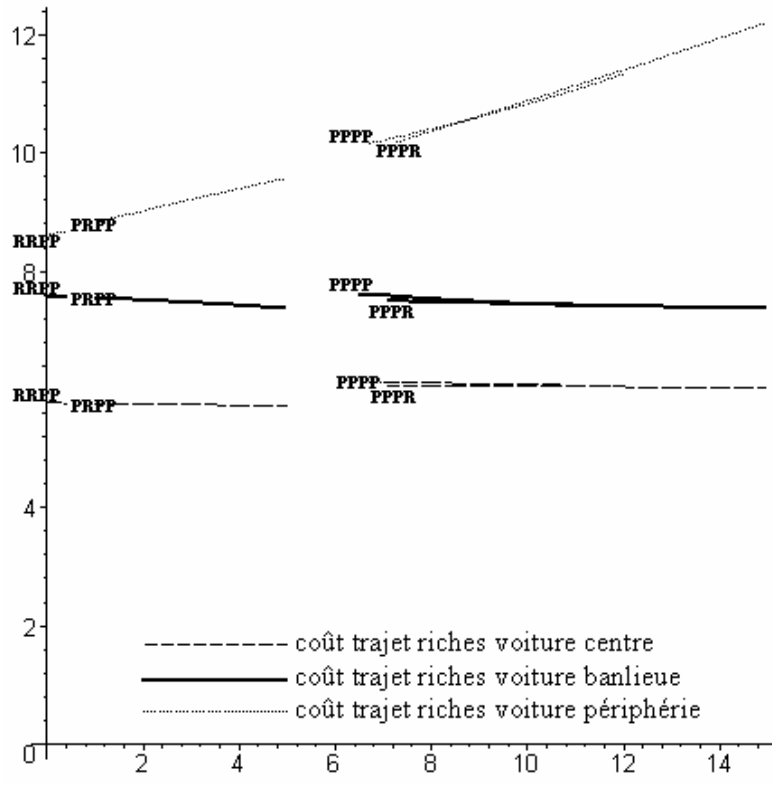


Figure 4.A.4.2 : Effets sur les coûts de transport en commun des ménages riches

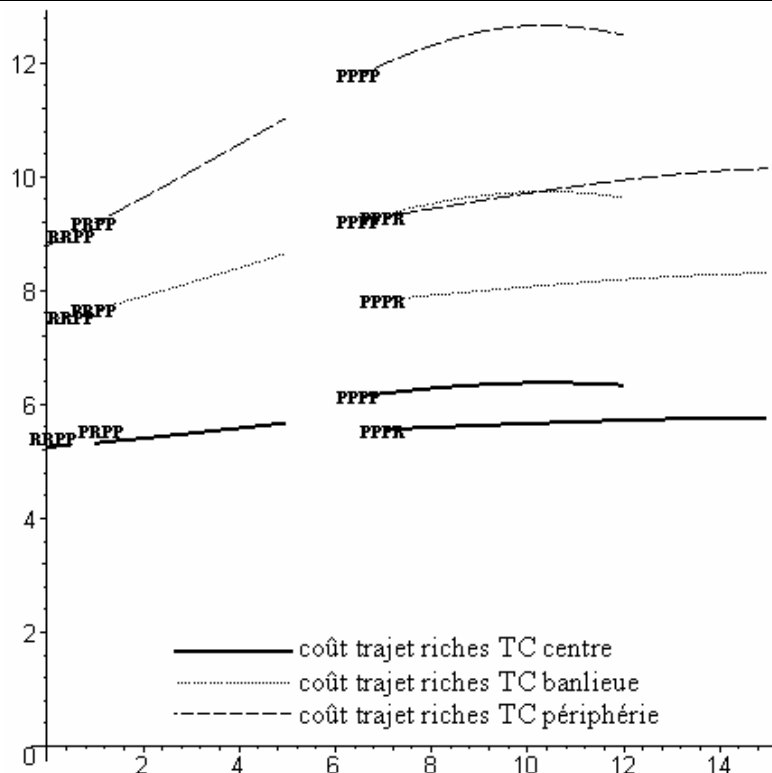


Figure 4.A.4.3 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

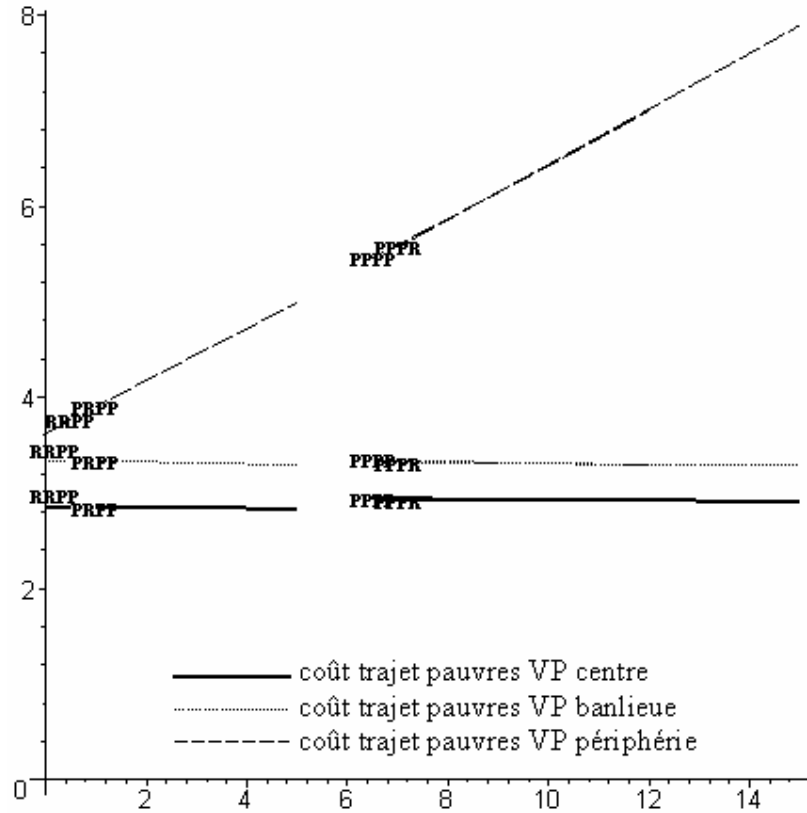


Figure 4.A.4.4 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

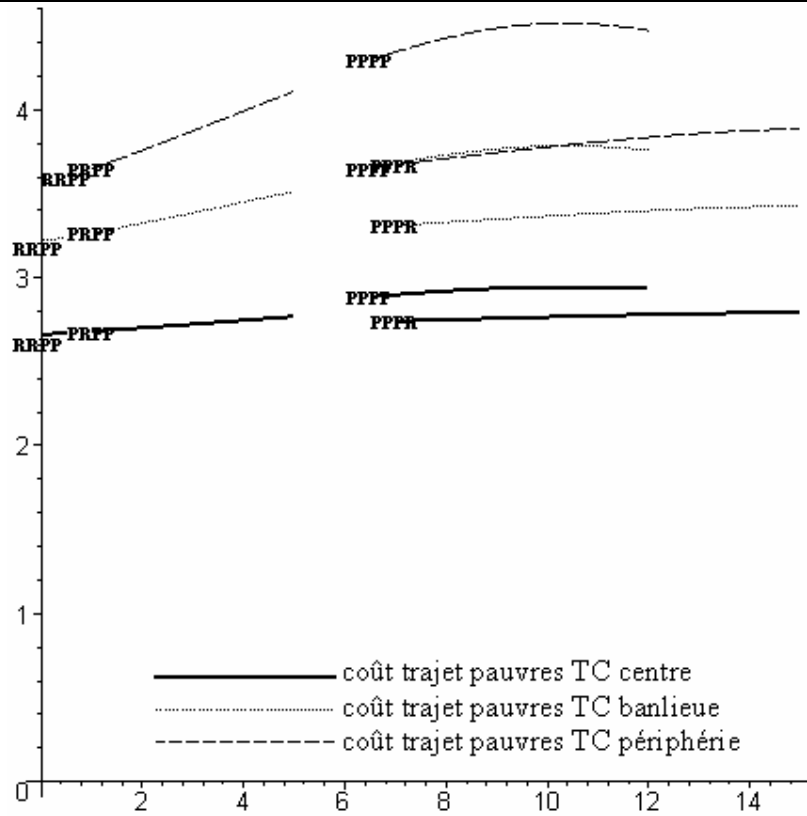


Figure 4.A.4.5: Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

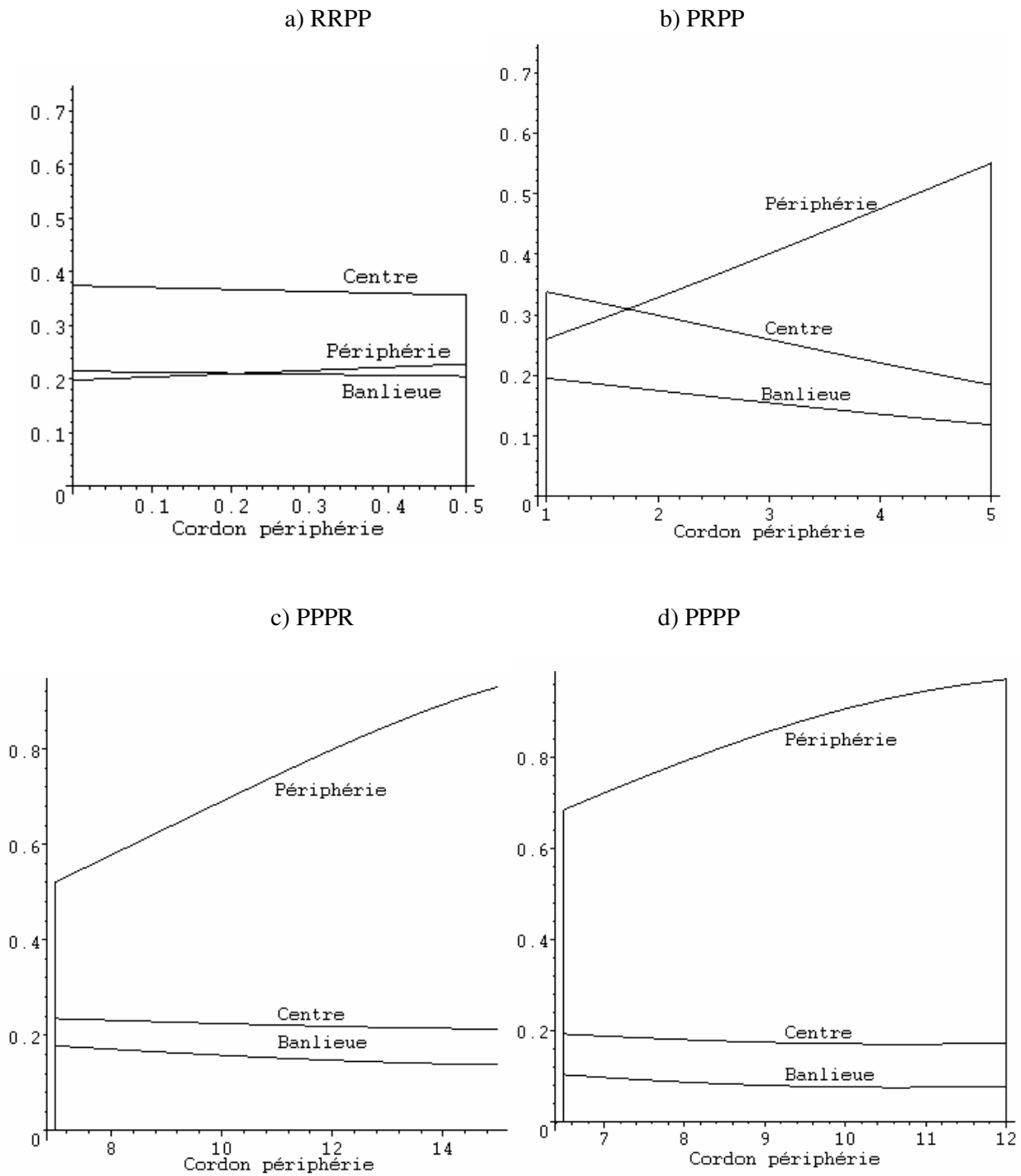


Figure 4.A.4.6: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

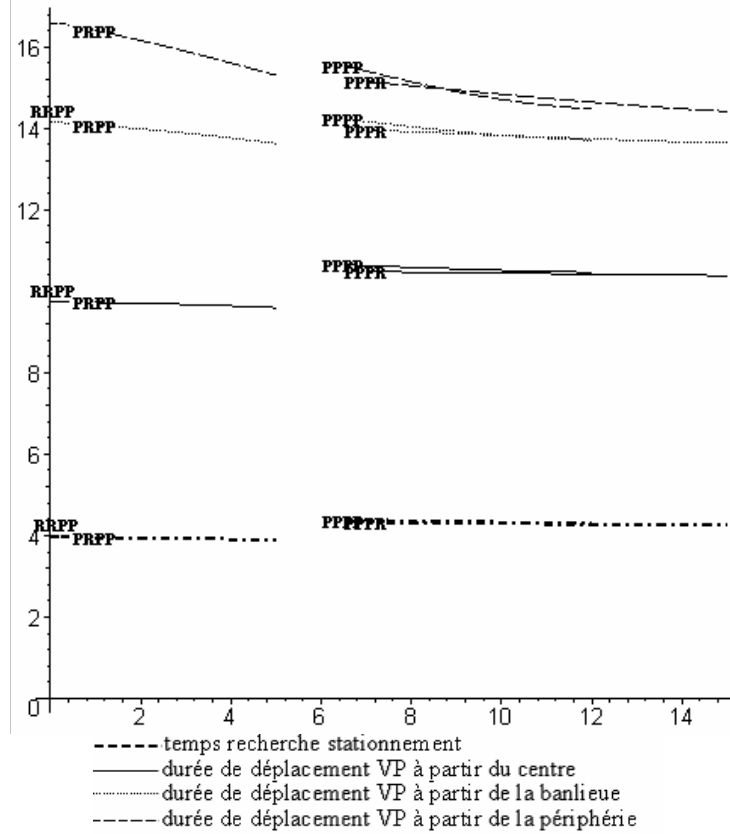


Figure 4.A.4.7: Durées de déplacement par les transports en commun

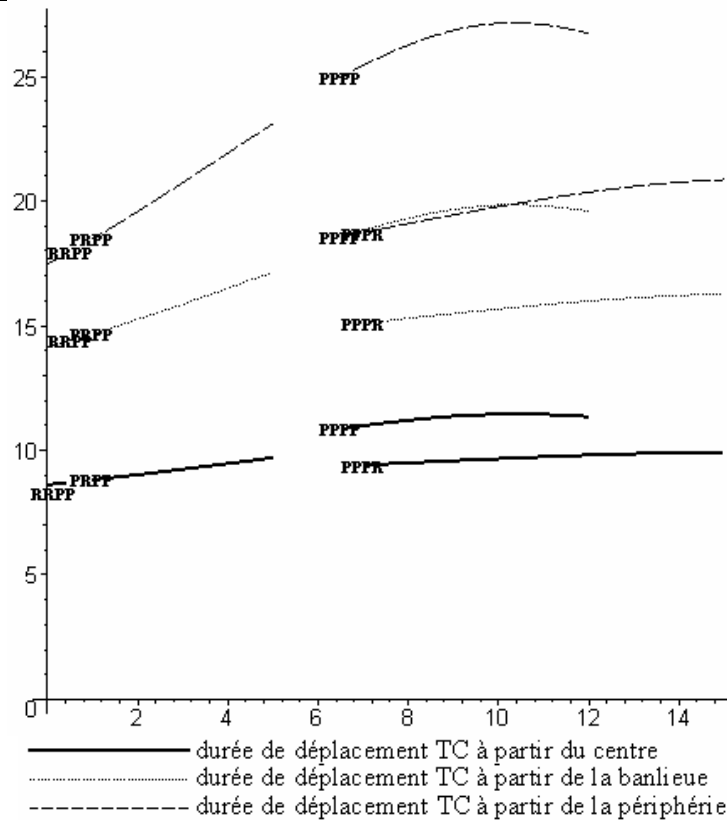


Figure 4.A.4.8: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages riches

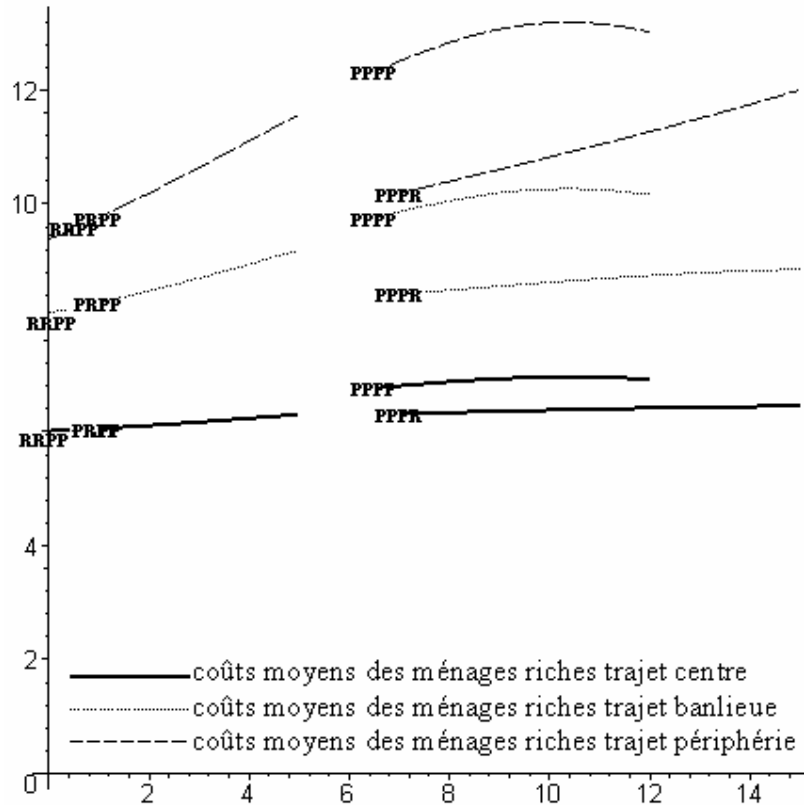


Figure 4.A.4.9: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages pauvres

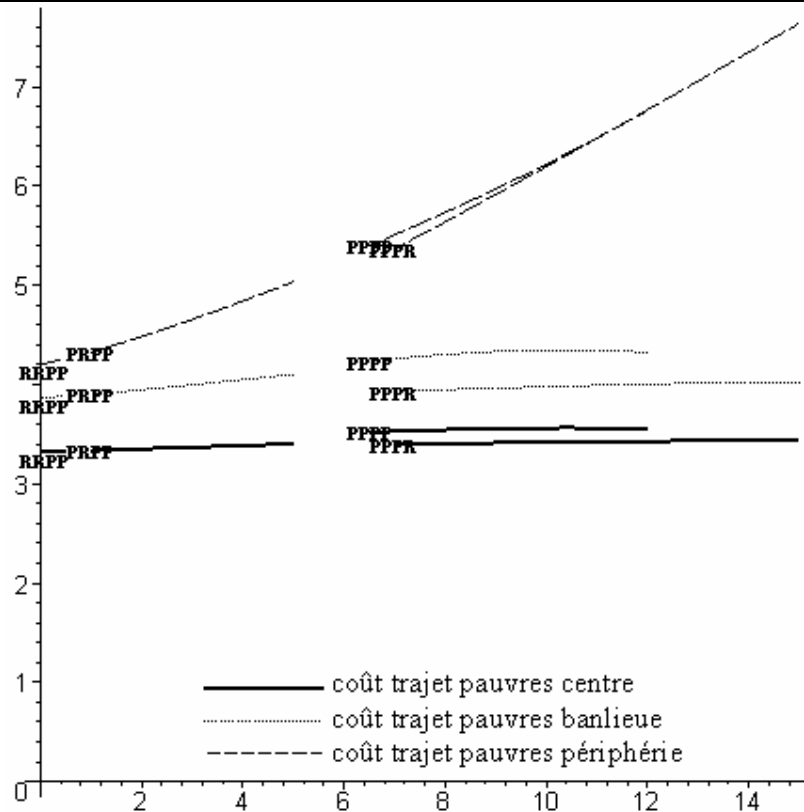


Figure 4.A.4.10 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

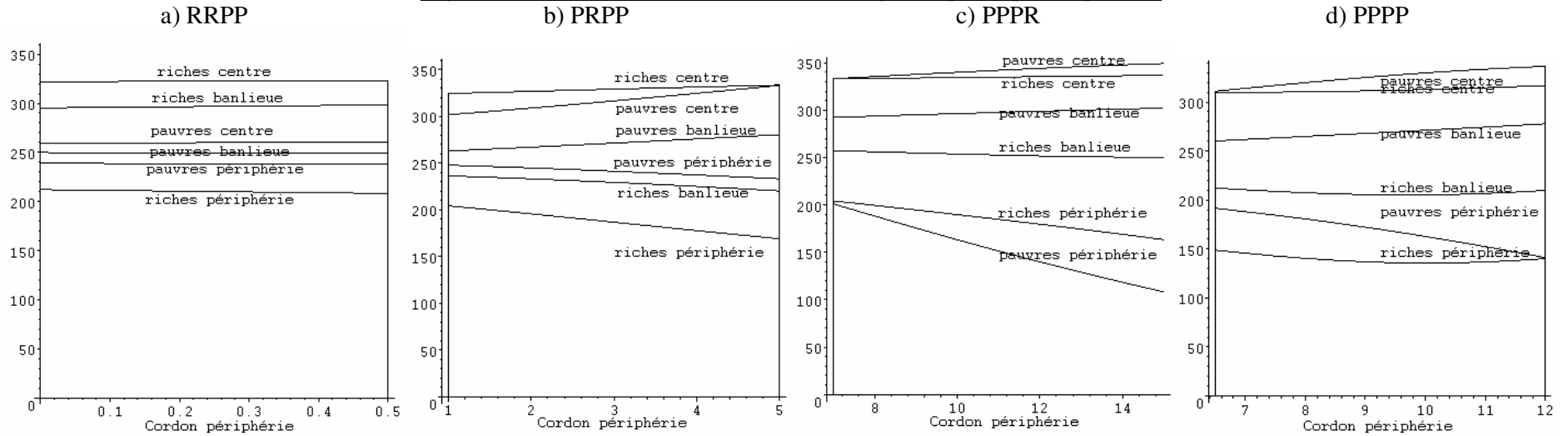
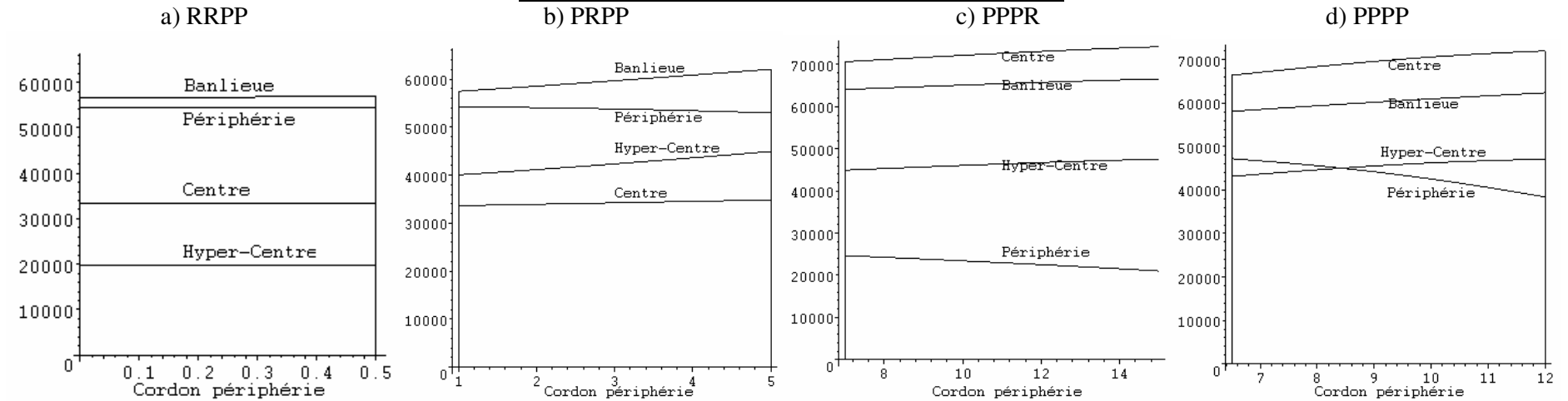


Figure 4.A.4.11 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.5
CONFRONTATION DES INSTRUMENTS DE TARIFICATIONS DES TRANSPORTS PRIVES

Tableau 4.A.5.1: Pourcentage des ménages usagers des transport en commun

	Péage zonal				Péage linéaire				Cordon 2				Cordon 3				MAX
	z1	z2	z3	M	z1	z2	z3	M	z1	z2	z3	M	z1	z2	z3	M	M
RRPP	0,37	0,22	0,20	0,25	0,37	0,22	0,20	0,25	0,33	0,24	0,22	0,25	0,36	0,21	0,23	0,25	C2
PRRR	0,91	0,47	0,26	0,57	0,50	0,50	0,68	0,54									PZ
PRRP	0,74	0,00	0,99	0,70													PZ
PRPP	0,07	0,95	0,81	0,70	0,27	0,30	0,31	0,30	0,17	0,36	0,29	0,29	0,18	0,12	0,55	0,29	PZ
PPRR					0,94	0,11	0,43	0,68	0,17	0,74	0,39	0,32					PL
PPRP									0,12	0,12	0,93	0,37					C2
PPPR					0,83	0,99	0,00	0,81					0,23	0,17	0,58	0,26	PL
PPPP	0,98	0,80	0,60	0,80	0,62	0,81	0,96	0,75	0,06	0,86	0,69	0,46	0,18	0,09	0,79	0,31	PZ
MAX				PPPP				PPPR				PPPP				PPPP	

Tableau 4.A.5.2: Durées de déplacement par mode de transport

	Péage zonal						Péage linéaire						Cordon 2						Cordon 3					
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	9,74	14,16	16,62	8,63	14,14	17,48	9,74	14,16	16,62	8,63	14,14	17,48	9,70	14,03	16,46	8,83	14,73	18,23	9,73	14,12	16,52	8,72	14,39	17,97
PRRR	4,87	7,44	9,10	12,17	17,89	20,84	5,13	7,07	8,15	11,84	19,16	23,66												
PRRP	4,28	6,27	7,02	15,85	26,31	36,33																		
PRPP	5,07	6,58	7,78	19,73	37,79	46,72	9,42	13,51	15,77	9,83	17,03	21,26	9,49	13,46	15,76	9,74	17,33	21,47	9,59	13,63	15,31	9,70	17,14	23,11
PPRR							4,99	7,54	8,85	18,01	22,27	25,64	9,32	11,17	12,54	10,39	17,19	20,51						
PPRP													9,52	11,45	12,30	12,31	21,66	30,15						
PPPR							4,07	5,65	7,02	24,61	35,47	37,27							10,47	13,92	15,05	9,49	15,30	19,10
PPPP	4,43	6,84	8,55	26,23	41,15	48,18	5,52	7,01	7,81	26,36	42,43	50,45	9,39	11,22	12,58	16,00	29,90	36,78	10,59	14,04	15,14	11,21	19,32	26,27

Tableau 4.A.5.3: Durées moyennes de déplacement

	Péage zonal			Péage linéaire			Cordon 2			Cordon 3			MINIM		
	VP	TC	M	VP	TC	M	VP	TC	M	VP	TC	M	VP	TC	M
RRPP	14,30	13,21	14,03	14,30	13,21	14,03	14,09	14,08	14,09	14,17	13,74	14,07	C2	NI	NI
PRRR	8,11	14,88	11,98	6,37	17,82	12,60							PL	PZ	PZ
PRRP	5,74	29,58	22,35										PZ	PZ	PZ
PRPP	5,86	41,37	30,85	13,37	17,19	14,49	13,24	17,89	14,59	12,93	20,08	14,98	PZ	PL	PL
PPRR				7,65	18,98	15,40	9,96	15,68	11,77				PL	C2	C2
PPRP							10,02	26,43	16,02				C2	C2	C2
PPPR				5,49	29,06	24,58				12,42	14,28	12,90	PL	C3	C3
PPPP	7,82	36,21	30,58	5,96	38,30	30,17	10,01	31,86	19,95	12,51	22,14	15,48	PL	C3	C3
MINIM	PRRP	RRPP	PRRR	PPPR	RRPP	PRRR	PPRR	RRPP	PPRR	PPPR	PPPR	PPPR			

Tableau 4.A.5.4: Vitesses moyennes de déplacement

	Péage zonal						Péage linéaire						Cordon 2						Cordon 3					
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	12,35	10,09	14,58	8,28	8,09	10,76	12,35	10,09	14,58	8,28	8,09	10,76	12,40	10,28	14,79	8,09	7,55	10,27	12,36	10,16	15,00	8,19	7,86	10,06
PRRR	22,09	17,38	21,59	5,87	7,80	12,16	21,21	23,00	33,22	6,03	6,09	8,00												
PRRP	24,42	22,42	48,26	4,51	4,26	3,59																		
PRPP	21,42	29,40	29,87	3,62	2,47	4,02	12,72	10,90	15,91	7,27	6,19	8,48	12,64	11,21	15,65	7,33	5,88	8,67	12,52	11,03	21,48	7,36	5,99	6,03
PPRR							21,67	17,51	27,51	3,97	10,46	10,66	12,85	24,05	26,14	6,87	6,55	10,85						
PPRP													12,60	23,10	42,24	5,80	4,76	4,23						
PPPP							25,40	28,17	26,25	2,90	4,11	19,96							11,58	12,93	31,80	7,52	7,68	9,45
PPPP	23,80	18,50	21,01	2,72	2,99	5,11	19,99	29,90	44,96	2,71	2,77	4,48	12,76	24,30	26,42	4,46	3,21	5,23	11,47	12,91	32,62	6,37	5,49	5,17

Tableau 4.A.5.5: Coûts de transport généralisés des ménages riches

	Péage zonal						Péage linéaire						Cordon 2						Cordon 3					
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	5,8	7,6	8,6	5,3	7,5	8,8	5,8	7,6	8,6	5,3	7,5	8,8	5,8	7,7	8,7	5,3	7,7	9,1	5,8	7,6	8,7	5,3	7,6	9,0
PRRR	8,6	9,7	10,4	6,7	9,0	10,1	7,3	10,2	12,4	6,5	9,5	11,3												
PRRP	9,4	10,3	10,6	8,1	12,3	16,3																		
PRPP	9,1	9,8	10,3	9,7	16,9	20,5	6,0	7,9	9,0	5,7	8,6	10,3	5,7	8,1	9,0	5,7	8,7	10,4	5,7	7,4	9,6	5,7	8,7	11,0
PPRR							7,3	10,4	12,7	9,0	10,7	12,1	5,6	10,0	10,6	6,0	8,7	10,0						
PPRP													5,7	10,2	10,6	6,7	10,5	13,9						
PPPR							7,1	10,0	12,3	11,6	16,0	16,7							6,1	7,5	10,4	5,6	7,9	9,4
PPPP	8,4	9,4	10,2	12,3	18,3	21,1	7,1	9,6	11,5	12,3	18,8	22,0	5,6	9,9	10,4	8,2	13,8	16,5	6,1	7,5	10,4	6,3	9,5	12,3

Tableau 4.A.5.6: Coûts de transport généralisés des ménages pauvres

	Péage zonal						Péage linéaire						Cordon 2						Cordon 3					
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	2,8	3,3	3,6	2,7	3,2	3,5	2,8	3,3	3,6	2,7	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	2,7	3,3	3,6	2,8	3,3	3,8	2,7	3,2	3,6
PRRR	7,1	7,4	7,6	3,0	3,6	3,9	5,8	8,1	10,0	3,0	3,7	4,2												
PRRP	8,1	8,4	8,5	3,4	4,4	5,4																		
PRPP	7,6	7,8	8,0	3,8	5,6	6,5	3,2	3,9	4,3	2,8	3,5	3,9	2,8	4,0	4,3	2,8	3,5	3,9	2,8	3,3	5,0	2,8	3,5	4,1
PPRR							5,8	8,2	10,0	3,6	4,0	4,4	2,8	6,6	6,8	2,8	3,5	3,9						
PPRP													2,8	6,8	6,9	3,0	4,0	4,8						
PPPR							5,8	8,3	10,2	4,3	5,3	5,5							2,9	3,3	5,9	2,7	3,3	3,7
PPPP	7,1	7,4	7,6	4,4	5,9	6,6	5,5	7,5	9,2	4,3	6,0	6,8	2,8	6,5	6,7	3,4	4,8	5,5	2,9	3,3	5,9	2,9	3,7	4,4

Tableau 4.A.5.7: Coûts de transport moyens

	Péage zonal						Péage linéaire						Cordon 2						Cordon 3					
	Riches			Pauvres			Riches			Pauvres			Riches			Pauvres			Riches			Pauvres		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	6,0	8,1	9,4	3,3	3,9	4,2	6,0	8,1	9,4	3,3	3,9	4,2	6,1	8,3	9,7	3,3	3,9	4,3	6,0	8,2	9,6	3,3	3,9	4,3
PRRR	8,4	9,8	10,8	6,9	7,2	7,4	7,4	10,3	12,4	5,5	7,9	9,7												
PRRP	9,3	12,9	16,9	7,9	8,1	8,2																		
PRPP	10,2	17,4	21,0	7,4	7,6	7,8	6,4	9,2	10,8	3,5	4,2	4,6	6,3	9,3	10,9	3,4	4,3	4,6	6,3	9,2	11,6	3,4	4,1	5,0
PPRR							9,5	11,3	12,9	5,5	7,9	9,8	6,5	9,9	10,8	3,5	6,4	6,6						
PPRP													7,3	11,1	14,4	3,6	6,6	6,7						
PPPR							12,2	16,5	17,2	5,7	8,0	10,0							6,3	8,5	10,4	3,4	3,9	5,6
PPPP	12,8	18,8	21,6	6,9	7,2	7,6	12,9	19,3	22,5	5,4	7,4	8,9	8,7	14,3	17,0	4,0	6,3	6,6	6,9	10,1	12,8	3,5	4,3	5,7

Tableau 4.A.5.8: Prix fonciers

	Péage zonal					Péage linéaire					Cordon 2					Cordon 3					Max M	
	z0	z1	z2	z3	M	z0	z1	z2	z3	M	z0	z1	z2	z3	M	z0	z1	z2	z3	M		
RRPP	618	322	259	239	308	618	322	259	239	308	624	324	260	239	310	622	323	261	238	309	C2	
PRRR	1365	353	294	257	786	1477	414	284	214	865											PL	
PRRP	1587	335	206	190	848																	PZ
PRPP	1524	291	226	210	721	680	324	265	237	361	685	329	261	238	363	702	333	280	220	371	PZ	
PPRR						1388	380	242	193	721	955	447	247	219	537						PL	
PPRP											947	426	210	185	487							C2
PPPR						1617	425	208	103	792						708	336	294	200	389	PL	
PPPP	1430	266	236	211	616	1496	420	237	140	673	949	393	208	192	446	698	320	265	181	353	PL	
MAX					PRRR					PPPR					PPRR						PPPR	

Tableau 4.A.5.9: Population

	Péage zonal					Péage linéaire					Cordon 2					Cordon 3					Max
	z0	z1	z2	z3	T	z0	z1	z2	z3	T	z0	z1	z2	z3	T	z0	z1	z2	z3	T	
RRPP	19770	33354	56494	54376	163993	19770	33354	56494	54376	163993	19983	33577	56893	54638	165090	19888	33489	56963	54318	164657	C2
PRRR	87369	39292	34317	31699	192676	94543	44708	33702	27907	200859											PL
PRRP	101569	38460	26671	58170	224870																PZ
PRPP	97550	34475	64182	62039	258246	43537	33968	58963	55524	191992	43845	34384	58544	55796	192570	44931	34822	62055	52941	194749	PZ
PPRR						88815	92399	29704	25659	236577	61131	95178	28871	26964	212143						PL
PPRP											60611	91535	25518	50081	227744						C2
PPPR						103480	103480	61183	16223	284366						45311	71172	64418	24260	205160	PL
PPPP	91491	71272	65232	61369	289365	95754	95754	66020	45569	303097	60711	60711	53565	51507	226494	44659	68404	59386	45587	218036	PL
MAX					PPPP					PPPP					PPRP						PPPP

Annexes 4.A.6
L'IMPACT D'UNE POLITIQUE DE TARIFICATION UNIQUE DES TRANSPORTS EN COMMUN

Figure 4.A.6.1 : Effets sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

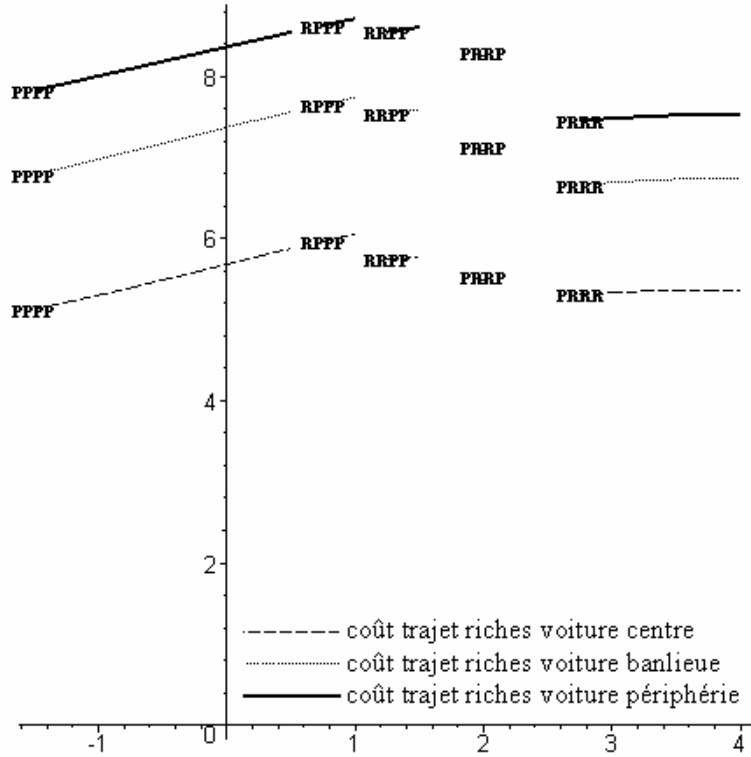


Figure 4.A.6.2 : Effets sur les coûts de transport en commun des ménages riches

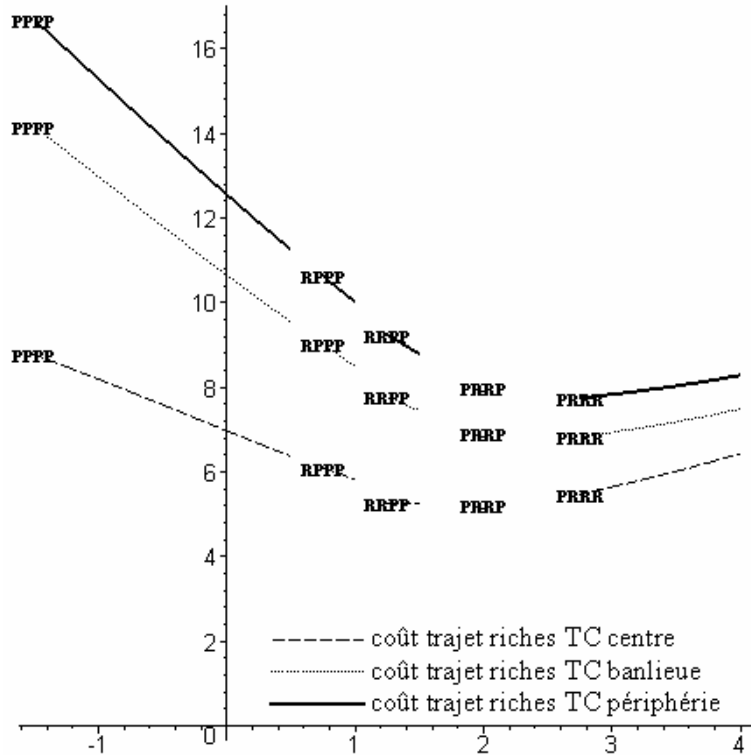


Figure 4.A.6.3 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

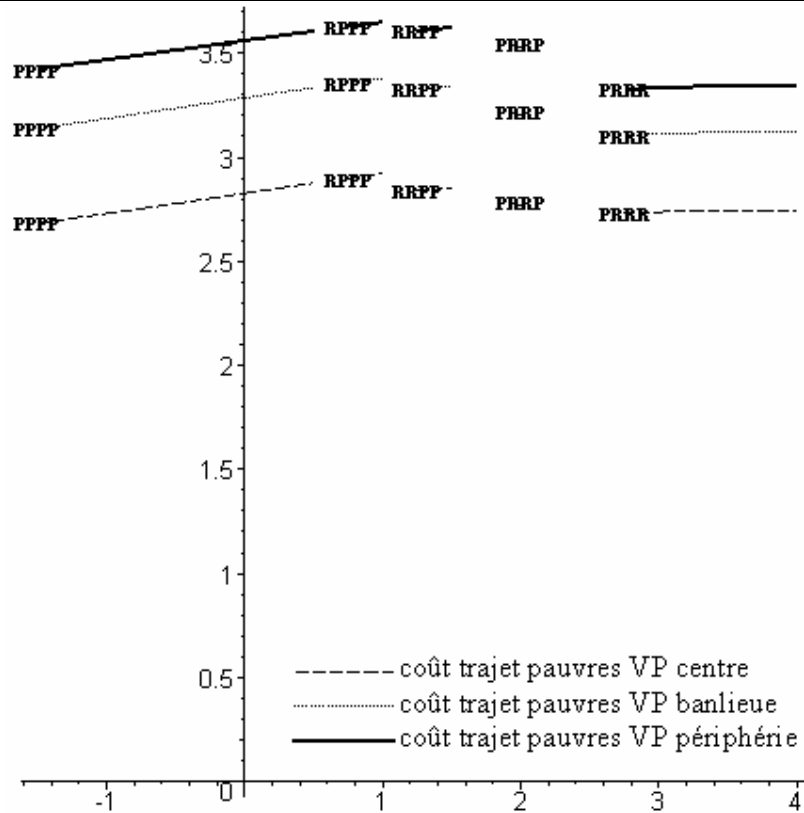


Figure 4.A.6.4 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

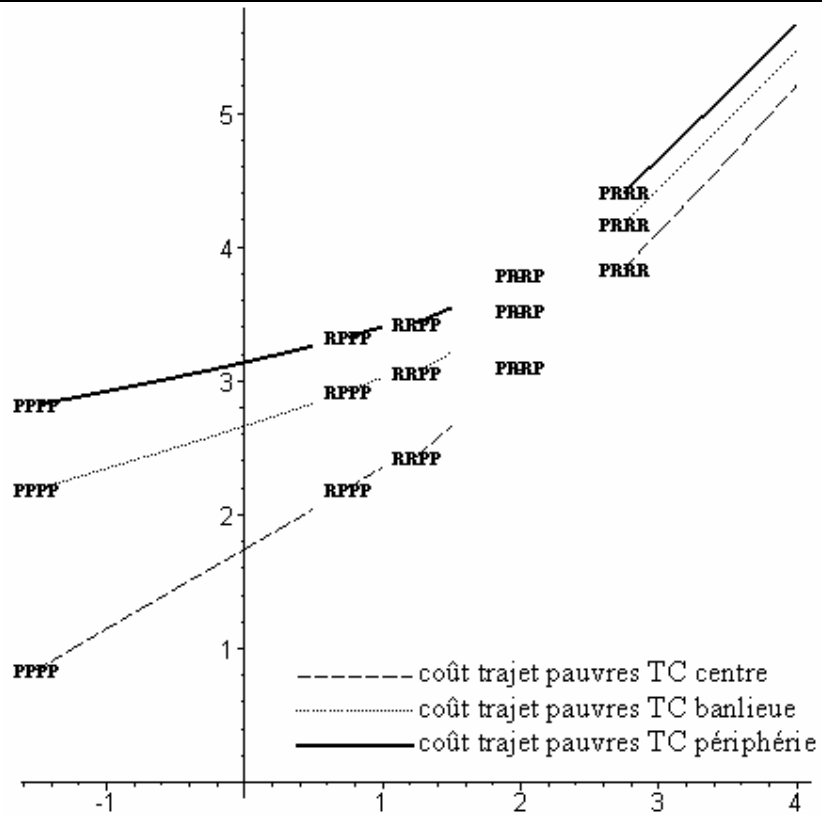


Figure 4.A.6.5: Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

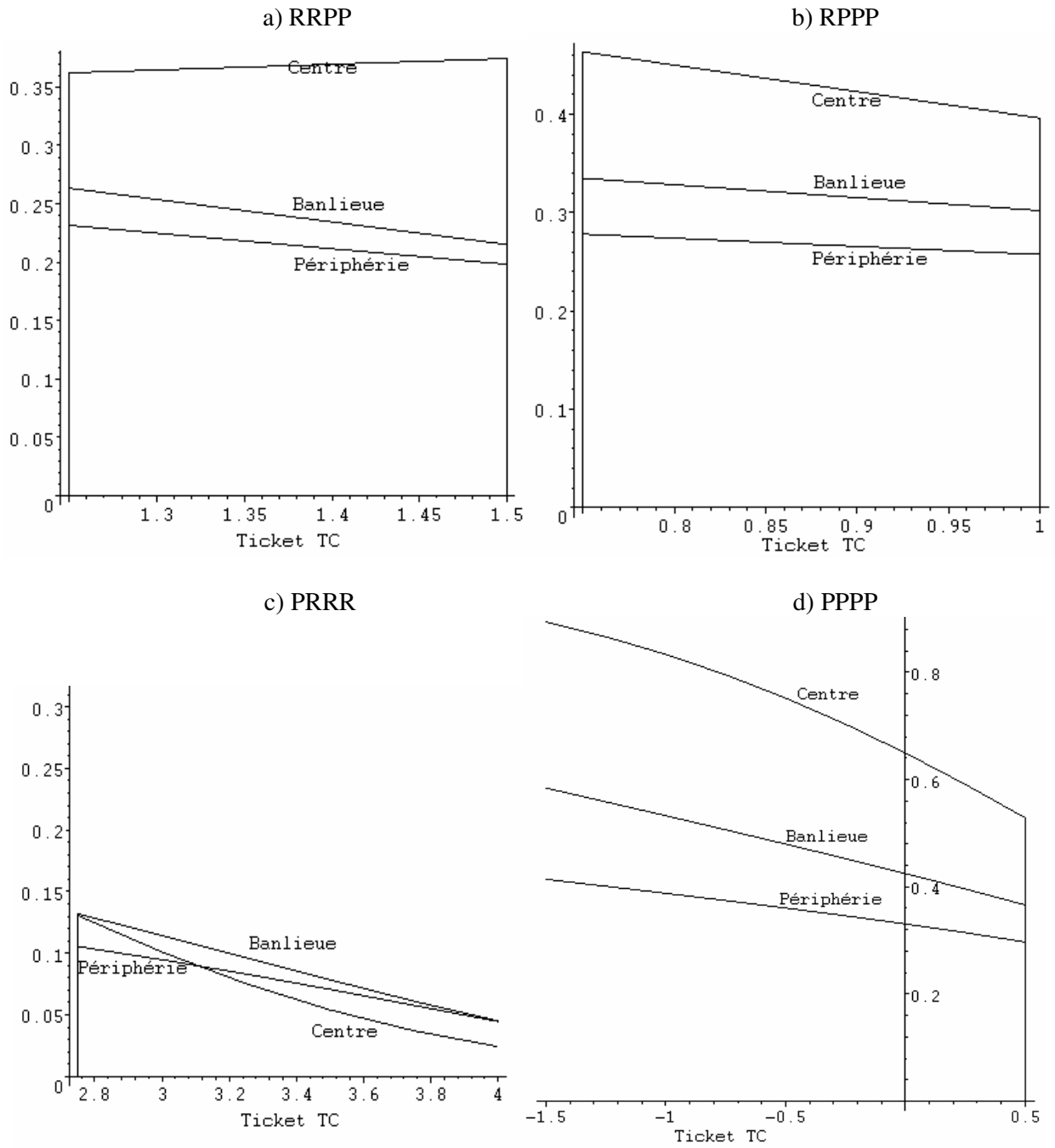


Figure 4.A.6.6: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

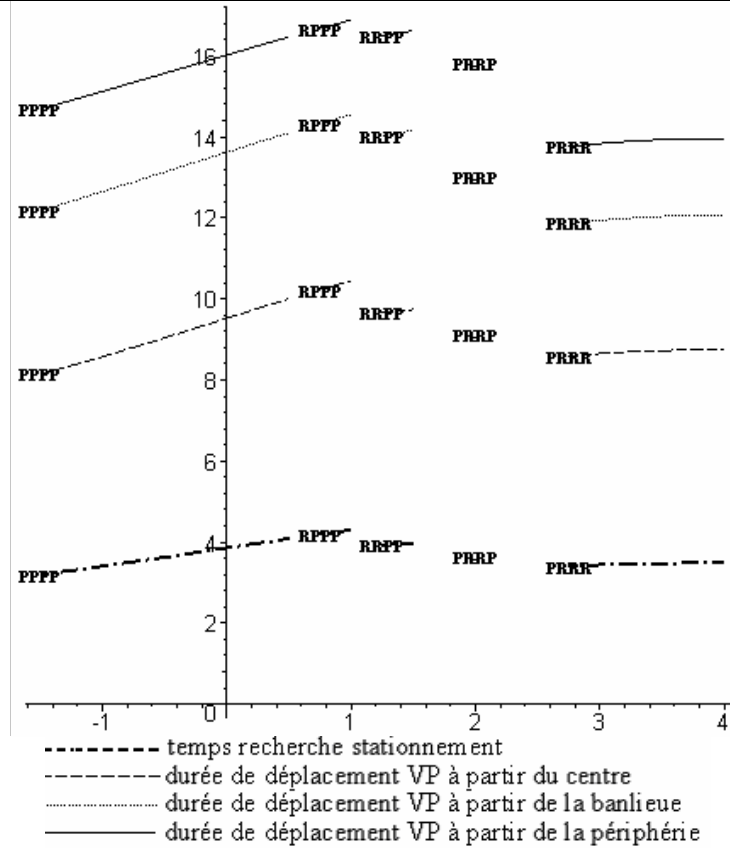


Figure 4.A.6.7: Durées de déplacement par les transports en commun

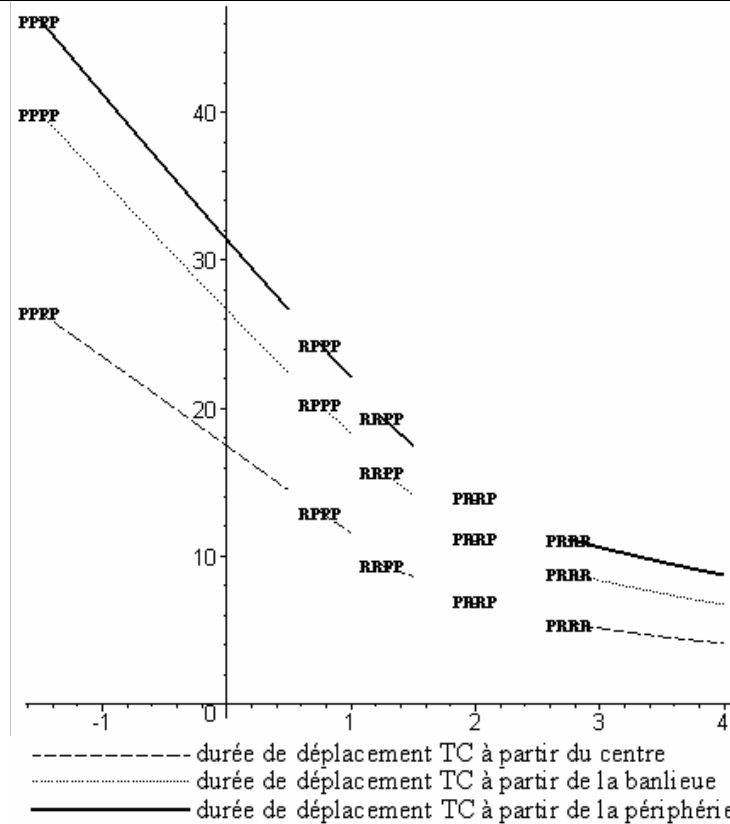


Figure 4.A.6.8: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

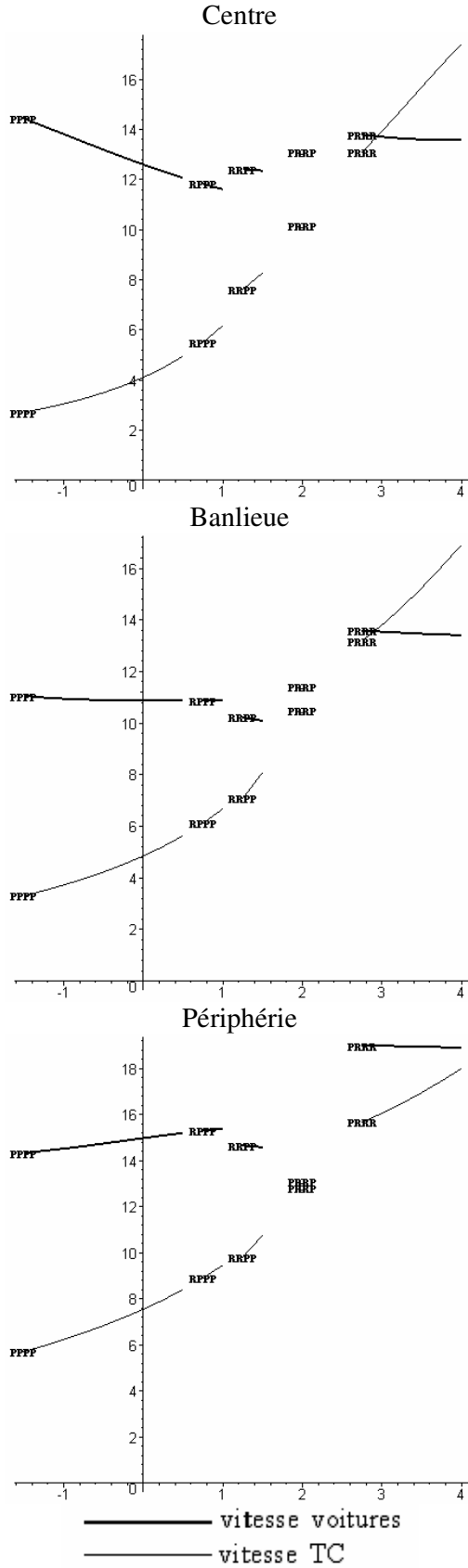


Figure 4.A.6.9: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages riches

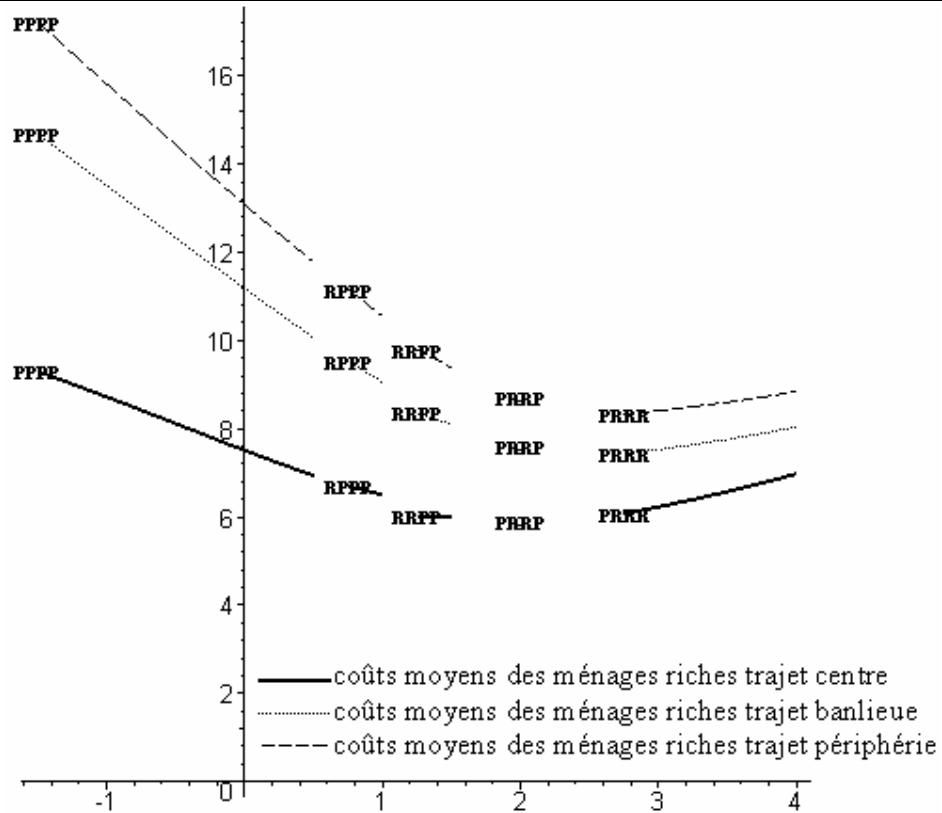


Figure 4.A.6.10: Effets sur les coûts moyens de déplacements des ménages pauvres

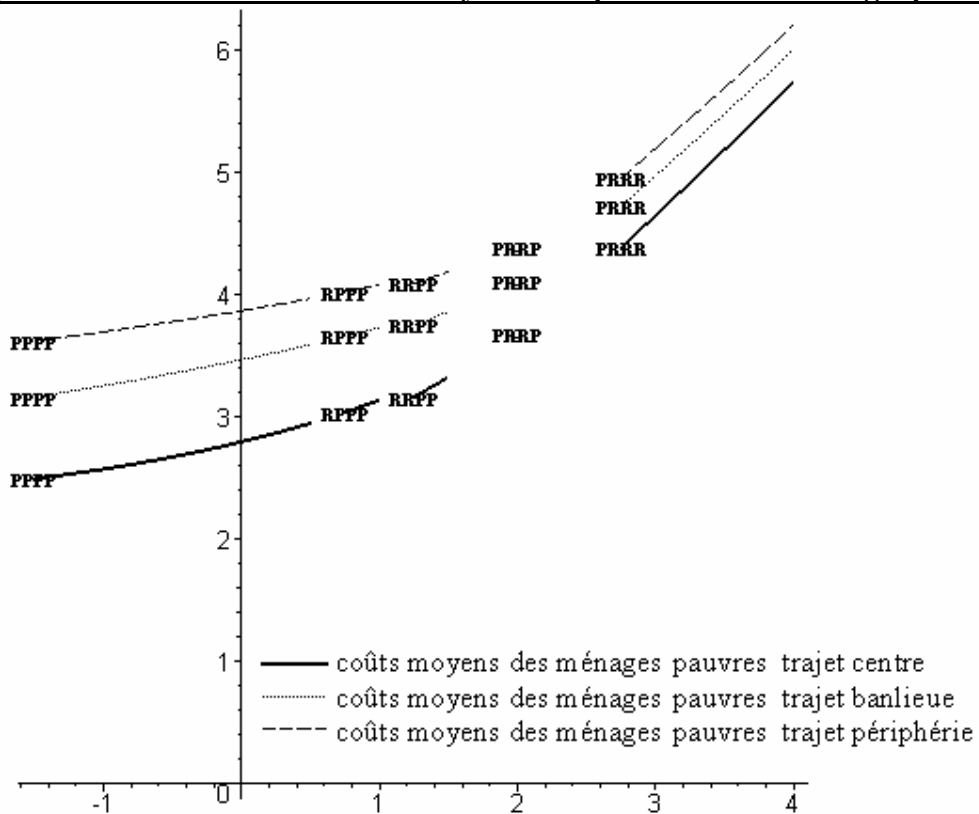


Figure 4.A.6.11 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

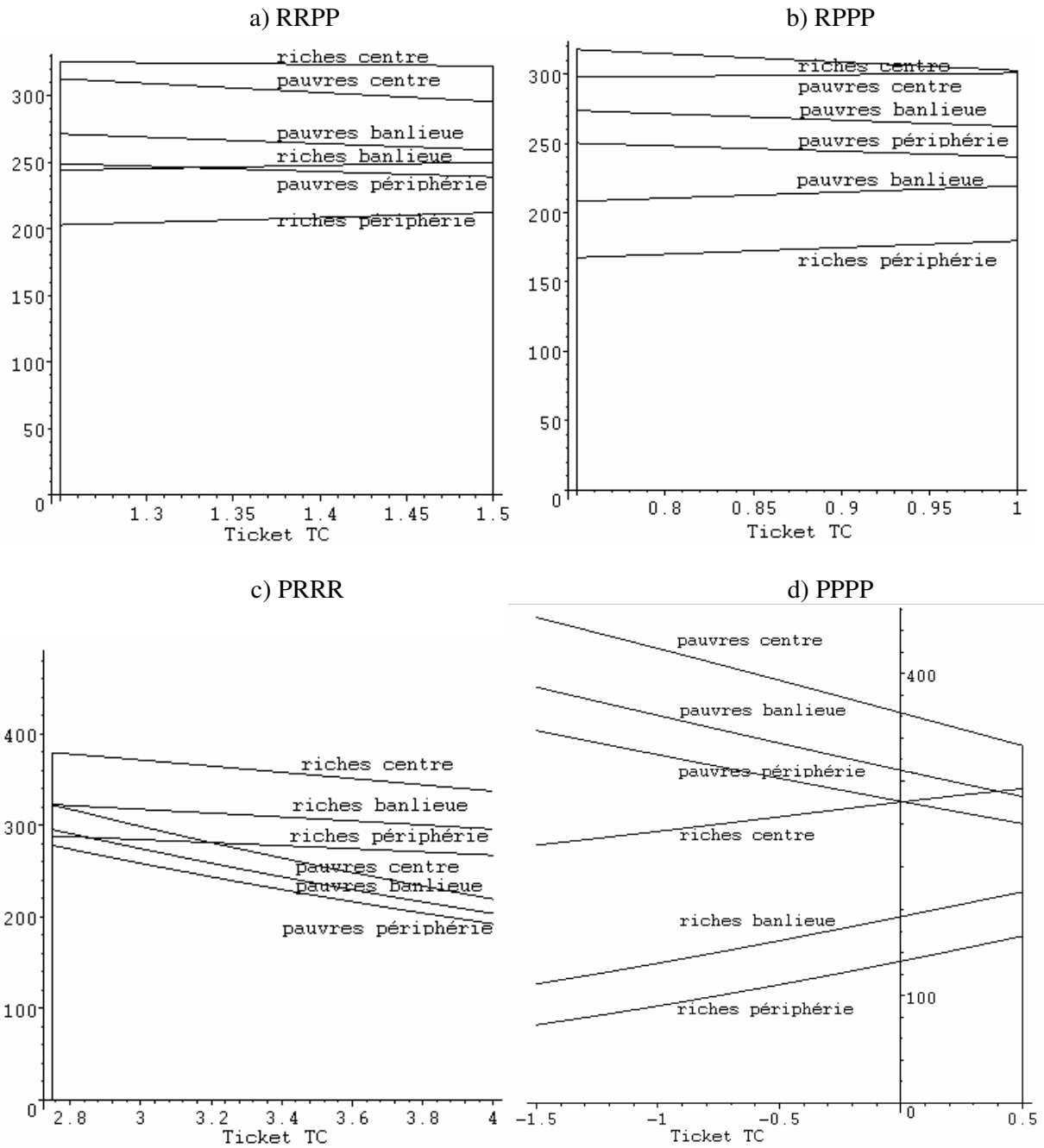


Figure 4.A.6.12 : Effets sur la taille des logements

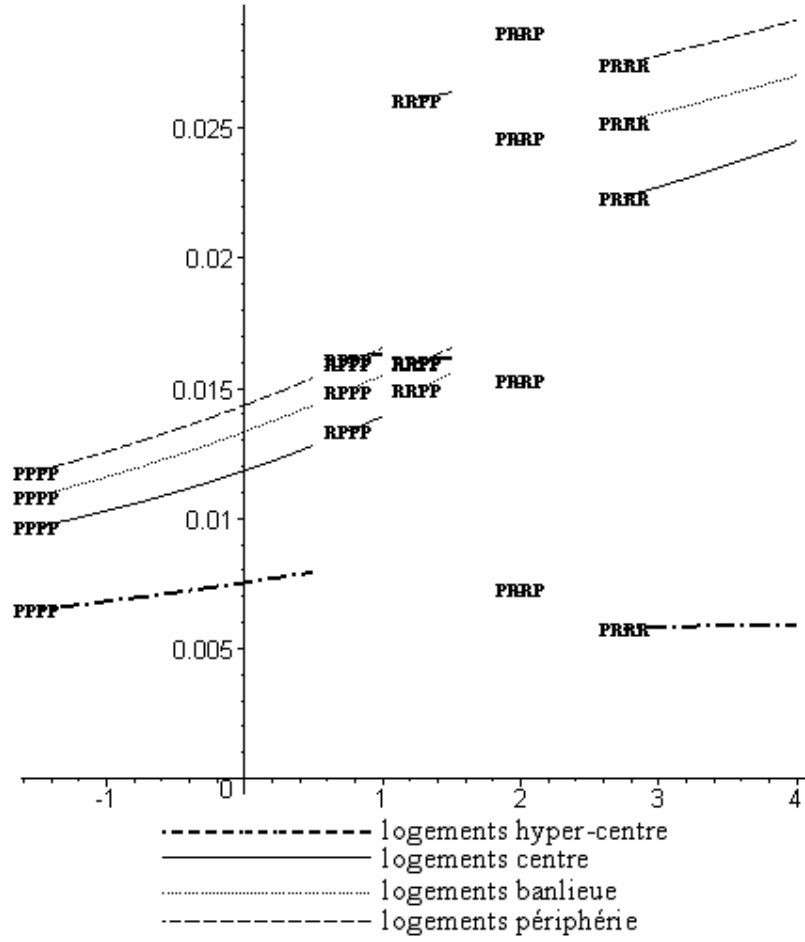
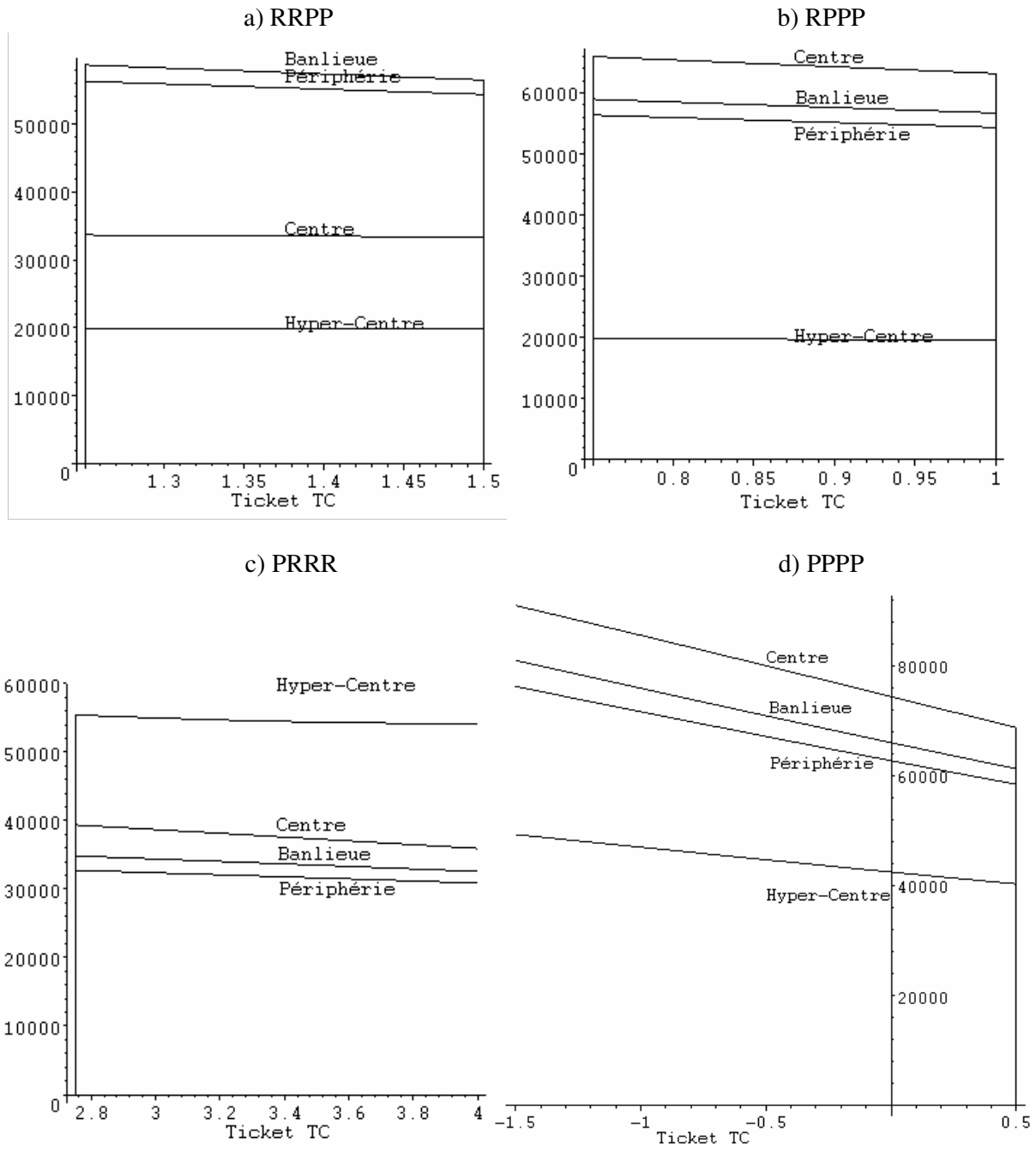


Figure 4.A.6.13 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.7
L'IMPACT D'UNE POLITIQUE DE TARIFICATION DIFFERENTIEE DES TRANSPORTS EN COMMUN

Figure 4.A.7.1 : Effets sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

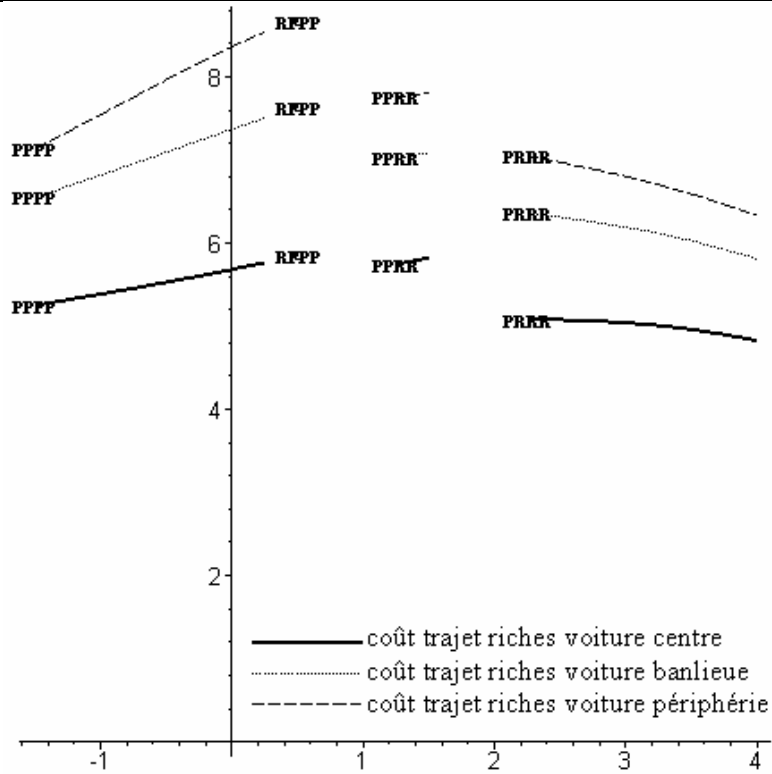


Figure 4.A.7.2 : Effets sur les coûts de transport en commun des ménages riches

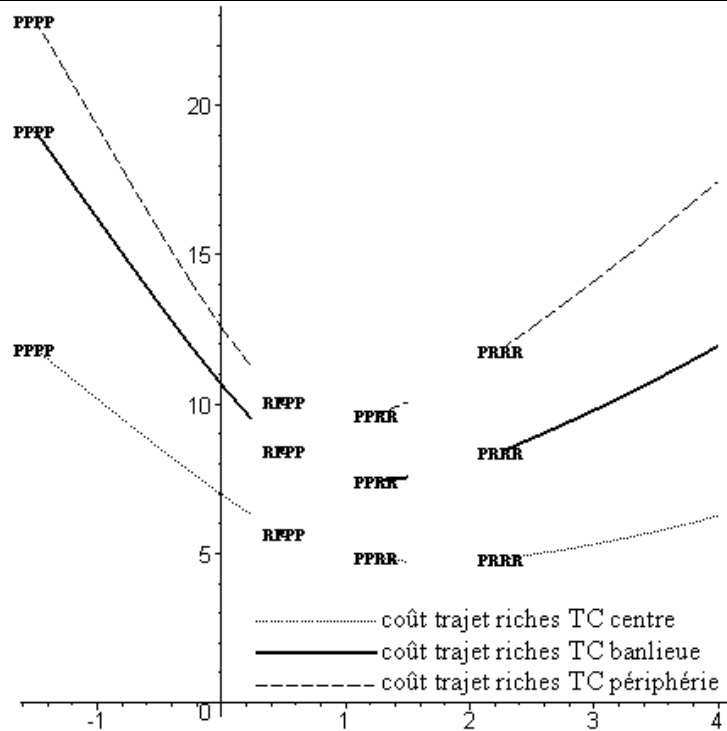


Figure 4.A.7.3 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

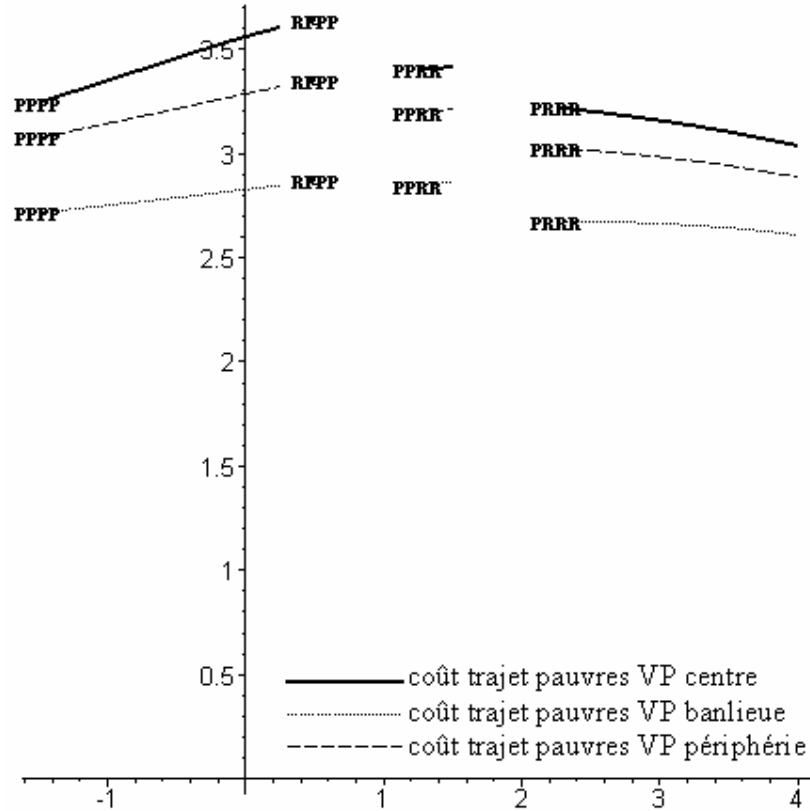


Figure 4.A.7.4 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

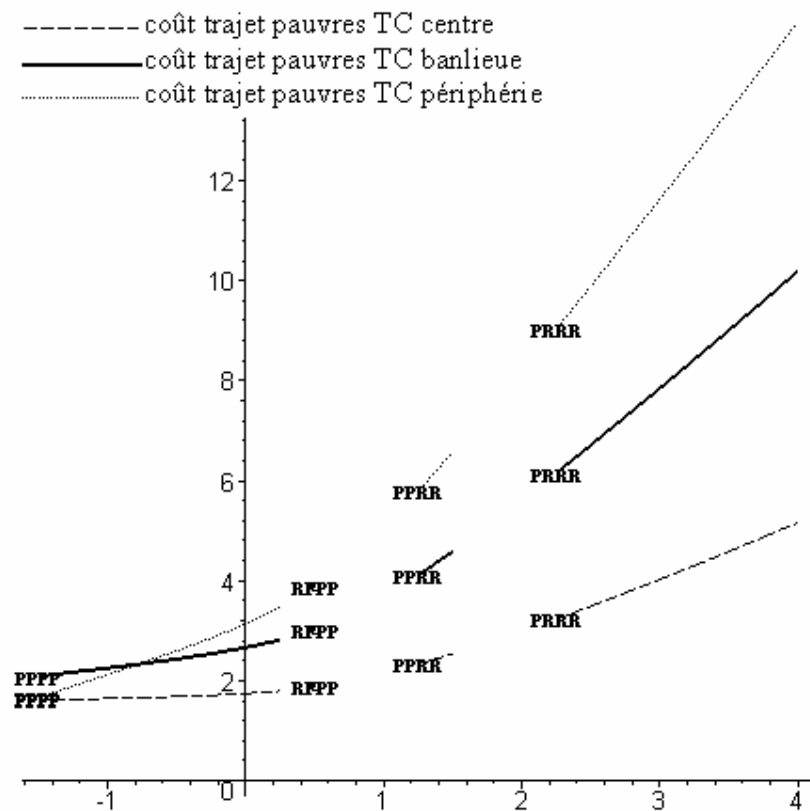


Figure 4.A.7.5: Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

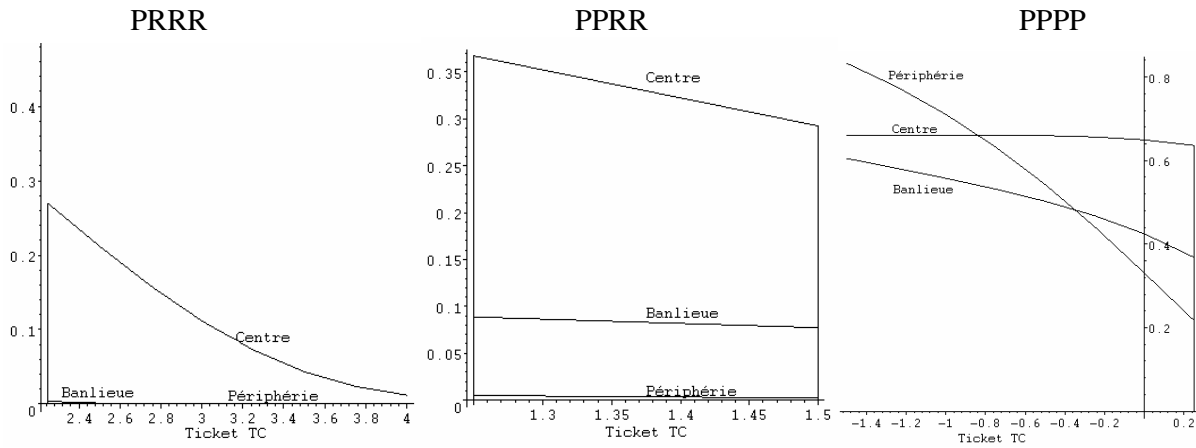


Figure 4.A.7.6: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

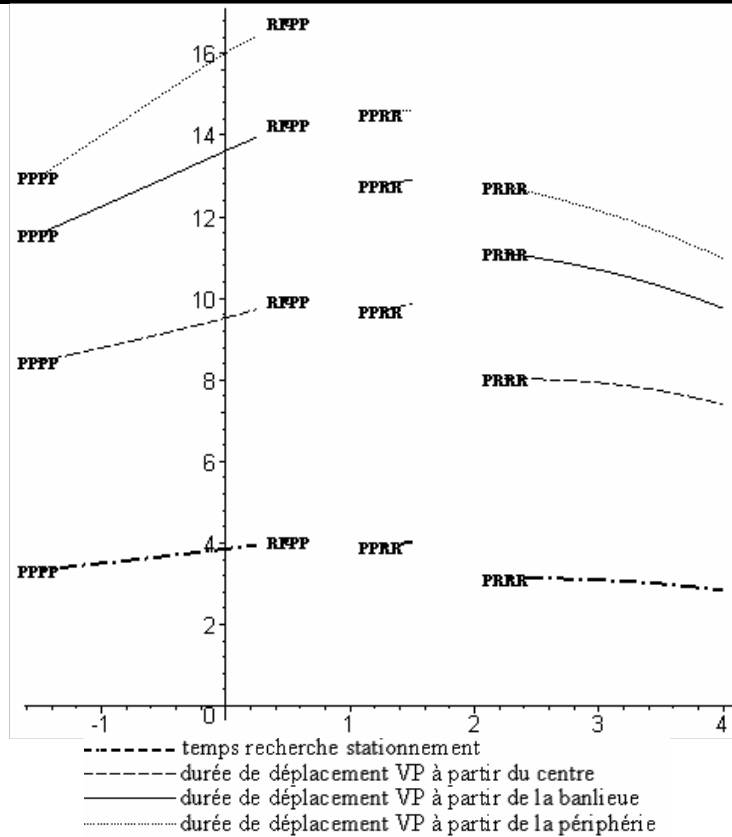


Figure 4.A.7.7: Durées de déplacement par les transports en commun

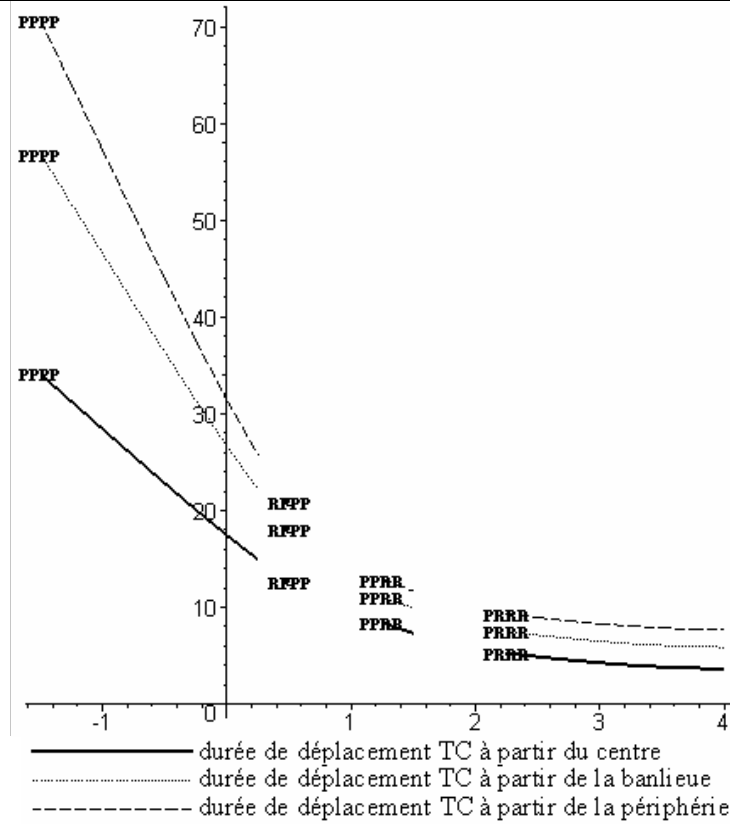


Figure 4.A.7.8: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

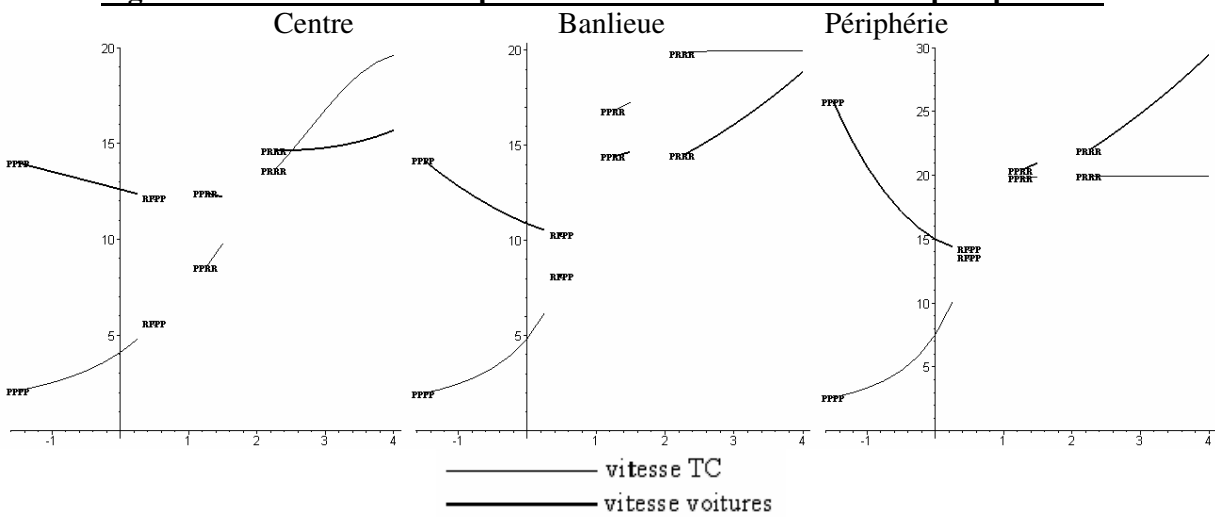


Figure 4.A.7.9 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

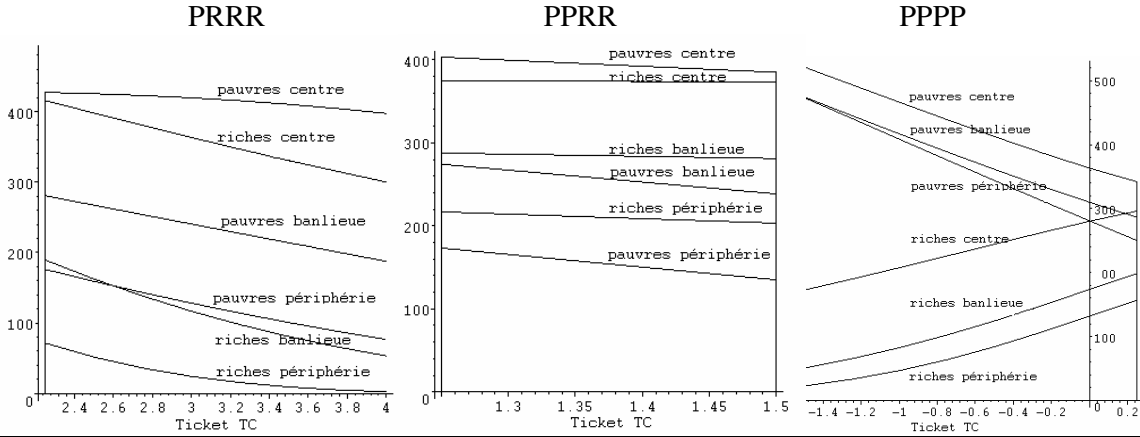


Figure 4.A.7.10 : Effets sur la taille des logements

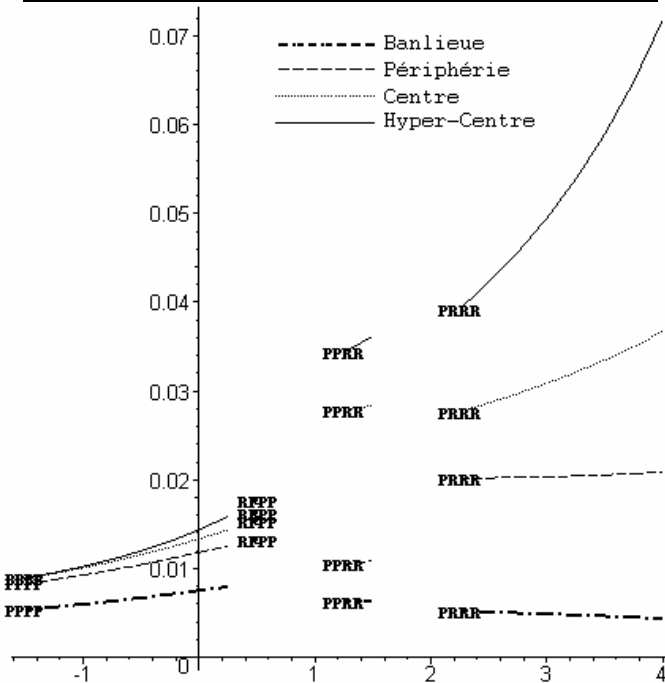
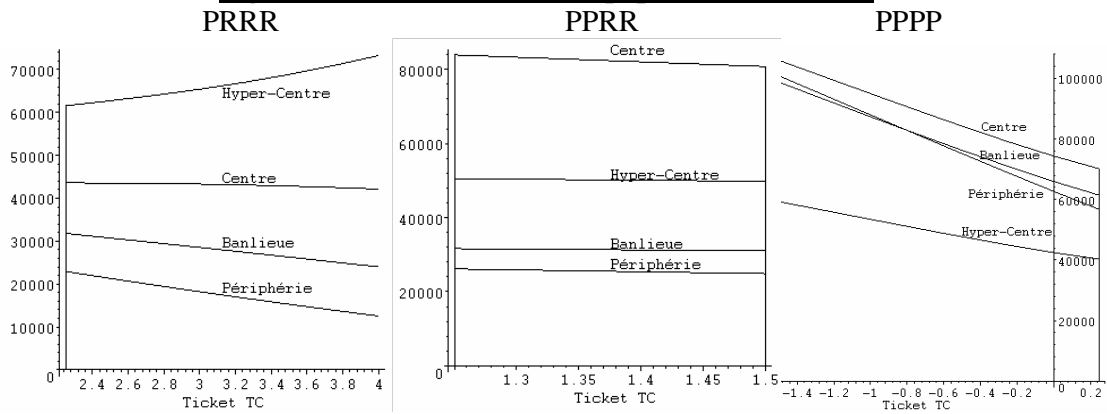


Figure 4.A.7.11 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.8
**CONFRONTATION DES INSTRUMENTS DE TARIFICATIONS DES TRANSPORTS
EN COMMUN**

Tableau 4.A.8.1: Pourcentage des ménages usagers des transport en commun

	Ticket unique				Ticket différencié			
	z1	z2	z3	M	z1	z2	z3	M
RRPP	0,36	0,26	0,23	0,27				
RPPP	0,46	0,33	0,28	0,36	0,61	0,29	0,12	0,36
PRRR	0,13	0,13	0,11	0,12	0,27	0,00	0,00	0,12
PRRP	0,28	0,25	0,11	0,19				
PPRR					0,37	0,09	0,00	0,24
PPPP	0,59	0,40	0,31	0,44	0,65	0,42	0,33	0,48

Tableau 4.A.8.2: Durées de déplacement par mode de transport

	Ticket unique						Ticket différencié					
	VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	9,68	14,04	16,49	9,38	15,69	19,35						
RPPP	10,23	14,33	16,68	12,99	20,27	24,31	9,94	14,26	16,78	12,66	18,15	20,79
PRRR	8,59	11,87	13,76	5,45	8,83	11,13	8,03	11,11	12,75	5,26	7,51	9,31
PRRP	9,13	13,03	15,84	7,04	11,29	14,03						
PPRR							9,68	12,77	14,53	8,39	11,04	12,86
PPPP	9,77	13,86	16,24	15,93	24,47	28,99	9,52	13,62	16,02	17,43	26,63	31,39

Tableau 4.A.8.3: Durées moyennes de déplacement

	Ticket unique			Ticket différencié		
	VP	TC	M	VP	TC	M
RRPP	14,15	14,97	14,38			
RPPP	13,90	17,86	15,34	14,27	14,87	14,49
PRRR	11,26	8,12	10,88	10,41	5,29	9,79
PRRP	13,49	10,26	12,87			
PPRR				11,67	8,63	10,95
PPPP	13,67	21,29	17,04	13,56	23,07	18,11

Tableau 4.A.8.4: Vitesses moyennes de déplacement

	Ticket unique						Ticket différencié					
	VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	12,42	10,22	14,66	7,61	7,07	9,81						
RPPP	11,82	10,88	15,31	5,50	6,12	8,90	12,13	10,32	14,26	5,64	8,13	13,59
PRRR	13,79	13,58	18,99	13,10	13,19	15,67	14,62	14,45	21,96	13,57	19,84	19,96
PRRP	13,08	11,41	12,81	10,15	10,48	13,11						
PPRR							12,42	14,40	20,40	8,51	16,82	19,76
PPPP	12,32	10,88	15,10	4,48	5,22	7,95	12,60	10,88	14,98	4,10	4,85	7,55

Tableau 4.A.8.5: Coûts de transport généralisés des ménages riches

	Ticket unique						Ticket différencié					
	VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	5,75	7,54	8,56	5,25	7,77	9,24						
RPPP	5,97	7,66	8,63	6,09	9,01	10,62	5,85	7,63	8,67	5,67	8,46	10,12
PRRR	5,31	6,67	7,46	5,48	6,83	7,75	5,08	6,36	7,05	4,81	8,40	11,82
PRRP	5,52	7,14	8,30	5,21	6,92	8,01						
PPRR							5,75	7,03	7,76	4,86	7,42	9,64
PPPP	5,78	7,47	8,46	6,67	10,09	11,90	5,68	7,37	8,37	6,97	10,65	12,56

Tableau 4.A.8.6: Coûts de transport généralisés des ménages pauvres

	Ticket unique						Ticket différencié					
	VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRPP	2,84	3,33	3,61	2,44	3,07	3,43						
RPPP	2,90	3,36	3,63	2,20	2,93	3,33	2,87	3,35	3,64	1,87	3,01	3,88
PRRR	2,73	3,10	3,33	3,85	4,18	4,41	2,67	3,03	3,22	3,23	6,15	9,03
PRRP	2,79	3,23	3,54	3,10	3,53	3,80						
PPRR							2,84	3,20	3,40	2,34	4,10	5,79
PPPP	2,85	3,31	3,58	1,89	2,75	3,20	2,83	3,29	3,56	1,74	2,66	3,14

Tableau 4.A.8.7: Prix fonciers

	Ticket unique					Ticket différencié				
	z0	z1	z2	z3	M	z0	z1	z2	z3	M
RRPP	623,28	325,23	271,13	248,82	316,13					
RPPP	619,24	317,68	273,64	250,14	315,56	614,16	325,21	265,39	219,65	309,16
PRRR	865,74	379,30	322,33	288,08	514,70	961,64	427,17	280,55	176,01	567,82
PRRP	685,71	345,46	282,31	254,64	390,83					
PPRR						789,47	403,15	287,65	216,84	460,31
PPPP	646,20	348,20	297,61	270,52	366,79	663,28	363,46	309,95	281,00	379,87

Tableau 4.A.8.8: Population

	Ticket unique					Ticket différencié				
	z0	z1	z2	z3	T	z0	z1	z2	z3	T
RRPP	19945	33674	58717	56307	168643					
RPPP	19816	65912	58932	56347	201007	19653	66806	57359	50904	194722
PRRR	55408	39357	34834	32747	162346	61545	43567	31785	22915	159813
PRRP	43885	35666	30655	58715	168922					
PPRR						50526	83936	31630	26171	192263
PPPP	41357	41357	63583	60535	206832	42450	74349	65979	62695	245474

Annexes 4.A.9

L'IMPACT D'UNE POLITIQUE D'AMENAGEMENT DE LA SUPERFICIE DU STATIONNEMENT AU HYPER-CENTRE

Figure 4.A.9.1 : Effets sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

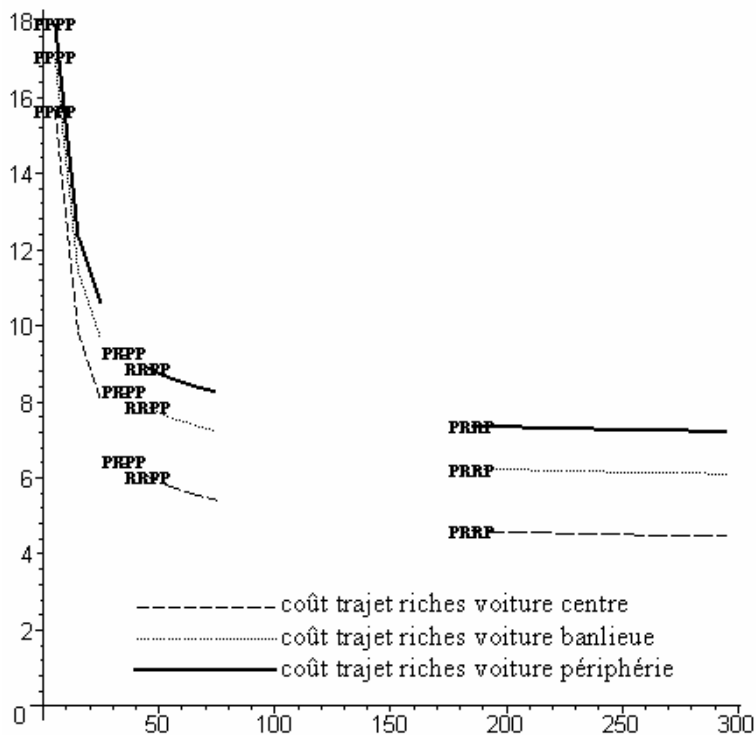


Figure 4.A.9.2 : Effets sur les coûts de transport en commun des ménages riches

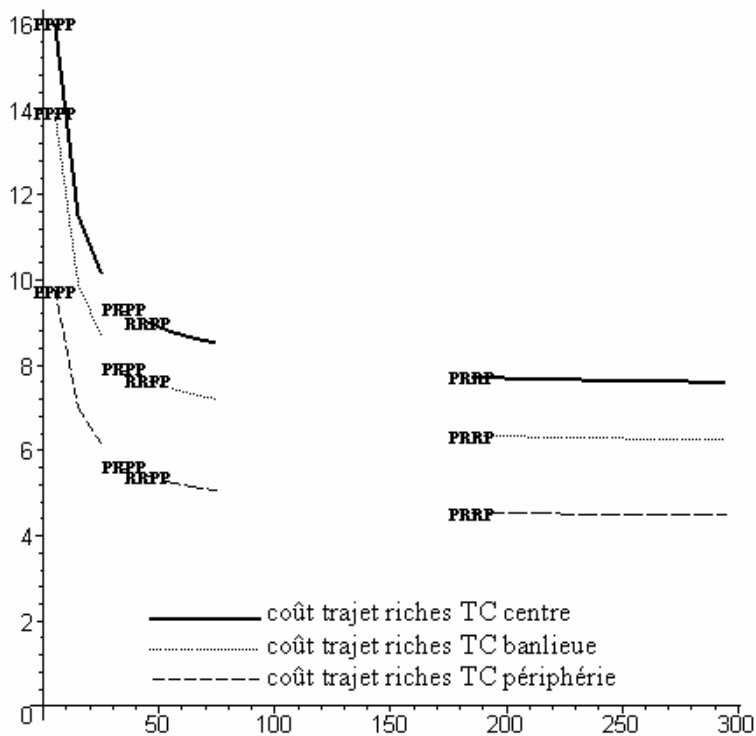


Figure 4.A.9.3 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

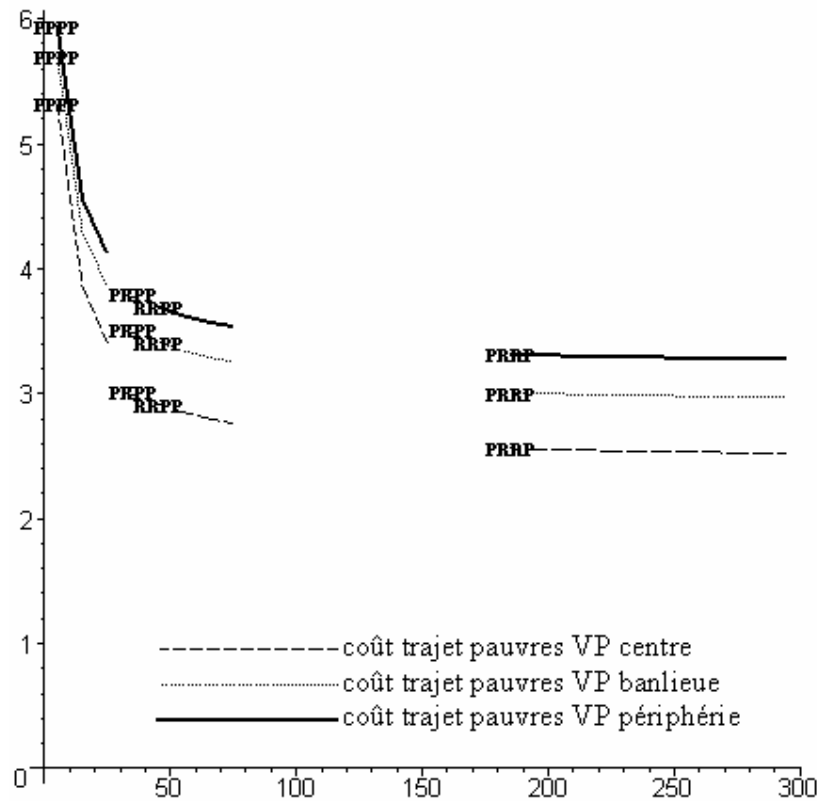


Figure 4.A.9.4 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

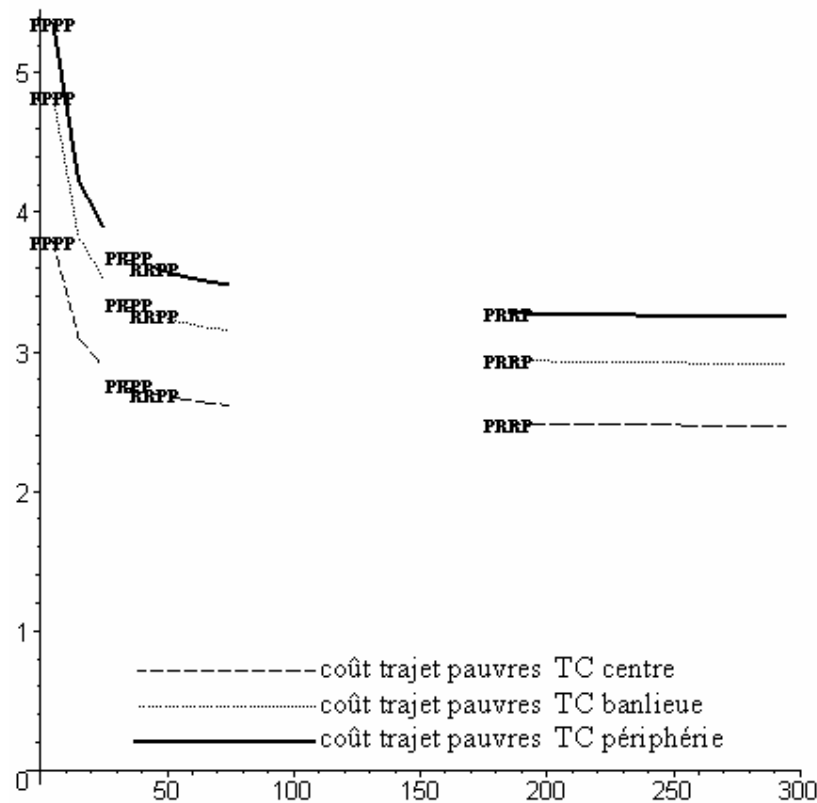


Figure 4.A.9.5: Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

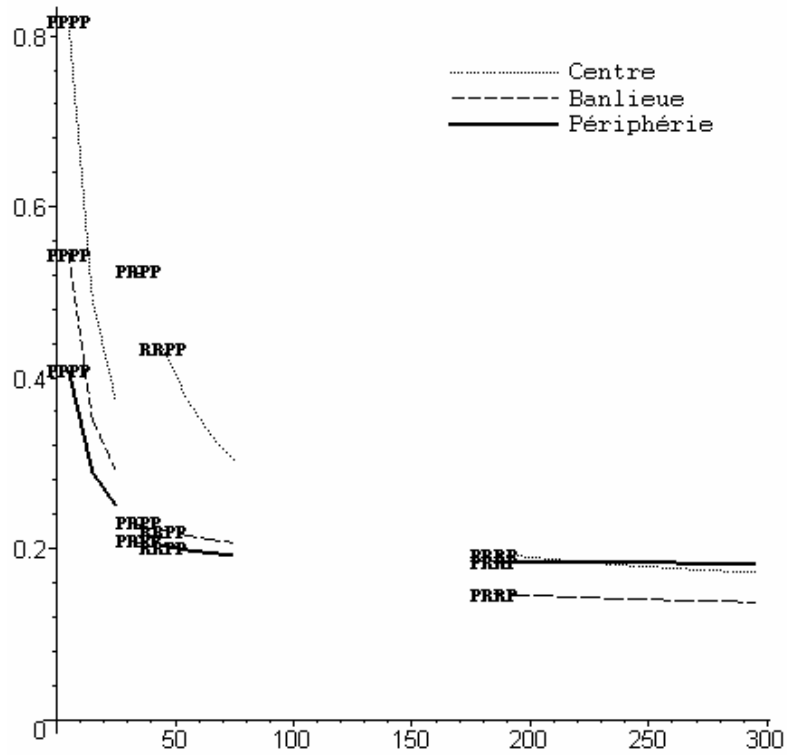


Figure 4.A.9.6: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

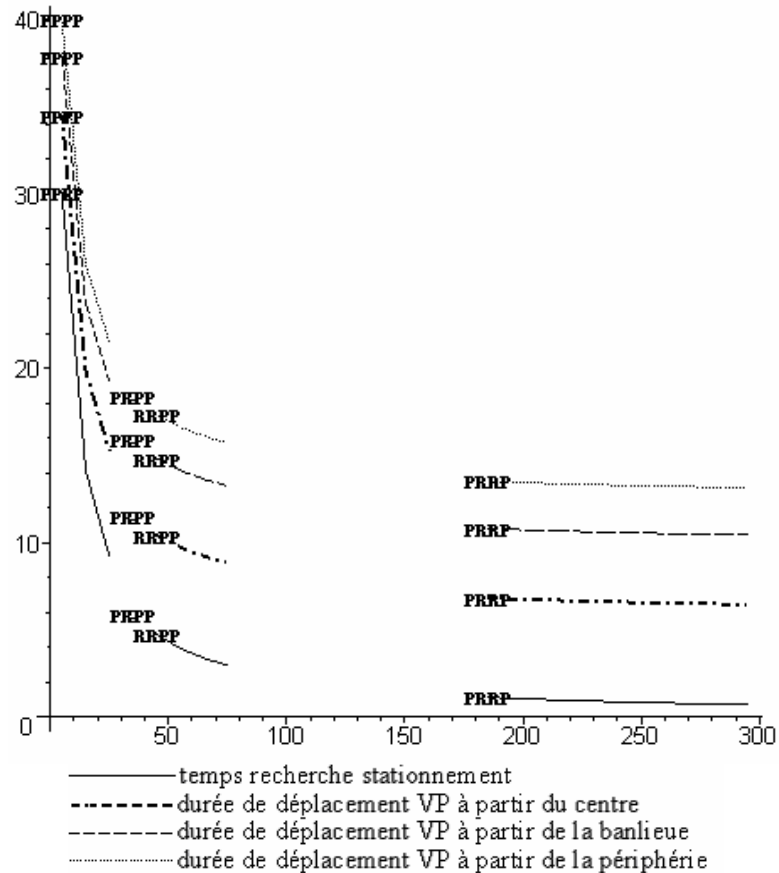


Figure 4.A.9.7: Durées de déplacement par les transports en commun

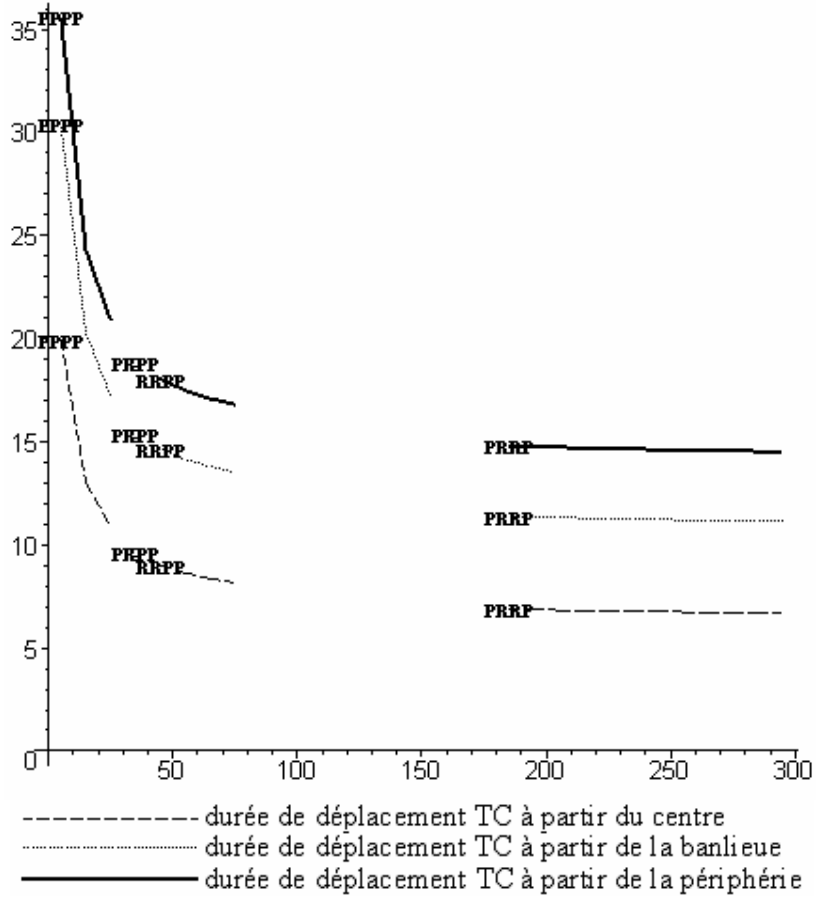


Figure 4.A.9.8: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

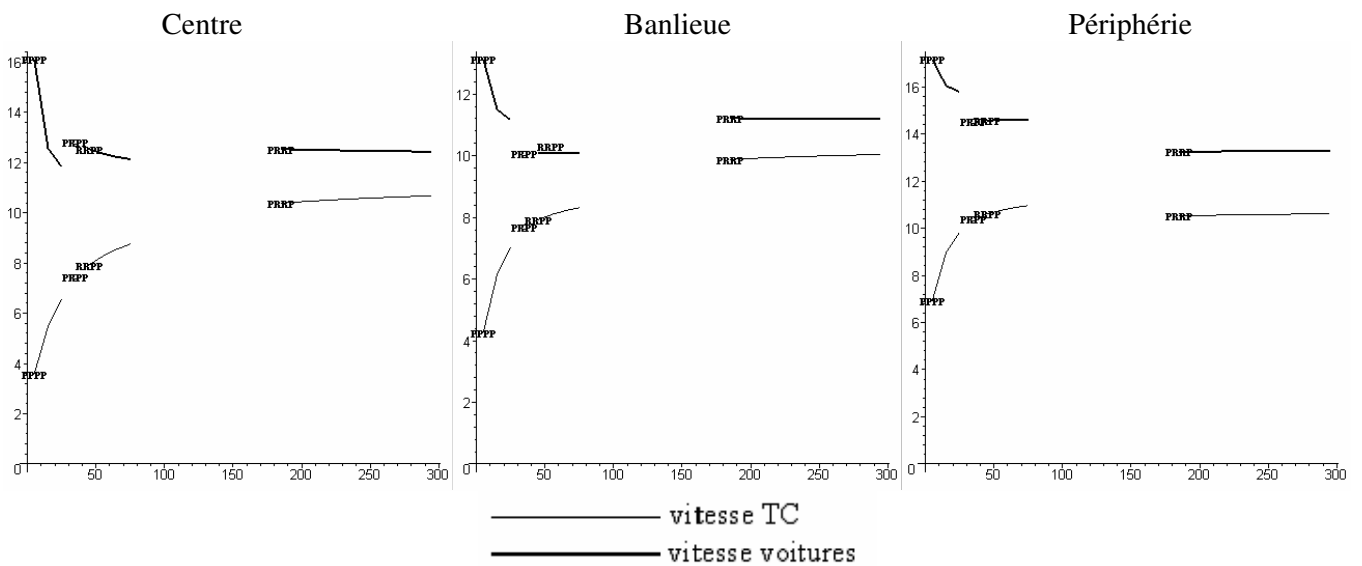


Figure 4.A.9.9 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

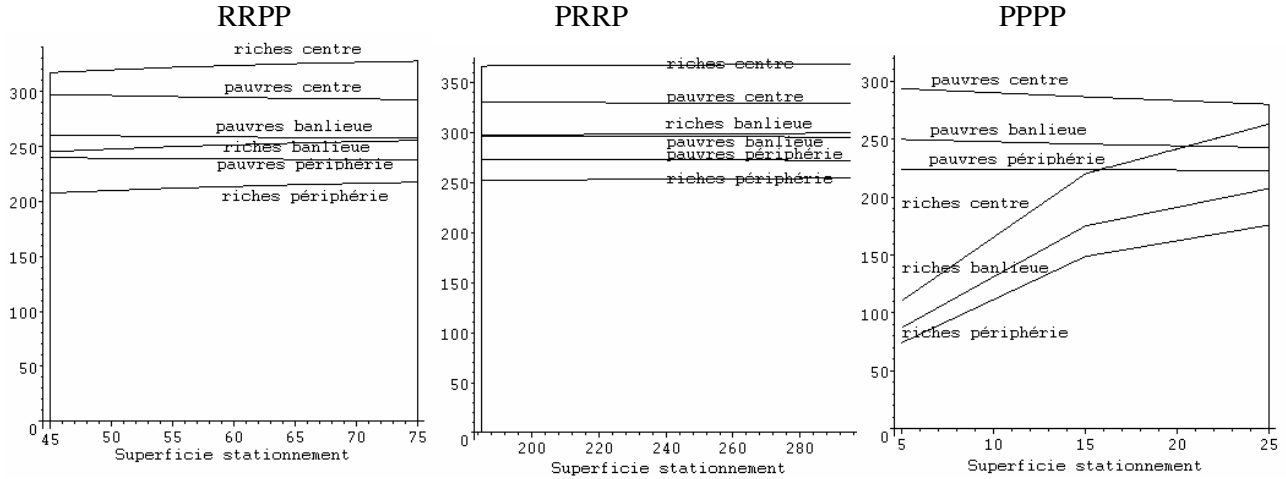


Figure 4.A.9.10 : Effets sur la taille des logements

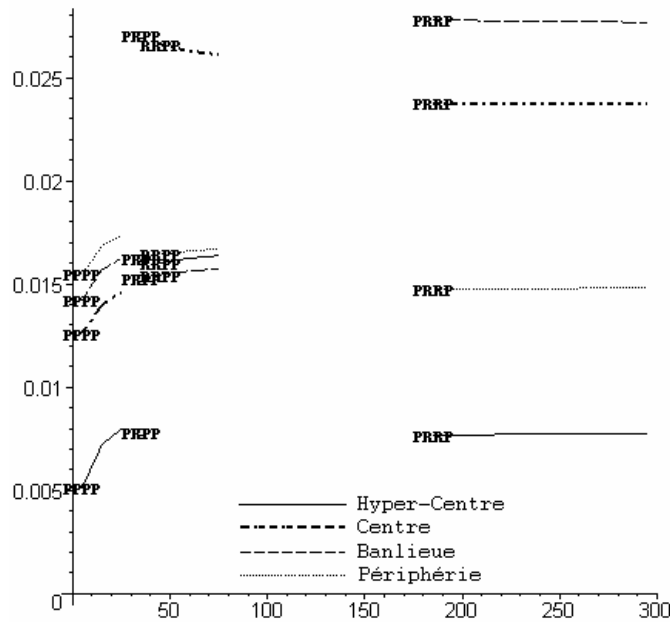
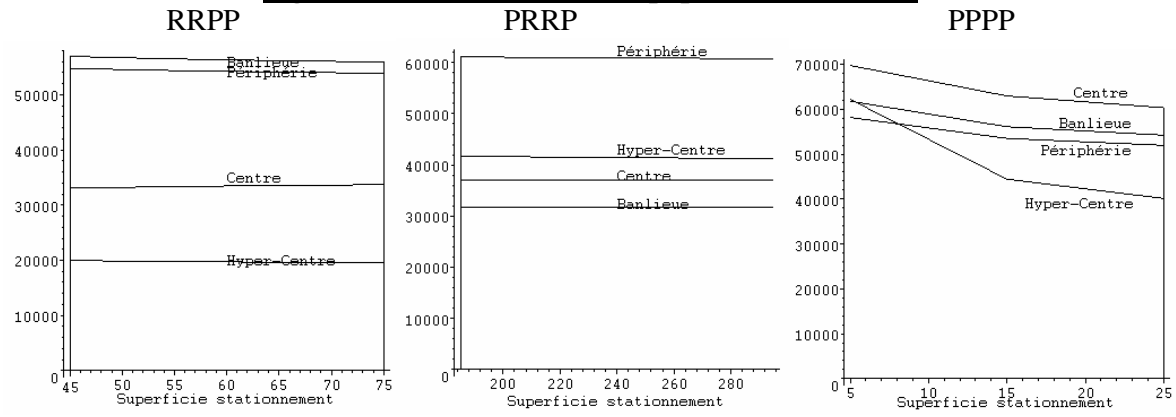


Figure 4.A.9.11 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.10

L'IMPACT D'UNE POLITIQUE D'AMENAGEMENT DE LA SUPERFICIE DE LA VOIRIE DES TRANSPORTS EN COMMUN

Figure 4.A.10.1 : Effets sur les coûts de transport en voiture des ménages riches

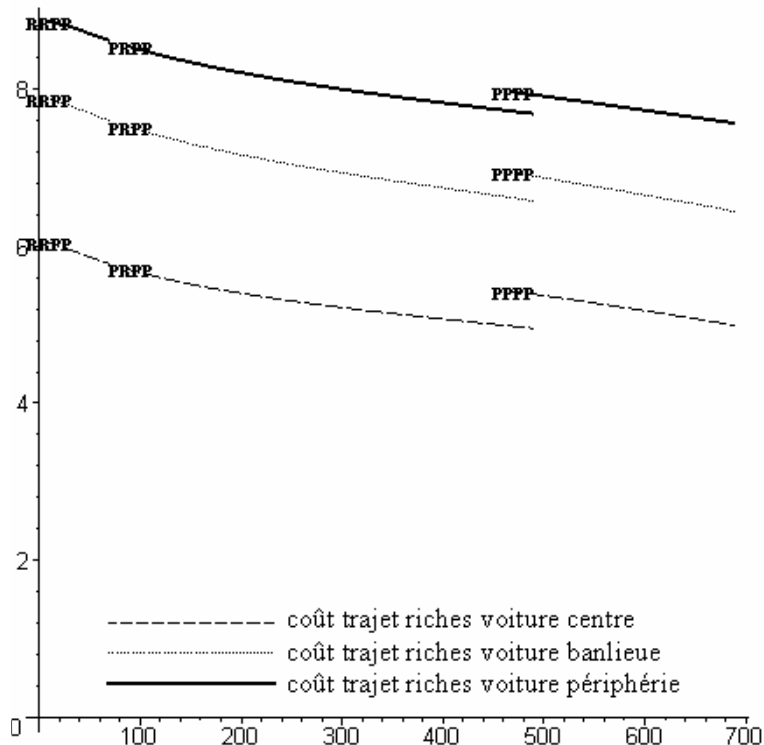


Figure 4.A.10.2 : Effets sur les coûts de transport en commun des ménages riches

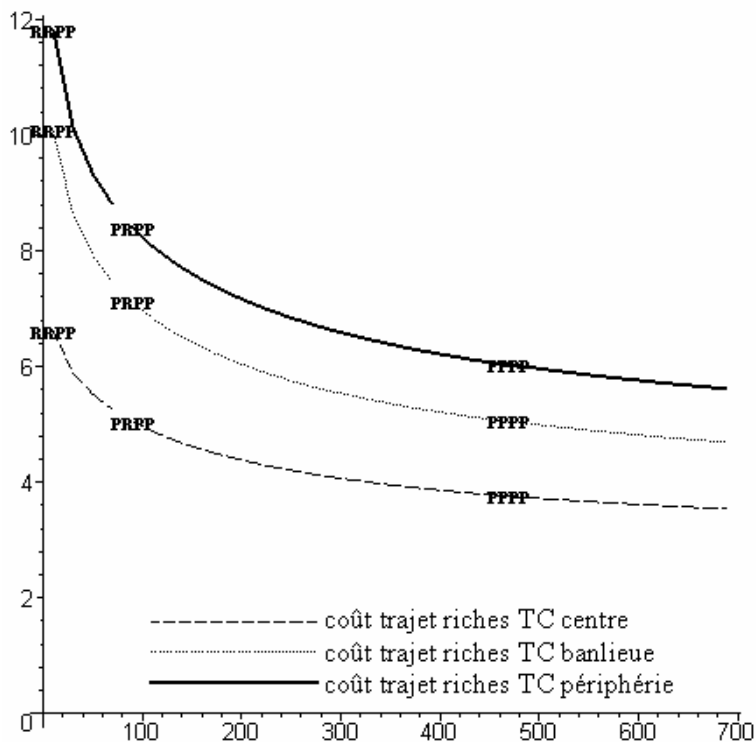


Figure 4.A.10.3 : Effet sur les coûts de transport en voiture des ménages pauvres

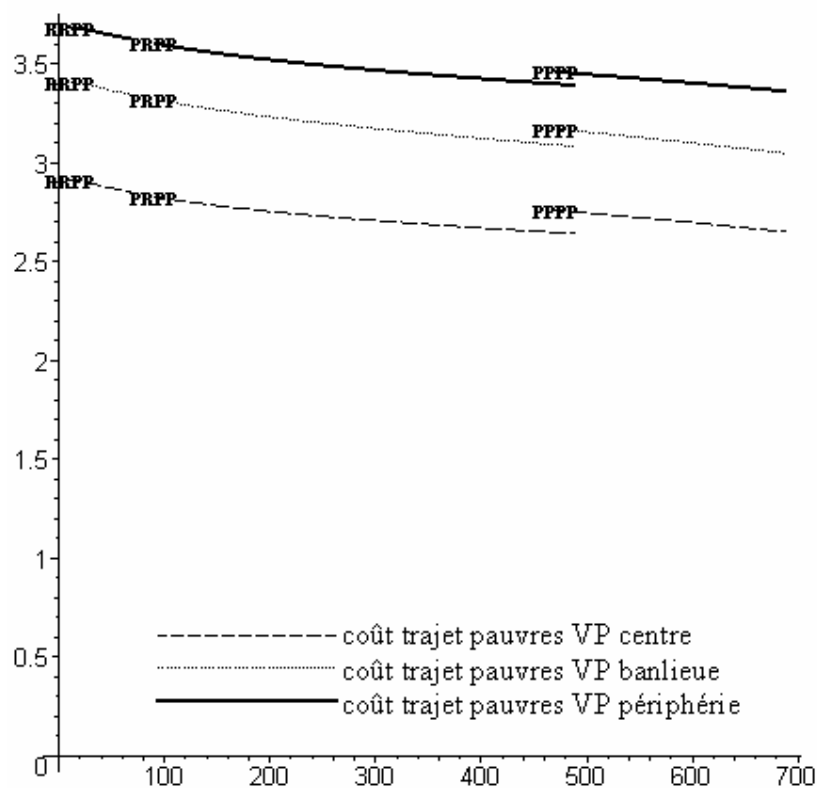


Figure 4.A.10.4 : Effet sur les coûts de transport en commun des ménages pauvres

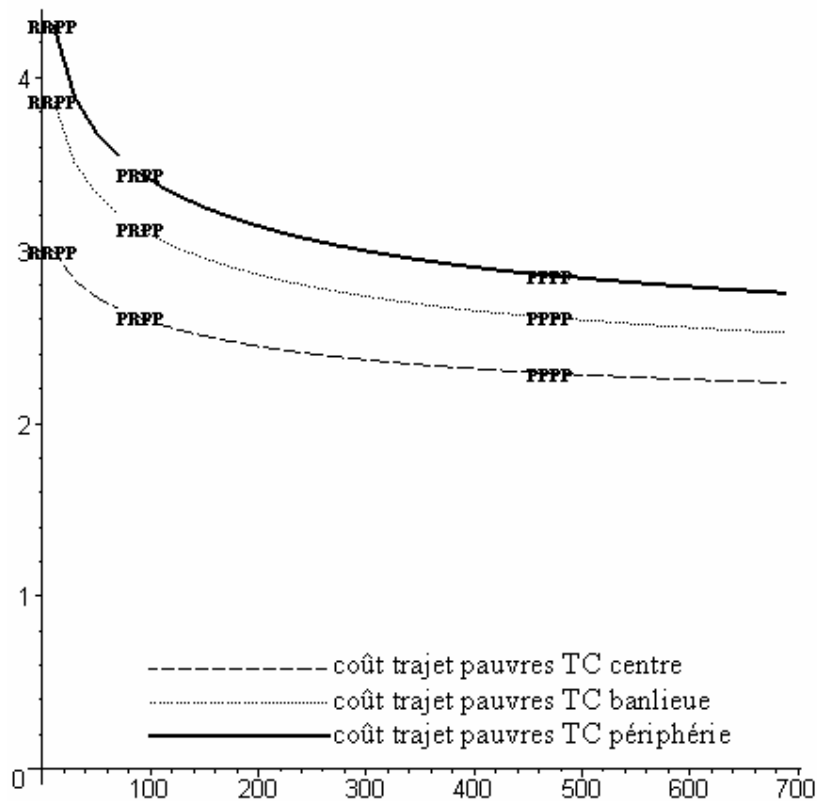


Figure 4.A.10.5: Le pourcentage d'usagers des transports en commun par équilibre

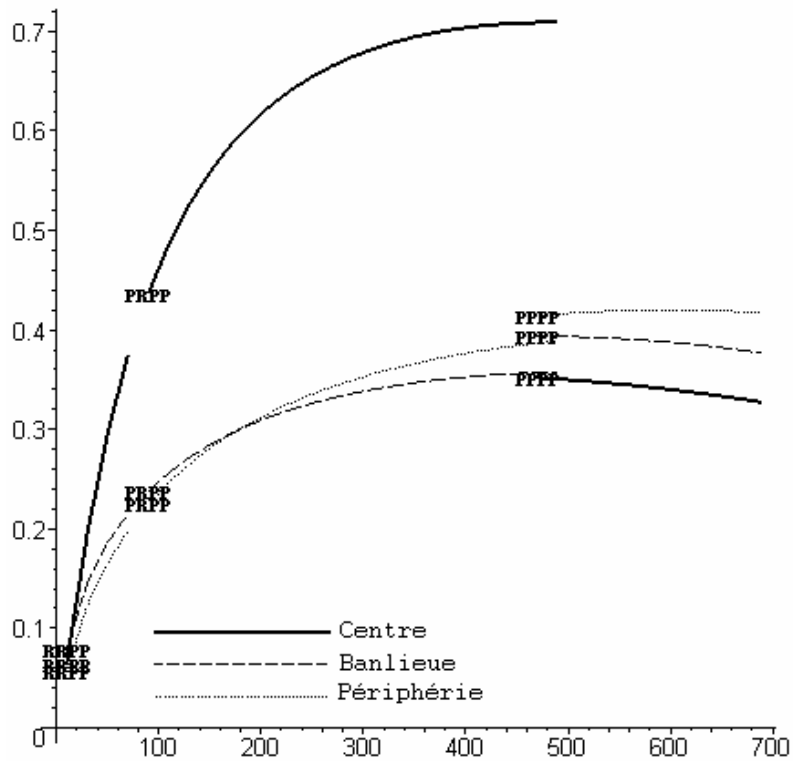


Figure 4.A.10.6: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

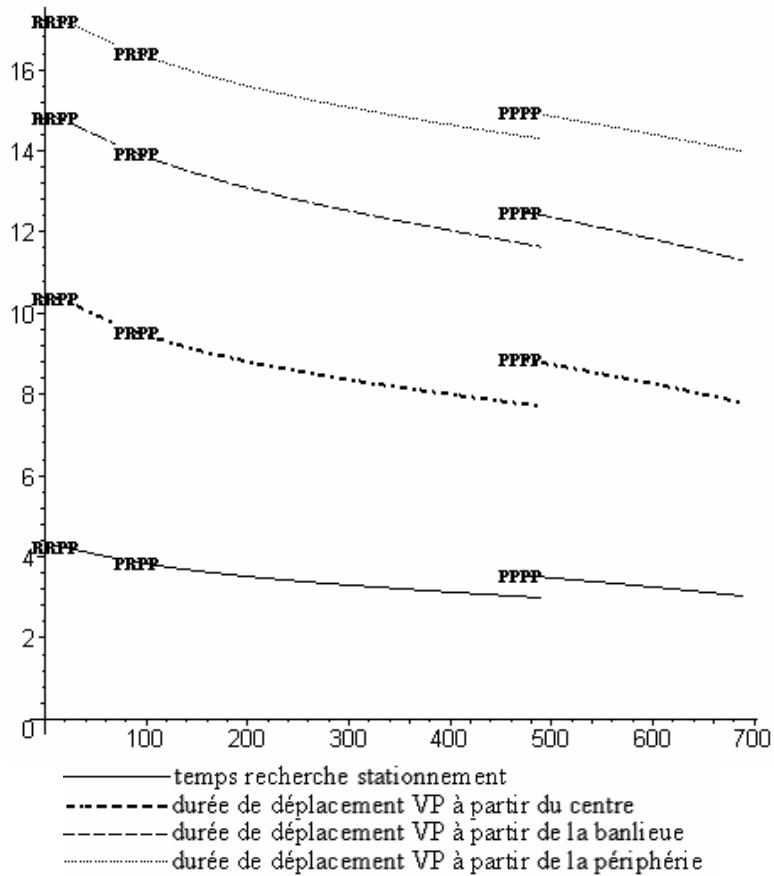


Figure 4.A.10.7: Durées de déplacement par les transports en commun

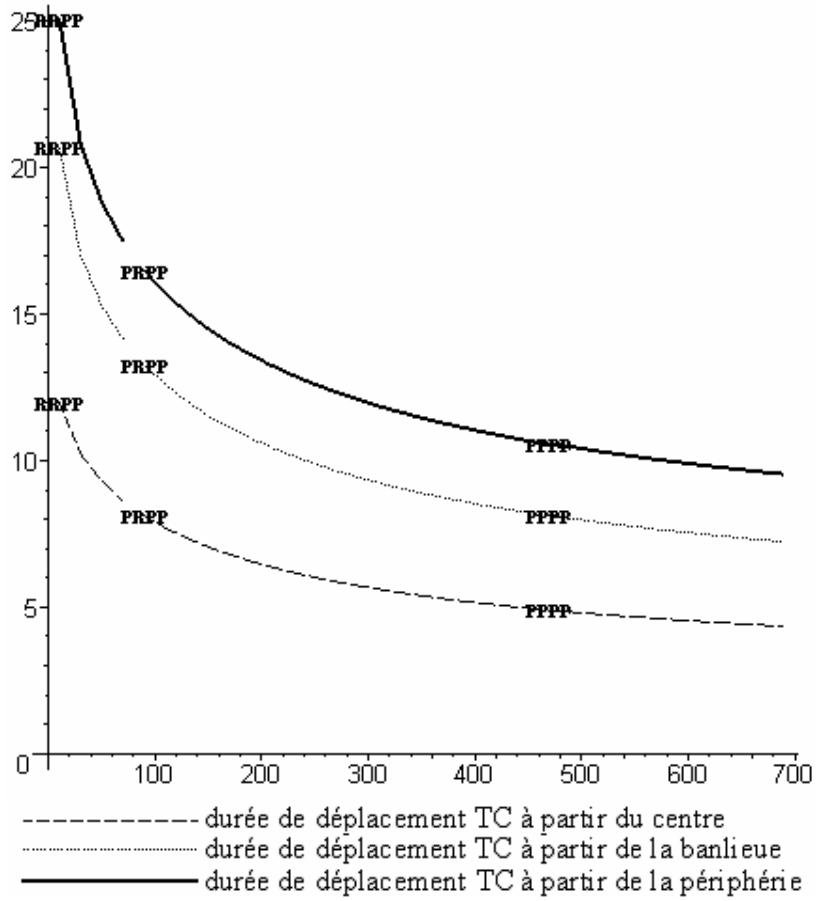


Figure 4.A.10.8: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

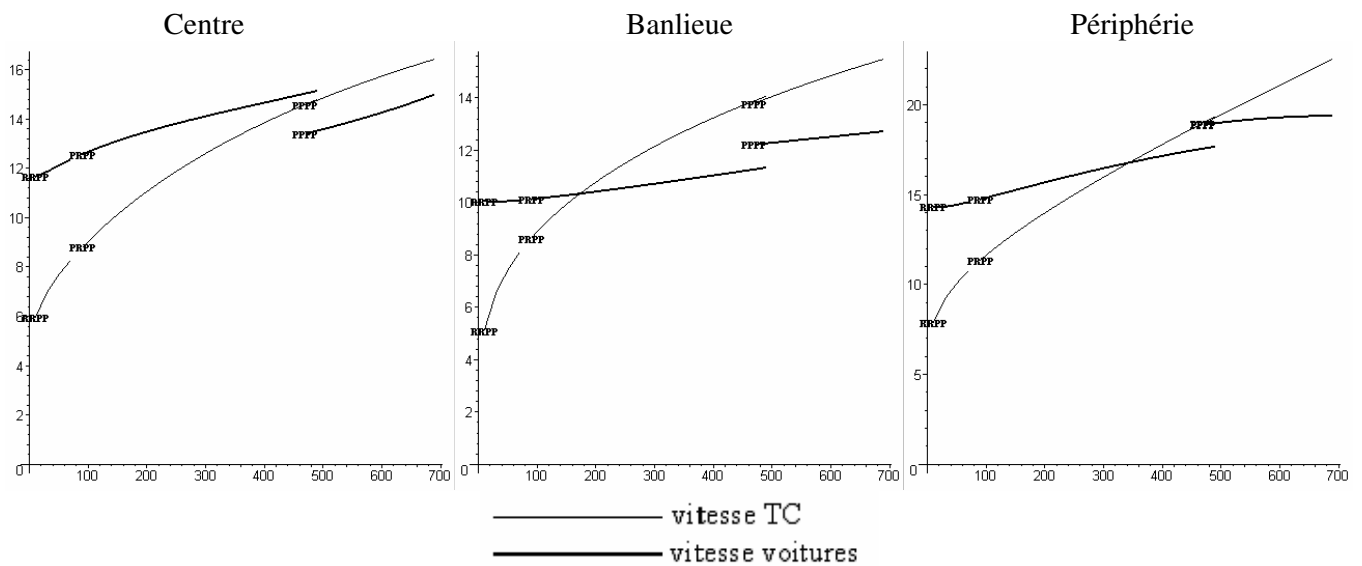


Figure 4.A.10.9 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

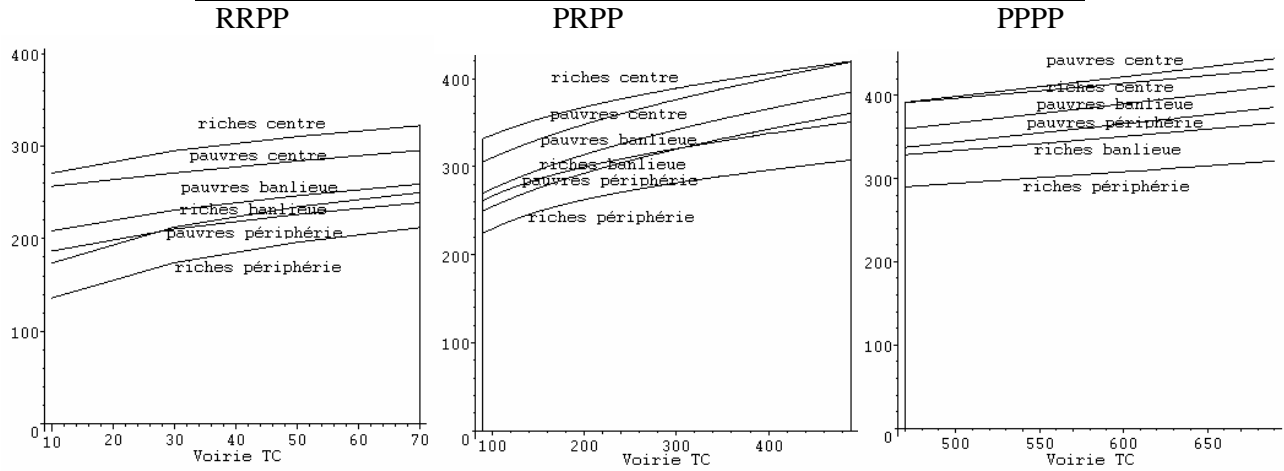


Figure 4.A.10.10 : Effets sur la taille des logements

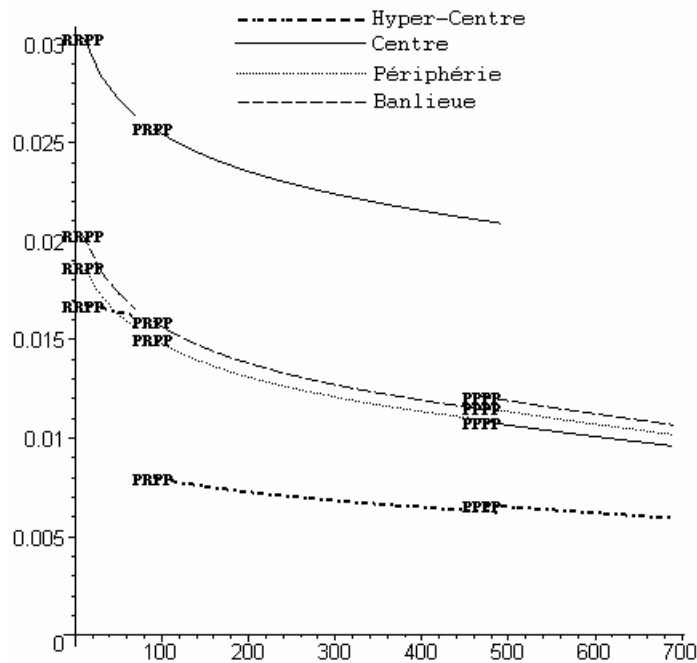
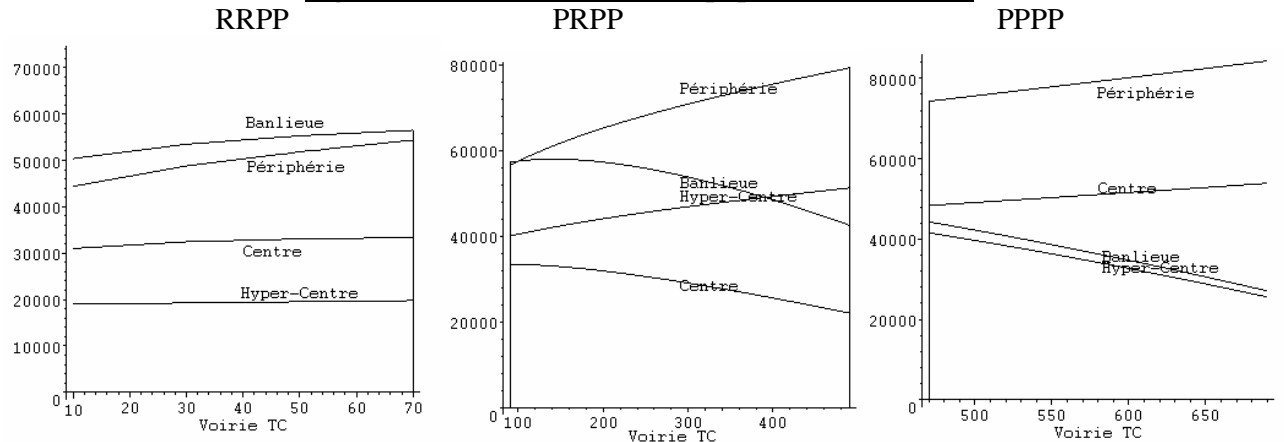


Figure 4.A.10.11 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.11

L'IMPACT D'UNE POLITIQUE D'AMENAGEMENT DE LA VOIRIE DES TRANSPORTS PRIVES

Figure 4.A.11.1 : Effets sur les coûts de transport des ménages riches

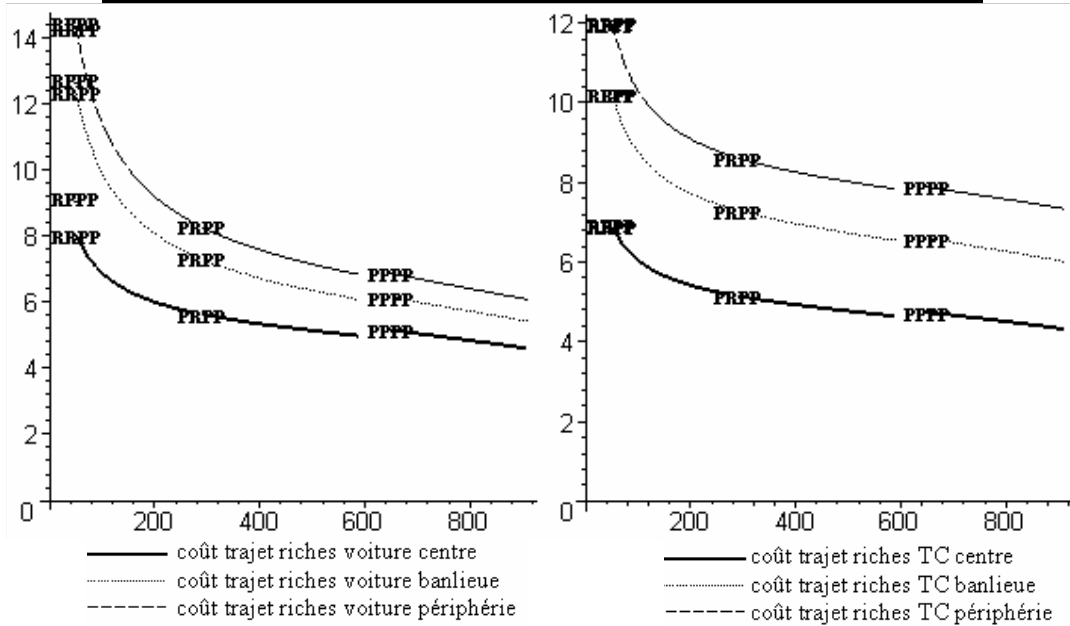


Figure 4.A.11.2 : Effet sur les coûts de transport des ménages pauvres

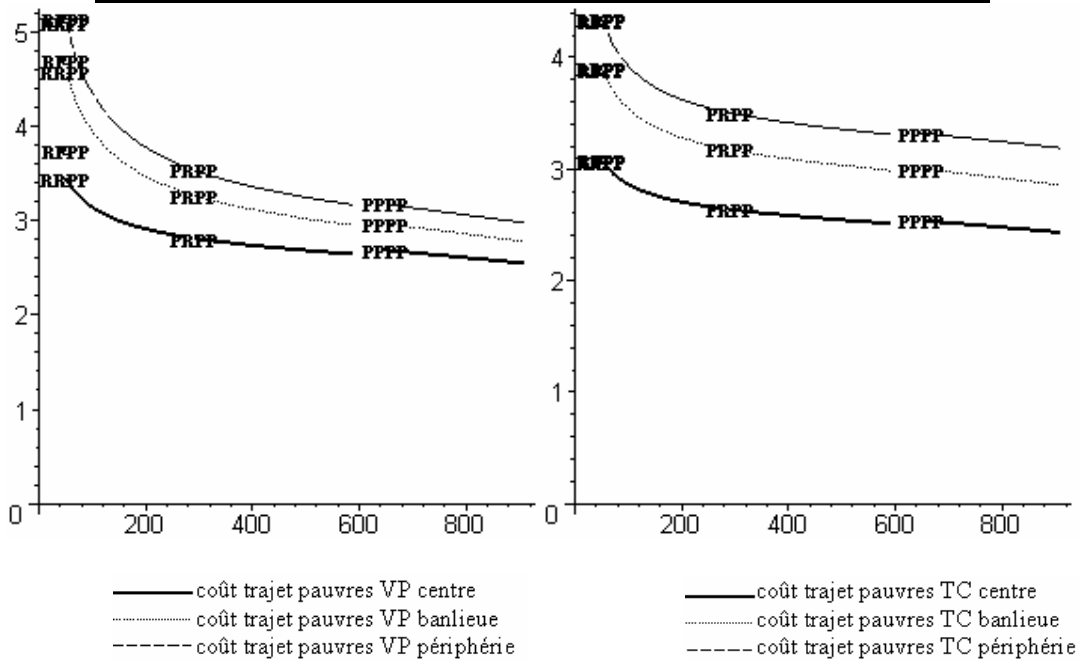


Figure 4.A.11.3 : Le pourcentage d'usagers des transports en commun par équilibre

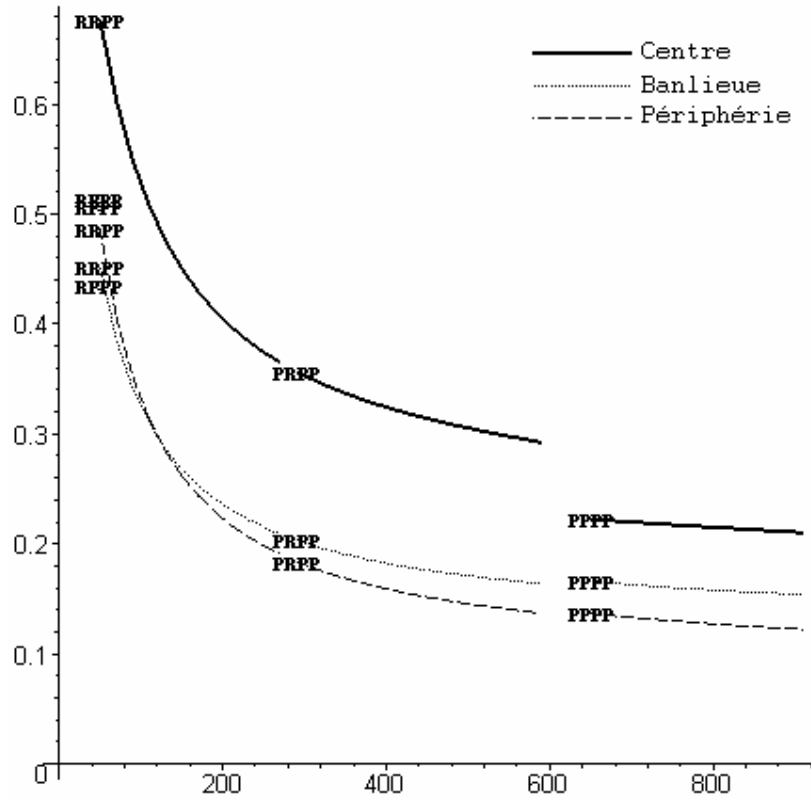


Figure 4.A.11.4: Durées de déplacement pour l'ensemble d'équilibres possibles

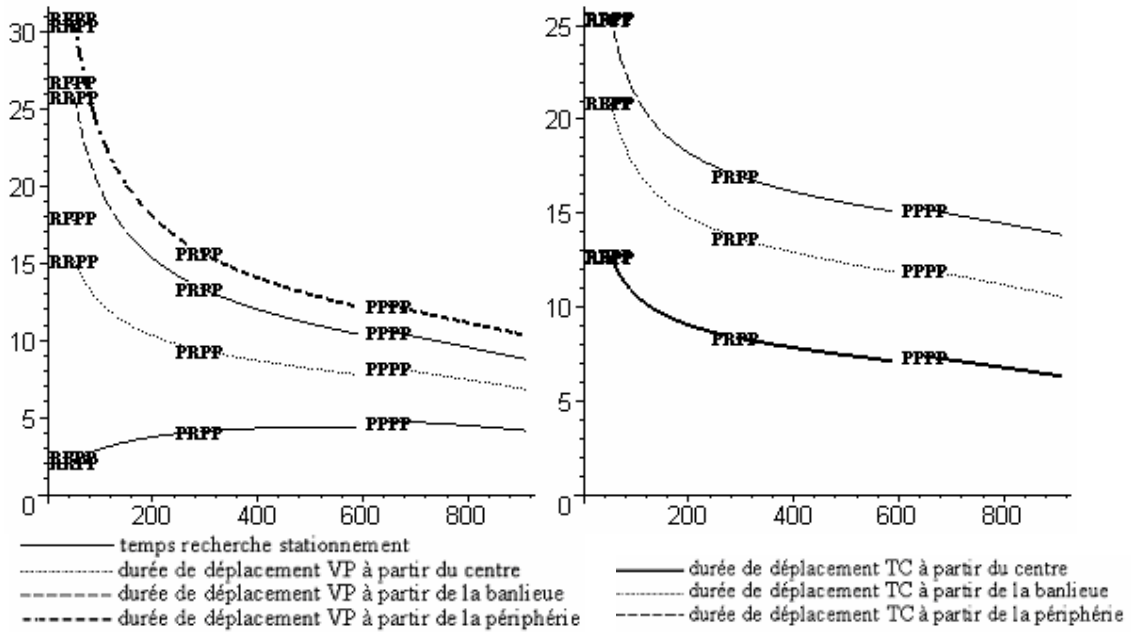


Figure 4.A.11.5: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

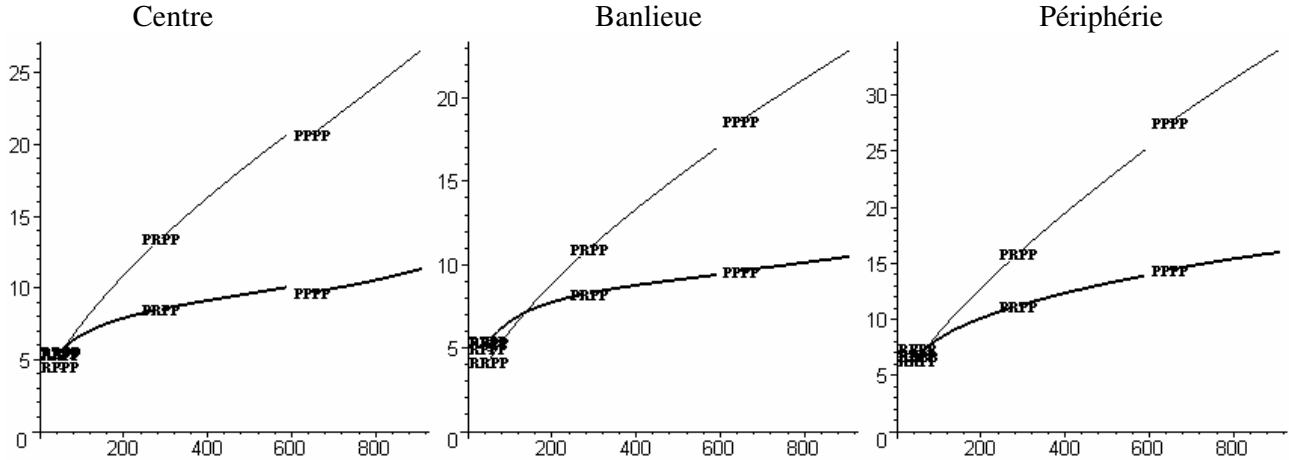


Figure 4.A.11.6 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

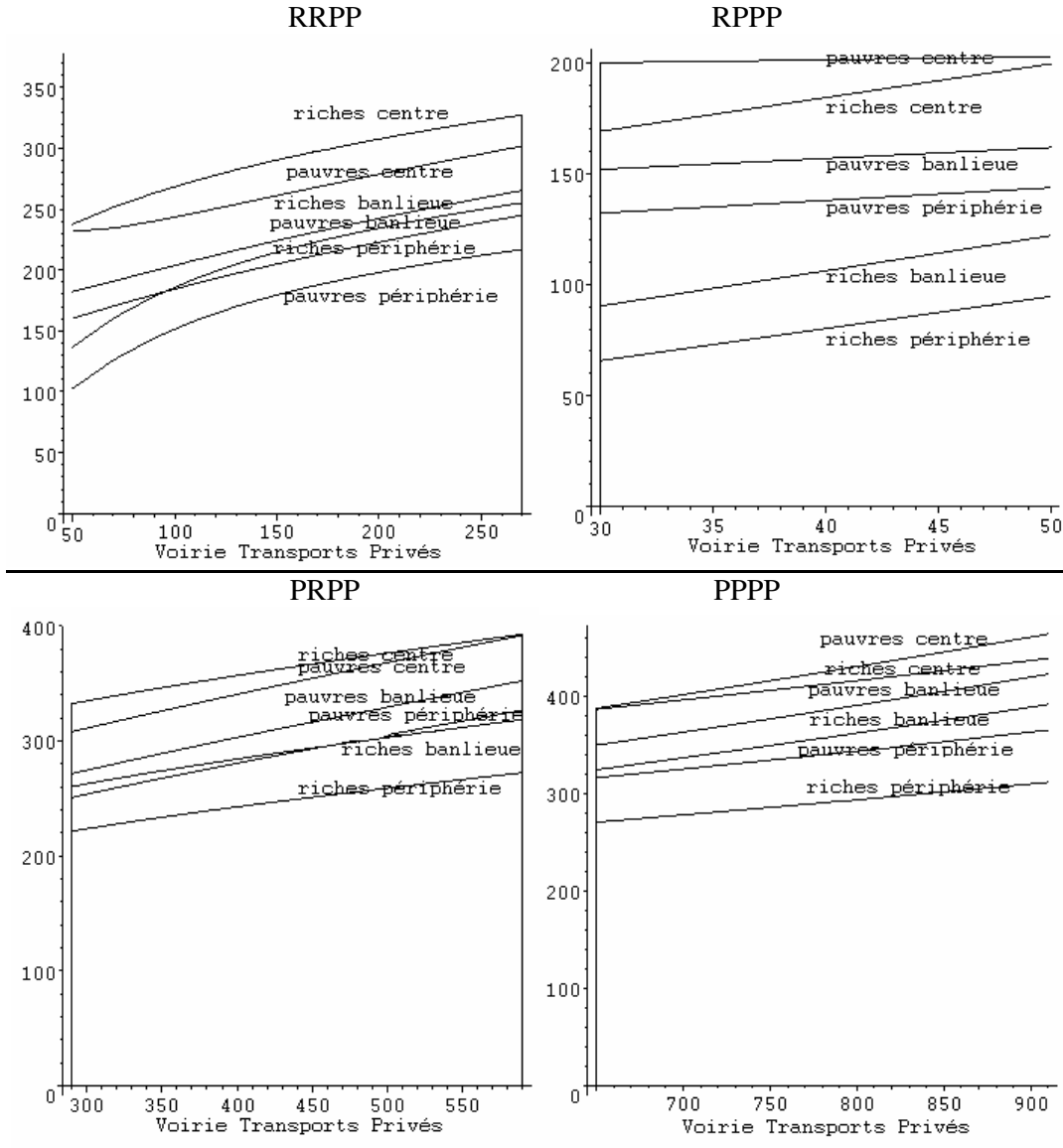


Figure 4.A.11.7 : Effets sur la taille des logements

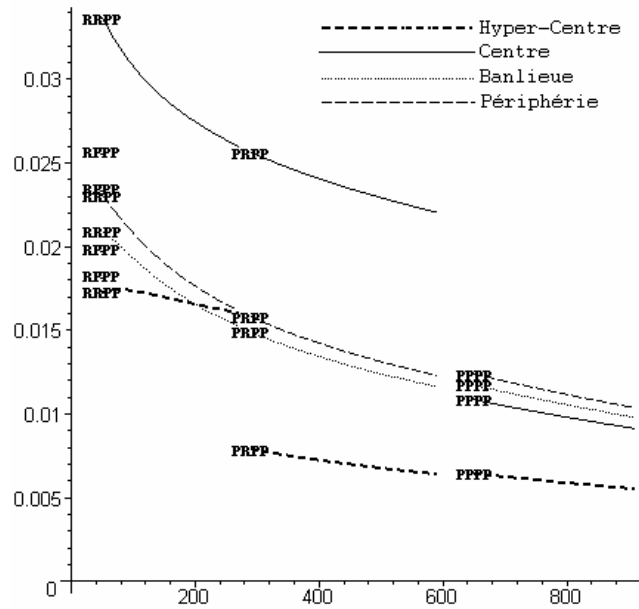
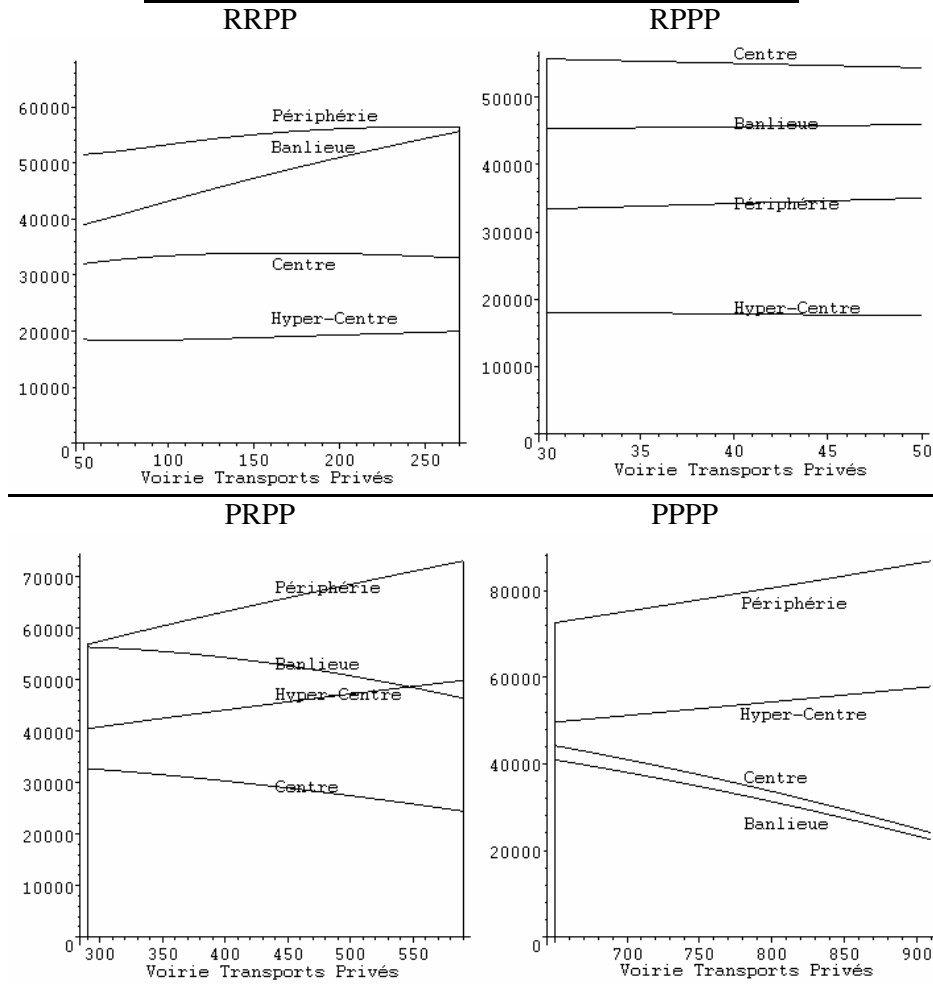


Figure 4.A.11.8 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.12
**L'IMPACT D'UNE POLITIQUE D'AMENAGEMENT DE LA SUPERFICIE
 RESIDENTIELLE EN PERIPHERIE**

Figure 4.A.12.1 : Effets sur les coûts de transport des ménages riches

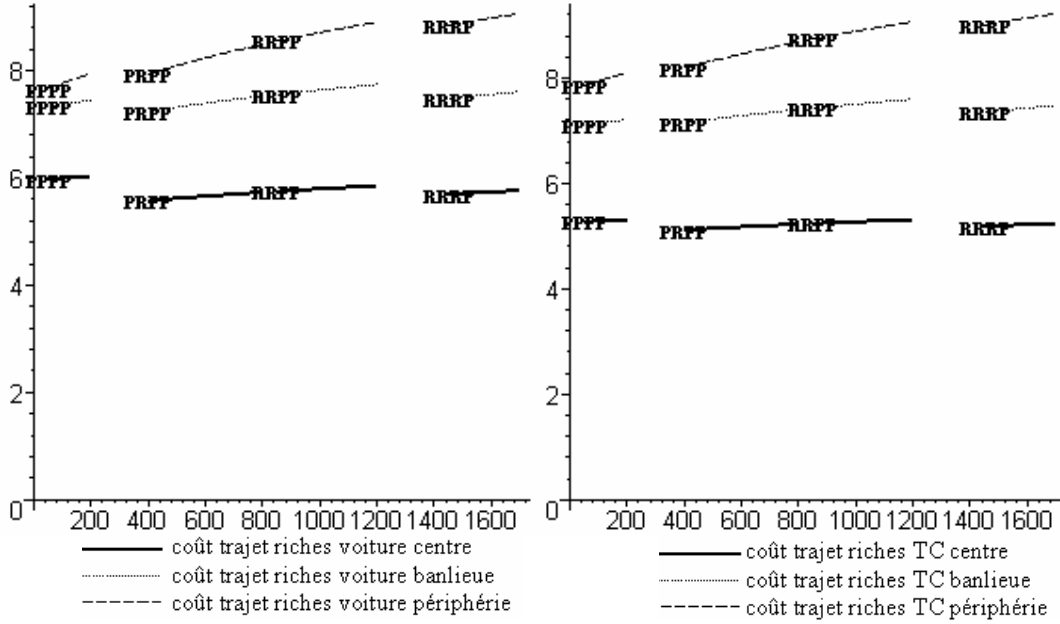


Figure 4.A.12.2 : Effet sur les coûts de transport des ménages pauvres

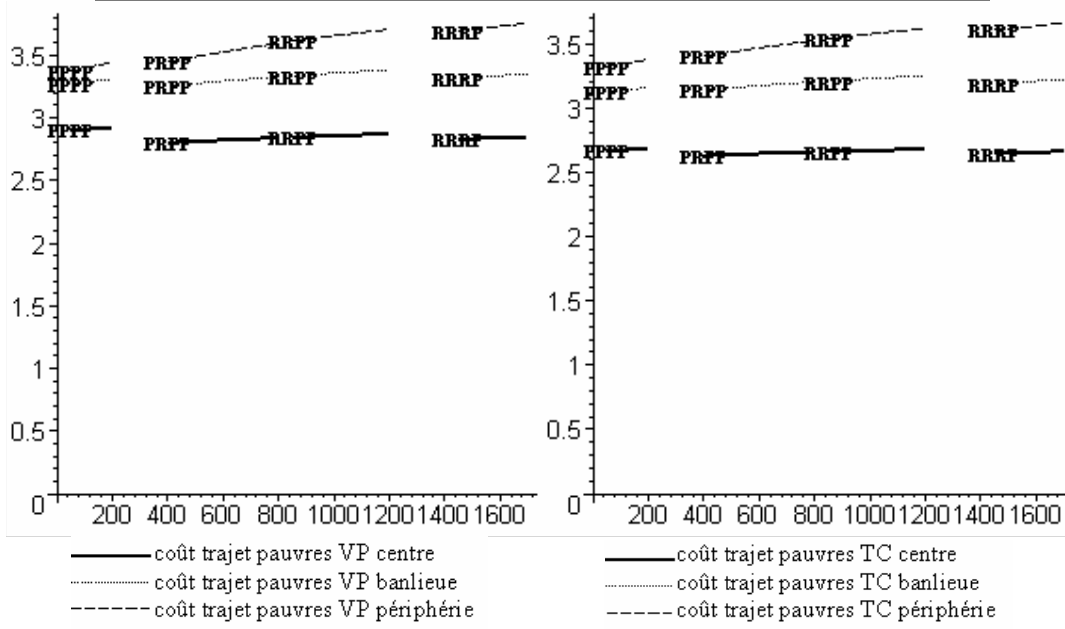


Figure 4.A.12.3: Le pourcentage d'utilisateurs des transports en commun par équilibre

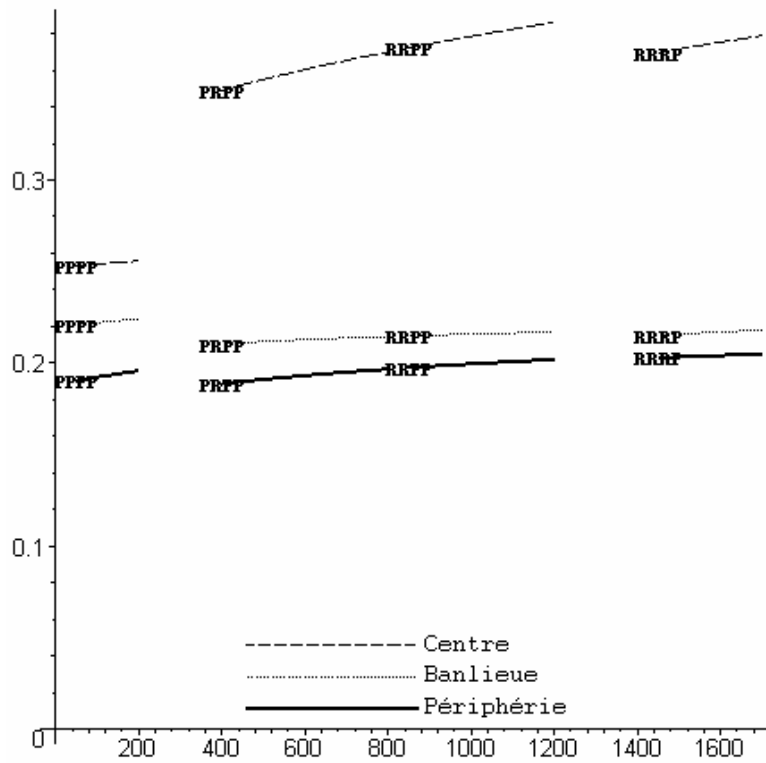


Figure 4.A.12.4: Durées de déplacement en voiture pour l'ensemble d'équilibres possibles

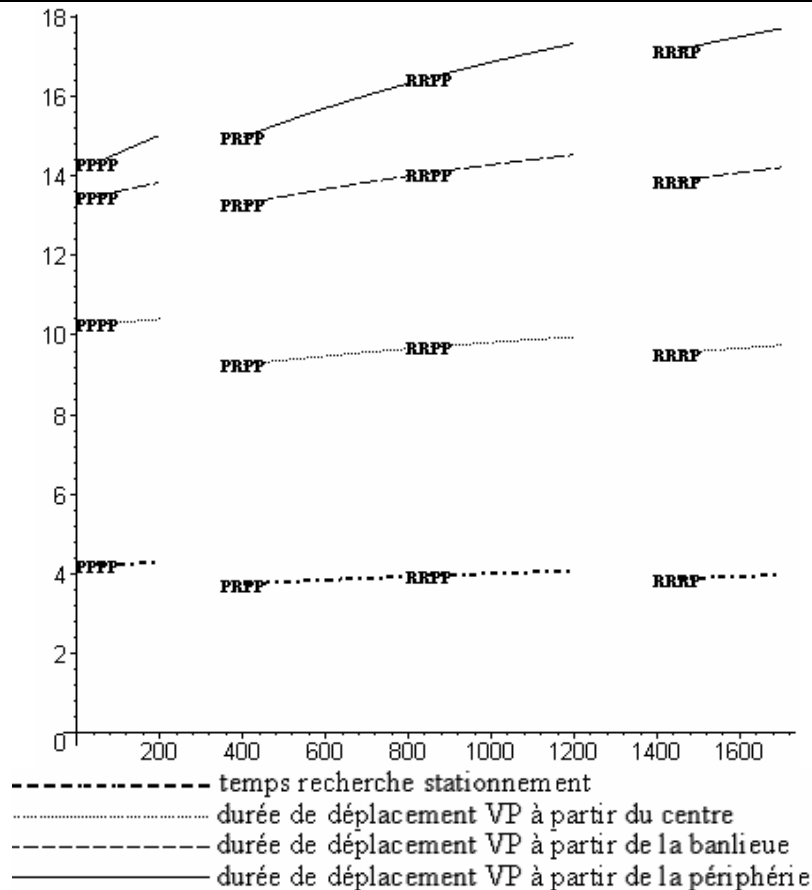


Figure 4.A.12.5: Durées de déplacement par les transports en commun

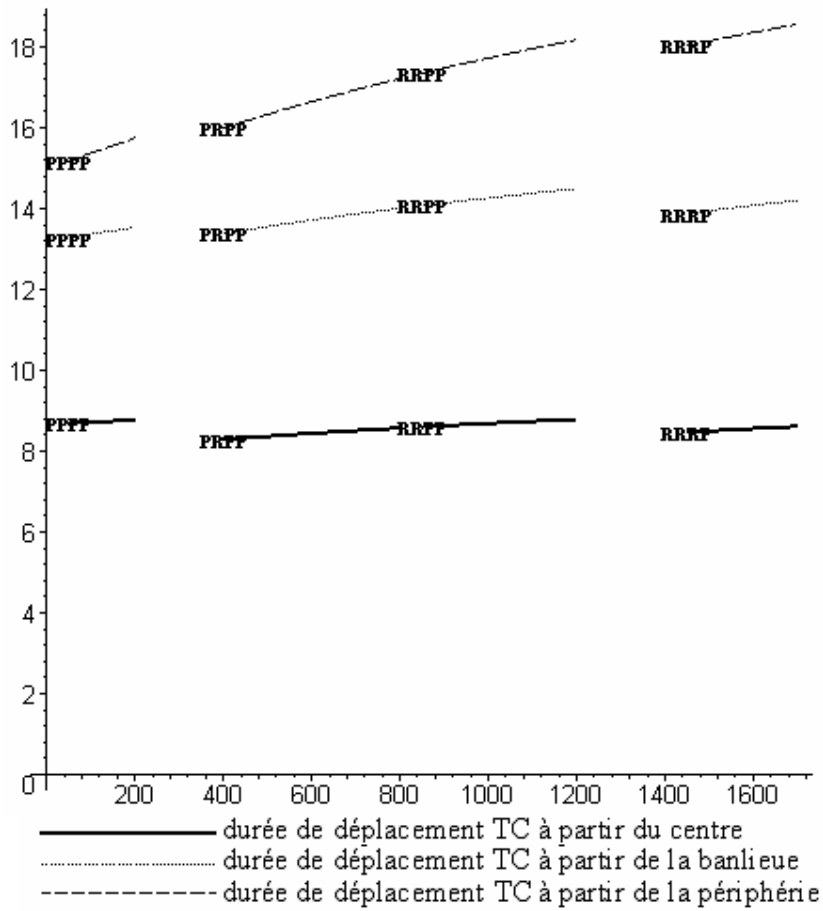


Figure 4.A.12.6: Vitesses de déplacement des deux modes de transport par zone

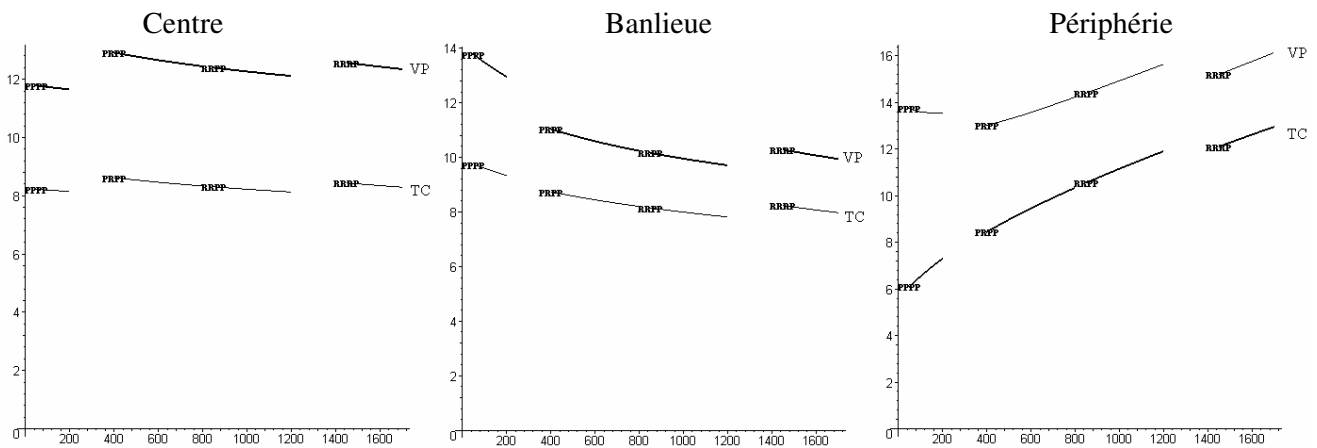


Figure 4.A.12.7 Les enchères des deux catégories par type d'équilibre

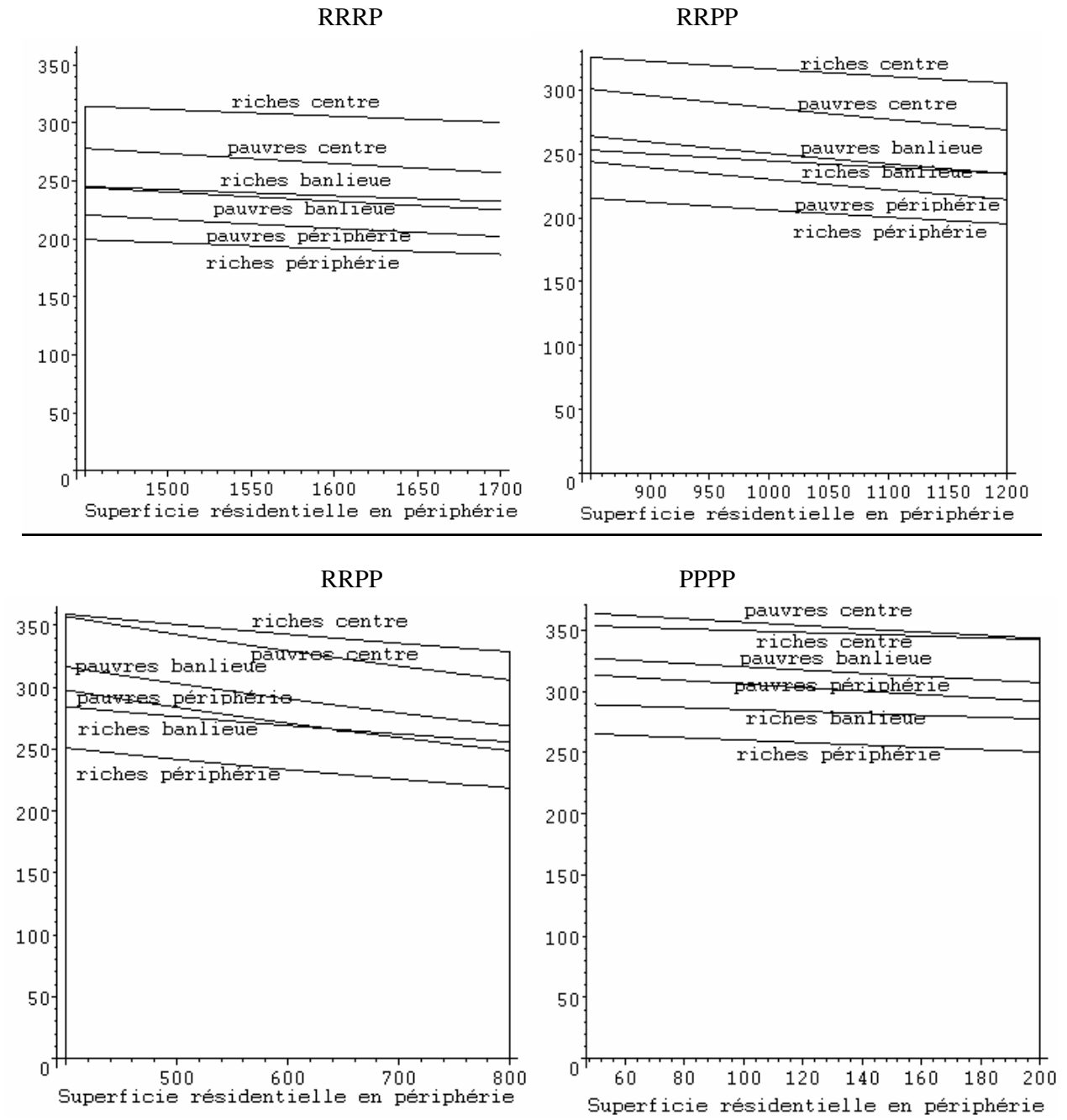


Figure 4.A.12.8 : Effets sur la taille des logements

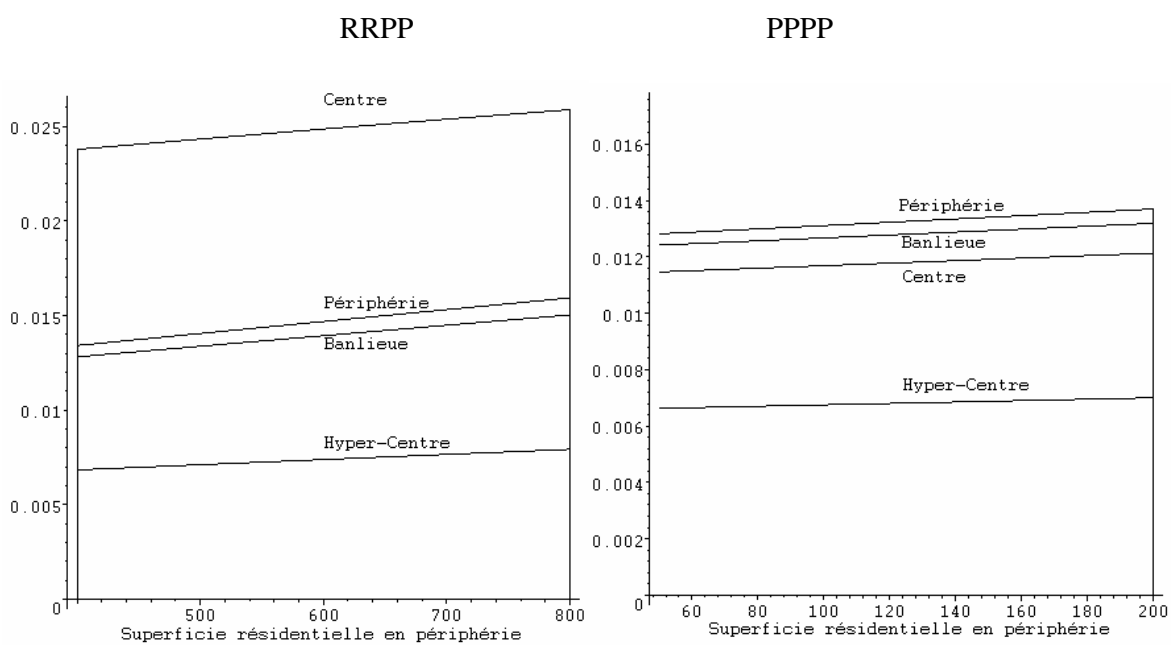
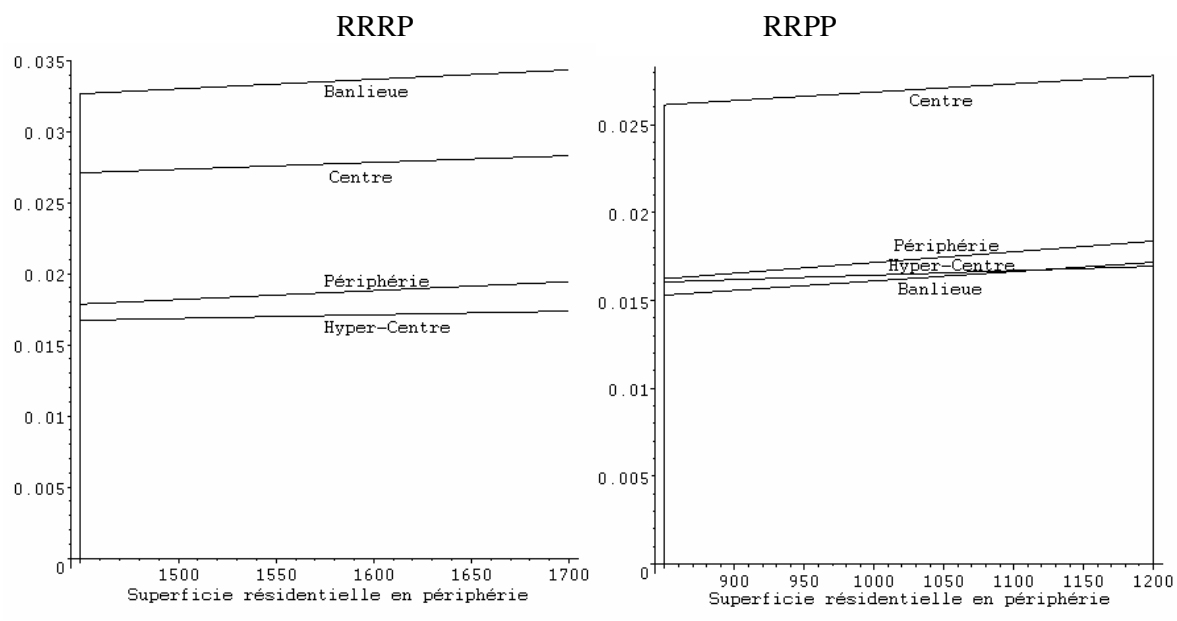
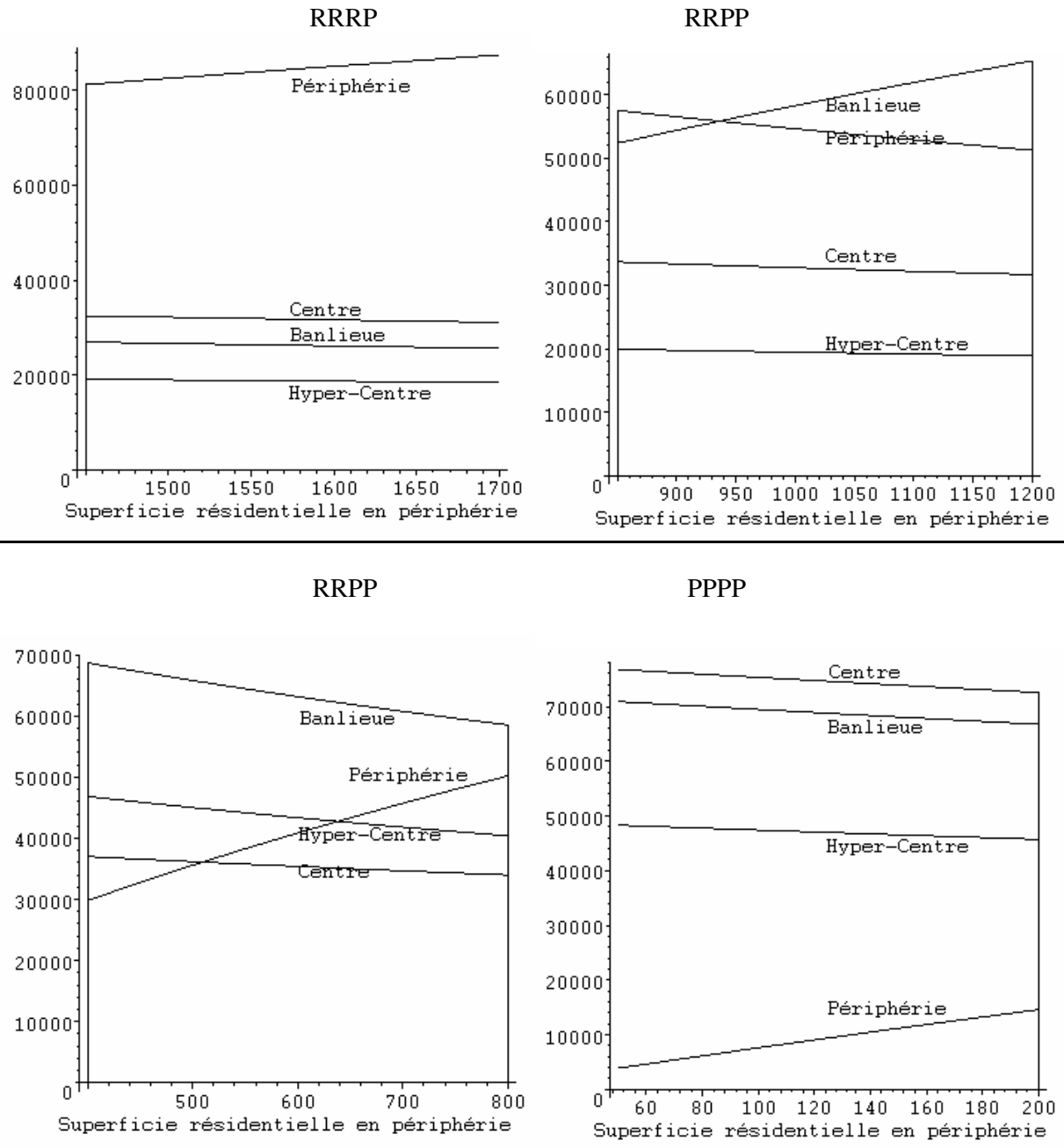


Figure 4.A.12.9 : Effets sur la population de la ville



Annexes 4.A.13

CONFRONTATION DES INSTRUMENTS D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Tableau 4.A.13.1: Pourcentage des ménages usagers des transport en commun

	Stationnement				Voirie TC				Voirie VP				Surface résidentielle			
	z1	z2	z3	M	z1	z2	z3	M	z1	z2	z3	M	z1	z2	z3	M
RRRP													0,37	0,22	0,20	0,24
RRPP	0,43	0,22	0,20	0,26	0,37	0,22	0,20	0,25	0,37	0,21	0,19	0,24	0,37	0,21	0,20	0,25
RPPP									0,44	0,51	0,51	0,48				
PRRP	0,19	0,15	0,18	0,18												
PRPP	0,53	0,23	0,21	0,29	0,67	0,33	0,34	0,40	0,31	0,17	0,15	0,19	0,35	0,21	0,19	0,24
PPPP	0,82	0,55	0,41	0,60	0,35	0,39	0,41	0,39	0,22	0,17	0,14	0,17	0,25	0,22	0,19	0,24

Tableau 4.A.13.2: Durées de déplacement par mode de transport

	Stationnement						Voirie TC						Voirie VP						Surface résidentielle					
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRRP																			9,5	13,9	17,2	8,5	13,9	18,0
RRPP	10,4	14,9	17,3	9,0	14,6	18,0	9,7	14,2	16,6	8,6	14,1	17,5	9,6	13,8	16,2	8,5	13,9	17,2	9,7	14,1	16,5	8,6	14,1	17,3
RPPP													18,1	26,9	31,0	12,8	21,0	25,3						
PRRP	6,8	10,8	13,5	6,9	11,4	14,8																		
PRPP	11,5	15,9	18,4	9,6	15,4	18,8	8,5	12,7	15,2	5,9	9,7	12,3	8,2	11,2	13,1	7,5	12,4	15,6	9,3	13,3	15,0	8,3	13,4	16,0
PPPP	34,5	37,9	40,0	19,9	30,4	35,6	8,9	12,5	15,0	4,9	8,1	10,6	8,2	10,6	12,3	7,4	12,0	15,2	10,3	13,5	14,3	8,7	13,3	15,2

Tableau 4.A.13.3: Durées moyennes de déplacement

	Stationnement			Voirie TC			Voirie VP			Surface résidentielle		
	VP	TC	M	VP	TC	M	VP	TC	M	VP	TC	M
RRRP										15,1	14,0	14,8
RRPP	15,1	13,5	14,7	14,3	13,2	14,0	13,9	13,0	13,7	14,2	13,1	13,9
RPPP							24,0	19,2	21,7			
PRRP	11,0	11,7	11,1									
PRPP	16,3	14,0	15,6	13,5	9,5	11,9	11,6	12,0	11,7	12,7	11,8	12,5
PPPP	38,3	26,2	31,0	12,5	8,5	11,0	10,8	11,5	10,9	11,9	10,8	11,7

Tableau 4.A.13.4: Vitesses moyennes de déplacement

	Stationnement						Voirie TC						Voirie VP						Surface résidentielle								
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC					
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3			
RRRP																											
RRPP	12,5	10,1	14,6	7,9	7,9	10,6	12,4	10,1	14,6	8,3	8,1	10,8	12,9	10,6	15,3	8,4	8,2	11,0	12,4	10,2	14,4	8,3	8,1	10,6			
RPPP													4,6	5,0	7,4	5,6	5,5	7,0									
PRRP	12,5	11,2	13,2	10,4	9,9	10,5																					
PRPP	12,8	10,1	14,6	7,4	7,7	10,4	13,9	10,6	16,2	12,2	11,8	15,4	18,4	15,1	22,2	9,6	9,1	13,1	12,9	11,0	13,0	8,6	8,7	8,4			
PPPP	16,1	13,1	17,2	3,6	4,3	6,9	13,4	12,2	18,9	14,6	13,8	18,9	20,7	18,7	27,6	9,7	9,7	14,5	11,8	13,8	13,7	8,2	9,7	6,1			

Tableau 4.A.13.5: Coûts de transport généralisés des ménages riches

	Stationnement						Voirie TC						Voirie VP						Surface résidentielle					
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRRP																			5,7	7,5	8,9	5,2	7,4	9,0
RRPP	6,0	7,9	8,9	5,4	7,7	9,0	5,8	7,6	8,6	5,3	7,5	8,8	5,7	7,4	8,4	5,2	7,4	8,7	5,8	7,6	8,6	5,2	7,4	8,7
RPPP													9,1	12,8	14,4	6,9	10,2	11,9						
PRRP	4,6	6,3	7,4	4,6	6,4	7,7																		
PRPP	6,5	8,3	9,3	5,6	8,0	9,3	5,3	7,0	8,0	4,1	5,7	6,7	5,2	6,4	7,2	4,8	6,8	8,0	5,6	7,2	7,9	5,1	7,2	8,2
PPPP	15,7	17,1	17,9	9,8	13,9	16,0	5,4	6,9	8,0	3,8	5,1	6,0	5,2	6,1	6,9	4,7	6,6	7,9	6,0	7,3	7,7	5,3	7,1	7,9

Tableau 4.A.13.6: Coûts de transport généralisés des ménages pauvres

	Stationnement						Voirie TC						Voirie VP						Surface résidentielle					
	VP			TC			VP			TC			VP			TC			VP			TC		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRRP																			2,8	3,3	3,7	2,6	3,2	3,6
RRPP	2,9	3,4	3,7	2,7	3,3	3,6	2,8	3,3	3,6	2,7	3,2	3,5	2,8	3,3	3,6	2,6	3,2	3,5	2,8	3,3	3,6	2,7	3,2	3,5
RPPP													3,7	4,7	5,1	3,1	3,9	4,3						
PRRP	2,6	3,0	3,3	2,5	2,9	3,3																		
PRPP	3,0	3,5	3,8	2,8	3,3	3,7	2,7	3,2	3,5	2,4	2,8	3,0	2,7	3,0	3,3	2,5	3,0	3,4	2,8	3,3	3,4	2,6	3,1	3,4
PPPP	5,3	5,7	5,9	3,8	4,8	5,4	2,8	3,2	3,5	2,3	2,6	2,9	2,7	3,0	3,2	2,5	3,0	3,3	2,9	3,3	3,4	2,7	3,1	3,3

Tableau 4.A.13.7: Coûts de transport moyens

	Stationnement						Voirie TC						Voirie VP						Surface résidentielle					
	Riches			Pauvres			Riches			Pauvres			Riches			Pauvres			Riches			Pauvres		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
RRRP																			5,9	8,0	9,6	3,3	3,8	4,2
RRPP	6,2	8,3	9,6	3,4	3,9	4,2	6,0	8,1	9,4	3,3	3,9	4,2	6,0	8,0	9,3	3,3	3,8	4,2	6,0	8,1	9,3	3,3	3,9	4,2
RPPP													8,9	12,5	14,2	3,9	4,8	5,2						
PRRP	5,2	7,0	8,3	3,1	3,6	3,9																		
PRPP	6,5	8,7	10,0	3,4	4,0	4,3	5,2	6,9	7,9	3,1	3,5	3,8	5,5	7,3	8,6	3,2	3,7	4,0	5,9	7,8	8,8	3,3	3,8	4,0
PPPP	15,4	16,8	17,7	5,2	5,8	6,1	5,2	6,7	7,8	3,0	3,4	3,7	5,5	7,2	8,4	3,2	3,6	3,9	6,1	7,8	8,5	3,3	3,8	3,9

Tableau 4.A.13.8: Prix fonciers

	Stationnement					Voirie TC					Voirie VP					Surface résidentielle				
	z0	z1	z2	z3	M	z0	z1	z2	z3	M	z0	z1	z2	z3	M	z0	z1	z2	z3	M
RRRP																598	314	245	221	289
RRPP	623	317	260	240	309	618	322	259	239	308	623	327	265	245	314	623	325	264	244	314
RPPP											548	203	162	144	216					
PRRP	652	366	297	273	390															
PRPP	639	310	262	241	347	720	383	334	312	423	733	374	327	303	424	732	359	316	298	429
PPPP	971	294	250	224	434	756	391	360	337	450	775	387	349	324	450	755	363	327	313	444

Tableau 4.A.13.9: Population

	Stationnement					Voirie TC					Voirie VP					Surface résidentielle				
	z0	z1	z2	z3	T	z0	z1	z2	z3	T	z0	z1	z2	z3	T	z0	z1	z2	z3	T
RRRP																19132	32477	26946	81177	159732
RRPP	19950	33055	56949	54765	164719	19770	33354	56494	54376	163993	19947	33068	56467	55651	165133	19932	33667	57493	52330	163423
RPPP											17524	54345	45913	35003	152785					
PRRP	41725	37039	31655	61131	171550															
PRPP	40896	32567	57631	55348	186441	46077	29971	55067	69280	200395	46910	27782	51192	68004	193887	46838	36997	68688	29819	182343
PPPP	62161	69720	61755	58140	251776	48353	44291	41559	74281	208484	49607	44208	40929	72547	207292	48300	76775	70898	3902	199875

Annexes 4.A.14
PRINCIPALES PROCEDURES INFORMATIQUES

Annexes 4.A.14.1 Les équations de calcul de l'équilibre

```
> restart;
PARAMETRES;
> A0 := 0: A1 := 70.0: A2 := 70: A3 := 70: G0 := 55.0: R0 := 0:
R1 := 250.0: R2 := 250: R3 := 250: S0 := 320.0: S1 := 1200.0:
S2 := 1200.0: L3 := 900.0: pg0 := 0: ctcl := 1.8: ctcl2 := 0.0:
ctcl3 := 0.0: thct1 := 3.57: thct2 := 2.23: thct3:=1.8: thcp1
:= 1: thcp2 := 100: thvt1 := 1.43: thvt2 := 0.9: thvt3 :=
0.72: thvp1 := 1: thvp2 := 100: thgt := 0: thgp1 := 1: thgp2
:=500: gamma1 := .4: gamma2 := .1: zeta1 := .65: zeta2 := .65:
mu := .5: w1 := 40.0: w2 := 20.0 : v1 :=7.0: v2 := 3.0: cth :=
100.0: cta := 50.0: ctr := 50.0: ctg := 70.0: afuel := 50:
bfuel:=6.5 : pfuel:=1.0: ntrip:=300: pticket1:=1.5:
pticket2:=0.0: pticket3:=0.0: k1:=6: k2:=475: cfix:=1.8:
peage:=0.0: cordon1:=0.0: cordon2:=0.0: cordon3:=0.0:
flat:=0.0: fueltax:=0.0:

VARIABLES DE BOUCLAGE
> pic11:=.3744141438: pic12:=0: pic21:=0: pic22:=.2151907029:
pic31:=0: pic32:=.1981865120: n01:=19769.91153: n02:=0:
n11:=33354.29457: n12:=0: n21:=0: n22:=56493.74611:
n31:=0: n32:=54375.50527:
>
SCENARIO
> scenario:=4:
if scenario=1 then z0:=1: z1:=1: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=2 then z0:=1: z1:=1: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=3 then z0:=1: z1:=1: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=4 then z0:=1: z1:=1: z2:=2: z3:=2:end if:
if scenario=5 then z0:=1: z1:=2: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=6 then z0:=1: z1:=2: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=7 then z0:=1: z1:=2: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=8 then z0:=1: z1:=2: z2:=2: z3:=2:end if:
if scenario=9 then z0:=2: z1:=1: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=10 then z0:=2: z1:=1: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=11 then z0:=2: z1:=1: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=12 then z0:=2: z1:=1: z2:=2: z3:=2:end if:
if scenario=13 then z0:=2: z1:=2: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=14 then z0:=2: z1:=2: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=15 then z0:=2: z1:=2: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=16 then z0:=2: z1:=2: z2:=2: z3:=2:end if:
z0; z1; z2; z3;
```

CALCUL DE L'EQUILIBRE

```
>
Définition des fonctions de durées de déplacement, d'enchères
et de consommation de logement
> thetap:=(t0,p1,p2,x,y)->t0+p1/(p2*x/y); psip0:=x->5E-08*x;
E:=(x,y)->(x/y)^4; H:=(x,y)->(1/4)*x^(-3)*y^4;
```

STRUCTURE PHYSIQUE DE LA VILLE

```
> S3:=L3+R3+A3;
> rad0:=sqrt(S0/evalf(Pi))/10;
rad1:=sqrt((S0+S1)/evalf(Pi))/10;
rad2:=sqrt((S0+S1+S2)/evalf(Pi))/10;
rad3:=sqrt((S0+S1+S2+S3)/evalf(Pi))/10;
> d0:=rad0;d1:=rad1-rad0;d2:=rad2-rad1;d3:=rad3-rad2;
```

NOMBRE D'USAGERS DE CHAQUE MODE DE TRANSPORT

```
> nc11:=pic11*n11; nc21:=pic21*n21; nc31:=pic31*n31; nv11:=n11-
nc11; nv21:=n21-nc21; nv31:=n31-nc31;
nc12:=pic12*n12; nc22:=pic22*n22; nc32:=pic32*n32; nv12:=n12-
nc12; nv22:=n22-nc22; nv32:=n32-nc32;
nc1:=nc11+nc12; nc2:=nc21+nc22; nc3:=nc31+nc32;
nv1:=nv11+nv12; nv2:=nv21+nv22; nv3:=nv31+nv32;
```

FLUX D'USAGERS DE CHAQUE MODE DE TRANSPORT

```
> phic0:=nc1+nc2+nc3; phic1:=nc1+nc2+nc3; phic2:=nc2+nc3;
phic3:=nc3;
phiv0:=nv1+nv2+nv3; phiv1:=nv1+nv2+nv3; phiv2:=nv2+nv3;
phiv3:=nv3;
```

DUREES DE DEPLACEMENT

```
> thetac1p:=thetap(thct1,thcp1,thcp2,A1,phic1);
thetac2p:=thetap(thct2,thcp1,thcp2,A2,phic2);
thetac3p:=thetap(thct3,thcp1,thcp2,A3,phic3);
> thetac1:=thetac1p;
thetac2:=thetac1p+thetac2p;
thetac3:=thetac1p+thetac2p+thetac3p;
> thetag0:=thetap(thgt,thgp1,thgp2,G0,phiv0);
> thetav1p:=thetap(thvt1,thvp1,thvp2,R1,phiv1);
thetav2p:=thetap(thvt2,thvp1,thvp2,R2,phiv2);
thetav3p:=thetap(thvt3,thvp1,thvp2,R3,phiv3);
> thetav1:=thetag0+thetav1p;
thetav2:=thetag0+thetav1p+thetav2p;
thetav3:=thetag0+thetav1p+thetav2p+thetav3p;
```

VITESSES MOYENNES DE DEPLACEMENT

```
> speedv0:=d0/(thetag0/60);
speedv1:=d1/(thetav1p/60);
speedv2:=d2/((thetav2p)/60);
speedv3:=d3/((thetav3p)/60);
```

```
> speedc1:=d1/(thetac1p/60);
speedc2:=d2/((thetac2p)/60);
speedc3:=d3/((thetac3p)/60);
```

CONSOMMATION DE CARBURANTS

```
> cons1:=(afuel/speedv1+bfuel)/100;
cons2:=(afuel/speedv2+bfuel)/100;
cons3:=(afuel/speedv3+bfuel)/100;
constotal:=2*ntrip*(phiv1*cons1*d1+phiv2*cons2*d2+phiv3*cons3*d3);
```

COUTS MONETAIRES DE DEPLACEMENT

```
>
pv1:=(peage*ntrip+2*ntrip*flat*d1+cordon1*ntrip+2*ntrip*cons1*d1*(pfuel+fueltax*pfuel))/1000;
cv1:=(2*ntrip*cons1*d1*(pfuel))/1000;
pv2:=(peage*ntrip+(cordon2)*ntrip+2*ntrip*flat*(d2)+2*ntrip*cons2*d2*(pfuel+fueltax*pfuel))/1000;
cv2:=(2*ntrip*cons2*d2*(pfuel))/1000;
pv3:=(peage*ntrip+(cordon3)*ntrip+2*ntrip*flat*(d3)+2*ntrip*cons3*d3*(pfuel+fueltax*pfuel))/1000;
cv3:=(2*ntrip*cons3*d3*(pfuel))/1000;
> pc1:=4*ntrip*pticket1/1000;
pc2:=4*ntrip*pticket2/1000;
pc3:=4*ntrip*pticket3/1000;
```

COUTS DE TRANSPORT GENERALISES

```
> tc11:=pc1+gamma1*thetac1;
tc21:=pc1+pc2+gamma1*thetac2;
tc31:=pc1+pc2+pc3+gamma1*thetac3;
> tv11:=cfix+pg0+pv1+gamma1*thetav1;
tv21:=cfix+pg0+pv1+pv2+gamma1*thetav2;
tv31:=cfix+pg0+pv1+pv2+pv3+gamma1*thetav3;
> t11:=mu*ln(1/(1+zeta1)*exp(tv11/mu)+1/(1-zeta1)*exp(tc11/mu));
t21:=mu*ln(1/(1+zeta1)*exp(tv21/mu)+1/(1-zeta1)*exp(tc21/mu));
t31:=mu*ln(1/(1+zeta1)*exp(tv31/mu)+1/(1-zeta1)*exp(tc31/mu));
> tc12:=pc1+gamma2*thetac1;
tc22:=pc1+pc2+gamma2*thetac2;
tc32:=pc1+pc2+pc3+gamma2*thetac3;
> tv12:=cfix+pg0+pv1+gamma2*thetav1;
tv22:=cfix+pg0+pv1+pv2+gamma2*thetav2;
tv32:=cfix+pg0+pv1+pv2+pv3+gamma2*thetav3;
> t12:=mu*ln(1/(1+zeta2)*exp(tv12/mu)+1/(1-zeta2)*exp(tc12/mu));
t22:=mu*ln(1/(1+zeta2)*exp(tv22/mu)+1/(1-zeta2)*exp(tc22/mu));
t32:=mu*ln(1/(1+zeta2)*exp(tv32/mu)+1/(1-zeta2)*exp(tc32/mu));
```

CHOIX MODAL

```
> eqpic11:=1/(1+zeta1)*exp((tv11-t11)/mu);
```

```

eqpic21:=1/(1+zeta1)*exp((tv21-t21)/mu);
eqpic31:=1/(1+zeta1)*exp((tv31-t31)/mu);
> eqpic12:=1/(1+zeta2)*exp((tv12-t12)/mu);
eqpic22:=1/(1+zeta2)*exp((tv22-t22)/mu);
eqpic32:=1/(1+zeta2)*exp((tv32-t32)/mu);

```

EMISSIONS DE POLLUANTS

```

> emis1:=k1+k2/speedv1;
emis2:=k1+k2/speedv2;
emis3:=k1+k2/speedv3;
e:=2*emis1*phiv1*d1+2*emis2*phiv2*d2+2*emis3*phiv3*d3;

```

LE MARCHÉ FONCIER

```

> ph01:=E(w1,v1+psip0(e));
ph11:=E(w1-t11,v1+psip0(e));
ph21:=E(w1-t21,v1+psip0(e));
ph31:=E(w1-t31,v1+psip0(e));
> ph02:=E(w2,v2+psip0(e));
ph12:=E(w2-t12,v2+psip0(e));
ph22:=E(w2-t22,v2+psip0(e));
ph32:=E(w2-t32,v2+psip0(e));
> h01:=H(w1,v1+psip0(e));
h11:=H(w1-t11,v1+psip0(e));
h21:=H(w1-t21,v1+psip0(e));
h31:=H(w1-t31,v1+psip0(e));
h02:=H(w2,v2+psip0(e));
h12:=H(w2-t12,v2+psip0(e));
h22:=H(w2-t22,v2+psip0(e));
h32:=H(w2-t32,v2+psip0(e));
> if ph01>ph02 then
    z0e:=1:
    eqn01:=S0/h01:
    eqn02:=0:
    h0:=h01: ph0:=ph01:
else
    z0e:=2:
    eqn01:=0:
    eqn02:=S0/h02:
    h0:=h02: ph0:=ph02:
end if;
if ph11>ph12 then
    z1e:=1:
    eqn11:=(S1-R1-A1)/h11:
    eqn12:=0:
    h1:=h11: ph1:=ph11:
    eqpic12:=0:
else
    z1e:=2:
    eqn11:=0:
    eqn12:=(S1-R1-A1)/h12:

```

```

        h1:=h12:ph1:=ph12:
        eqpic11:=0:
end if;
if ph21>ph22 then
    z2e:=1:
    eqn21:=(S2-R2-A2)/h21:
    eqn22:=0:
    h2:=h21:ph2:=ph21:
    eqpic22:=0:
else
    z2e:=2:
    eqn21:=0:
    eqn22:=(S2-R2-A2)/h22:
    h2:=h22:ph2:=ph22:
    eqpic21:=0:
end if;
if ph31>ph32 then
    z3e:=1:
    eqn31:=L3/h31:
    eqn32:=0:
    h3:=h31:ph3:=ph31:
    eqpic32:=0:
else
    z3e:=2:
    eqn31:=0:
    eqn32:=L3/h32:
    h3:=h32:ph3:=ph32:
    eqpic31:=0:
end if;
VERIFICATION DE L'EQUILIBRE
> is (z0e=z0) ; is (z1e=z1) ; is (z2e=z2) ; is (z3e=z3) ;
> eqpic1:=eqpic11+eqpic12; eqpic2:=eqpic21+eqpic22;
eqpic3:=eqpic31+eqpic32;
> eqn0:=eqn01+eqn02; eqn1:=eqn11+eqn12; eqn2:=eqn21+eqn22;
eqn3:=eqn31+eqn32;
> n1:=eqn01+eqn11+eqn21+eqn31; n2:=eqn02+eqn12+eqn22+eqn32;
n:=n1+n2;
> ut1:=v1+psip0(e) ; ut2:=v2+psip0(e) ;

```

CALCUL DU SURPLUS

```

> RT:=ph0*(S0-R0-A0)+ph1*(S1-R1-A1)+ph2*(S2-R2-A2)+ph3*L3;
> RD:=(ph0-cth)*(S0-R0-A0)+(ph1-cth)*(S1-R1-A1)+(ph2-cth)*(S2-
R2-A2)+(ph3-cth)*L3;
> Public:=nv1*(pg0+pv1-cv1)+nv2*(pg0+pv1-cv1+pv2-
cv2)+nv3*(pg0+pv1-cv1+pv2-cv2+pv3-cv3)+nc1*(pc1-
ctc1)+nc2*(pc1+pc2-ctc1-ctc2)+nc3*(pc1+pc2+pc3-ctc1-ctc2-
ctc3)-cta*(A1+A2+A3)-ctr*(R1+R2+R3)-ctg*G0;
> Surplus:=RD+Public;

```

Annexes 4.A.14.2 Principales procédures de simulation

Equations du modèle.

Le paramètre param est la structure contenant les noms et les valeurs des paramètres. Le paramètre scenario représente la configuration sociale pour laquelle on calcule les équations du modèle :

```
> equastatio:=proc (param, scenario) local
cv1, cv2, cv3, n, n1, n2, ut1, ut2, emis1, emis2, thetac1p, thetac2p,
thetac3p, thetav1p, thetav2p, thetav3p, thetag0, emis3, pc1, pc2, pc3,
cons1, cons2, cons3, constotal, pv1, pv2, pv3, speedv1, speedv2, speedv
3, speedc1, speedc2, speedc3, S3, rad0, rad1, rad2, rad3, d0, d1, d2, d3, z
0, z1, z2, z3, ii, lisvv, thetap, psip0, E, H, nc1, nv1, nc2, nv2, nc3, nv3, n
c11, nv11, nc21, nv21, nc31, nv31, nc12, nv12, nc22, nv22, nc32, nv32, phi
c0, phic1, phic2, phic3, phiv0, phiv1, phiv2, phiv3, thetac1, thetac2, t
hetac3, thetav1, thetav2, thetav3, tc11, tc21, tc31, tv11, tv21, tv31, t
11, t21, t31, tc12, tc22, tc32, tv12, tv22, tv32, t12, t22, t32, eqpic1, eq
pic2, eqpic3, eqpic11, eqpic21, eqpic31, eqpic12, eqpic22, eqpic32, e,
ph0, ph1, ph2, ph3, ph01, ph11, ph21, ph31, ph02, ph12, ph22, ph32, h0, h1,
h2, h3, h01, h11, h21, h31, h02, h12, h22, h32, eqn0, eqn1, eqn2, eqn3, eqn0
1, eqn11, eqn21, eqn31, eqn02, eqn12, eqn22, eqn32, RT, RD, Surplus, typr
et; lisvv:=[seq (param[1, ii]=param[2, ii], ii=1..param[3])];
thetap:=(t0, p1, p2, x, y)->t0+p1/(p2*x/y) : psip0:=x->4E-07*x:
E:=(x, y)->(x/y)^4: H:=(x, y)->(1/4)*x^(-3)*y^4:
S3:=eval (L3+R3+A3, lisvv) ;
rad0:=eval (sqrt (S0/evalf (Pi))) /10;
rad1:=eval (sqrt ((S0+S1)/evalf (Pi))) /10;
rad2:=eval (sqrt ((S0+S1+S2)/evalf (Pi))) /10;
rad3:=eval (sqrt ((S0+S1+S2+S3)/evalf (Pi))) /10;
d0:=rad0; d1:=eval (rad1-rad0, lisvv) ; d2:=eval (rad2-
rad1, lisvv) ; d3:=eval (rad3-rad2, lisvv) ;
if scenario=1 then z0:=1: z1:=1: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=2 then z0:=1: z1:=1: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=3 then z0:=1: z1:=1: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=4 then z0:=1: z1:=1: z2:=2: z3:=2:end if:
if scenario=5 then z0:=1: z1:=2: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=6 then z0:=1: z1:=2: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=7 then z0:=1: z1:=2: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=8 then z0:=1: z1:=2: z2:=2: z3:=2:end if:
if scenario=9 then z0:=2: z1:=1: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=10 then z0:=2: z1:=1: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=11 then z0:=2: z1:=1: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=12 then z0:=2: z1:=1: z2:=2: z3:=2:end if:
if scenario=13 then z0:=2: z1:=2: z2:=1: z3:=1:end if:
if scenario=14 then z0:=2: z1:=2: z2:=1: z3:=2:end if:
if scenario=15 then z0:=2: z1:=2: z2:=2: z3:=1:end if:
if scenario=16 then z0:=2: z1:=2: z2:=2: z3:=2:end if:
nc11:=pic11*n11:nc21:=pic21*n21:nc31:=pic31*n31:nv11:=n11-
nc11; nv21:=n21-nc21: nv31:=n31-nc31:
```

```

nc12:=pic12*n12: nc22:=pic22*n22:nc32:=pic32*n32:nv12:=n12-
nc12;nv22:=n22-nc22:nv32:=n32-nc32:
nc1:=nc11+nc12:nc2:=nc21+nc22:nc3:=nc31+nc32:nv1:=nv11+nv12;nv
2:=nv21+nv22:nv3:=nv31+nv32:
phic0:=nc1+nc2+nc3: phic1:=nc1+nc2+nc3: phic2:=nc2+nc3:
phic3:=nc3:
phiv0:=nv1+nv2+nv3: phiv1:=nv1+nv2+nv3: phiv2:=nv2+nv3:
phiv3:=nv3:
thetac1p:=thetap (eval (thct1, lisvv) , eval (thcp1, lisvv) , eval (thcp
2, lisvv) , eval (A1, lisvv) , phic1) :
thetac2p:=thetap (eval (thct2, lisvv) , eval (thcp1, lisvv) , eval (thcp
2, lisvv) , eval (A2, lisvv) , phic2) :
thetac3p:=thetap (eval (thct3, lisvv) , eval (thcp1, lisvv) , eval (thcp
2, lisvv) , eval (A3, lisvv) , phic3) :
thetac1:=thetac1p:
thetac2:=thetac1p+thetac2p:
thetac3:=thetac1p+thetac2p+thetac3p:
thetag0:=thetap (eval (thgt, lisvv) , eval (thgp1, lisvv) , eval (thgp2,
lisvv) , eval (G0, lisvv) , phiv0) ;
thetav1p:=thetap (eval (thvt1, lisvv) , eval (thvp1, lisvv) , eval (thvp
2, lisvv) , eval (R1, lisvv) , phiv1) :
thetav2p:=thetap (eval (thvt2, lisvv) , eval (thvp1, lisvv) , eval (thvp
2, lisvv) , eval (R2, lisvv) , phiv2) :
thetav3p:=thetap (eval (thvt3, lisvv) , eval (thvp1, lisvv) , eval (thvp
2, lisvv) , eval (R3, lisvv) , phiv3) :
thetav1:=thetag0+thetav1p: thetav2:=thetag0+thetav1p+thetav2p:
thetav3:=thetag0+thetav1p+thetav2p+thetav3p:
speedv0:=eval (d0/ (thetag0/60) , lisvv) ;
speedv1:=eval (d1/ (thetav1p/60) , lisvv) ;
speedv2:=eval (d2/ ( (thetav2p) /60) , lisvv) ;
speedv3:=eval (d3/ ( (thetav3p) /60) , lisvv) ;
speedc1:=eval (d1/ (thetac1p/60) , lisvv) ;
speedc2:=eval (d2/ ( (thetac2p) /60) , lisvv) ;
speedc3:=eval (d3/ ( (thetac3p) /60) , lisvv) ;
cons1:=eval ( (afuel/speedv1+bfuel) /100, lisvv) ;
cons2:=eval ( (afuel/speedv2+bfuel) /100, lisvv) ;
cons3:=eval ( (afuel/speedv3+bfuel) /100, lisvv) ;
constotal:=eval (2*ntrip* (nv1*cons1*d1+nv2*cons2*d2+nv3*cons3*d
3) , lisvv) ;
pv1:=eval ( (peage*ntrip+2*ntrip*flat*d1+cordon1*ntrip+2*ntrip*c
ons1*d1* (pfuel+fueltax*pfuel) ) /1000, lisvv) ;
cv1:=eval ( (2*ntrip*cons1*d1* (pfuel) ) /1000, lisvv) ;
pv2:=eval ( (peage*ntrip+ (cordon2) *ntrip+2*ntrip*flat* (d2) +2*ntr
ip*cons2*d2* (pfuel+fueltax*pfuel) ) /1000, lisvv) ;
cv2:=eval ( (2*ntrip*cons2*d2* (pfuel) ) /1000, lisvv) ;
pv3:=eval ( (peage*ntrip+ (cordon3) *ntrip+2*ntrip*flat* (d3) +2*ntr
ip*cons3*d3* (pfuel+fueltax*pfuel) ) /1000, lisvv) ;
cv3:=eval ( (2*ntrip*cons3*d3* (pfuel) ) /1000, lisvv) ;
pc1:=eval (4*ntrip*pticket1/1000, lisvv) ;
pc2:=eval (4*ntrip*pticket2/1000, lisvv) ;
pc3:=eval (4*ntrip*pticket3/1000, lisvv) ;

```

```

tc11:=eval (pc1+gamma1*thetac1, lisvv) :
tc21:=eval (pc1+pc2+gamma1*thetac2, lisvv) :
tc31:=eval (pc1+pc2+pc3+gamma1*thetac3, lisvv) :
tv11:=eval (cfix+pg0+pv1+gamma1*thetav1, lisvv) :
tv21:=eval (cfix+pg0+pv1+pv2+gamma1*thetav2, lisvv) :
tv31:=eval (cfix+pg0+pv1+pv2+pv3+gamma1*thetav3, lisvv) :
t11:=eval (mu*ln (1/ (1+zeta1) *exp (tv11/mu) +1/ (1-
zeta1) *exp (tc11/mu) ) , lisvv) :
t21:=eval (mu*ln (1/ (1+zeta1) *exp (tv21/mu) +1/ (1-
zeta1) *exp (tc21/mu) ) , lisvv) :
t31:=eval (mu*ln (1/ (1+zeta1) *exp (tv31/mu) +1/ (1-
zeta1) *exp (tc31/mu) ) , lisvv) :
tc12:=eval (pc1+gamma2*thetac1, lisvv) :
tc22:=eval (pc1+pc2+gamma2*thetac2, lisvv) :
tc32:=eval (pc1+pc2+pc3+gamma2*thetac3, lisvv) :
tv12:=eval (cfix+pg0+pv1+gamma2*thetav1, lisvv) :
tv22:=eval (cfix+pg0+pv1+pv2+gamma2*thetav2, lisvv) :
tv32:=eval (cfix+pg0+pv1+pv2+pv3+gamma2*thetav3, lisvv) :
t12:=eval (mu*ln (1/ (1+zeta2) *exp (tv12/mu) +1/ (1-
zeta2) *exp (tc12/mu) ) , lisvv) :
t22:=eval (mu*ln (1/ (1+zeta2) *exp (tv22/mu) +1/ (1-
zeta2) *exp (tc22/mu) ) , lisvv) :
t32:=eval (mu*ln (1/ (1+zeta2) *exp (tv32/mu) +1/ (1-
zeta2) *exp (tc32/mu) ) , lisvv) :
eqpic11:=eval (1/ (1+zeta1) *exp ((tv11-t11) /mu) , lisvv) :
eqpic21:=eval (1/ (1+zeta1) *exp ((tv21-t21) /mu) , lisvv) :
eqpic31:=eval (1/ (1+zeta1) *exp ((tv31-t31) /mu) , lisvv) :
eqpic12:=eval (1/ (1+zeta2) *exp ((tv12-t12) /mu) , lisvv) :
eqpic22:=eval (1/ (1+zeta2) *exp ((tv22-t22) /mu) , lisvv) :
eqpic32:=eval (1/ (1+zeta2) *exp ((tv32-t32) /mu) , lisvv) :
emis1:=eval (k1+k2/speedv1, lisvv) ;
emis2:=eval (k1+k2/speedv2, lisvv) ;
emis3:=eval (k1+k2/speedv3, lisvv) ;
e:=(2-z1) *emis1*d1*(1-eqpic11) *n11+(z1-1) *emis1*d1*(1-
eqpic12) *n12+(2-z2) *emis2*d2*(1-eqpic21) *n21+(z2-
1) *emis2*d2*(1-eqpic22) *n22+(2-z3) *emis3*d3*(1-
eqpic31) *n31+(z3-1) *emis3*d3*(1-eqpic32) *n32;
ph01:=E (eval (w1, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :
ph11:=E (eval (w1-t11, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :
ph21:=E (eval (w1-t21, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :
ph31:=E (eval (w1-t31, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :
ph02:=E (eval (w2, lisvv) , eval (v2+psip0 (e) , lisvv) ) :
ph12:=E (eval (w2-t12, lisvv) , eval (v2+psip0 (e) , lisvv) ) :
ph22:=E (eval (w2-t22, lisvv) , eval (v2+psip0 (e) , lisvv) ) :
ph32:=E (eval (w2-t32, lisvv) , eval (v2+psip0 (e) , lisvv) ) :
h01:=H (eval (w1, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :
h11:=H (eval (w1-t11, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :
h21:=H (eval (w1-t21, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :
h31:=H (eval (w1-t31, lisvv) , eval (v1+psip0 (e) , lisvv) ) :

```



```

h02:=H(eval(w2,lisvv),eval(v2+psip0(e),lisvv)):
h12:=H(eval(w2-t12,lisvv),eval(v2+psip0(e),lisvv)):
h22:=H(eval(w2-t22,lisvv),eval(v2+psip0(e),lisvv)):
h32:=H(eval(w2-t32,lisvv),eval(v2+psip0(e),lisvv)):
if z0=1 then
    eqn01:=eval(S0,lisvv)/h01:
    eqn02:=0:
    h0:=h01: ph0:=ph01:
else
    eqn01:=0:
    eqn02:=eval(S0,lisvv)/h02:
    h0:=h02:ph0:=ph02:
end if:
if z1=1 then
    eqn11:=eval(S1-R1-A1,lisvv)/h11:
    eqn12:=0:
    h1:=h11:ph1:=ph11:
    eqpic12:=0:
else
    eqn11:=0:
    eqn12:=eval(S1-R1-A1,lisvv)/h12:
    h1:=h12:ph1:=ph12:
    eqpic11:=0:
end if:
if z2=1 then
    eqn21:=eval(S2-R2-A2,lisvv)/h21:
    eqn22:=0:
    h2:=h21:ph2:=ph21:
    eqpic22:=0:
else
    eqn21:=0:
    eqn22:=eval(S2-R2-A2,lisvv)/h22:
    h2:=h22:ph2:=ph22:
    eqpic21:=0:
end if:
if z3=1 then
    eqn31:=eval(L3,lisvv)/h31:
    eqn32:=0:
    h3:=h31:ph3:=ph31:
    eqpic32:=0:
else
    eqn31:=0:
    eqn32:=eval(L3,lisvv)/h32:
    h3:=h32:ph3:=ph32:
    eqpic31:=0:
end if:
eqpic1:=eqpic11+eqpic12: eqpic2:=eqpic21+eqpic22:
eqpic3:=eqpic31+eqpic32:
eqn0:=eqn01+eqn02: eqn1:=eqn11+eqn12: eqn2:=eqn21+eqn22:
eqn3:=eqn31+eqn32:

```

```

n1:=eqn01+eqn11+eqn21+eqn31; n2:=eqn02+eqn12+eqn22+eqn32;
n:=n1+n2;
ut1:=eval(v1+psip0(e),lisvv);ut2:=eval(v2+psip0(e),lisvv);
RT:=eval(ph0*(S0-R0-A0)+ph1*(S1-R1-A1)+ph2*(S2-R2-
A2)+ph3*L3,lisvv); RD:=eval((ph0-cth)*(S0-R0-A0)+(ph1-
cth)*(S1-R1-A1)+(ph2-cth)*(S2-R2-A2)+(ph3-cth)*L3,lisvv);
Surplus:=eval(RD+nc1*(pc1-ctc1)+nc2*(pc1+pc2-ctc1-
ctc2)+nc3*(pc1+pc2+pc3-ctc1-ctc2-ctc3)+nv1*(pg0+pv1-
cv1)+nv2*(pg0+pv1-cv1+pv2-cv2)+nv3*(pg0+pv1-cv1+pv2-cv2+pv3-
cv3)-cta*(A1+A2+A3)-ctr*(R1+R2+R3)-ctg*G0,lisvv);
RETURN(eqp1c1,eqp1c2,eqp1c3,eqp1c11,eqp1c21,eqp1c31,eqp1c12,eq
p1c22,eqp1c32,eqn1,eqn2,eqn3,eqn11,eqn21,eqn31,eqn12,eqn22,eqn
32,nc1,nv1,nc2,nv2,nc3,nv3,nc11,nv11,nc21,nv21,nc31,nv31,nc12,
nv12,nc22,nv22,nc32,nv32,phic0,phic1,phic2,phic3,phiv0,phiv1,p
hiv2,phiv3,theta1,theta2,theta3,thetav1,thetav2,thetav3,tc1
1,tc21,tc31,tv11,tv21,tv31,t11,t21,t31,tc12,tc22,tc32,tv12,tv2
2,tv32,t12,t22,t32,e,ph0,ph1,ph2,ph3,h0,h1,h2,h3,ph01,ph11,ph2
1,ph31,h01,h11,h21,h31,ph02,ph12,ph22,ph32,h02,h12,h22,h32,eqn
0,eqn01,eqn02,RT,RD,Surplus,speedv1,speedv2,speedv3,speedc1,sp
eedc2,speedc3,cons1,cons2,cons3,constotal,pv1,pv2,pv3,pc1,pc2,
pc3,thetag0,thetav1p,thetav2p,thetav3p,theta1p,theta2p,theta
c3p,ut1,ut2,n,n1,n2); end;

```

Procédure de simulation de base

En entrée: **param** est la structure contenant les valeurs et les noms des paramètres, **debeq** est la liste des valeurs initiales des variables de bouclage et **scen** représente la configuration spatiale pour laquelle on calcule l'équilibre. En sortie, **arreq** est un tableau de valeurs

```

> simulstatio:=proc(param,debeq,scen) local
modelstatio,equild,arreq; arreq:=array(1..1);
modelstatio:=equastatio(param,scen);
equild:=fsolve({pic11=modelstatio[4],pic12=modelstatio[7],pic2
1=modelstatio[5],pic22=modelstatio[8],pic31=modelstatio[6],pic
32=modelstatio[9],n11=modelstatio[13],n21=modelstatio[14],n31=
modelstatio[15],n12=modelstatio[16],n22=modelstatio[17],n32=mo
delstatio[18]},debeq,{pic11=0..1,pic12=0..1,pic21=0..1,pic22=0
..1,pic31=0..1,pic32=0..1,n11=0..infinity,n12=0..infinity,n21=
0..infinity,n22=0..infinity,n31=0..infinity,n32=0..infinity});
arreq[1]:=eval(modelstatio,equild); RETURN(arreq); end;

```

Procédure de simulation pour un ensemble de valeurs d'un paramètre

En entrée: **param** est la structure contenant les valeurs et les noms des paramètres, **debeq** est la liste des valeurs initiales des variables de bouclages, **vval** est une liste de la

forme {parm=val}, où parm est le nom d'un paramètre et val est un vecteur ligne contenant ses valeurs et **scenar** la structure spatiale. En sortie, **arreq** est un tableau de valeurs.

```
> multsimulst:=proc(param,debeq,vval,scenar) local
nmv,i,i2,ji,nmp,xx,vecp1,modelstatio,equild,arreq,nomval,vsolu
; nmv:=[seq(param[1][i]=i,i=1..param[3])] ;
nmp:=eval(op([1,1],vval),nmv);i2:=op([1,2,2,2,2],vval);
arreq:=array(1..i2);vecp1:=param; equild:=debeq; for i from 1
to i2 do vecp1[2][nmp]:=op([1,2],vval)[1,i];
modelstatio:=equastatio(vecp1,scenar);
equild:=fsolve({pic11=modelstatio[4],pic12=modelstatio[7],pic2
1=modelstatio[5],pic22=modelstatio[8],pic31=modelstatio[6],pic
32=modelstatio[9],n11=modelstatio[13],n21=modelstatio[14],n31=
modelstatio[15],n12=modelstatio[16],n22=modelstatio[17],n32=mo
delstatio[18]},debeq,{pic11=0..1,pic12=0..1,pic21=0..1,pic22=0
..1,pic31=0..1,pic32=0..1,n11=0..infinity,n12=0..infinity,n21=
0..infinity,n22=0..infinity,n31=0..infinity,n32=0..infinity});
arreq[i]:=eval(modelstatio,equild); od; RETURN(arreq); end;
```

D'autres procédures ont été réalisées pour des objectifs spécifiques : mise en forme des résultats, extraction des valeurs d'une variable après simulation, extraction du label des variables, détermination du rang de la valeur maximale d'une variable, différents types de représentations graphiques, production des tables de résultats, etc...

Annexes 4.A.14.3 Un exemple de simulation

Nous allons présenter seulement le « cœur » du programme, c'est-à-dire la simulation elle-même, pour le cas d'une analyse des effets de la politique de tarification du stationnement :

{Introduction des paramètres (variable **prst**) et des labels (variables **labelv** et **labelv2**) et initialisation des variables de bouclage (variable **inisimul**)}

Le nombre d'itérations et les valeurs pour la variable pour laquelle on désire faire la simulation :

```
> niter:=31:
vecval:={pg0=evalm(matrix(1,niter,valparam(prst,pg0))+matrix(1
,niter,[seq(i/4,i=0..niter-1)]))};
```

On fait une série de 31 simulations pour chaque de 16 configurations d'équilibre possibles :

```
> for i from 1 to 16 do
arrequib[i]:=multsimulst(prst, inisimul, vecval, i);
end do;
```

Vérification des configurations qui sont en équilibre où la variable de sortie **eq[i,j]** est une variable binaire qui est égale à 1 si la configuration **i** est un équilibre pour la **j**-ème valeur de la variable de simulation est égale à zéro sinon :

```
>
eq:=Matrix(16,op([1,2,2],arrequib[1])):surp:=Matrix(16,op([1,2
,2],arrequib[1])):
> for i from 1 to 16 do
eqv[i]:=Vector(op([1,2,2],arrequib[1]));end do:
> for i from 1 to 16 do
if i=1 then za0:=1: za1:=1: za2:=1: za3:=1: config1:"RRRR":
conf[i]:=config1; end if:
if i=2 then za0:=1: za1:=1: za2:=1: za3:=2: config2:"RRRP":
conf[i]:=config2; end if:
if i=3 then za0:=1: za1:=1: za2:=2: za3:=1: config3:"RRPR":
conf[i]:=config3;end if:
if i=4 then za0:=1: za1:=1: za2:=2: za3:=2: config4:"RRPP":
conf[i]:=config4;end if:
if i=5 then za0:=1: za1:=2: za2:=1: za3:=1: config5:"RPRR":
conf[i]:=config5;end if:
if i=6 then za0:=1: za1:=2: za2:=1: za3:=2: config6:"RPRP":
conf[i]:=config6;end if:
if i=7 then za0:=1: za1:=2: za2:=2: za3:=1: config7:"RPPR":
conf[i]:=config7;end if:
if i=8 then za0:=1: za1:=2: za2:=2: za3:=2: config8:"RPPP":
conf[i]:=config8;end if:
if i=9 then za0:=2: za1:=1: za2:=1: za3:=1: config9:"PRRR":
conf[i]:=config9;end if:
```

```

if i=10 then za0:=2: za1:=1: za2:=1:za3:=2: config10:="PRRP":
conf[i]:=config10;end if:
if i=11 then za0:=2: za1:=1: za2:=2:za3:=1: config11:="PRPR":
conf[i]:=config11;end if:
if i=12 then za0:=2: za1:=1: za2:=2:za3:=2: config12:="PRPP":
conf[i]:=config12;end if:
if i=13 then za0:=2: za1:=2: za2:=1:za3:=1: config13:="PPRR":
conf[i]:=config13;end if:
if i=14 then za0:=2: za1:=2: za2:=1:za3:=2: config14:="PPRP":
conf[i]:=config14;end if:
if i=15 then za0:=2: za1:=2: za2:=2:za3:=1: config15:="PPPR":
conf[i]:=config15;end if:
if i=16 then za0:=2: za1:=2: za2:=2:za3:=2: config16:="PPPP":
conf[i]:=config16;end if:
for j from 1 to op([1,2,2],arrequib[i]) do
zb0:=2: zb1:=2: zb2:=2: zb3:=2:
if arrequib[i][j][78]>arrequib[i][j][86] then zb0:=1;end if;
if arrequib[i][j][79]>arrequib[i][j][87] then zb1:=1;end if;
if arrequib[i][j][80]>arrequib[i][j][88] then zb2:=1:end if;
if arrequib[i][j][81]>arrequib[i][j][89] then zb3:=1:end if;
if za0=zb0 and za1=zb1 and za2=zb2 and za3=zb3 then
eq[i,j]:=1; else eq[i,j]:=0; end if;
eq[i,j];
end do;
end do;

```

Une fois connues les configurations et les valeurs d'équilibre nous passons à la présentation tabulaire ou graphique des résultats.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La ségrégation spatiale entre les classes sociales est un phénomène constaté dans toutes les villes du monde. Cette ségrégation peut être le résultat d'un processus économique involontaire, ou par contre, dans le cas de la ségrégation ethnique ou raciale, il s'agit plutôt d'une décision volontaire de la part des ménages. La ségrégation sociale se caractérise par différents schémas de localisation résidentielle en milieu urbain. On trouve deux cas extrêmes, souvent appelés la configuration spatiale « américaine » et la configuration « européenne ». En effet, les villes américaines se caractérisent généralement par une localisation centrale des ménages pauvres et une localisation périphérique des ménages riches. A l'opposée, dans les villes européennes, les ménages riches se localisent surtout au centre tandis que les ménages pauvres se retrouvent en banlieue.

Pour expliquer ces contrastes, et en particulier pour justifier de l'existence de la configuration européenne, plutôt contre-intuitive au regard de l'arbitrage simple entre accessibilité et consommation de logement, la théorie avance deux interprétations. D'une part, les ménages riches peuvent préférer les localisations centrales si leurs coûts de déplacement sont beaucoup plus élevés que les coûts des ménages pauvres. Cette différenciation des coûts de transport est la conséquence de la différence des catégories sociales pour la valeur du temps, qui est plus élevée pour les ménages riches. D'autre part, les villes européennes, dont l'histoire est plus ancienne, présentent un avantage comparatif en termes d'aménités au centre par rapport à la périphérie. Si les préférences des ménages riches sont suffisamment fortes pour les attirer aux localisations centrales où ces aménités sont concentrées, la structure sociale qui en résulte sera de type européen.

Les différents types de ménages sont ainsi caractérisés par des comportements de consommation et de déplacement différents, qui découlent de leur niveau de ressources et de leurs préférences. Par exemple, la valeur accordée au temps par les ménages riches est plus élevée par rapport aux ménages pauvres. Puisque les déplacements en voiture sont à priori plus rapides, les ménages riches utilisent généralement plus intensivement ce mode de transport. De même, à conditions d'accessibilité identiques, les ménages riches consomment plus de superficie de logement que les ménages pauvres du fait de leurs revenus plus importants. En conséquence, dans une zone riche, la densité de la population est plus faible, et par la suite aussi le flux de déplacement générés par cette zone.

Dans ce contexte, la réaction des différentes catégories sociales à l'intervention des autorités publiques n'est pas identique. C'est pourquoi l'efficacité économique (et écologique) des politiques urbaines est fortement liée à la structure socio-spatiale de la ville. Habituellement, l'objectif du planificateur est d'améliorer le fonctionnement des transports urbains, par une réduction de la congestion et du niveau de pollution émise. Des politiques sont ainsi mises en place pour un usage plus intensif des transports en commun, qui génèrent moins de pollution. Dans ce but, le planificateur peut donc intervenir en qualité d'aménageur du territoire ou comme gestionnaire des infrastructures de transport, par la taxation ou la subvention des différents modes de transport.

Les politiques urbaines déclenchent des mécanismes complexes qui provoquent des effets différents à court terme et à long terme. Les effets à court terme passent par un changement des conditions et des coûts de chaque mode de transport. Les habitants vont réagir par une modification des comportements de déplacement, ce qui implique des impacts sur les niveaux de congestion et de pollution. Mais ces effets peuvent être plus profonds qu'une simple modification de l'intensité d'usage des transports urbains. A long terme, les modifications des coûts de déplacement et de l'attractivité de la ville conduisent à de nouvelles décisions de localisation, ce qui peut affecter fortement la structure de la ville. En retour, la modification de la structure socio-spatiale de la ville détermine de nouvelles conditions de déplacement et de qualité environnementale. Ainsi, la structure sociale de la ville non seulement influence les conditions et la structure de déplacements et la qualité environnementale, mais elle peut être également le résultat à long terme de ces deux facteurs. Dans ce contexte, la décision du planificateur ne doit pas être limitée à une perspective de court terme, parce que ces choix peuvent transformer radicalement la structure entière de la ville et des effets inattendus peuvent apparaître.

Compte tenu de tous ces éléments et de notre problématique, la thèse est divisée en quatre chapitres. Dans le premier chapitre nous avons étudié les modèles et les outils techniques proposés par la théorie économique et nécessaires à l'analyse des trois catégories de phénomènes urbains : localisation des agents, transports et environnement. Puisque dans la littérature, ces trois aspects sont traités le plus souvent séparément, le chapitre est composé de trois sections différentes.

Dans la première section nous avons réalisé un survol de l'économie urbaine, dont un des objectifs est d'expliquer les mécanismes de formation des villes et de leurs structures sociales. Avec cette revue de littérature, nous avons exploré différentes dimensions de la modélisation urbaine : modèles monocentrique et non-monocentriques, modèles statiques et

modèles dynamiques. D'abord nous avons développé le modèle de base de choix résidentiel, qui représente le fondement théorique pour toute la littérature économique urbaine et qui fournit les concepts de base et les principes utilisés dans nos modèles.

Rappelons brièvement les deux grands principes des modèles microéconomiques urbains:

- les différentes catégories d'agents économiques sont caractérisées par leur capacité à enchérir pour les différents types de biens fonciers et immobiliers présents dans la ville, enchères qui résultent fondamentalement d'un arbitrage entre coûts de transport et coûts du foncier. Cette capacité est déterminée par leurs besoins d'espace, la nature et l'importance des coûts de transport, la sensibilité aux externalités, le niveau de ressources.

-la structure de la ville est le résultat de la concurrence pour l'occupation de l'espace dont l'intensité est mesurée par les différences entre les fonctions d'enchères des différentes catégories d'agents, en particulier les membres de chacun des groupes sociaux. Chaque catégorie tend à occuper les zones où, du fait de l'intensité de ses préférences où du niveau de ses ressources, elle est le plus fort enchérisseur. Ainsi, la structure socio-spatiale de la ville se caractérise par une ségrégation entre les classes sociales.

Au fur et à mesure nous avons étudié des modèles de plus en plus complexes, avec des hypothèses spécifiques, mais le thème de tous ces modèles reste la localisation des ménages et des activités économiques dans le milieu urbain. Nous avons mis l'accent sur la localisation résidentielle, puisque c'est le sujet central de cette thèse : les structures sociales urbaines. Même avec des hypothèses souvent très restrictives, les modèles urbains réussissent à capturer l'essence du fonctionnement résidentiel urbain, pour démontrer des faits souvent retrouvés dans la réalité. Egalement, la littérature urbaine explique en fonction des multiples facteurs, les causes des différences de structures urbaines constatées dans les villes des différentes régions du monde.

Ce qui reste assez sommaire dans cette littérature est la modélisation du système des transports urbains, ce qui constitue le « système sanguin » des villes contemporaines. La spécification fonctionnelle des coûts transports reste très simpliste. En réalité, un individu est confronté à un choix complexe concernant les déplacements en milieu urbain. Ces choix ont un fort impact sur leurs décisions de localisation, et par la suite sur la structure sociale de la ville. Ainsi, dans la deuxième section du chapitre nous présentons les modèles de transports qui ont comme but surtout de détailler le fonctionnement du système de transports urbains. De ce fait, ces modèles ne prennent en compte le plus souvent que partiellement les autres aspects urbains, mais ils complètent les analyses d'économie urbaine.

Les problématiques spécifiques de l'économie des transports urbains concernent la modélisation des systèmes de transports urbains, la demande de déplacement, l'offre de transports publics et privés, l'application des politiques de transport (aménagement du territoire et politiques tarifaires) et les effets des transports et des politiques spécifiques de la ville (problèmes d'équité, structure socio-spatiale).

Souvent les modèles de transports urbains ont un but politique et offrent différentes solutions pour résoudre un des problèmes majeurs des villes contemporains : la congestion. Il existe un éventail d'instruments qui sont à la disposition du décideur public, comme les instruments tarifaires et l'offre d'infrastructures de transport et des services de transports en commun. Même si ces instruments devraient être utilisés simultanément afin d'arriver à un fonctionnement optimal du système de transport, à cause de difficultés techniques importantes, ils sont analysés en général individuellement. En plus, les interventions publiques possibles sont tellement nombreuses qu'il est pratiquement impossible de les analyser toutes dans un seul modèle.

Un aspect important est également la pollution urbaine, dont les transports sont le principal émetteur. L'impact écologique a des conséquences significatives sur l'évaluation des politiques de transport, parce qu'il influence le bien-être des individus. De plus, les effets de la pollution affectent les décisions de localisation des ménages, et ainsi, nous constatons que les structures urbaines sont très liées non seulement aux transports mais aussi à l'écologie. La dernière section du chapitre est consacrée à l'économie de l'environnement, en se concentrant notamment sur les aspects spatiaux de la pollution émise par les activités humaines en milieu urbain (pollution industrielle et des transports). La prise en compte des effets de la pollution et des politiques écologiques montrent que le fonctionnement de la ville peut être fortement influencé. Finalement, c'est l'étude de ces mécanismes qui constitue le cœur de cette thèse.

Dans le deuxième chapitre nous réalisons une étude empirique sur la ségrégation sociale des principales agglomérations françaises. Nous avons essayé de répondre aux questions suivantes : quelle est la situation actuelle des structures spatiales des agglomérations urbaines, les conclusions des modèles théoriques sont-elles vérifiées dans la réalité? Le but de ce chapitre était donc de vérifier s'il existe des caractéristiques communes aux structures socio-spatiales des agglomérations françaises et de vérifier si les ménages suivent les « règles » de localisation spécifiques aux villes européennes. La grande tendance constatée dans les agglomérations étudiées est la ségrégation spatiale forte entre les catégories les plus riches et les catégories les plus pauvres, ségrégation qui se renforce dans le temps. Un autre

résultat important réside dans le fait qu'à quelques exceptions près, le schéma de localisation de type européen (riches au centre, pauvres en périphérie) est retrouvé.

En connaissant maintenant la structure socio-spatiale des villes européennes, nous voulons d'abord comprendre pourquoi ces structures existent et pourquoi elles sont différentes de celle des villes nord-américaines. Ces questions constituent le thème central du troisième chapitre. Les facteurs explicatifs qu'on a développés sont la différenciation des coûts de transports des différentes catégories sociales et le rôle joué par les aménités locales sur la structuration de l'espace urbain.

Ainsi nous avons développé un modèle résidentiel dynamique où la répartition spatiale des aménités est modifiée de façon endogène par la distribution des classes sociales. Le principal résultat de ce chapitre réside dans le fait que le développement historique d'une ville, caractérisé par la formation d'aménités localisées, joue un rôle déterminant dans la structuration de la population dans l'espace urbain.

L'étude des équilibres stationnaires nous montre que les conditions d'existence d'un équilibre de type européen sont plus restrictives que celles de l'équilibre de type américain. Cela résulte du fait qu'un équilibre européen nécessite un processus temporel de switch de populations. Les facteurs qui favorisent l'existence de l'équilibre européen jouent à deux niveaux : sur les aménités (préférence des riches pour les aménités et leur dépréciation) et sur les enchères des deux catégories (rapport entre les revenus et les niveaux d'utilité des deux catégories sociales). La comparaison en termes d'optimalité entre les deux types de structures urbaines montre une supériorité d'une structure de type américain, quel que soit le cadre de modélisation (ville ouverte ou ville fermée).

Avec ce modèle nous avons trouvé trois causes différentes qui peuvent expliquer les contrastes de structures spatiales entre les villes européennes et les villes américaines. Une première explication possible peut être simplement une différence de préférences, de revenus et/ou des niveaux d'utilité des ménages. Par exemple, si les préférences des riches pour les aménités sont faibles, ceux-ci se localisent vers la périphérie, tandis que les ménages pauvres occupent la zone centrale de la ville. Ce type de structure sociale correspond aux villes nord-américaines.

Dans nos simulations dynamiques, on constate que les aménités peuvent à elles seules transformer la structure d'une ville au cours du temps. Ainsi, une autre explication pour les contrastes de structures socio-spatiales des villes européennes et des villes nord-américaine tient au fait que les dernières sont plus récentes et n'ont donc pas encore atteint leur équilibre d'état stationnaire. Initialement, la ville est sans aménité et les ménages riches se localisent

vers la périphérie, tandis que les ménages pauvres occupent la zone centrale de la ville. Ce type de structure sociale correspond aux villes nord-américaines, dont l'histoire est récente, et dont les aménités au centre sont donc sans rapport avec celles des villes européennes. Au contraire, les villes européennes sont beaucoup plus « anciennes ». Ainsi, dans un premier temps, les ménages riches étaient localisés à la périphérie, mais comme la ville a connu un long développement, les riches y sont restés, ce qui constitue aujourd'hui la zone centrale de la ville. Puisque la localisation des riches détermine une augmentation du niveau des aménités, les centres des villes européennes présentent un fort avantage comparatif en termes d'aménités par rapport aux banlieues.

Enfin, la valeur que les ménages accordent au temps constitue un autre facteur explicatif important concernant l'attraction des ménages riches vers le centre. Si les ménages riches ont une valeur du temps plus importante que celle des ménages pauvres, leurs coûts de transports généralisés seront aussi beaucoup plus élevés. Comme dans les modèles standard d'économie urbaine, nous avons montré qu'une différenciation des coûts de transport des deux catégories sociales peut déterminer un équilibre de long terme de type européen.

Après l'analyse des structures urbaines constatées dans le « monde réel » et l'analyse théorique des facteurs de la structuration de l'espace urbain, dans le dernier chapitre de cette thèse nous étudions l'impact des transports et des politiques afférentes sur la structure sociale de la ville et son fonctionnement écologique.

Les décisions de localisation en milieu urbain sont liées aux conditions de transports et aussi aux conditions écologiques, celles-ci étant à leur tour influencées par le fonctionnement du système de transports urbains. Toute modification de la répartition des déplacements provoque de réactions de la part des habitants, quant à leur localisation, mais aussi à leur comportement de consommation. Egalement, un changement du fonctionnement des transports urbains entraîne des changements sur le fonctionnement écologique de la ville, qui par la suite introduit un facteur supplémentaire dans les choix de localisation des ménages. Ainsi, on aboutit à une nouvelle structure socio-spatiale de la ville, qui nécessite une nouvelle répartition des déplacements et des nouveaux impacts écologiques et ainsi de suite... Dans ce schéma complexe, il est très difficile de prédire tous les effets possibles d'une certaine politique urbaine. Pour faire cela, nous avons créé un modèle et développé une maquette de simulation qui permettent d'intégrer l'ensemble des mécanismes nécessaires à l'étude des interactions entre politiques de transport, déplacements, structures urbaines et effet de serre.

Le planificateur peut en effet influencer le fonctionnement de la ville de deux manières. D'une part, il peut, par la tarification, modifier les prix sur la base desquels les

consommateurs prennent leurs décisions. Ainsi, par exemple, en l'absence de péage ou de stationnement payant, un automobiliste considère que le coût de son déplacement est la somme du coût du carburant et du coût d'usage du véhicule. Il ajoutera le montant du péage ou celui de la place de stationnement si ceux-ci deviennent payants. D'autre part, il peut, par l'aménagement de surfaces de voirie ou de stationnement, modifier les conditions du déplacement, la congestion étant plus ou moins forte. Egalement, les décisions d'aménagement affectent directement la surface disponible pour les logements, ce qui peut avoir un impact direct sur la structure sociale de la ville.

Les instruments pour lesquels nous simulons les effets sont ainsi : la taxation des déplacements en voiture (péage du stationnement, péage zonal, péage linéaire, péage de cordon), la tarification des transports en commun (politique de tarification unique ou différenciée) et enfin les instruments d'aménagements du territoire (superficie totale de stationnement, voirie des transport en commun et des déplacement en voiture et la superficie résidentielle). La version actuelle de la maquette nous permet de réaliser seulement des optimisations partielles, où l'on fait évoluer une variable de politique urbaine les autres restant constantes.

Au terme des simulations réalisées, quelques conclusions générales s'imposent de la comparaison entre les différents scénarii d'optimisation partielle. En premier lieu, l'intervention du planificateur (tarification, aménagement) peut déterminer de forts changements en termes de structure socio-spatiale urbaine, avec des effets plus importants dans le cas de politiques de tarification des transports en voiture par rapport aux autres instruments. Nous avons constaté que les politiques tarifaires des transports privés sont les instruments essentiels en termes d'efficacité économique et écologique, loin devant les politiques de tarification des transports en commun et d'aménagement du territoire. Une analyse des instruments de tarification de l'usage de la voiture montre que les instruments globaux qui affectent tous les usagers du système routier (péage zonal, péage linéaire) ont un impact plus important que les mesures partielles ne visant qu'une partie de la ville (les péages de cordon). Une dernière remarque porte sur le fait que les instruments tarifaires discriminants (péage linéaire, tarification différenciée des transports en commun) sont plus équitables que les instruments non-discriminants (péage zonal ou de stationnement, tarification unique des transports en commun).

Ainsi, parmi l'ensemble des instruments disponibles pour l'autorité publique, les instruments globaux de tarification de l'usage de la voiture sont de loin les plus efficaces. Si on se pose aussi la question d'équité, alors dans ce cas l'instrument le plus envisageable pour

gérer à la fois l'efficacité économique et maîtriser la qualité environnementale est le péage linéaire. Malheureusement en réalité ce type de péage présente non seulement des coûts importants qui ne sont pas pris en compte dans nos simulations, mais aussi des difficultés techniques. Une autre remarque à faire est qu'en réalité, le planificateur peut utiliser à la fois plusieurs instruments (tarifaires et d'aménagement) et ainsi, dans de recherches futures, une optimisation globale sera nécessaire afin de déterminer l'optimum de premier rang.

Plusieurs développements possibles sont envisageables, mais le fait le plus important est que dans cette thèse, nous avons négligé la localisation des entreprises et par conséquent la pollution émise par celles-ci. Il est important que dans des recherches futures, on puisse aborder dans ce cadre des questions relatives à l'impact de la régulation de la circulation sur les activités économiques, en particulier le fait que cette régulation puisse induire des déplacements vers la périphérie, ce qui supposera une évolution très significative du modèle. A partir du moment où l'on considère des entreprises mobiles, il faut expliciter leur demande de foncier et la confrontation entre ces dernières et la demande de logement des ménages. Ce qui passe par une représentation de leur demande de facteurs de production, en particulier le travail et la terre.

Il faut ainsi analyser le lien entre activités économiques et déplacements des ménages. Là encore, pour partie au moins, il faudra disposer d'une formalisation de la demande en facteur travail. De ce point de vue, on ne peut négliger le fait que l'activité économique génère deux types de déplacements intra-urbains des ménages très différents, les navettes domicile-travail et les déplacements pour l'acquisition de biens et/ou de services. Une des raisons essentielles de cette différence tient au fait que, dans le premier cas, les ménages satisfont une demande de facteur de production par les entreprises alors que, dans la seconde, ils vont à la rencontre d'une offre d'une partie de ces entreprises, celles qui relèvent principalement des secteurs du commerce et des services aux particuliers. Il faudra que le modèle rende compte de cette dichotomie, ce qui passera sans doute par l'introduction de deux secteurs d'activité.

A l'heure actuelle, nous avons considéré le revenu des ménages comme exogène, mais l'institution d'un marché de travail implique une endogénéisation des revenus et donc il faut trouver un autre moyen de différenciation des classes sociales (secteur de travail, qualification, etc...), afin d'aboutir à une hétérogénéité exprimée en termes de revenus d'équilibre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACUTT M. Z. et J. S. DODGSON (1997): “Controlling the Environmental Impacts of Transport: Matching Instruments to Objectives”, *Transportation Research D*, Vol. 2, No. 1, 17-33

ADEME (2002): “Analyse de la méthodologie COPERT III: Analyse d’incertitude et de sensibilité”, Rapport d’activité remis à l’ADEME par la Société de Calcul Mathématique SA, contrat no. 01 03 021

AGNEW C. E. (1976): “Dynamic Modeling and Control of Congestion-Prone Systems”, *Operations Research*, 24, 400-419

AGNEW C. E. (1976): “The Theory of Congestion Tolls”, *Journal of Regional Science*, 17, 381-393

ALONSO W. (1964): “Location and Land Use”, Cambridge, *Harvard University Press*;

ALLPORT R. J. (1981): “The Costing of Bus, Light Rail Transit and Metro Public Transport Systems”, *Traffic Engineering and Control*, 22, 633-639

AMENIYA T. (1981): “Qualitative Response Models: A Survey”, *Journal of Economic Literature*, 19, 1483-1536

AMIN, K et CAPOZZA, C.R. (1993): “Sequential Development”, *Journal of Urban Economics*, Volume 34, Pages 142-158

ANAS, A. (1978): “Dynamics of Urban Residential Growth”, *Journal of Urban Economics*, Volume 5, Pages 66-87

ANAS, A. (1980): “A Model of Residential Change and Neighborhood Tipping”, *Journal of Urban Economics*, 7, 358-370

ANAS A. (1987): “Modeling in Urban and Regional Economics”, Harwood Academic Publishers,

ANAS A., R. ARNOTT et SMALL K. A. (1998): “Urban Spatial Structure”, *Journal of Economic Literature*, 36, 1426-1464

ANAS A. et I. KIM (1996): “General Equilibrium Models of Polycentric Urban Land Use with Endogenous Congestion and Job Agglomeration”, *Journal of Urban Economics*, 40, 232-256

ANAS A. et R. XU (1999): “Congestion, Land Use, and Job Dispersion: A General Equilibrium Model”, *Journal of Urban Economics*, 45, 451-473

APPARICIO Ph. (2000): "Les indices de ségrégation résidentielle: un outil intégré dans un système d'information géographique", *Cybergeo* 134;

ARDENAKI S. et R. HERMAN (1987): “Urban Network-Wide Traffic Variables and Their Relations”, *Transportation Science*, 21, 1-16

ARNOTT, R. J. et MACKINNON J. G. (1977): “The Effects of Urban Transportation Changes: A General Equilibrium Simulation”, *Journal of Public Economics*, 8, 389-407

ARNOTT, R. J. et MACKINNON J. G. (1978): “Market and Shadow Land Rents with Congestion”, *American Economic Review*, 68, 588-600

ARNOTT, R. J., MACKINNON J. G. et WHEATON W. C. (1978): “The Welfare Implications of Spatial Interdependence: A Extension of Wheaton’s Optimal Distribution of Income Among Cities”, *Journal of Urban Economics*, 5, 131-136

ARNOTT, R. J. (1980): “A Simple Urban Growth Model with Durable Housing”, *Regional Science and Urban Economics*, 10, 53-76

ARNOTT R. J., D. Pines et E. SADKA (1986): “The effects of an Equiproportional Transport Improvement in a Fully-closed Monocentric City”, *Regional Science and Urban Economics*, 16, 387-406

ARNOTT, R. J., A. de PALMA et R. LINDSEY (1991): “A Temporal and Spatial Equilibrium Analysis of Commuter Parking”, *Journal of Public Economics*, 45, 301-335

ARNOTT, R. J., A. de PALMA et R. LINDSEY (1993): “A Structural Model of Peak-period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand”, *American Economic Review*, 83, 161-179

ARNOTT, R. J. (1998): “Congestion Tolling and Urban Spatial Structure”, *Journal of Regional Science*, 38, 3, 495-504

ARNOTT, R. J. et J. ROWSE (1999): “Modeling Parking”, *Journal of Urban Economics*, 45, 97-124

ARNOTT, R. J. et E. INCI (2006): “An Integrated Model of Downtown Parking and Traffic Congestion”, *Journal of Urban Economics*, 1-25

BAILEY, M. J. (1959): “Note on the Economics of Residential Zoning and Urban Renewal”, *Land Economics*, 35, 288-292

BANISTER D. (1994): “ Problèmes d’équité et d’acceptabilité posés par l’internalisation des coûts des transports”, en *Internaliser les coûts sociaux des transports*, édité par K. Button, E. Quinet, P. Kageson, A. Bleijenberg, D. Banister, D. Van Wreckem et A. Bonnafous, Paris, CEMTOCDE, p.169-194.

BATES J. (2000): “History of Demand Modelling”, *Handbook of Transport Modelling*, Chapitre 2, Edité par D. A. Hensher et K. J. BUTTON, Elsevier Science Ltd

BAUMOL W. J. et W. E. OATES (1975): “The Theory of Environmental Policy”, Englewood Cliffs: Prentice-Hall

- BECKMANN, M. J., C. B. McGUIRE et C. B. WINSTEN (1955):** “Studies in the Economics of Transportation”, New Haven, Yale University Press
- BECKMANN, M. J. (1968):** “Location Theory”, New York: Random House
- BECKMANN, M. J. (1969):** “On the Distribution of Urban Rent and Residential Density”, *Journal of Economic Theory*, 1, 60-68
- BECKMANN, M. J. (1973):** "Equilibrium models of residential land use", *Regional and Urban Economics*, 3, p. 361-368;
- BECKMANN, M. J (1974):** “Spatial equilibrium in the housing market”, *Journal of Urban Economics*, 1, p. 99-107;
- BECKMANN, M. J (1976):** “Spatial Equilibrium in the Dispersed City”, *Mathematical Land Use Theory*, Edité par G. J. Papageorgiou, Lexington Books
- BEESELEY M. E. et KEMP M. A. (1987):** “Urban Transportation”, *Handbook of Regional and Urban Economics*, Volume 2, Chapitre 26, Edité par E. S. Mills, Elsevier Science Publishers
- BELL W. (1954):** "A probability Model for the measurement of Ecological Segregation ", *American Sociological Review*, 32, 357-364;
- BEN-AKIVA M. E. (1974):** “Structure of Passenger Travel Demand Models”, *Transportation Research Record*, 526, 26-42
- BEN-AKIVA M. E. et LERMAN S. R. (1985):** “Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand”, Cambridge, MIT Press
- BEN-AKIVA M. E. et T. MORIKAWA (1990):** “Estimation of Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions”, *Transportation Research A*, 24, 485-495
- BERECHMAN J. (1983):** “Costs, Economies of Scale and Factor Demand in Road Transport”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 18, 7-24
- BERECHMAN J. et G. GIULIANO (1984):** “Economies of Scale in Bus Transit: A Review of Concepts and Evidence”, *Transportation*, 12, 313-332
- BOARDMAN A. E. et L. B. LAVE (1988):** “Highway Congestion and Congestion Tolls”, *Journal of Urban Economics*, 4, 340-359
- BONTE P. et G. ROTILLON (1998):** “L’économie de l’environnement”, Editions La Découverte, Paris
- BORUKHOV E. et HOCHLAN O. (1977):**”Optimum and Market Equilibrium in a Model City without a Predetermined Center”, *Environment and Planning A*, 9, 849-856
- BRAID R. M. (1996):** “Peak-Load Pricing of a Transportation Route with un Unpriced Substitute”, *Journal of Urban Economics*, 40, 179-197

BRUECKNER K. J. (1980a): “A Vintage Model of Urban Growth”, *Journal of Urban Economics*, 8, Pages 389-402

BRUECKNER K. J. (1980b): “Residential Succession and Land-Use Dynamics in a Vintage Model of Urban Housing”, *Regional Science and Urban Economics*, 10, 225-240

BRUECKNER K. J. (1981): “A Dynamic Model of Housing Production”, *Journal of Urban Economics*, Volume 10, Pages 1-14

BRUECKNER K. J. (1987): “The Structure of Urban Equilibria: A Unified Treatment of the Muth-Mills Model”, *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. 2, édité par E. S. Mills, Elsevier Science Publishers, 821-845”

BRUECKNER K. J. (1991): " The Structure of Urban Equilibria: A unified Treatment of the Muth-Mills Model ", *Handbooks of Regional and Urban Economics*, Vol II Urban Economics, p. 821-845, Princeton University;

BRUECKNER K. J., Thisse J. F. et Zenou Y. (1999): "Why is central Paris rich and downtown Detroit poor? An amenity based theory ", *European Economic Review* 43, p. 91-107;

BRUECKNER K. J. (2000): “Urban Growth Models with Durable Housing: An Overview”, *Economics of Cities – Theoretical Perspectives*, Chapitre 7, Pages 263-289

BRUN, J. (1994) “Essai critique sur la notion de ségrégation et son usage en géographie urbaine”, *La ségrégation dans la ville*, L'Harmattan, Paris, 21-57.

BUTTON K. J et K. J. O'DONNELL (1985): “An Examination of the Cost Structures Associated with Providing Urban Bus Services in Britain”, *Scottish Journal of Political Economy*, 32, 67-81

CANDIFF R. E. (1999): " Using Geographic Information Systems to Measure Segregation in U.S. Metropolitan Areas ", Université de Texas, Austin, le département de géographie;

CAPOZZA C.R. et HELSEY R.W. (1989): “The Fundamentals of Land Prices and Urban Growth”, *Journal of Urban Economics*, Volume 26, Pages 295-306

CAPOZZA C.R. et HELSEY R.W. (1990): “The Stochastic City”, *Journal of Urban Economics*, Volume 28, Pages 187-203

CAUDILL R. J., R. A. KAPLAN et A. TAYLOR-HARRIS (1983): “Developing Bus Operating Cost Models: A Methodology”, *Journal of Transportation Engineering*, 109, 273-285

CENTER FOR TRANSPORTATION ANALYSIS, ENGINEERING SCIENCE & TECHNOLOGY DIVISION (2002): “Transportation Energy Data Book, Edition 22”, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, U.S. Department of Energy, ORNL-6967

CERVERO R. (1982): “Multistage Approach for Estimating Transit Costs”, *Transportation Research Record*, 877, 67-75

CERVERO R et K-L WU (1997): “Polycentrism, Commuting, and Residential Location in the San Francisco Bay Area”, *Environment and Planning A*, 29, 865-886

CHATTOPADHAYAY S. (1996): “Hedonic Valuation of Environmental Amenities and Issues of Model Selection: A Study of the Chicago Housing Market”, working paper, l'Université de l'Illionois;

CHATTOPADHAYAY S. (1998): " An Empirical Investigation into the Performance of Ellicson's Random Bidding Model, with an Application to Air Quality Valuation ", *Journal of Urban Economics* 43, p. 292-314;

CLAWSON M. et J. KNETSCH (1966): “Economic Outdoor Recreation”, Baltimore, The Johns Hopkins University Press

COASE R. H. (1960): “The Problem of Social Cost”, *Journal of Law and Economics*, 3, 1-44

COHEN Y. (1987): “Commuter welfare under peak period congestion tolls: who gains and who loses?”, *International Journal of Transport Economics*, 14 (3), 239-266

COLEMAN R. R. (1961): “A Study of Urban Travel Times in Pennsylvania Cities”, *Highway Research Board Bulletin*, 303, 62-75

DABBERDT W. F., F. L. LUDWIG et W. B. JOHNSON (1973): “Validation and Applications of an Urban Diffusion Model for Vehicular Pollutants”, *Atmospheric Environment*, 7, 603-618

D’ACIERNO L., M. GALLO et B. MONTELLA (2006): “Optimisation Models for the Urban Parking Pricing Problem”, *Transport Policy*, Vol. 13, No. 1, 34-48

DANIELS R. et V. ADAMOWICZ (2000): “Environmental Valuation”, *Handbook of Transport Modelling*, édité par D. A. Hensher et K. J. Button, Ch. 17, 285-301, Elsevier Science LTD.

DAVIDSON J. D. (1973): “Forecasting traffic on STOL”, *Operational Research Quarterly*, 24, 561-569

De BORGER B., S. OCHELEN, S. PROOST et D. SWYSEN (1997): “Alternative Transport Pricing and Regulation Policies: A Welfare Analysis for Belgium in 2005”, *Transport Research D*, Vol. 2, No. 3, 177-198

De BORGER B. et S. WOUTERS (1998): “Transport Externalities and Optimal Pricing and Supply Decisions in Urban Transportation: a Simulation Analysis for Belgium”, *Regional Science and Urban Economics*, 28, 163-197

De GROOT H. L. F., E. T. VERHOEF et P. NIJKAMP (2001): “Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies”, *Energy Economics*, 23, 717-740

- De PALMA A., M. KILANI et R. LINDSEY (2005):** “Congestion Pricing on a Road Network: A Study Using the Dynamic Equilibrium Simulator METROPOLIS”, *Transportation Research A*, 39, 588-661
- De PALMA A. et R. LINDSEY (2006):** “Modelling and Evaluation of Road Pricing in Paris”, *Transport Policy*, 13, 115-126
- DERYCKE P. H. (1997):** “Le péage urbain – Histoire – Analyse – Politique”. *Economica*
- DERYCKE P. H. (2000):** “Perspectives - Mobilité, congestion, péage. Réflexions sur les politiques de réduction de l'encombrement urbain”, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 157-168.
- DeSALVO J. S. et M. HUQ (1996):** “Income, Residential Location, and Mode Choice”, *Journal of Urban Economics*, 40, 84-99
- DIXIT, A. (1978):** “The Optimum Factory Town”, *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, 637-651
- DODGSON J. S. (1986):** “Benefits of Changes in Urban Public Transport Subsidies in the Major Australian Cities”, *The Economic Record*, 62, 224-235
- DODGSON J. S. et N. TOPHAM (1987):** “Benefit-Cost Rules for Urban Transit Subsidies”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 21, 57-71
- DOMENICH T. et L. McFADDEN (1975):** “Urban Travel Demand – A Behavioral Analysis”, North Holland, Amsterdam
- DOWNING P. B. et L. J. WHITE (1986):** “Innovation in pollution control” *Journal of Environment Economy and Management*, 13, 18–29.
- D’OUVILLE E. L. et J. F. McDONALD (1990):** “Optimal Road Capacity with Suboptimal Congestion Toll”, *Journal of Urban Economics*, 28, 24-49
- DIJKSTRA B. R. (2003):** “Direct regulation of a mobile polluting”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 45, 265–277.
- DIJKSTRA B. R. et De VRIES F. P. (2006):** “Location Choice by Households and Polluting Firms: An Evolutionary Approach”, *European Economic Review*, 50, 425-466
- DUNCAN D. et DUNCAN B. (1955):** “A methodological distance decay parameters”, *Analys of the association of the American Geographers*, 71, p. 425-436;
- DUFF V. et M. STRASZHEIM (1982):** “Auto Pollution and Congestion in an Urban Model: an Analysis of Alternative Strategies”, *Journal of Urban Economics*, 12, 11-31
- DUPOUIT J. (1849) :** “De l’influence des péages sur l’utilité des voies de communication”. *Annales des Ponts et Chaussées*, 207, 170-248.

- EARNHART Dietrich (2002):** " Combining Revealed and Stated Data to Examine Housing Decisions Using Discrete Choice Analysis ", *Journal of Urban Economics* 51, p. 143-169;
- ELSE P. K. (1986):** "No entry for congestion taxes ?", *Transportation Research*, 20A, 99-107
- EMMERINK R. H. M., P. NIJKAMP et P. RIETVELD (1995):** "Is congestion pricing a first-best strategy in transport policy? A critical review of arguments", *Environment and Planning B*, 22, 581-602
- ENGEL R. F., F. M. FISHER, J. R. HARRIS et J. ROTHENBERG (1972):** "An Econometric Simulation Model of Intra-metropolitan Housing Location: Housing, Business, Transportation and Local Government", *American Economic Review*, 62, 87-97
- EVANS L. et R. HERMAN (1978):** "Automobile Fuel Economy and Fixes Urban Driving Schedules", *Transportation Science*, 12, 137-152
- EVANS A.W. (1992):** "Road congestion pricing: when is it a good policy?", *Journal of Transport Economics and Policy*, 26, 213-244.
- FERRARI P. (1995):** "Road Pricing and Network Equilibrium", *Transport Research B*, 29B, 5, 357-372
- FERRARI P. (1997):** "Capacity Constraints in Urban Transport Networks", *Transport Research B*, 31, 4, 291-301
- FERRARI P. (1999):** "A Model of Urban Transport Management", *Transport Research B*, 33, 43-61
- FERRARI P. (2005):** "Road Pricing and User's Surplus", *Transport Policy*, 12, 477-487
- FLEET C. R. et S. R. ROBERTSON (1968):** "Trip generation in the transportation planning process", *Highway Research Record*, 240, 11-31, National Research Council, Highway Research Board, Washington
- FISCH O. (1980):** "Spatial Equilibrium with Locational Interdependencies: The Case of Environmental Spillovers", *Regional Science and Urban Economics*, 10, 201-209
- FREEMAN A. M. (1993):** "The measurement of environmental and resource values", Baltimore, Resources for the Future Press
- FUJITA A. (1976):** "Spatial Patterns of Urban Growth: Optimum and Market", *Journal of Urban Economics*, 3, 209-241
- FUJITA M. (1982):** "Spatial Patterns of Residential Development", *Journal of Urban Economics*, 12, 22-52
- FUJITA M. et OGAWA H (1982):** "Multiple Equilibria and Structural Transition of Nonmonocentric Urban Configurations", *Journal of Regional Science and Urban Economics*, 12, 161-196

FUJITA M. et KASHIWADANI M. (1984a): “The Spatial Growth of Tokyo: Theoretical and Empirical Analysis”, *Structural Economic Analysis and Planning in Time and Space*, ed par W Isard, A. E. Anderson, T. Puu et U. Schweizer, Amsterdam, North Holland

FUJITA M. et KASHIWADANI M. (1984b): “Testing the Efficiency of Urban Spatial Growth: A Case Study of Tokyo”, *Journal of Urban Economics*

FUJITA M. (1985): "Existence and uniqueness of equilibrium and optimal land use: Boundary rent curve approach ", *Regional Science and Urban Economics*, 15, p. 295-324;

FUJITA M. (1986): “Urban Land Use Theory”, *Location Theory*, édité par J. J. Gabszewicz, J-F Thisse, M. Fujita et U. Schweizer, 73-149, Chur, Suisse, Harwood

FUJITA M. (1989): “Economic Theory: Land Use and City Size”, *Cambridge University Press*

FUJITA M., P. KRUGMAN, A. J. VENABLES (1999): “The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade”, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge

FWA T. F. et B. W. ANG (1992): “Estimating Automobile Fuel Consumption in Urban Traffic”, *Transportation Research Record*, 1366, 3-10

GARTNER N. H. (1980): “Optimal Traffic Assignment with Elastic Demands: A Review Part 1: Analysis Framework”, *Transportation Science*, 14, 174-191

GAUDRY M. J. I et M. J. WILLS (1978): “Estimating the Functional Form of Travel Demand Models”, *Transportation Research B*, 12, 257-289

GAUDRY M. J. I et M. G. DAGENAIS (1979): “The Dogit Model”, *Transportation Research B*, 13, 105-111

GAUDRY M. J. I, S. R. JARA-DIAZ et J. D. ORTUZAR (1989): “Value of Time Sensivity to Model Specification”, *Transportation Research B*, 23, 151-158

GILLEN D. (1977): “Estimation and Specification of the Effects of Parking Costs on Urban Transport Mode Choice”, *Journal of Urban Economics*, 4, 186-199

GIULIANO G. et K. A. SMALL (1991): “Subcenters in the Los Angeles Region”, *Regional Science and Urban Economics*, 21, 163-182

GIULIANO G. (1992): “An assessment of the political acceptability of congestion pricing”, *Transportation*, 19 (4), 335-358.

GLAISTER S. et D. LEWIS (1978): “An Integrated Fares Policy for Transport in London”, *Journal of Public Economics*, 9, 341-355

GLAISTER S. (1986): “Bus Deregulation, Competition and Vehicle Size”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 20, 217-244

GLAISTER S. (1987): “The Allocation of Urban Public Transport Subsidy”, *Transport UK 1987: An Economic, Social and Policy Audit*, édité par A. Harrison et J. Gretton, Newbury, England, Policy Journals

GLAZER A. (1981): “Congestion tolls and consumer welfare”, *Public Finance*, 36, 77-83

GLAZER A. et E. NISKANEN (1992): “Parking Fees and Congestion”, *Regional Science and Urban Economics*, 22, 123-132

GOLOB T. F. et M. J. BECKMANN (1971): “A Utility Model for Travel Forecasting”, *Transportation Science*, 5, 79-90

GRONAU R. (1993): “Optimal Road Capacity with Suboptimal Congestion Toll”, *Journal of Urban Economics*, 36, 1-7

HAIGHT F (1963): “Mathematical Theories of Traffic Flow”, New York, Academic Press

HARRINGTON W. (1997): “Fuel Economy and Motor Vehicle Emissions”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 33, 240-252

HARTWICK P. G. et J. M. HARTWICK (1974): “Efficient Resource Allocation in a Multinucleated City with Intermediate Goods”, *Quarterly Journal of Economics*, 88, 350-352

HARTWICK, J. M., SCHWEIZER U. et VARAIYA P. (1976): “Comparative Statics of a Residential Economy with Several Classes”, *Journal of Economic Theory*, 13, 396-413

HENDERSON, J. V. (1975): “Congestion and the Optimum City Size”, *Journal of Urban Economics*, 2, 48-62

HENDERSON, J. V. (1977): “Economic Theory and the Cities”, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, New York

HENDERSON, J. V. (1981): “The Economics of Staggered Work Hours”, *Journal of Urban Economics*, 9, 349-364

HENDERSON, J. V. (1985): “Economic Theory and the Cities”, deuxième édition, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, New York

HENSHER D. A. et L. W. JOHNSON (1981): “Applied Discrete Choice Modeling”, Londres, Croom Helm

HERMAN R. et S. ARDEKANI (1985): “The Influence of Stops on Vehicle Fuel Consumption in Urban Traffic”, *Transportation Science*, 19, 1-12

HOCHMAN O. et H. OFEK (1977): “The Value of Time in Consumption and Residential Location in an Urban Setting”, *American Economic Review*, 67, 996-1003

HOEL M. (1997): “Environmental policy with endogenous plant locations”, *Scandinavian Journal of Economics*, 99, 241–259.

HOEL M. et P. SHAPIRO (2003): “Population mobility and transboundary environmental problems”, *Journal of Public Economics*, 87, 1013–1024

HOROWITZ J. L. et L. M. PERNELA (1974): “Analysis of Urban Area Automobile Emissions According to Trip Type”, *Transportation Research Record*, 492, 1-8

HOROWITZ J. L. et L. M. PERNELA (1974): “Comparison of Automobile Based on Trip Type in Two Metropolitan Areas”, *Transportation Research Record*, 580, 13-21

HUTCHEMS R. (2001): "Numerical measures of segregation: desirable properties and their implications ", *Mathematical Social Sciences*, 42, 13-29;

HYMAN G. et L. MAYHEW (2002): “Optimizing the Benefits of Urban Road User Charging”, *Transport Policy*, 9, 289-207

INMANN R. P. (1978): “A Generalized Congestion Function for Highway Travel”, *Journal of urban Economics*, 5, 21-34

INSTITUTE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND THERMODYNAMICS (1998): “Instantaneous Emission Data and Their Use in Estimating Passenger Car Emissions”, édité par R. Pischinger, Reports of the Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, Technical University Graz, Vol. 74

INRETS – INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE (1999): “Methods of Estimation of Atmospheric Emissions from Transport: European Scientist Network and Scientific State-of-the-art, Action COST 139 Final Report”, édité par R. Joumard, LTE 9901 report

JAKUBS, J.F. (1981) “A Distance Based Segregation Index”, *Journal of Socio-Economic Planning Sciences*, 15, 129-141

JAMES David R et K. E. TAEUBER (1985): "Measures of segregation", *Sociological Methodology*, 1-32

JOHANSONN O. (1997): “Optimal Road-Pricing: Simultaneous Treatment of Time Losses, Increased Fuel Consumption, and Emissions”, *Transportation Research*, Vol. 2, No. 2, 77-87

JOHANSONN-STENMAN O. (2006): “Optimal Environmental Road Pricing”, *Economics Letters*, 90, 225-229

JANSSON K. O (1980): “A Simple Bus Line Model for Optimisation of Service Frequency and Bus Size”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 14, 53-80

JOHNSON M. B. (1964): “On the Economics of Road Congestion”, *Econometrica*, 32, 137-150

JUNG C., K. KRUTILLA et R. BOYD (1996): “Incentives for advanced pollution abatement technology at the industry level: an evaluation of policy alternatives”, *Journal of Environment Economy and Management*, 30, 95–111

- KAHN L. M. et K. MORIMUNE (1979):** “Unions and Employment Stability: A Sequential Logit Approach”, *International Economic Review*, 20, 217-235
- KANEMOTO, Y (1980):** “Theories of Urban Externalities”, *Studies in Regional Science and Urban Economics*, édité par A. Andersson et W. Isard, Vol. 6, North-Holland, Amsterdam
- KANEMOTO, Y (1987):** “Externalities in Space”, *Urban Dynamics and Urban Externalities*, édité par T. Miyao et Y. Kanemoto, 43-103, Chur, Suisse: Harwood
- KELLER T. E. et K. A. SMALL (1977):** “Optimal Peak-Load Pricing, Investment and Service Levels on Urban Expressways”, *Journal of Political Economy*, 85, 1-25
- KERN C. R. (1981):** “Racial Prejudice and residential segregation: The Yinger Model Revisited”, *Journal of Urban Economics*, 10, 164-172
- KNIGHT F. (1924):** “Some Fallacies in the Interpretation of Social Costs”, *Quarterly Journal of Economics*, 38, 582-606
- KRAUS M. H. MOHRING et T. PINFOLD (1976):** “The Welfare Costs of Nonoptimum Pricing and Investment Policies for Freeway Transportation”, *The American Economic Review*, 66, 532-547
- KRAUS M. (1989):** “The Welfare Gains from Pricing Road Congestion Using Automatic Vehicle Identification and On-vehicle Meters”, *Journal of Urban Economics*, 25, 261-281
- KRAUS M. (1991):** “Discomfort Externalities and Marginal Cost Transit Fares”, *Journal of Urban Economics*, 29, 249-259
- LAJOIE G. (2000):** " La ségrégation des populations urbaines de 1982 à 1990 ", *Données Urbaines*, Vol. 2, p. 191-206, Ed. Economica;
- LANCASTER J. K. (1966):** "A new approach to consumer theory", *Journal of Political Economy* 74 2, 132-157
- LANGMYRH T. (1997):** “Managing equity. The case of road pricing”, *Transport Policy*, vol. 4, n° 1, 25-39
- LERMAN S.R. et C. R. KERN (1983):** " Hedonic theory, bid rents, and willingness to pay: Some extensions of Ellickson's results ", *Journal of Urban Economics*, 13, p. 358-363;
- LeROY S. F. et J. SONSTELIE (1983):** “Paradise Lost and Regained: Transportation Innovation, Income and Residential Location”, *Journal of Urban Economics*, 13, 67-89
- LIU L. N. et J. F. McDONALD (1998):** “Efficient Congestion Tolls in the Presence of Unpriced Congestion: A Peak and Off-Peak Simulation Model”, *Journal of Urban Economics*, 44, 352-366
- LIU L. N. et J. F. McDONALD (1999):** “Economic Efficiency of Second-Best Congestion Pricing Schemes in Urban Highway System”, *Transportation Research B*, 33, 157-188

- LIVESEY, D. A. (1973):** “Optimum City Size: A Minimum Congestion Cost Approach”, *Journal of Economic Theory*, 6, 144-161
- LOUVIERE J. et D. STREET (2000):** “Stated-Preference Methods”, *Handbook of Transport Modelling*, Chapitre 8, édité par D. A. Hensher et K. J. Burton, Elsevier Science Ltd., 131-143
- MAGAT, W. A. (1978):** “Pollution control and technological advance”, *Journal of Environment Economy and Management*, 5, 1–25.
- MALUEG D. A. (1989):** “Emission credit trading and the incentive to adopt new pollution abatement technology”, *Journal of Environment Economy and Management*, 16, 52–57.
- MANSKI C. F. et S. R. LERMAN (1977):** “The Estimation of Choice Probabilities from Choice Based Samples”, *Econometrica*, 45, 1977-1988
- MARPSAT M, CHENU A. (2000):** " Structures spatiales et spatiales ", *Données Urbaines*, Vol. 3, p. 137-140, Ed. Economica;
- MASSEY, D.S. (1985)** “Ethnic Residential segregation: a theoretical synthesis and empirical Review”, *Sociology and Social Research*, 69 (3): p. 315-350
- MASSEY D. S. et DENTON N A. (1988):** "The dimensions of residential segregation", *social forces*, 67 (2), p. 281-315;
- MASSEY, D.S., WHITE, M.J. et PHUA, V.C. (1996)** “The dimensions of Segregation Revisited”, *Sociological methods & Research*, 25 (2), p. 172-205.
- MAYERES I., S. OCHELEN et S. PROOST (1996):** “The Marginal External Cost of Urban Transport”, *Transportation Research D*, Vol.1, No. 2, 11-130
- McCONNELL V. D. (1986):** “Automobile Use and Locational Independencies”, *Journal of Regional Science*, 26, 3, 475-498
- McDONALD J. F et J. PRATHER (1994):** “Suburban Employment Centres: The Case of Chicago”, *Urban Studies*, 31, 201-218
- McFADDEN D. (1973):** “Conditional logit analysis of qualitative choice behavior”, *Frontiers in Econometrics* ", Academic Press, New York, p. 105-142
- McFADDEN D. (1978):** “Modelling the Choice of Residential Location”, *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*, édité par C. F. Manski et D. McFadden, Cambridge, MIT Presse, 198-272
- McFADDEN D. (1984):** “Econometric Analysis of Probabilistic Choice”, *Handbook of Econometrics*, Vol. 2, édité par Z. Griliches et M. D. Intriligator, Amsterdam, North-Holland, 1395-1457
- McMILLEN D. P. (1996):** “One Hundred Fifty Years of Land Values in Chicago: A Nonparametric Approach”, *Journal of Urban Economics*, 40, 100-124

- McMILLEN D. P. et McDONALD J. F. (1998):** “Suburban Centers and Employment Density in Metropolitan Chicago”, *Journal of Urban Economics*, 43, 157-180
- McNALLY M. G. (2000):** “The Four-Step Model”, *Handbook of Transport Modelling*, Chapitre 3, Edité par D. A. Hensher et K. J. BUTTON, Elsevier Science Ltd
- MEYER J. R., J. F. KAIN et M. WOHL (1965):** “The Urban Transportation Problem”, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press
- MILLIMAN S. R. et R. PRINCE (1989):** “Firm incentives to promote technological change in pollution control”, *Journal of Environment Economy and Management*, 17, 247–265.
- MILLS, E.S. (1967):** “An Aggregative Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area”, *American Economic Review*, Volume 57, Pages 197-210
- MILLS, E.S. et DEFERRANTI D. M. (1971):** “Market Choices and Optimum City Size”, *The American Economic Review*, 61, 340-345
- MILLS, E.S. (1972a):** “Studies in the Structure of the Urban Economy”, Baltimore, Johns Hopkins Press
- MILLS, E.S. (1972b):** “Urban Economics”, Sott, Foresman and Co.
- MILLS, E.S. et MACKINNON J. (1973):** “Notes on the New Urban Economics”, *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, 593-601
- MILLS D. E. (1983):** “The Timing of Urban Residential Land Development”, *Research in Urban Economics*, 3, édité par J. V. Henderson, 37-58, Greenwich: JAI Press
- MIRABEL F. (1999):** “Répartitions modale urbaines, externalités et instauration de péages: Le cas des externalités de congestion et des « externalités modales croisées »”, *Revue Economique*, 1007-1027
- MIYAO, T. (1977):** “A Long-Run Analysis of Urban Growth over Space”, *Canadian Journal of Economics*, 10, 678-686
- MIYAO, T. (1978a):** “Dynamic Instability of a Mixed City in the Presence of Neighbourhood Externalities”, *American Economic Review*, 68, 454-463
- MIYAO, T. (1978b):** “A Probabilistic Model of Location Choice with Neighborhood Effects”, *Journal of Economic Theory*, 19, 357-368
- MIYAO, T. (1979):** “Dynamic Stability of An Open City with many households classes”, *Journal of Urban Economics*, Volume 6, Pages 292-298
- MIYAO, T. (1981):** “Dynamic Analysis of the Urban Economy”, New York, Academic Press
- MIYAO, T. (1983):** “Rural and Urban Population Changes and the Stages of Economic Development: a Unified Approach”, *Environment and Planning A*, 8, 139-149

- MIYAO, T. (1987):** “Dynamic Urban Models”, *Handbook of Regional Science and Urban Economics, Volume 2, Chapitre 22, Pages 877-925*
- MOHRING H. et M. HARWITZ (1962):** “Highway Benefits: An Analytical Framework”, Evanston, Illinois, Northwestern University Press
- MOHRING H. (1965):** “Urban Highway Investments”, *Measuring Benefits of Government Investment*, édité par R. Dorfman, Washington, The Brookings Institution, 231-275
- MOHRING H. (1970):** “The Peak Load Problem with Increasing Returns and Pricing Constraints”, *American Economic Review*, 60, 693-705
- MOHRING H. (1972):** “Optimization and Scale Economies in Urban Bus Transportation”, *American Economic Review*, 62, 591-604
- MOORE A. J., P. P. JOVANIS et F. S. KOPPELMAN (1984):** “Modeling the Choice of Work Schedule with Flexible Work Hours”, *Transportation Science*, 18, 141-164
- MORRILL, R. (1991)** “On the measure of geographic segregation”, *Geography research forum*, 11: p. 25-36.
- MOTTA M. et THISSE, J.-F. (1994):** “Does environmental dumping lead to delocation?”, *European Economic Review*, 38, 563–576.
- MUN S., K. KONISHI et K. YOSHIKAWA (2003):** “Optimal Cordon Pricing”, *Journal of Urban Economics*, 54, 21-38
- MUN S., K. KONISHI et K. YOSHIKAWA (2003):** “Optimal Cordon Pricing in a Non-Monocentric City”, *Transportation Research A*, 39, 723-736
- MUTH R. F. (1969):** "Cities and Housing ", University of Chicago Press;
- MUTH R. F. (1971):** “The Derived Demand for Urban Residential Land”, *Urban Studies*, 8, 243-254
- MUTH R. F. (1975):** “Numerical Solutions of Urban Residential Land Use Models”, *Journal of Urban Economics*, 2, 307-332
- NELSON G. R. (1972):** “An Econometric Model of Urban Bus Transit Operations”, *Economic Characteristics of the Urban Public Transportation Industry*, Chapitre 4, édité par J. D. Wells et al., Institute for Defense Analyses, U.S. Government Printing Office
- NELSON J. P. (1978):** “Economic Analysis of Transportation Noise Abatement”, Cambridge, Massachusetts, Ballinger
- NIEDERCORN J. H. et B. V. BECHDOLT (1969):** “An Economic Derivation of the Gravity Law of Spatial Interaction”, *Journal of Regional Science*, 9, 273-282

- NISKANEN E. (1987):** “Congestion tolls and consumer welfare”, *Transportation Research*, 21B, 171-174.
- NTZIACHRISTOS L. et Z. SAMARAS (2000):** “COPERT III: Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport – Methodology and Emissions Factors”, Technical Report No. 49, European Environment Agency, Copenhagen
- OGAWA H. et M. FUJITA (1980):** “Equilibrium Land Use Patterns in a Nonmomocentric City”, *Journal of Regional Science*, 20, 1980
- O’FLAHERTY, B (1993):** “Abandoned Buildings: A Stochastic Analysis”, *Journal of Urban Economics*, 34, 43-74
- ORON Y., D. PINES et E. SHESHINSKI (1974):** “The effect of nuisances associated with urban traffic on suburbanization and land values”, *Journal of Urban Economics*, 1, 382-395
- ORR, L. (1976):** “Incentive for innovation as the basis for effluent charge strategy”, *American Economic Review*, 66, 441–447.
- PAPAGEORGIU, G. J. et E. CASSETI (1971):** “Spatial Equilibrium Residential Land Values in a Multicentric Setting”, *Journal of Regional Science*, 11, 385-389
- PAPAGEORGIU, G. J. (1978a):** “Spatial Externalities II: Applications”, *Annals of the Association of American Geographers*, 68, 465-476
- PAPAGEORGIU, G. J. (1978b):** “Spatial Externalities I: Theory”, *Annals of the Association of American Geographers*, 68, 477-492
- PAPAGEORGIU, G. J. (1980):** “On Sudden Urban Growth”, *Environment and Planning A*, 12, 1035-1050
- PAPON F. (1988):** “Tarification de la congestion et effets redistributifs”, *Transports*, 330, 332-336
- PARRY I. W. H. et A. BENTO (2002):** “Estimating the Welfare Effect of Congestion Taxes: The Critical Importance of Other Distortions within the Transport System”, *Journal of Urban Economics*, 51, 339-365
- PAYNE H. J. (1984):** “Discontinuity in Equilibrium Freeway Traffic Flow”, *Transportation Research Record*, 971, 140-146
- PETIOT R. (2002):** “Répression du stationnement frauduleux et congestion routière urbaine: Une approche théorique”, *Revue d’Economie Régionale et Urbaine*, 2, 275-295
- PIGOU A. C. (1920):** “The Economics of Welfare”, MacMillan, London
- POOLE R.W. (1992):** “Introducing congestion pricing on a new toll road”, *Transportation*, 198(4), 383-396.

- PROOST S. et K. Van DENDER (2001):** “The Welfare Impacts of Alternative Policies to Address Atmospheric Pollution in Urban Road Transport”, *Regional Science and Urban Economics*, 31, 383-411
- QUANDT R. E. et W. J. BAUMOL (1966):** “The Demand for Abstract Transport Modes: Theory and Measurement”, *Journal of Regional Science*, 6, 13-26
- QUINET E. (1998):** “Principes d’Economie des Transports”, Economica, Paris
- RHEIN, C. (1994)** « La ségrégation et ses mesures », *La ségrégation dans la ville*, L'Harmattan, Paris, p. 121-161.
- RHEIN C. (2000):**“Structures sociales en Île-de-France ”, *Données Urbaines*, Vol. 3, p. 211-225, Ed. Economica;
- RIDKER R. G. et J. A. HENNING (1967):** “The Determinants of Residential of Property Values With Special Reference to Air Pollution”, *Review of Economics and Statistics*, 49, 246-257
- ROBSON J. (1976):** “Two Models of Urban Air Pollution”, *Journal of Urban Economics*, 3, 264-285
- ROLIN O. (2005):** “La baisse des vitesses et des consommations de carburant des voitures”, *Notes de Synthèses du SES*, No. 157, Janvier-Février
- ROSE-AACKERMAN, S. (1975):**”Racism and Urban Structure”, *Journal of Urban Economics*, 2, 85-103
- ROSE-AACKERMAN, S. (1977):**”The Political Economy of a Racist Housing Market”, *Journal of Urban Economics*, 4, 150-169
- ROSEN S. (1974):** “Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in perfect competition”, *Journal of Political Economy*, 82;
- ROUWENDAL J. (1996):** “An Economic Analysis of Fuel Use per Kilometre by Private Cars”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 30, 3–14.
- ROUWENDAL J. et E. T.VERHOEF (2003):** “Second-Best Pricing for Imperfect Substitutes in Urban Networks”, *Timbergen Institute Discussion Paper*, TI 2003-085/3
- SALOMON I. (1986):** “Telecommunications and Travel Relationships: A Review”, *Transportation Research A*, 20, 223-238
- SAMARAS Z. et L. NTZIACHRISOS (1998):** “Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport – Average Hot Emissions Factors for Passenger Cars and Light Duty Trucks”, LAT Report No. 9811, Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristotle University Thessaloniki

- SASAKI K. et M. KAIYAMA (1990):** “The Effects of Urban Transportation Costs on Urban Spatial Structure with Endogenous Wage Income”, *Regional Science and Urban Economics*, 20, 223-243
- SAUTORY Olivier (1995):** " La statistique descriptive avec le système SAS ", *INSEE Guides* No. 1-2;
- SCHNARE, A. B. (1976):** “Racial and Ethnic Price Differentials in an Urban Housing Market”, *Urban Studies*, 13, 107-120
- SCHNARE, A. B. et MACRAE, C. D. (1978):** “The Dynamics of Neighborhood Change”, *Urban Studies*, 15, 327-331
- SCHWEIZER U., P. VARAIYA et J. HARTWICK (1976):** “General Equilibrium and Location Theory”, *Journal of Urban Economics*, 3, 285-303
- SHOUP D. C. (1982):** “Cashing Out Free Parking”, *Transportation Quarterly*, 36, 351-364
- SMALL K. A. (1983):** “The incidence of congestion tolls on urban highways”, *Journal of Urban Economics*, 13, 90-111.
- SMALL K. A. (1992):** “Urban Transportation Economics”, *Fundamentals of Pure and Applied Economics*, 51, Garwood Publishers GmbH
- SMALL K. A. et J. A. GOMEZ-IBANEZ (1999):** “Urban Transportation”, *Handbook of Regional Science and Urban Economics*, Chap. 46, édité par E. S. Mills et P. Cheshire, Elsevier Science B. V.
- SMEED R. J. (1968):** “Traffic Studies and Urban Congestion”, *Journal of Transportation Economics and Policy*, 2, 33-70
- SOLOW R. M. et VICKREY W. S. (1971):** “Land Use in a Long Narrow City”, *Journal of Economic Theory*, 3, 430-447
- SOLOW R. M. (1973a):** “On equilibrium models of urban locations”, *Essays in Modern Economics*, édité par J. M. Parkin, 2-16, Londre: Longman
- SOLOW R. M. (1973b):** “Congestion Cost and the Use of Land for Streets”, *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, 602-618
- SOUCHE S. (2003):** “Péage urbain et équité : une revue de la littérature”, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 43, 119-146
- STEARNS, L.B. et LOGAN, J.R. (1986)** “Measuring trends in segregation: three dimensions, three measures”, *Urban affairs quarterly*, 22, p. 124-150.
- STRASZHEIM M. (1991):** "The Theory of Urban Residential Location ", *Handbooks of Regional and Urban Economics*, Vol II Urban Economics, p. 717-754, Princeton University;

- STROTZ, R. H. (1965):** “Urban Transportation Parables”, *The Public Economy of Urban Communities*, edité par J. Margolis, Baltimore, Johns Hopkins
- SULLIVAN, A. M. (1983a):** “The General Equilibrium Effects of Congestion Externalities”, *Journal of Urban Economics*, 13, 235-255
- SULLIVAN, A. M. (1983b):** “Second Best Policies for Congestion Externalities”, *Journal of Urban Economics*, 14, 80-104
- SURBER M., D. SHOUP et M. WACHS (1984):** “Effects of Ending Employer-Paid Parking for Solo Drivers”, *Transportation Research Record*, 957, 67-71
- SWEENEY J. (1974a):** “A Commodity Hierarchy Model of the Rental Housing Market”, *Journal of Urban Economics*, 1, 288-323
- SWEENEY J. (1974b):** “Housing Unit Maintenance and the Mode of Tenure”, *Journal of Economic Theory*, 8, 11-138
- TABUCHI T. (1993):** “Bottleneck Congestion and Modal Split”, *Journal of Urban Economics*, 34, 414-431
- TAYLOR C, GORARD S, FITZ J. (2000):** “A re-examination of segregation indices in terms of compositional invariance” *Social Research Update* 30, University of Surrey;
- TURVEY R. (1975):** “A Simple Analysis of Optimal Fares on Scheduled Transport Services”, *Economic Journal*, 85, 1-9
- U.S. EPA (1991a):** Supplement A to Compilation of Air Pollutant Emission Factors Vol. 2: Mobile Sources, Report PB91-167692 Research Triangle Park, N.C.
- U.S. EPA (1991b):** User’s Guide to MOBILE 4.1.: MOBILE Source Emission Factor Model, Report EPA-AA-TEB-91-01, Washington D.C.
- VALLEE A (2002):** “L’économie de l’environnement”, Editions du Seuil, Paris
- VERGES J. (1989):** “Medicion de la Diferencia en Cuanto a Costes Sociales por Congestion entre el Transporte Individual y Transporte Publico Urbano: Con una Aplicacion para el Area Urbana de Barcelona”, *Investigaciones Economicas*, 13, 183-205
- VERHOEF E. T., P. NIJKAMP P. et P. RIETVELD (1996):** “Second-best congestion pricing: the case study for the Randstad area”, *Journal of Transport Economics Policy*, 31, 255-276.
- VERHOEF E. T. (1997):** “The economics of regulating road transport”, Royaume-Uni
- VERHOEF E. T., J. ROUWENDAL et P. RIETVELD (1999):** “Congestion Caused by Speed Differences”, *Journal of Urban Economics*, 45, 533-556

VERHOEF E. T. (2001): “An Integrated Dynamic Model of Road Traffic Congestion Based on Simple Car-Following Theory: Exploring Hypercongestion”, *Journal of Urban Economics*, 49, 505-542

VERHOEF E. T. et P. NIJKAMP (2002): “Externalities in urban sustainability. Environmental versus localization-type agglomeration externalities in a general spatial equilibrium model of a single-sector monocentric industrial city”, *Ecological Economics*, 40, 157–179

VERHOEF E. T. et P. NIJKAMP (2003): “The adoption of energy-efficiency enhancing technologies. Market performance and policy strategies in case of heterogeneous firms”, *Economic Modeling*, 20, 839–871

VERHOEF E. T. et J. ROUWENDAL (2005): “A Behavioral Model of Traffic Congestion: Endogenizing Speed Choice, Traffic Safety and Time Losses”, *Journal of Urban Economics*, 56, 408-434

VERHOEF E. T. (2005): “Second-best congestion pricing schemes in the monocentric city”, *Journal of Urban Economics*, 58, 367–388

VICKREY W. S. (1963): “Pricing in Urban and Suburban Transport”, *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 53, 452-465

VICKREY W. S. (1968): “Congestion Charges and Welfare: Some Answers to Sharp’s Doubts”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 2, 107-118

VICKREY W. S. (1969): “Congestion Theory and Transport Investment”, *American Economic Review Proceedings*, 59, 251-260

VITON P. A. (1980): “On the Economics of Rapid-Transit Operations”, *Transportation Research A*, 14, 247-253

VITON P. A. (1981): “A Translog Cost Function for Urban Bus Transit”, *Journal of Industrial Economics*, 24, 287-304

VITON P. A. (1983): “Pareto-optimal Urban Transportation Equilibria”, *Research in Transportation Economics*, édité par T. E. Keeler, vol. 1, 75-101

Von THUNEN, J. H. (1826): “Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaleconomie”, Hamburg

WALDORF B. S. (1993): " Segregation in Urban Space: A New Measurement Approach", *Urban Studies*, Vol. 30, No. 7, p. 1151-1164;

WALTERS A. A. (1961): “The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion”, *Econometrica*, 29, 295-305

WARDMAN M., JAENSIRISAK S., MAY T. (2002): “Acceptability of road user charging influenced by system characteristics and individual’s perspective”, *MC-ICAM Conference*

- WELLISCH D. (1995):** “Can household mobility solve basic environmental problems?”, *International Tax and Public Finance*, 2, 245–260
- WHEATON, W. C. (1974):** “A Comparative Static Analysis of Urban Spatial Structure”, *Journal of Urban Theory*, 9, 223-237
- WHEATON, W. C. (1976):** “On the Optimal Distribution of Income Among Cities”, *Journal of Urban Economics*, 3, 31-44
- WHEATON, W. C. (1977a):** “A Bid Rent Approach to Housing Demand”, *Journal of Urban Economics*, 4, 200-217
- WHEATON, W. C. (1977b):** “Income and Urban Residence: An Analysis of Consumer Demand for Location”, *American Economic Review*, 67, 620-631
- WHEATON, W. C. (1983):** “Theories of Urban Growth and Metropolitan Spatial Development”, *Research in Urban Economics*, 3, édité par J. V. Henderson, 3-36, Greenwich: JAI Press
- WHEATON, W. C. (1998):** “Land Use and Density in Cities with Congestion”, *Journal of Urban Economics*, 43, 258-272
- WHITE, M. J. (1976):** “Firm Suburbanization and Urban Subcenters”, *Journal of Urban Economics*, 3, 323-343
- WHITE, M. J. (1983)** “The Measurement of Spatial Segregation”, *American Journal of Sociology*, 88, p. 1008-1019.
- WHITE M. J. (1993):** "Segregation and diversity measures in population distribution", *Population Index*, 52 (2), p. 1008-1019;
- WILSON A. G. (1967):** “A Statistical Theory of Spatial Distribution Models”, *Transportation Research*, 1, 253-269
- WILSON J. (1983):** “Optimal Road Capacity in the Presence of Unpriced Congestion”, *Journal of Urban Economics*, 13, 337-357
- WILSON P. W. (1988):** “Wage Variation Resulting from Staggered Work Hours”, *Journal of Urban Economics*, 24, 9-26
- WILSON R. W. et D. C. SHOUP (1990):** “Parking Subsidies and Commuter Mode Choice: Assessing the Evidence”, *Transportation*, 16, 53-69
- WONG David W. S. (1993):** "Spatial Indices of Segregation", *Urban Studies*, Vol. 30, No.3, p. 559-572;
- YELLIN, J. (1974):** “Urban Population Distribution, Family Income, and Social Prejudice”, *Journal of Urban Economics*, 1, 21-45

YINGER, J. (1976): “Racial prejudice and racial residential segregation in an urban model”, *Journal of Urban Economics*, 3, 383-396

YINGER, J. (1979): “Prejudice and discrimination in the urban housing market”, *Current Issues in Urban Economics*, édité par P. Mieszkowski et M. Straszheim, 430-468, Baltimore, Johns Hopkins University Press

YOUNG W, R. G. THOMPSON et M. A. P. TAYLOR (1991): “A Review of Urban Car Parking Models”, *Transport Reviews*, 11, 63-84

ZHANG X. et H. YANG (2004): “The Optimal Cordon-based Network Congestion Pricing Problem”, *Transportation Research B*, 38, 517-537

EQUIPPE - MEDEE
Faculté des Sciences Économiques et Sociales
Université des Sciences et Technologies de Lille
59655 Villeneuve d'Ascq
FRANCE