

Université Lyon 2 – Lumière
Faculté de Sciences Economiques et de Gestion
THESE pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Lyon 2 en Sciences Economiques mention
économie des transports

La fraude au stationnement

présentée et soutenue publiquement le 20 décembre 2000 par

Romain Petiot

Directeur de Recherche : M. le Professeur Alain Bonnafous

Membres du Jury : **M. Le Professeur Richard ARNOTT** (Rapporteur), Boston College **M. Le Professeur Alain BONNAFOUS** (Directeur), Université Lumière Lyon 2 **M. Le Professeur Yves CROZET**, Université Lumière Lyon 2 **M. Laurent DENANT-BOEMONT**, Maître de Conférences, Université Rennes 1 **M. Le Professeur Jean-Yves LESUEUR**, Université Lumière Lyon 2 M. Le Professeur Marc WILLINGER (Rapporteur), Université Louis Pasteur Strasbourg 1

Table des matières

Remerciements . .	3
Listes des sigles et abréviations .	5
Introduction générale . .	9
Partie 1 : De la nécessité d'un éclairage économique sur le comportement de fraude au stationnement . .	15
Chapitre 1 : Les tendances de la mobilité urbaine exigent une politique de régulation de la demande de déplacements urbains .	17
Section 1 : L'analyse de la mobilité urbaine : vers une politique des déplacements .	18
Section 2 : La régulation de la demande de déplacements urbains .	45
Conclusion du Chapitre 1 .	63
Chapitre 2 : Le stationnement et la politique de régulation de la demande de déplacements : vers une analyse économique de la fraude . .	65
Section 1 : D'une analyse du stationnement à la politique de régulation de la demande de stationnement . .	66
Section 2 : La politique de régulation de la demande de stationnement : vers une analyse économique du comportement de fraude . .	87
Conclusion du Chapitre 2 .	121
Conclusion de la Partie 1 .	122
Partie 2 : Une analyse économique du comportement de fraude au stationnement . .	127
Chapitre 3 : Une formalisation économique du comportement de fraude au stationnement . .	129
Section 1 : Les outils théoriques .	132
Section 2 : L'analyse microéconomique du comportement de fraude au stationnement .	166
Conclusion du Chapitre 3 .	196
Chapitre 4 : Des simulations théoriques du modèle de comportement de fraude au stationnement à la question de sa validation .	198
Section 1 : Les enseignements des simulations théoriques .	201
Section 2 : Des réflexions de développements théoriques au choix d'une méthode de production de données . .	236

Conclusion du Chapitre 4 .	253
Conclusion de la Partie 2 .	255
Conclusion générale .	261
Bibliographie . .	267
Annexe 1 – Calcul du temps de marche à pied espéré . .	295
Annexe 2 – Calcul du temps généralisé de déplacement . .	299
Annexe 3 – Calcul du système d'équilibre sans tarification .	301
Annexe 4 – Dérivées partielles .	305
Annexe 5 – Calcul du tarif optimal et de l'amende d'équilibre . .	307
Annexe 6 – Simulation de l'optimum social effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) .	309
Annexe 7 – Simulation équilibre 1 sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	311
Annexe 8 – Simulation équilibre 1 avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	313
Annexe 9 – Simulation équilibre 1 avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) .	315
Annexe 10 – Simulation équilibre 2 sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	317
Annexe 11 – Simulation équilibre 2 avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	319
Annexe 12 – Simulation équilibre 2 avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) .	321
Annexe 13 – Simulation équilibre 3 sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	323
Annexe 14 – Simulation équilibre 3 avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	325
Annexe 15 – Simulation équilibre 3 avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) .	327
Annexe 16 – Simulations des équilibres lorsque le tarif varie à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	329
Annexe 17 – Simulations des équilibres lorsque l'amende varie à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain) . .	331
Annexe 18 – Simulation de l'optimum social effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain) .	333

Annexe 19 – Simulation équilibre sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain) .	335
Annexe 20 – Simulation équilibre avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain) .	337
Annexe 21 – Simulation équilibre avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain) . .	339
Annexe 22 – Simulations des équilibres lorsque le tarif varie à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain) .	341
Annexe 23 – Simulations des équilibres lorsque l'amende varie à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain) .	343
Annexe 24 – Simulation de l'optimum social du scénario 1a (valeurs contexte français) .	345
Annexe 25 – Simulation équilibre sans tarification du scénario 1a (valeurs contexte français) . .	347
Annexe 26 – Simulation équilibre avec tarif optimal du scénario 1a (valeurs contexte français) . .	349
Annexe 27 – Simulation équilibre avec tarif optimal et amende d'équilibre du scénario 1a (valeurs contexte français) .	351
Annexe 28 – Simulations des équilibres lorsque l'amende varie pour le scénario 1a (valeurs contexte français) . .	353
Annexe 29 – Simulation de l'optimum social du scénario 1b (valeurs contexte français) .	355
Annexe 30 – Simulation équilibre sans tarification du scénario 1b (valeurs contexte français) . .	357
Annexe 31 – Simulation équilibre avec tarif optimal du scénario 1b (valeurs contexte français) . .	359
Annexe 32 – Simulation équilibre avec tarif optimal et amende d'équilibre du scénario 1b (valeurs contexte français) .	361
Annexe 33 – Simulations des équilibres lorsque l'amende varie pour le scénario 1b (valeurs contexte français) . .	363
Annexe 34 – Simulation de l'optimum social du scénario 2 (valeurs contexte français) .	365
Annexe 35 – Simulation équilibre sans tarification du scénario 2 (valeurs contexte français) . .	367
Annexe 36 – Simulation équilibre avec tarif optimal du scénario 2 (valeurs contexte français) . .	369
Annexe 37 – Simulation équilibre avec tarif optimal et amende d'équilibre du scénario 2 (valeurs contexte français) .	371
Annexe 38 – Simulations des équilibres lorsque l'amende varie pour le scénario 1b (valeurs contexte français) . .	373

A Agnès A Aliénor

Remerciements

Je remercie le Professeur Alain Bonnafous d'avoir accepté d'encadrer ce travail et pour la confiance qu'il m'a témoignée. Ses remarques et ses suggestions m'ont toujours aidé à voir plus clairement la portée de l'économie appliquée.

Je voudrais exprimer ma gratitude au Professeur Richard Arnott pour sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils dispensés lors de la réalisation de ce travail.

Un remerciement tout particulier au Professeur Marc Willinger qui a accepté d'être rapporteur de cette thèse.

Je tiens à remercier le Professeur Yves Crozet, le Professeur Jean-Yves Lesueur pour l'honneur qu'ils me font de participer à mon jury.

J'exprime ma profonde gratitude aux membres du Laboratoire d'Economie des Transports pour leur accueil. Je les remercie de m'avoir accompagné et d'avoir toujours accepté de mettre à ma disposition les meilleures conditions, tant matérielles qu'intellectuelles, pour réaliser ce travail. Je remercie tout particulièrement Odile Andan, Dominique Bouf, Bruno Faivre D'Arcier, Charles Raux et Eric Tabourin pour leur disponibilité et la capacité d'écoute qu'ils m'ont patiemment accordée.

Que Laurent Denant-Boèmont soit ici remercié pour ses encouragements, son soutien et sa clarté d'esprit qui m'ont toujours motivé. Sabrina Hammiche doit être également remerciée pour ses nombreux conseils tout au long de ces années.

Enfin, je voudrais exprimer à Agnès Arabeyre-Petiot mon entière gratitude pour son soutien de chaque instant, tant moral qu'intellectuel. Elle a su m'apporter le réconfort dans les moments de doute. La pertinence et la rigueur de ses réflexions ont été véritablement stimulantes pour m'aider à mener ce travail à terme. Qu'elle soit ici remerciée pour tout ce qu'elle m'a apporté pendant ces années.

Listes des sigles et abréviations

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AGURCO	AGence d'URbanisme de la COURLY
Art.	Article
CADAS	Comité des Applications de l'Académie des Sciences
CARA	Constant Absolute Risk Aversion
CCFA	Comité des Constructeurs Français d'Automobiles
CEMT	Conférence Européenne des Ministres des Transports
CERTU	Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques
CETE	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CETUR	Centre d'Etudes des Transports Urbains
CGP	Commissariat Général du Plan
CNT	Conseil National des Transports
COURLY	COmmunauté URbaine de LYon
COV	Composés Organiques Volatiles
DARA	Decreasing Absolute Risk Aversion
DRAST	Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques
ENPC	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
ENTPE	Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat
EURDP	Expected Utility with Rank Dependent Probabilities
FNAU	Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme
IATBR	International Association for Travel Behaviour Research
IARA	Increasing Absolute Risk Aversion
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
LET	Laboratoire d'Economie des Transports
LOTI	Loi d'Orientation des Transports Intérieurs
LPA	Lyon Parc Auto
MELT	Ministère de l'Equipement, du Logement,

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
	des Transports et du Tourisme
MPB	Marginal Private Benefit
MSC	Marginal Social Cost
NEU	Nouvelle Economie Urbaine
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
PDU	Plan de Déplacements Urbains
PIB	Produit Intérieur Brut
PNB	Produit National Brut
POS	Plan d'Occupation des Sols
PUCA	Plan d'Urbanisme Construction Architecture
QUIN-QUIN	QUalités INtroduites, QUantités INsolvables
RATP	Régie Autonome des Transports Parisiens
RCEP	Royal Commission on Environmental Pollution
SATRE	Social Attitudes to Road Traffic Risk in Europe
SEMALY	Société d'Economie Mixte de l'Agglomération Lyonnaise
SERT	Service des Etudes, de la Recherche et de la Technologie
SFSP	Société Française de Santé Publique
SHON	Surface Hors OEuvre Nette
SUPERNOVA	Street Unloading/loading Parking through Numbering and Organizing Vehicles Algorithms
SYTRAL	Syndicat des Transports du Rhône et de l'Agglomération Lyonnaise
TDM	Transportation Demand Management
TMSC	Total Marginal Social Cost
TSM	Transportation System Management
UE	Union Européenne
URF	Union Routière de France
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VNM	Von Neumann – Morgenstern
WCTR	World Conference on Transport Research

Introduction générale

Si le doute subsiste sur l'essence de la ville, il reste que la civilisation de l'*homo urbanus* est attachée aux modalités de déplacement qui suscitent la réalisation des échanges et l'accroissement des richesses. En effet, l'origine de la ville demeure l'objet d'un débat scientifique non tranché. A la thèse de Mumford (1961), qui affirme que les premiers regroupements de populations en Egypte néolithique sont des lieux de pouvoir royal ou religieux fondés sur des considérations symboliques et non sur des motifs économiques, s'oppose la thèse de Jacobs (1969), qui avance que « le commerce et l'échange des pierres, des outils, des produits agricoles rares auraient donné naissance à des mouvements d'échange et fixé des concentrations relativement importantes » (Debié, 1995, p. 226). Ce second discours sur l'explication de l'existence de la ville prétend donc que l'homme proto-urbain dégage de ses activités un surplus agricole qu'il a besoin d'échanger pour assurer sa subsistance et créer les conditions favorables de son développement (Bairoch, 1985). Or, le vecteur principal du commerce et des échanges est le déplacement, à la fois en et hors les murs de la cité. Ainsi, comme le montre Braudel (1985), l'histoire des échanges est profondément liée aux mouvements d'agglomération des hommes et des activités en des points précis de l'espace, et aux *conditions de déplacements qui véhiculent les échanges*.

Aujourd'hui, lorsque les citoyens sont interrogés sur leur sentiment relatif à leur vécu des déplacements en ville, une majorité se dégage pour citer le stationnement comme *le problème* de transport urbain à améliorer en priorité. Un sondage effectué en France par la SOFRES (CETUR, 1991a) montre ainsi que le stationnement pose des problèmes plus importants, pour 72 % des personnes interrogées, que la pollution automobile (71 %), les

encombrements (63 %) ou les risques d'accident (61 %). Le problème du stationnement est d'autant plus ressenti fortement que, d'après le même sondage, pour plus de la moitié de la population urbaine, les conditions de stationnement vont en se dégradant. En ce sens donc, à en croire les citoyens, les problèmes liés au stationnement constituent un obstacle aux déplacements, donc une entrave à la réalisation des échanges et à la production de richesse.

Un *paradoxe* du transport apparaît là dans ce que la faculté première du déplacement, qui est d'offrir la capacité de mouvement pour franchir un espace obstacle des échanges, est entravée par l'état d'immobilité inévitable du moyen de transport à un moment donné du déplacement. *L'immobilité est donc un état intrinsèque de la mobilité* qui, déjà sous l'empire romain, oblige la cité antique de Pompéi à contraindre le stationnement des litières et des chars, et, alors que le poète Horace qualifie d'« effrayante » la circulation au cœur de Rome¹ (Rodríguez-Almedia, 1996), amène Jules César à promulguer des lois sur le stationnement (Lay, 1993).

Pour le législateur de l'Antiquité², le problème soulevé par ce paradoxe est donc de concilier à la fois mobilité et immobilité, de sorte que rien ne vienne altérer l'utilité que procure l'*itinera publica*, autrement dit, que les « qualités essentielles pour la circulation », à savoir « facilité, rapidité, confort », soient conservées (André, Baslez, 1993). Suivant la même logique, bien plus récemment, dans la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs de 1982, le législateur français recommande que le « **système de transports intérieurs [satisfasse] les besoins des usagers dans les conditions économiques et sociales les plus avantageuses pour la collectivité. [...] Ces besoins sont satisfaits par la mise en oeuvre des dispositions permettant de rendre effectifs le droit qu'a tout usager de se déplacer et la liberté d'en choisir les moyens [...]** ». Par conséquent, les termes contemporains de la loi exigent que, si le stationnement se révèle être effectivement, comme le ressentent les citoyens, l'élément qui perturbe en premier lieu la réalisation des déplacements en ville, alors la puissance publique doit le prendre en compte dans la politique des transports urbains.

Le devoir de la puissance publique est alors d'assurer au plus grand nombre les conditions les meilleures de déplacement aux conditions économiques et sociales les plus avantageuses pour la collectivité. Cet objectif composite est d'autant plus crucial que les déplacements concernent le milieu urbain. En effet, le milieu urbain est principalement caractérisé par la *rareté de l'espace*, et en particulier, la rareté de l'espace public circulatoire. Donc, mettre en oeuvre les moyens nécessaires pour assurer l'ensemble de ces conditions implique que la puissance publique recourt, le cas échéant, à contraindre l'usage de l'espace disponible, et, par exemple, à contraindre le stationnement. En termes économiques, les outils de limitation d'usage d'une infrastructure sont la réglementation et la tarification.

Face à ces instruments réglementaires ou tarifaires, deux types de comportements émanant de l'usager du stationnement peuvent se manifester. Soit l'usager se soumet aux

¹ Horace, *Épîtres*, 2, 2, 71-79.

² *Digeste*, XLIII, 7-8, §§ 30-40, 45.

contraintes et réagit à l'incitation en respectant les règles du jeu. Il exprime alors sa demande de stationnement à un niveau acceptable pour l'objectif poursuivi par la puissance publique. Soit l'utilisateur fraude et ne respecte donc pas ces règles. L'enjeu pour le décideur public est alors de savoir dans quelle mesure le comportement de fraude au stationnement est susceptible de remettre en cause les objectifs de la politique du stationnement.

L'objectif de cette thèse est de proposer une analyse économique de ces pratiques et de leurs effets. Cette analyse est fondée sur l'hypothèse que la fraude au stationnement est un acte d'incivisme pur au sens où elle résulte de l'agent économique qui « laisse libre cours à ses intérêts ou à son égoïsme » (Guillemain, 1995). Sous cette hypothèse, la fraude au stationnement est donc le produit d'une décision économique rationnelle. Elle résulte d'un calcul de l'agent qui est réputé évaluer froidement les coûts et les avantages monétaires que lui procurent, dans un cas, la décision de respecter les contraintes reposant sur l'usage de l'offre de stationnement imposées par la puissance publique, dans l'autre, la décision de ne pas respecter ces contraintes.

Partant de cette hypothèse, une première dimension de la thèse est de voir comment la fraude au paiement du tarif de stationnement joue un rôle dans la réalisation des déplacements qu'il convient inévitablement de considérer à l'occasion de l'élaboration de la politique des déplacements urbains. Dans une deuxième dimension, il s'agit de montrer que, dans une perspective de régulation de la demande de déplacements urbains, la réponse de la puissance publique à l'existence de la fraude au paiement du tarif de stationnement doit s'appuyer sur les enseignements tirés d'une analyse économique du comportement individuel de fraude. Dès lors, la problématique de la thèse peut être formulée de la manière suivante. Il s'agit de voir *en quoi une analyse économique du comportement de fraude au paiement du stationnement urbain sur voirie permet d'avancer des résultats pertinents pour la prise en compte de cette fraude dans une politique de déplacements urbains.*

Pour répondre à cette problématique, le raisonnement s'articule autour de deux points forts. Tout d'abord, un premier objectif est de présenter les enjeux de la prise en compte de l'existence de la fraude au stationnement dans la politique de déplacements urbains. Ensuite, un deuxième objectif est de construire une analyse du comportement de fraude au stationnement urbain payant sur voirie. Cette articulation en deux temps s'explique par le besoin de mettre en perspective, par une analyse descriptive, la question de la fraude au stationnement dans la problématique plus générale de la régulation des déplacements en milieu urbain et de montrer que cette question appelle une analyse formalisée dont l'objectif est d'apporter des résultats théoriques au décideur public.

Depuis la cité Antique jusqu'à la métropole urbaine contemporaine, l'immobilité pose un problème véritable au décideur public chargé d'assurer aux citoyens des conditions socio-économiques de déplacements satisfaisantes. Partant, le décideur public se pose la question de savoir comment intervenir, dans le cadre d'une politique plus large relative aux déplacements urbains, pour que le stationnement n'entrave pas la réalisation des déplacements. A l'application des outils contraignants qu'il met alors en oeuvre, certains usagers choisissent cependant de frauder en contournant les contraintes imposées. Dès lors, il est en droit de se demander, d'une part, si l'existence de la fraude ne remet pas en

question sa politique globale de déplacements, d'autre part, comment il doit façonner sa réponse à la fraude pour continuer à offrir les conditions socialement optimales de déplacements urbains. Pour répondre à son questionnement, le premier temps du raisonnement convoque les arguments économiques qui soulignent les enjeux de considérer la fraude au stationnement dans une politique des déplacements urbains. Ainsi, la démonstration de la réalité de ces enjeux permet d'affirmer que, lorsque la politique des déplacements urbains s'oriente vers une logique de régulation de la demande de déplacements, il est alors nécessaire que la réponse du décideur public à l'existence de la fraude au stationnement repose sur la connaissance des comportements individuels, et notamment, sur la connaissance du comportement de fraude.

Un premier chapitre permet d'afficher un bilan de la mobilité urbaine qui montre en quoi le contexte urbain contemporain favorise la domination de l'usage de la voiture particulière dans la mobilité quotidienne des citoyens. Cette hégémonie de l'automobile sur le partage modal urbain a des conséquences socialement coûteuses à la fois pour l'environnement et pour la fluidité de l'écoulement des transports dans la ville. Le constat est en outre que la dynamique de la congestion urbaine est telle que, sans intervention publique contraignant la demande de déplacements, la croissance de la part de l'usage de la voiture particulière en ville ne peut être enrayerée, ce qui renforce les effets négatifs de la mobilité urbaine sur l'environnement et sur la fluidité des transports. Dès lors, dans le cadre de la recherche des conditions socio-économiques de déplacements satisfaisantes pour la collectivité, la discussion porte sur le type d'intervention publique à mettre en oeuvre pour juguler de manière générale la domination de l'usage de l'automobile en milieu urbain. Les caractéristiques économiques du bien soumis à encombrement sur lequel se réalisent les déplacements urbains, c'est-à-dire l'infrastructure routière publique, imposent que la régulation de la demande de déplacements urbains s'appuie sur la réglementation ou la tarification de l'usage de l'infrastructure de transport. Or, la présence de comportements de type *passager clandestin*, comme la fraude, remet en question l'efficacité de l'application des outils de la politique publique.

Pour montrer que la politique publique traitant de la fraude au stationnement doit reposer sur une analyse économique du comportement de fraude, un deuxième chapitre présente, d'une part, en quoi consiste la politique du stationnement dans ce cadre de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains et, d'autre part, dans quelle mesure la fraude au stationnement perturbe, dans un premier temps, la politique du stationnement, dans un deuxième temps, la politique des déplacements urbains. L'issue de ce chapitre est alors d'argumenter en faveur d'une politique répressive fondée sur une analyse économique du comportement de fraude.

En se fondant sur un certain nombre de critiques économiques opposées à une proposition commune qui prescrit l'augmentation du niveau de répression comme seul outil efficace de lutte contre la fraude, il est montré que la politique répressive du stationnement doit faire l'objet d'une analyse à la lumière des principes de l'économie publique. Dans ce cadre précis, l'issue du chapitre est de plaider contre l'intuition qui suggère que l'augmentation du niveau de répression dissuade quasi automatiquement la fraude et de recommander de fonder la décision publique concernant le traitement de la

fraude sur la connaissance des comportements individuels. Elle justifie donc la nécessité de mener une analyse économique du comportement de fraude au stationnement.

L'objectif de la deuxième partie est de proposer une analyse économique du comportement de fraude au stationnement et de montrer en quoi une telle analyse répond au besoin du décideur public pour fonder une politique répressive du stationnement pertinente au regard des objectifs de la politique de régulation de la demande de déplacements.

Dans un premier temps, un troisième chapitre propose une représentation simplifiée du comportement de fraude au stationnement urbain payant sur voirie. Cette analyse formalisée repose sur deux socles théoriques précis. Tout d'abord, le stationnement étant un élément du déplacement urbain, un premier socle théorique est l'analyse économique urbaine. Il permet dans un premier temps de montrer en quoi la question de la fraude au stationnement intéresse les développements théoriques de la nouvelle économie urbaine. L'analyse de la fraude au stationnement participe en effet à l'introduction, d'une part, de la congestion, d'autre part, de l'incertitude portant sur les choix de transport. Dans un deuxième temps, il conduit à fournir une représentation de l'espace pour l'analyse du comportement de fraude. La question précise de l'incertitude dans les choix de transport amène ensuite à mobiliser un deuxième socle théorique pour la modélisation de ce comportement. En effet, le comportement de fraude résulte d'une décision qui peut être supposée rationnelle entre un choix respectant les règles instituées par la politique de régulation de la demande de stationnement et un choix ne respectant pas ces règles face au risque que l'agent encourt d'être verbalisé. En ce sens, le comportement de fraude est une application de l'analyse économique du crime qui utilise la théorie de la décision en environnement risqué comme outil d'analyse.

Fondée sur ces deux socles théoriques, une représentation du comportement de fraude au stationnement est alors proposée. Elle repose sur une modélisation du comportement de stationnement. Ce modèle montre qu'il existe un lien entre la tarification de la congestion du stationnement et, d'une part, le niveau de mobilité, d'autre part, le partage modal. A partir de ce modèle, sur la base d'un certain nombre d'hypothèses concernant le comportement de l'agent face au risque, la réaction du comportement de fraude (et son impact sur le niveau de mobilité et sur le partage modal) à la variation du niveau d'une amende de type forfaitaire peut être déclinée.

Ces résultats théoriques apprécient donc l'impact de la politique répressive du stationnement frauduleux sur la demande de déplacements. Le dernier chapitre propose alors d'évaluer la pertinence de ces résultats théoriques au regard d'une série de simulations reposant sur un contexte de mobilité urbaine précis. Les résultats de ces simulations théoriques permettent de tester la validité de la proposition communément avancée qui recommande d'augmenter le niveau de l'amende pour dissuader la fraude et permettre à la politique de régulation de la demande de retrouver les conditions optimales de réalisation des déplacements urbains. La conclusion est que cette proposition doit être rejetée au regard des résultats des simulations théoriques. En effet, il est montré qu'il existe des cas de figure de congestion du stationnement pour lesquels l'impact de l'augmentation du niveau de l'amende sur le niveau de congestion a un effet incitatif, d'une part, sur le partage modal au profit de la voiture particulière, d'autre part, sur la

décision de frauder. En définitive, ces résultats contre-intuitifs illustrent l'utilité de l'analyse économique du comportement de fraude. Un dernier point de ce chapitre soulève la question de la validité du modèle proposé. D'une part, il permet d'ouvrir la discussion sur la portée représentative du modèle. La pertinence des hypothèses sur lesquelles se fonde le modèle est alors examinée, ce qui permet d'avancer des pistes de développements théoriques de l'analyse. D'autre part, la question du choix d'une méthode de production de données pour tester la robustesse du modèle est abordée. Elle conduit à s'interroger sur l'adaptation des méthodes de préférences révélées et de préférences déclarées au problème abordé. Ainsi, il apparaît que la structure du modèle et le type de comportements analysés laissent planer le doute sur la capacité de l'une ou l'autre de ces méthodes à fournir des données satisfaisantes. Les arguments sont alors avancés pour proposer, dans l'objectif de tester la résistance du modèle, de recourir à l'économie expérimentale comme méthode originale de production de données contrôlées.

Il s'agit donc, au total, de donner une certaine consistance économique à la question de la fraude au stationnement, dans le but ultime d'assurer les conditions socio-économiques de déplacements en ville les meilleures. Cet objectif impose de discuter des conditions de régulation économique de l'immobilité au même titre qu'il nécessite de réfléchir sur l'efficacité économique des outils de régulation de la mobilité. Il implique de conceptualiser le stationnement et de convoquer une analyse du comportement de fraude de sorte à tirer de cette analyse les conditions d'intervention publique permettant de trouver un équilibre répressif qui vise le meilleur rendement social.

Partie 1 : De la nécessité d'un éclairage économique sur le comportement de fraude au stationnement

Les sondages d'opinion régulièrement réalisés auprès des citoyens révèlent que le stationnement cristallise l'ensemble des désagréments relatifs aux transports en ville. De manière générale, en effet, le vécu lié aux déplacements urbains rend compte d'un état d'encombrement de la voirie urbaine plus ou moins généralisé. Or, un raisonnement commun consiste à penser que les conditions de stationnement expliquent une grande part des difficultés de déplacements urbains. Les conditions de stationnement sont alors jugées, à la fois, comme l'origine des difficultés, et comme la manifestation principale des problèmes de déplacements urbains. Ainsi, le sentiment usuel conduit à supposer que, si les difficultés de stationnement venaient à disparaître, les problèmes des déplacements en ville seraient grandement atténués, notamment les coûts environnementaux issus de l'usage des transports en ville.

Ce raisonnement repose sur une hypothèse forte qui consiste à lier les conditions de déplacement aux conditions de stationnement. Dans une première approche, le lien entre le déplacement et le stationnement peut paraître ambigu, mais, pour autant, logique. D'une part, l'ambiguïté vient du fait que le déplacement caractérise un état de mobilité alors que le stationnement relate un état d'immobilité, c'est-à-dire un 'temps mort' dans le déplacement. D'autre part, la logique du raisonnement vient du fait que l'immobilité résulte

de l'existence d'une activité à réaliser par les usagers qui conduit à la mobilité. De fait, le sentiment des citoyens vis-à-vis du stationnement peut être légitimé dans la mesure où le stationnement résulte du déplacement.

Le problème du décideur public en charge de la gestion des déplacements urbains est, alors, de proposer des mesures d'amélioration des conditions de transport permettant de satisfaire au mieux l'ensemble de la collectivité. Il envisage notamment d'intervenir sur les conditions de déplacement. En particulier, étant donné le lien entre déplacement et stationnement, il projette, entre autres, d'intervenir directement sur le stationnement, afin d'assurer une certaine fluidité aux transports urbains.

Cependant, face aux mesures de politique économique portant sur le stationnement, certains usagers des transports choisissent de ne pas respecter les règles instituées. En première instance, une telle réaction des usagers se comprend. Une contrainte qui repose sur l'immobilité dans le cadre de la gestion de la mobilité peut en effet leur paraître légitimement absconse. Pourtant, l'existence de tels comportements, qui consistent à contourner les mesures de régulation du système des transports urbains, hypothèque à première vue la réussite de l'intervention publique.

A l'occasion de cette première partie du développement, l'enjeu est tout d'abord de montrer que, à la lumière des faits empiriques, le stationnement est un élément essentiel de la politique des déplacements urbains. Par conséquent, la politique des déplacements urbains qui, relativement au bilan de l'état de la mobilité urbaine, s'oriente vers une logique de régulation de la demande de déplacements, réclame que la politique du stationnement qui l'accompagne privilégie également la régulation de la demande. La pertinence du lien entre politique du stationnement et politique des déplacements urbains étant alors validée, l'objectif de cette première partie est de présenter un argumentaire qui justifie que la politique du stationnement recourt à une analyse économique du comportement individuel de fraude au stationnement payant urbain sur voirie. Il s'agit plus généralement de *montrer que l'existence de la fraude au stationnement est un élément qui ne peut être négligé du point de vue de l'analyse de la mobilité urbaine et de la régulation de la demande de déplacements*. Dès lors, le raisonnement proposé pour analyser la question de la fraude au stationnement repose sur une connaissance des comportements individuels de stationnement, et notamment des comportements de fraude.

Un premier chapitre montre en quoi l'état de la mobilité urbaine explique que la politique des déplacements urbains se concrétise par une régulation de la demande de déplacements. Le raisonnement repose, dans un premier temps, sur une description, d'un point de vue empirique, du contexte que constitue la mobilité urbaine. Elle montre que la mobilité urbaine résulte de l'évolution du contexte urbain qui stimule l'usage de la voiture particulière. Une intervention publique est alors nécessaire, eu égard aux conséquences nuisibles que l'usage dominant de l'automobile fait peser sur le marché des déplacements urbains. Dans un deuxième temps, le propos de ce premier chapitre est de montrer que, dans une perspective de modération de l'usage de la voiture particulière en ville, l'intervention publique appropriée est la régulation de la demande de déplacements urbains.

Un deuxième chapitre a pour objectif de montrer en quoi, dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements urbains, la politique du stationnement doit également s'orienter vers la régulation de la demande. Ce chapitre fournit les arguments qui justifient que la question de la fraude au stationnement payant sur voirie soit abordée. Il conduit alors à souligner en quoi l'existence de comportements frauduleux remet en cause la politique de stationnement et, au-delà, la politique de déplacements urbains. Au regard de la politique traditionnellement proposée, qui consiste à prêter à l'augmentation de la répression des vertus d'efficacité sur la dissuasion de la fraude, d'une part, sur la régulation de la demande de déplacements urbains, d'autre part, une relecture de la question, par le biais de l'économie du bien-être, met en avant la nécessité d'élaborer la politique répressive du stationnement frauduleux sur la base d'une analyse économique du comportement de fraude.

Chapitre 1 : Les tendances de la mobilité urbaine exigent une politique de régulation de la demande de déplacements urbains

La question de la fraude au stationnement urbain s'inscrit à l'évidence dans une problématique générale traitant des transports urbains. Par voie de conséquence, il est clair qu'une étude portant précisément sur le stationnement urbain doit tirer d'une analyse de la mobilité urbaine, et principalement du statut de l'usage de la voiture particulière en ville, des enseignements quant à la portée même de l'étude. Les grandes tendances de la mobilité en milieu urbain sont largement connues. Notamment, il est avéré que l'usage massif de l'automobile dans un milieu dense comme la ville, où l'espace est par nature rare, entraîne des désagréments à la fois pour les automobilistes qui perdent principalement leur temps dans des embouteillages, et pour les riverains qui subissent au quotidien la dégradation de leur environnement. Dans ce cadre là se pose la question de l'efficacité d'une politique publique dont l'objectif serait de contenir, à défaut de supprimer, les conséquences nuisibles des transports en milieu urbain.

Ainsi, la problématique de ce premier chapitre est de *montrer en quoi l'étude empirique de la mobilité urbaine justifie le recours à une politique des déplacements urbains dont l'objectif est la régulation de la demande.*

Dans une première section, une synthèse de l'évolution de la mobilité urbaine et un bilan de son état actuel mettent en lumière les enjeux principaux qui guident la nécessité de recourir à une politique des déplacements urbains. En effet, la forme du développement de l'espace urbain favorise l'usage prépondérant de la voiture particulière. Or, la mobilité urbaine dominée par l'usage de l'automobile a des conséquences nuisibles et coûteuses pour la collectivité à la fois pour l'environnement et pour la circulation des transports. L'existence de ces conséquences justifie en termes économiques que la puissance publique intervienne sur le marché des transports urbains. La pleine maîtrise de ces enjeux conduira à mettre en valeur, le moment venu, l'intérêt premier de se

focaliser, au cours de la réflexion sur la politique des déplacements urbains, sur l'étude du stationnement et sur la question précise de la fraude au stationnement payant urbain sur voirie.

Dans une deuxième section, l'objectif est de montrer dans quelle mesure l'intervention sur le marché des déplacements urbains s'oriente vers une politique de régulation de la demande de déplacements. Alors, une telle logique, qui préside à la politique des déplacements urbains, nécessite la mobilisation d'outils économiques, c'est-à-dire la réglementation et la tarification, dont l'objectif est de modérer l'usage de la voiture particulière en milieu urbain.

Section 1 : L'analyse de la mobilité urbaine : vers une politique des déplacements

« Il ne fait aucun doute qu'il existe un monde invisible. Cependant, il est permis de se demander à quelle distance il se trouve du centre-ville et jusqu'à quelle heure il est ouvert. » (Woody Allen, Dieu, Shakespeare... et moi.)

Afin de montrer, à l'issue d'une deuxième section, dans quelle mesure considérer l'analyse du stationnement dans le cadre de l'application d'une politique de régulation de la demande de mobilité urbaine semble incontournable, il convient en premier lieu de présenter la notion de mobilité urbaine ainsi qu'un bilan de son évolution. Cette présentation permet de décliner les arguments, nés de l'état de la mobilité urbaine, qui justifient le recours à une politique de déplacements urbains.

Le propos de cette section est donc de dresser une description de l'état de la mobilité urbaine et de ces conséquences. A partir de ce bilan sur la mobilité urbaine, il s'agit de montrer *in fine* dans quelle mesure il paraît légitime de discuter d'une intervention régulatrice de la mobilité urbaine.

La notion de mobilité urbaine est tout d'abord présentée. Une définition permet dans un premier temps de délimiter précisément l'étendue du sujet. Dans un deuxième temps, une présentation du contexte urbain sur lequel s'inscrit la mobilité urbaine montre en quoi le contexte urbain offre un cadre d'analyse pertinent pour comprendre l'évolution de la mobilité urbaine. Un bilan de l'évolution de la mobilité urbaine est alors dressé. Il conduit à constater l'ampleur de l'usage de la voiture particulière dans le cadre de la mobilité quotidienne des citoyens. Ce constat permet de mettre enfin en exergue les conséquences notables de l'usage prépondérant de la voiture particulière en milieu urbain, tant d'un point de vue environnemental que du point de vue de la circulation des flux de transports en ville. Il induit le caractère prééminent du recours à la mise en oeuvre d'une politique des déplacements urbains.

1 : La mobilité urbaine

1.1 : Une définition de la mobilité urbaine

Une première nécessité pour le raisonnement qui suit est de préciser ce qu'il convient

d'entendre par mobilité urbaine. Le terme de *mobilité*, tout d'abord, contient une idée de mise en mouvement. Il fait référence à une notion de *déplacement*. De manière très générale, un déplacement est une opération qui consiste à se rendre d'un lieu à un autre, dans le but de réaliser une *activité*, en utilisant un ou plusieurs *modes de transport*. Le déplacement est donc défini par la notion de *motif*, ou encore, de réalisation d'une activité, par le biais de l'utilisation d'un mode de transport (Orfeuill, 1996).

Le mode de transport est le moyen de locomotion emprunté pour effectuer le déplacement. La marche à pied, les deux-roues ou la voiture particulière sont les modes de transport individuel, à l'inverse des transports en commun qui sont les modes de transport collectif.

La mobilité urbaine concerne les déplacements des individus pris dans un *environnement urbain* (voir Encadré 1), pour l'opposer aux déplacements interurbains ou ruraux réalisés dans un environnement non urbain. Traditionnellement, la mobilité urbaine intéresse l'ensemble des déplacements effectués de manière quotidienne par les individus en milieu urbain (Raux, Andan, 1988 ; Andan, Faivre d'Arcier, Raux, 1994). Elle relève des activités habituelles ou *routinières* des individus (Haumont, 1994). La mobilité urbaine exclut par conséquent les déplacements exceptionnels comme les déplacements professionnels de longue distance ou les déplacements pour vacances. Elle concerne au contraire les déplacements récurrents liés au travail, aux achats et aux loisirs. Elle est parfois qualifiée de mobilité relative aux activités « banales » des individus (Bieber, Massot, Orfeuill, 1993). S'agissant des personnes précisément³, elle considère la pratique de déplacements des individus appréhendée dans un contexte spatial propre à l'urbain et limitée, en termes de temps, à leur cadre de vie habituel (Orfeuill, Troulay, 1989). En termes d'importance, elle représente *grosso modo* un tiers des voyageurs-kilomètres annuels (Chausse, 1996).

Dans le propos qui suit, *la mobilité urbaine définit l'ensemble des déplacements de personnes relatifs à des activités quotidiennes liées au travail, aux achats et aux loisirs, inscrits dans un espace urbain*. La notion d'espace urbain dans cette définition reste cependant relativement floue. Il convient donc de préciser le champ spatial de réalisation de la mobilité urbaine. Un exposé du contexte urbain et de ses mutations permet de cadrer la mobilité urbaine et son évolution.

1.2 : Le contexte urbain

Pour comprendre l'évolution de la mobilité urbaine, il est bon d'avoir à l'esprit une vision claire du contexte dans lequel elle prend corps. Le contexte spatial de la mobilité urbaine est la *ville*. Il est cependant illusoire de penser qu'en ayant ainsi défini le contexte urbain, la mobilité urbaine peut être aisément saisie. D'une vision floue de la ville, il est nécessaire de passer à une définition parfaitement délimitée du contexte urbain servant

³ De manière générale, dans la littérature traitant des transports, la mobilité urbaine se porte plus facilement sur l'étude des déplacements de personnes. La mobilité des marchandises en ville relève en effet de logiques qui lui sont propres et qu'il serait risqué ici de confondre avec celles guidant la mobilité des personnes. Il est en outre malaisé de relever un caractère récurrent, au sens de la quotidienneté, au transport de marchandises en ville alors que ce caractère constitue l'essence de la mobilité urbaine des personnes.

de cadre à la mobilité urbaine. Cette définition dépend grandement des évolutions de la structure interne urbaine.

Sans faire un historique de l'évolution des villes (voir Pumain, 1982 ; Bairoch, 1985), de grandes tendances de l'évolution récente de l'urbanisation méritent cependant d'être notées. Ces tendances présentées ici ne se préoccupent que des caractéristiques internes de l'urbain sans que soient mentionnées les évolutions hiérarchiques des villes. L'armature urbaine n'ayant pas, ou suffisamment peu, d'influence directe sur les phénomènes intra-urbains, comme la mobilité urbaine, seuls les éléments caractéristiques de l'évolution interne des villes pesant sur la mobilité quotidienne des personnes au sein des espaces urbains sont ici mobilisés.

Pour l'INSEE, une commune est une *unité urbaine* à partir d'un seuil de 2 000 habitants agglomérés.

L'*agglomération de population* correspond à un ensemble d'habitations n'étant pas séparées de plus de 200 mètres. L'ensemble des communes liées à la commune au centre de cette commune (ou bâti forme la *banlieue*. Lorsqu'une agglomération de population s'étend sur plusieurs communes, l'ensemble forme une *agglomération urbaine*.

L'INSEE a choisi le concept d'*aire urbaine* pour délimiter l'agglomération urbaine. L'*aire urbaine* est constituée d'un *pôle urbain*, formé d'une (ou plusieurs) communes, ou unité urbaine, n'appartenant pas à la couronne périurbaine d'un autre pôle urbain, utilisant au moins 5 000 emplois. L'*aire urbaine* est également formée des unités urbaines constituant le *banlieue* du pôle urbain et d'une couronne de *communes périurbaines*, communes rurales ou unités urbaines, employant travaillant dans l'*aire urbaine* plus de 40 % de leurs actifs résidents. L'*espace à dominante urbaine* regroupe les pôles urbains et les communes urbaines. L'*espace à dominante rurale* rassemble les communes n'appartenant pas à l'espace à dominante urbaine.

En 1990, l'INSEE dénombre 361 aires urbaines sur le territoire français métropolitain. Etant donné l'évolution démographique entre deux recensements, le découpage des aires urbaines est impérativement remis à l'issue de chaque recensement.

Encadré 1 : Délimitation statistique de l'urbain

De manière globale, le contexte démographique mondial suit une tendance inéluctable à l'urbanisation (Moriconi-Ebrard, 1993 ; United Nations, 1994). Si, en 1900, moins de 10 % de la population mondiale habitaient des villes d'au moins 20 000 habitants, le niveau d'urbanisation est passé à 42 % en 1990, ce qui représente peu ou prou 2,2 milliards de citadins (Polèse, 1994). En Europe, la proportion de la population résidant en ville est passée de près de 20 % en 1850 à presque 75 % à la fin du xx^e siècle (Bairoch, 1985). Pour la France, d'une estimation à 6 millions d'habitants en 1831 (Guerrin-Pace, 1993), la population urbaine est passée à plus de 44,2 millions aujourd'hui (Chavouet, Fanouillet, 2000). Sur la même période, la population totale a simplement doublé (Damette, 1994). Dès lors, la part de la population des communes urbaines en France métropolitaine se monte à 75,5 % en 1999 (Chavouet, Fanouillet, 2000).

La croissance de l'évolution de la population urbaine française est restée relativement faible jusqu'au sortir de la seconde guerre mondiale, de l'ordre de 1,5 % par an environ. Elle s'accélère jusqu'au seuil des années 70, autour de 2,5 % par an en moyenne. Elle affiche un rythme beaucoup plus élevé jusqu'au début des années 90 où elle tend à se

stabiliser. Sur le découpage des aires urbaines de 1990, la population urbaine a progressé entre 1990 et 1999 de 0,40 % par an (Julien, 2000). La taille moyenne des villes a doublé de 1931 à 1990. En même temps, la population urbaine a crû plus vite que le nombre de villes (Guerin-Pace, 1993). La coexistence de ces deux derniers phénomènes a donc conduit à une concentration accrue de la population dans les villes. Entre 1990 et 1995, le rythme annuel de croissance de la population dans les aires urbaines françaises s'établit à 0,61 % alors que celui de la population totale métropolitaine est de 0,23 % (Julien, 1998). La population urbaine occupe ainsi 18,4 % du territoire métropolitain en 1999 (Chavouet, Fanouillet, 2000).

De 1990 à 1999, la population des villes-centres, qui perdaient des habitants depuis 1975, a progressé de 0,12 % par an, celle des banlieues de 0,42 % et celle des couronnes périurbaines de 1,03 % (Bessy-Pietri, 2000)⁴. La concentration se ralentit donc, même si les dernières données affichent un léger retournement de tendance, au profit d'un mouvement vers la suburbanisation dans un premier temps, c'est-à-dire jusqu'aux années 70 (Aydalot, 1985), puis de périurbanisation (Kaufmann, 2000). L'augmentation de la population urbaine, entre 1990 et 1999, est ainsi due pour moitié à l'absorption de communes auparavant classées dans les communes rurales (Chavouet, Fanouillet, 2000). Dans le cadre de cette trajectoire vers la périurbanisation (voir Tableau 1), il apparaît que le taux de croissance de la population s'élève avec l'éloignement au centre. Ce sont donc les communes périurbaines qui gagnent le plus de population entre 1982 et 1990 (Le Jeannic, 1996). La progression de la population périurbaine est notamment le fait d'un solde naturel positif doublé d'un fort excédent migratoire provenant principalement du déplacement résidentiel des citadins allant du centre vers la périphérie (voir Figure 1). Le taux d'évolution annuel moyen de 1990 à 1999, dû au solde migratoire des couronnes périurbaines, est des 0,63 %, alors qu'il est de - 0,34 % pour les villes-centres et de - 0,23 % pour les banlieues (Bessy-Pietri, 2000).

Ainsi, d'un fort mouvement de concentration de la population sur des points du territoire national, l'espace urbain procède aujourd'hui d'une extension de la localisation résidentielle des populations citadines en périphérie des villes-centres, s'étendant au-delà des traditionnelles banlieues, vers des espaces plus diffus. Cette tendance est telle que pour certains (Dézert *et al.*, 1991), la périurbanisation lointaine ne permet plus de délimiter une frontière nette séparant l'urbain du rural. La densité de population des communes périurbaines est en effet de 74 habitants au km² en 1990 alors qu'elle se monte à 858 habitants au km² pour les pôles urbains⁵ (Le Jeannic, 1997) et 3 550 habitants au km² pour les communes-centres des aires urbaines de plus de 100 000 habitants (Berroir, 1996). L'urbanisation s'étale donc dans l'espace sous un principe de type « concentration – débordement » (Terrier, 1987) dont l'origine semble provenir d'un rejet de la ville-centre ayant débuté au seuil des années 70. La croissance des revenus et celle du niveau de vie, comme le souligne un rapport de l'OCDE et de la CEMT (1995), permet aux citadins de fuir les effets contraignants de la concentration urbaine et d'atteindre un positionnement social, véhiculé par l'accès à un nouvel habitat, individuel et localisé dans

⁴ A titre de comparaison, la population de la France métropolitaine s'est accrue de 0,37 % par an de 1990 à 1999 (INSEE, 2000).

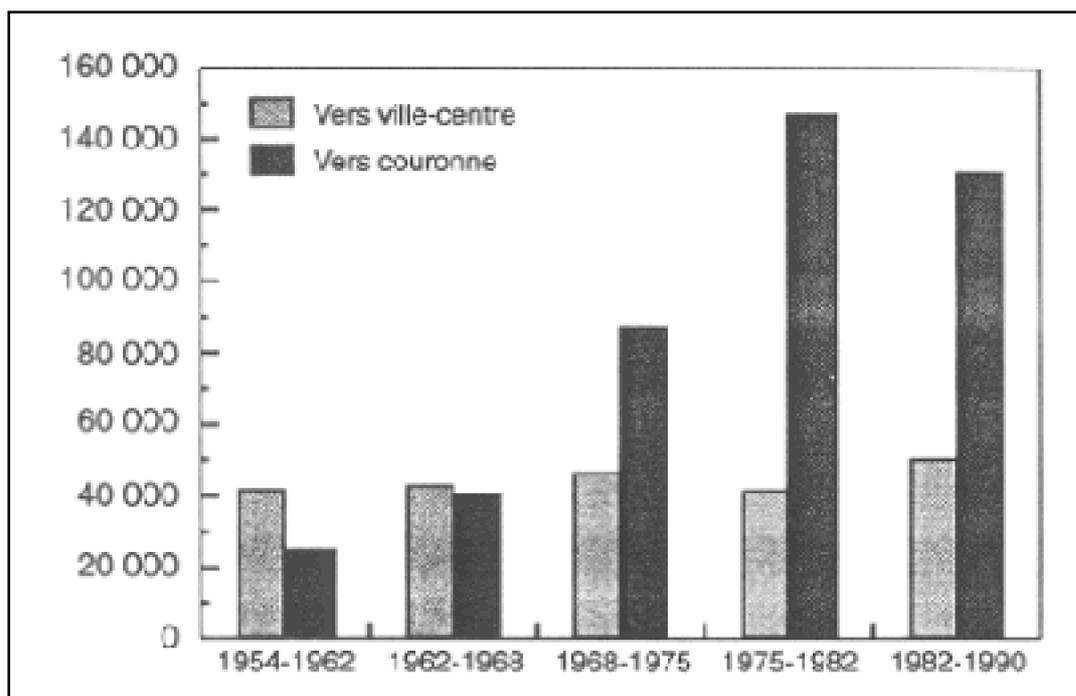
⁵ La densité moyenne est de 104 km² pour l'ensemble du territoire français métropolitain.

des espaces peu denses (Andan *et al.*, 1989).

Tableau 1. La population de la France métropolitaine par catégorie d'espace de 1962 à 1999

	Population (en millions d'habitants)				Population (en %)			
	Pôles urbains ¹	Communes périurbaines	Espace à dominante rurale	France métropolitaine	Pôles urbains	Communes périurbaines	Espace à dominante rurale	France métropolitaine
1962	27,146	5,666	13,613	46,425	58,5	12,2	29,3	100,0
1968	30,381	5,859	13,473	49,712	61,1	11,8	27,1	100,0
1975	32,878	6,537	13,177	52,592	62,5	12,4	25,1	100,0
1982	33,357	7,715	13,263	54,335	61,4	14,2	24,4	100,0
1990	34,372	8,862	13,381	56,615	60,7	15,7	23,6	100,0
1999	35,217	9,674	13,628	58,519	60,2	16,5	23,3	100,0

1. Délimitations définies à partir du Recensement de la Population de 1990. Source : Bessy-Pietri, P. Hilal, M., Schmitt, B. 2000. « Recensement de la population 1999. Evolutions contrastées du rural ». *INSEE Première*, 726, 1



Source : Le Jeannic, T. 1997. « Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes ». *Economie et Statistiques*, 307, 7, 27, d'après INSEE recensements de population (SAFIR). ||

Figure 1 : Migrations résidentielles annuelles entre la ville-centre des pôles urbains et leur couronne périurbaine (1954-1990)

Une première caractéristique de la mobilité urbaine est donc ce mouvement de concentration de la population dans des espaces denses du territoire vers une dilution de

la résidence des populations urbaines sur des espaces périurbains diffus. Une deuxième caractéristique du contexte urbain est la concentration des emplois.

Parallèlement à l'éloignement de la population du centre des aires urbaines vers les espaces périurbains, la localisation des emplois se concentre dans les pôles urbains (Jacquot, 1993). Le mouvement s'explique très bien au regard de l'évolution sectorielle des emplois privilégiant la concentration des activités tertiaires au détriment de la dispersion propre aux activités primaires (Terrier, 1996). La part des emplois dans les pôles urbains dans le nombre d'emplois total en France passe ainsi de 62 % en 1962 à 71,5 % en 1990 alors que, dans le même temps, la part des emplois localisés dans les communes périurbaines passe de 9,5 % à 8,8 % (Le Jeannic, 1997)⁶. Cette concentration attire la population active dans les aires urbaines, celle-ci tendant à choisir de résider en périphérie des centres. La localisation de la population active croît de plus de 75 % dans les communes périphériques entre 1962 et 1990 alors qu'elle n'augmente que de 40 % dans les pôles urbains (voir Tableau 2). Sur la même période (voir Tableau 3), le nombre d'emplois dans les communes périurbaines ne croît que de 7 % alors qu'il progresse de près de 35 % dans les pôles urbains (Le Jeannic, 1997). De fait, 56 % des emplois des aires urbaines sont localisés dans les villes-centres, occupés à moitié seulement par des actifs des villes-centres. En revanche, 9 % des emplois des aires urbaines sont localisés dans les communes périurbaines (Le Jeannic, 1997). Le mouvement général est donc une concentration des emplois dans le centre des aires urbaines et une dispersion de la résidence des actifs dans le périurbain. Le phénomène de périurbanisation est donc plus rapide concernant la localisation des ménages que celui concernant la localisation des emplois. Le rapport entre le nombre d'emplois et le nombre d'actifs résidents s'est accru entre 1975 et 1990 dans les villes-centres alors qu'il s'est, dans le même temps, dégradé dans les périphéries (Massot, 1995).

Tableau 2. Population active par catégorie de communes

	Population active (en millions)				Population active (en %)			
	Pôles urbains	Communes périurbaines	Espace à dominante rurale	France métropolitaine	Pôles urbains	Communes périurbaines	Espace à dominante rurale	France métropolitaine
1962	11,300	2,246	5,588	19,134	59,1	11,7	29,2	100,0
1968	12,691	2,305	5,402	20,398	62,2	11,3	26,5	100,0
1975	14,169	2,542	5,017	21,728	65,2	11,7	23,0	100,0
1982	14,815	3,296	5,440	23,551	62,9	14,0	23,1	100,0
1990	15,635	3,937	5,483	25,055	62,4	15,7	21,9	100,0

Source : INSEE – recensements de population (SAPHIR), à partir de Le Jeannic, T. 1997. « Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes », *Economie et Statistiques*, 307, 7, 35.

Tableau 3. Emploi par catégorie de communes

⁶ Ce constat reste valable même s'il convient de noter que la CEMT et l'OCDE constatent un récent desserrement de la localisation des emplois dans les banlieues et périphéries de pôles urbains européens (CEMT, OCDE, 1995).

	Emplois (en millions)				Emplois (en %)			
	Pôles urbains	Communes périurbaines	Espace à dominante rurale	France métropolitaine	Pôles urbains	Communes périurbaines	Espace à dominante rurale	France métropolitaine
1962	11,713	1,806	5,385	18,904	62,0	9,5	28,5	100,0
1968	13,042	1,764	5,113	18,919	65,5	8,8	25,6	100,0
1975	14,478	1,727	4,598	20,804	69,6	8,2	22,1	100,0
1982	14,964	1,816	4,587	21,367	70,1	8,4	21,4	100,0
1990	15,781	1,938	4,351	22,070	71,5	8,8	19,7	100,0

Source : INSEE – recensements de population (SAPHIR), à partir de Le Jeannic, T. 1997. « Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes », *Economie et Statistiques*, 307, 7, 35.

Ce phénomène conjoint d'attraction des emplois pour le centre des aires urbaines, d'une part, et de propagation des populations dans les espaces périurbains, d'autre part, annonce un bilan de la mobilité quotidienne des citoyens pour lequel seule la voiture particulière semble pouvoir assurer la demande de déplacements des individus.

2 : L'évolution de la mobilité urbaine : le règne de l'automobile

2.1 : Une mobilité stable mais des déplacements plus rapides sur des distances plus longues

En moyenne, en 1994, la mobilité urbaine des personnes⁷ s'élève à 3,2 déplacements par personne et par jour contre 3,4 en 1982 (enquêtes transports de l'INSEE de 1981/1982 et 1993/1994). La mobilité des personnes globalement stagne. Il est à noter que les Français se déplacent en moyenne 2,5 fois par jour en utilisant un moyen de transport autre que la marche à pied (Madre, Maffre, 1995).

Entre 1982 et 1994, le temps total de déplacement par jour ne varie guère. Il se monte en 1994 à 1 h 1/2 environ en région parisienne et 50 minutes en moyenne dans les autres agglomérations françaises. La durée moyenne d'un déplacement reste stable autour de 17 minutes. En revanche, sur la même période, la moyenne de la distance quotidienne totale de déplacement par personne s'accroît notablement. Elle augmente de 30,3 % passant de 17,5 kilomètres à 22,8 kilomètres. Elle passe de 16 à 18 kilomètres pour les habitants des pôles urbains et de 19 à 27 kilomètres pour les habitants des périphéries des pôles urbains. La distance moyenne d'un déplacement, tous types d'espace confondus, passe de 5,3 à 7,3 kilomètres⁸.

⁷ Ne sont comptabilisés ici que les déplacements concernés par les enquêtes transport de l'INSEE effectués à moins de 80 kilomètres du domicile par des personnes de 6 ans et plus.

⁸ Concernant les déplacements uniquement relatifs aux villes-centres, la distance moyenne d'un déplacement passe de 4,3 à 5,3 kilomètres pour une vitesse moyenne en mode mécanisé stagnant à 13,4 km/h (Madre, Maffre, 1995).

Les déplacements s'effectuent par conséquent plus rapidement. La vitesse moyenne des déplacements augmente de 32,8 % entre 1982 et 1994 passant de 18,9 km/h à 25,1 km/h. Si l'on exclut la marche à pied, elle passe de 24 km/h à 30 km/h en moyenne (Madre, Maffre, 1995). Cependant, l'allongement de la distance moyenne d'un déplacement est principalement le fait de la mobilité quotidienne des résidents⁹ des périphéries des pôles urbains (+ 57 %) car en même temps, la distance moyenne de déplacement des habitants des villes-centres progresse moins vite (+ 20 %) (Madre, Maffre, 1995).

Au global, si la mobilité n'évolue pratiquement pas, les échanges concernant l'espace périphérique urbain avec les villes-centres se modifient en revanche réellement au profit d'un allongement des distances effectuées à des vitesses plus importantes. Cette tendance coïncide parfaitement avec un usage prépondérant de la voiture particulière dans le cadre de la mobilité quotidienne.

2.2 : Une empreinte plus forte de la voiture particulière

En termes de répartition modale des déplacements quotidiens, le poids de l'usage de la voiture particulière s'affirme. Entre 1982 et 1994, la part des deux-roues s'effrite passant de 9 % à 4 % et celle de la marche à pied s'effondre de 34 % à 23 %. En revanche, la part des déplacements effectués en transports collectifs stagne à 9 % environ et celle des déplacements réalisés en voiture particulière augmente notablement, passant de 49 % à 63 % (Girault, Lebrun, Simon, 1998). Hors marche à pied, l'augmentation de l'usage de la voiture particulière est de l'ordre de 30 % entre 1982 et 1994 (Madre, Maffre, 1995). Ainsi, en 1994, 82 % des déplacements motorisés quotidiens sont effectués en voiture particulière et seulement 12 % en transports collectifs. En outre, entre 1982 et 1994, l'allongement des distances est de l'ordre de 40 % pour les modes motorisés (Girault, Lebrun, Simon, 1998).

La mobilité quotidienne, au global, ne varie guère, mais sa composition modale subit des modifications notables. Elle s'effectue sur de plus longues distances, au détriment des déplacements internes aux villes-centres, en utilisant des modes motorisés, principalement la voiture particulière, pour relier avant tout les espaces périurbains peu denses au centre des aires urbaines.

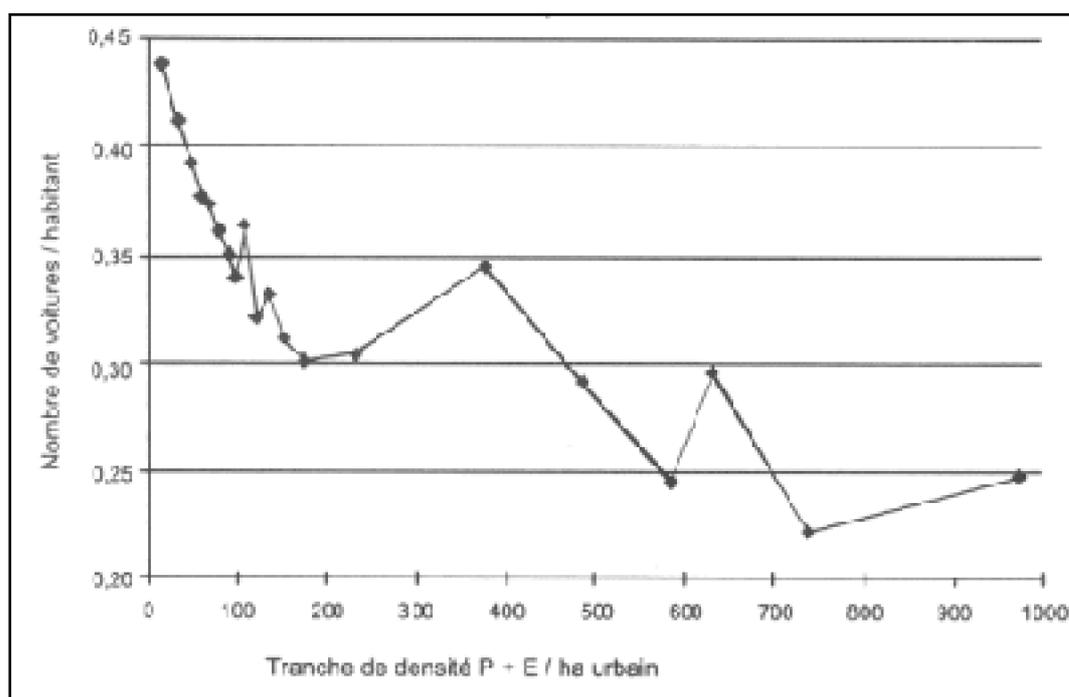
La place occupée par l'usage de la voiture particulière dans la mobilité quotidienne des personnes s'explique tout d'abord par la forte motorisation des ménages¹⁰. Entre 1952 et 1994, le parc de voitures particulières des ménages a augmenté de 39 % alors que la population en âge de conduire a augmenté de 11 %. La tendance est à la multimotorisation des ménages (Lefol, Orfeuill, 1989). Dans les villes françaises hors région parisienne, de 18 % en 1980, le taux de ménages bimotorisés est passé à 24 % en

⁹ Classiquement, le terme 'résident(e)' est un substantif qui désigne un diplomate ou haut fonctionnaire envoyé auprès d'un gouvernement étranger. Il désigne également une personne établie dans un autre pays que son pays d'origine. La Commission du Dictionnaire, en séance du 9 juin 1994, étend la définition à une personne qui demeure dans un pays, une ville, une rue ou une résidence.

¹⁰ Le taux de motorisation des ménages en France en 1998 est de 456 voitures pour 1 000 habitants (URF, 1999).

1994 (Guidez, 1996). Mais ce mouvement ne permet pas à lui seul d'expliquer le choix prépondérant pour la voiture particulière. Il est en réalité intimement lié à l'évolution du contexte urbain d'étalement du choix de résidence des populations et de concentration des emplois. Ainsi, au début des années 70, on pouvait compter 1 voiture particulière pour 3 personnes en âge de conduire. Le taux de motorisation était alors indépendant de la distance au centre. En 1994, on compte 6 voitures particulières pour 10 personnes en périphérie des zones urbaines pour 5 dans les villes-centres (Madre, Maffre, 1995). Force est de constater le lien solide qui existe entre motorisation et périurbanisation (Girault, Lebrun, Simon, 1998). Ainsi, le fort taux de motorisation des ménages habitant les zones périphériques des pôles urbains est symptomatique de l'évolution de la mobilité urbaine. En 1990, 39,7 % des ménages périurbains possèdent au moins 2 voitures contre 25 % en moyenne en France (Le Jeannic, 1997). Pour illustrer, l'analyse de Foucher (1999) montre que plus la densité humaine nette est élevée, moins la motorisation est importante¹¹ (voir Figure 2).

Pour résumer, il peut être laissé à Bonnafus (1993, p. 187) le soin d'affirmer que le « taux de motorisation apparaît donc bien comme une 'variable clé' du phénomène de mobilité : il accompagne et permet la croissance générale de la mobilité et favorise l'usage de la voiture particulière dans le partage modal, en même temps qu'il est certainement favorisé par l'étalement urbain ».



Source : Foucher, V. 1999. « Mobilité et densité urbaine », in Pény, A, Wachter, S. (eds.), Les vitesses de la ville. La Tour d'Aigues. Ed. de l'Aube, coll. Société et territoire, 60. ¶

¹¹ Ces résultats doivent être nuancés du fait que la densité humaine nette calculée prend en compte la somme du nombre d'habitants et du nombre d'emplois rapportée à la surface urbaine.

Figure 2 : Nombre de voitures par habitant selon la densité humaine nette en 1990, en Île-de-France

2.3 : mobilité urbaine sur les traces de l'évolution du contexte urbain

En 1994, 30 % des déplacements concernent des migrations alternantes – *i. e.* des déplacements reliant le domicile au travail ou le domicile à l'école (Girault, Lebrun, Simon, 1998). Entre 1975 et 1990, la distance moyenne du domicile au travail a cru de plus de 60 % dans les grandes villes françaises et de 27 % en région parisienne¹² (Orfeuil, 1994). Le trajet entre lieu de travail et lieu de résidence est de l'ordre de 14 kilomètres environ en 1990 (Genay, 1992). Le nombre d'actifs se rendant dans la ville-centre par jour est multiplié par 2,3 entre 1962 et 1990 (Le Jeannic, 1997). En 1990, 56 % des actifs quittent leur commune pour aller travailler contre 47 % en 1982 (Genay, 1992). En outre, 52 % des actifs périurbains travaillent dans les pôles urbains, dont 34 % travaillent dans les villes-centres (Le Jeannic, 1997). Dès lors, 4,5 millions de personnes en 1990 en France font le trajet périphérie – ville-centre pour occuper au global la moitié des emplois offerts dans les pôles urbains. Inversement, 1,5 millions d'actifs vont de la ville-centre à la périphérie pour se rendre au travail. Ainsi, de 2,5 millions en 1962, le nombre de mouvements journaliers entre les espaces périurbains et les centres des aires urbaines est passé à 6 millions en 1990.

Le contexte urbain, qui se manifeste par un débordement des lieux de résidence sur les espaces périphériques et de concentration des emplois dans les centres urbains, marque donc l'évolution de la mobilité urbaine au profit évident de l'usage de la voiture particulière. Le périmètre des villes sur lequel se joue la mobilité quotidienne a en effet changé. De quelques kilomètres jadis, profitables aux déplacements en transports collectifs ou au mode pédestre, le rayon des agglomérations s'étend aujourd'hui sur plusieurs dizaines de kilomètres favorisant la domination modale de l'automobile (Wiel, Rollier, 1993). La croissance de la mobilité urbaine semble à présent ralentie, mais le type de liaison se modifie vers une plus grande distance des déplacements, reliant des espaces concentrés à des espaces plus diffus. Elle est grandement modelée par les déplacements des habitants des communes périphériques des pôles urbains. En 1991, en Ile-de-France, les distances quotidiennes parcourues par les résidents des communes de forte densité humaine nette, plutôt localisées au centre des aires urbaines, sont 2,6 fois moins longues que celles effectuées par les habitants des communes de plus faible densité humaine nette, plutôt situées en périphérie (Foucher, 1999).

Tableau 4 1982-1994 – Evolution de la mobilité locale en semaine Principaux indicateurs en fonction des zones de résidence

¹² Le cas de Paris et de la région parisienne est atypique. En raison de sa grande taille et d'une plus forte densité, les déplacements en transports collectifs résistent à la voiture particulière et représentent 30 % des déplacements.

La fraude au stationnement

	1982	1994		1982	1994
Population concernée			Vitesse moyenne (en km/h)	18,9	25,3
(en millions)	48,5 (100,0%)	53,1 (100,0%)	Centre	15,9	19,3
Centre	15,1 (31,1%)	15,2 (28,7%)	Banlieue	17,3	22,1
Banlieue	15,3 (31,6%)	17,2 (32,4%)	Périphérie	23,2	33,7
Périphérie	16,0 (33,0%)	18,8 (35,2%)	Rural	26,6	38,7
Rural	2,1 (4,3%)	1,9 (3,7%)	Distance totale		
Nombre de déplacements			(en millions de km par jour)	854 (100,0%)	1217 (100,0%)
(en millions)	164,6	167,7	Centre	234 (27,4%)	278 (22,9%)
Centre	54,5	52,2	Banlieue	271 (31,7%)	377 (30,9%)
Banlieue	52,0	55,5	Périphérie	304 (35,6%)	508 (41,8%)
Périphérie	52,1	55,3	Rural	45 (5,3%)	54 (4,4%)
Rural	6,0	4,7	Modes de déplacement (en %)		
Nombre de déplacements			Marche à pied	34,1	23,3
(par personne et par jour)	3,4	3,2	Deux-roues	8,7	4,2
Centre	3,6	3,4	Véhicules 4 roues	48,7	63,5
Banlieue	3,4	3,2	Transports en commun	8,5	9,0
Périphérie	3,3	3,0	<i>Centre</i>		
Rural	2,9	2,4	Marche à pied	39,8	31,1
Proportion de déplacements			Deux-roues	8,5	3,6
Multimodaux (en %)	1,7	2,0	Véhicules 4 roues	42,7	54,1
Centre	1,0	1,1	Transports en commun	9,0	11,2
Banlieue	3,1	3,7	<i>Banlieue</i>		
Périphérie	1,1	1,3	Marche à pied	34,0	22,9
Rural	0,6	0,3	Deux-roues	7,0	4,6
Durée des déplacements			Véhicules 4 roues	48,0	61,8
(en minutes)	16,4	17,2	Transports en commun	11,0	10,7
Centre	16,2	16,5	<i>Périphérie</i>		
Banlieue	18,0	18,5	Marche à pied	29,8	17,2
Périphérie	15,0	16,4	Deux-roues	10,7	4,6

Partie 1 : De la nécessité d'un éclairage économique sur le comportement de fraude au stationnement

	1982	1994		1982	1994
Rural	16,7	17,5	Véhicules 4 roues	53,4	72,6
Distance moyenne			Transports en commun	6,1	5,6
Par déplacement (en km)	5,2	7,3	<i>Rural</i>		
Centre	4,3	5,3	Marche à pied	20,5	11,9
Banlieue	5,2	6,8	Deux-roues	7,0	3,1
Périphérie	5,8	9,2	Véhicules 4 roues	69,0	80,0
Rural	7,5	11,5	Transports en commun	3,5	5,0

Source : Madre, J.-L., Maffre, J. 1995. « Toujours plus loin... mais en voiture », *INSEE Première*, 417, 4., d'après INSEE, Enquêtes transports 1982 et 1994.

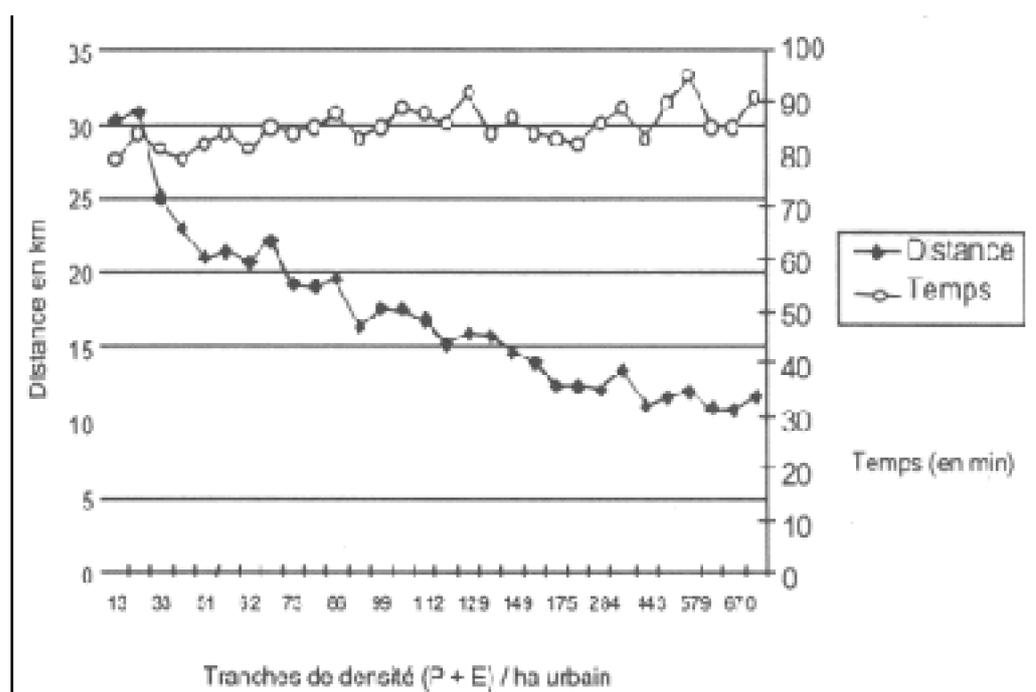
Tableau 5 : Part des différents moyens de locomotion selon les trajets (en %)¹

Origin	Deux-roues			Voiture			Transports en commun			Ensemble	
	1982	1994	Ecart	1982	1994	Ecart	1982	1994	Ecart	1982	1994
Centre-Centre	6	-9	70	75	+5	15	19	+4	100	100	
Centre-Banlieue	4	-7	60	74	+14	29	22	-7	100	100	
Centre-Périphérie	2	-2	84	88	+4	12	10	-2	100	100	
Banlieue-Banlieue	7	-5	77	83	+6	11	10	-1	100	100	
Banlieue-Périphérie	4	-9	78	90	+12	11	8	-3	100	100	
Périphérie-Périphérie	20	-11	72	87	+15	8	4	-4	100	100	
Rural-Rural	12	8	-4	86	89	+3	2	3	+1	100	100
Sortant du bassin	2	1	-1	86	91	+5	12	8	-4	100	100
Ensemble	13	6	-7	74	82	+8	13	12	-1	100	100

1. Déplacements courants mécanisés en jour de semaine, à moins de 80 kilomètres du domicile à vol d'oiseau. Source : Madre, J.-L., Maffre, J. 1995. « Toujours plus loin... mais en voiture », *INSEE Première*, 417, 1., d'après INSEE, Enquêtes transports 1982 et 1994.

La voiture particulière semble donc être le mode de transport idéal permettant d'assumer ce besoin de mobilité. Elle répond mieux aux penchants des résidents périurbains qui fuient le poids du foncier au centre mais qui désirent conserver les avantages de la concentration en termes d'emploi et d'accès aux services (Madre, Maffre, 1995). Les transports collectifs demeurent manifestement non compétitifs pour suivre cette évolution tant la faible densité des populations à desservir dans les espaces périurbains occasionne un coût d'exploitation exorbitant (Bonnafous, 1993). De plus, ils

ne peuvent offrir le même service que celui qu'apporte l'automobile pour les habitants des espaces périurbains tant l'étendue spatiale de leurs activités quotidiennes borne leur sphère d'influence. Dans une étude sur l'agglomération lyonnaise (Andan, Faivre d'Arcier, 1992), il apparaît que seuls 22 % des actifs résidents des communes périurbaines ne sont pas captifs de la voiture particulière. En outre, en moyenne, un déplacement en transport collectif prend 1,5 fois plus de temps que le même déplacement effectué en voiture particulière (CGP, 1992). Dès lors, même s'ils se déplacent sur des distances plus longues, les habitants des communes de faible densité humaine nette situées en Ile-de-France ont des temps de transport en 1991 plus faibles que ceux des habitants des communes denses (voir Figure 3). Ce constat s'accompagne de fait d'un plus fort recours à la voiture particulière, voire d'une dépendance à la voiture, dans les communes de forte densité (Foucher, 1999).



Source: Foucher, V. 1999 : "Mobilité et densité urbaine", in: Pény, A, Wachter, S. (eds). Les vitesses de la ville. La Tour d'Agues. Ed. de l'Aube, coll. Société et territoire, 63. ¶

Figure 3 : Distance et temps de déplacement par individu et par jour selon la densité humaine nette en 1990, en Île-de-France

L'évolution de la mobilité urbaine est donc largement marquée par l'usage de la voiture particulière. Pour Orfeuil (1994), la voiture particulière est, en définitive, plus qu'un simple mode de transport, c'est également un moyen de remodeler l'espace. Elle est en quelque sorte le vecteur le plus commode pour susciter le déplacement des lieux de résidence. En termes de mobilité quotidienne, elle permet ainsi d'opter plus volontiers pour une localisation dans des espaces éloignés des centres, c'est-à-dire des lieux d'emplois, tout en bénéficiant des avantages de la concentration. L'importance de l'usage de l'automobile dans les déplacements quotidiens procède donc de la dualité entre la

localisation des emplois en milieu dense et celle de l'habitat en milieu diffus éloigné du centre. Ce mouvement génère un fort besoin de mobilité quotidienne que seule la voiture, rapide et flexible, permet de combler. Pour reprendre Bonnafous et Puel (1983), la mobilité, *a fortiori* les formes de la mobilité urbaine, est « une rançon de la croissance urbaine ». En facilitant l'éclatement des activités liées à la mobilité quotidienne sur le territoire urbain (Raux, 1993), l'automobile participe, en retour, du fait de ses caractéristiques propres, à la pérennisation de ce mouvement qui donne au contexte urbain sa forme dispersée (Kaufmann, 2000).

Cette mobilité quotidienne, largement dominée par l'usage de la voiture particulière, suscitée par l'évolution de la forme de l'urbanisation, a des conséquences notables sur l'environnement des citadins et sur la circulation des flux de transports en ville qu'il convient à présent d'exposer.

3 : Les conséquences d'une mobilité quotidienne dominée par la voiture particulière

Les impacts d'une telle mobilité en milieu urbain sont de deux ordres. Tout d'abord, la mobilité quotidienne, dominée par l'usage de la voiture particulière, contribue à l'existence de nuisances affectant l'environnement des populations citadines. Pour donner un ordre d'idée, d'après une synthèse d'études réalisée par la *Royal Commission on Environmental Pollution* (1994), les coûts environnementaux annuels de la circulation routière (pollution atmosphérique, bruit, insécurité routière) s'élèvent entre 2 et 3 % du PIB. L'importance de ce chiffre justifie que les conséquences environnementales de la circulation, et notamment de la circulation urbaine, soient prises en considération lors de toute étude portant sur l'analyse des déplacements en milieu urbain. En outre, la mobilité urbaine, soumise au règne de l'automobile, soulève un problème de gestion des flux de transports au sein des espaces urbains. Pour fixer les idées, le coût des encombrements de la circulation est, peu ou prou, du même ordre de grandeur que les coûts environnementaux (CEMT, 1996). Dès lors, il convient d'étudier l'une et l'autre de ces conséquences qui justifient le besoin de réguler la mobilité urbaine.

3.1 : Les nuisances sur l'environnement liés à la mobilité urbaine

Par nuisances sur l'environnement, il faut entendre l'ensemble des impacts sur la qualité de l'air, le bruit, la qualité des eaux et des sols, domaine qu'étudie la *mésologie*, c'est-à-dire le domaine de l'étude de l'environnement touchant directement au milieu vital ou aux bases de la vie (Hertig, 1999). Par souci de simplification de l'analyse, l'insécurité routière est ici également classée comme une nuisance pesant sur l'environnement des citadins.

D'après une enquête de l'INRETS (Lambert, 1989), en 1986, 37 % des français s'estiment gênés par le bruit lié aux transports. Presque 10 % des enquêtés évoquent la pollution automobile comme une nuisance et près de 7 % se sentent gênés par l'insécurité routière. Dans une étude anglaise plus récente (Jones, Haigh, 1994), au niveau local, c'est-à-dire dans leur espace de vie quotidienne, 45 % des britanniques estiment les problèmes dus à la pollution atmosphérique très ou relativement graves,

32 % citent le bruit lié à la circulation routière, 33 % évoquent l'insécurité routière. D'après la CEMT (1996), le coût total des nuisances environnementales se monte entre 2 et 5 % du PIB des pays européens. Ces chiffres montrent en quoi le bruit, la qualité de l'air et l'insécurité routière sont trois nuisances à considérer en priorité en ce qui concerne l'étude des conséquences sur l'environnement de la mobilité urbaine.

3.1.1 : Le bruit

D'après l'INRETS, 12,3 % de la population française s'estiment en 1988 exposés à un seuil de bruit provoquant une gêne ou une fatigue (> 65dBA) généré directement par les transports terrestres. Plus du quart de cette population gênée est localisé en zone urbaine. Lorsqu'on leur demande, 30 % des français citent le bruit comme une nuisance réelle de leur environnement (Maurin, Lambert, Alauzet, 1988).

La pollution phonique provoquée par les transports terrestres occasionne des problèmes auditifs qui, pour autant, n'atteignent jamais des niveaux pouvant générer des syndromes pathologiques du système auditif. Ils gênent néanmoins le fonctionnement de l'oreille et stimulent certaines parties du système nerveux (CERTU, ADEME, 1999). En outre, le bruit des transports cause ce qu'il est convenu d'appeler des *effets de masque* qui consistent en la couverture d'autres messages sonores. Par ailleurs, le bruit a des effets sur le fonctionnement de l'organisme et des effets psychiques, provoquant notamment des perturbations du sommeil, le *stress* et pouvant aller jusqu'à générer des complications cardio-vasculaires (CERTU, ADEME, 1999). Il peut poser de lourds problèmes de concentration, d'apprentissage pour les enfants, de performances au travail (CNT, 1998).

La source principale de bruit émis par la circulation des véhicules en ville est à hauteur de 90 à 95 % le fait du groupe motopropulseur des voitures particulières et de 5 à 10 % le fait des frottements des pneumatiques sur la chaussée. (CERTU, ADEME, 1999). Le bruit des moteurs n'est cependant pas l'unique source de gêne de la circulation généralement évoquée par les citadins. Il faut considérer également ce que Champelovier et Lambert (1998) appellent les *émergences* comme le régime moteur élevé, le claquement des portières ou le démarrage des véhicules. Sur cette base, on estime alors à 90 % la part de la population citadine gênée par le bruit de l'usage des voiries urbaines (Champelovier, Lambert, 1998).

Cette gêne a des répercussions réelles physiologiques, psychologiques et sociales (Lambert, 1989) qu'il convient d'évaluer en termes économiques. Le coût moyen des nuisances sonores varie selon les méthodes d'évaluation entre 0,1 % (UE, 1992) et 0,3 % du PNB (CGP, 1994 ; Quinet, 1994) dont 64 % seraient directement imputables aux transports terrestres en général (UE, 1992). D'après Orfeuill (1997b), le coût du bruit peut être estimé à 5 ou 10 centimes le kilomètre parcouru.

3.1.2 : La pollution atmosphérique

La pollution de l'air provient essentiellement de la combustion des combustibles fossiles et notamment des hydrocarbures et de leurs additifs. Elle a des répercussions directes sur la santé et indirectes sur la qualité de l'atmosphère et sur le climat (Giblin, 1997). Pour

illustrer, seuls les effets sur la santé sont succinctement présentés ici.

Dans un récent rapport, l'Académie des sciences note qu'il existe de « **fortes présomptions [...] pour relier la pollution due au transport à des effets sur la santé humaine, notamment en ce qui concerne les effets à court terme** » (CADAS, 1999). Bien que le lien direct entre l'existence de maladies, notamment l'asthme, et la qualité de l'air reste encore discuté (Aubier, 1999), il existe un consensus pour affirmer que la pollution atmosphérique est un facteur d'aggravation des dysfonctionnements du système respiratoire (CERTU, ADEME, 1999). La Société Française de Santé Publique (1996) souligne le risque réel de détérioration de la fonction respiratoire, des effets cancérogènes et neurotoxiques générés par la pollution atmosphérique. Ses évaluations permettent d'estimer de 150 à 250 le nombre de décès anticipés qui pourrait être évité dans l'ensemble des agglomérations françaises de plus de 250 000 habitants pour une réduction de 20 % de la pollution d'origine automobile (SFSP, 1996).

Les polluants les plus importants émis par les transports motorisés sont le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), l'oxyde d'azote (NO_x), le plomb (Pb) et de nombreux composés organiques volatils (COV) (CERTU, ADEME, 1999). S'agissant des transports, les émissions proviennent directement des échappements (polluants primaires), des polluants secondaires (polluants primaires transformés chimiquement dans l'air), et des particules en suspension émises par l'usure des freins et des pneumatiques. En général, la pollution dite globale, issue des émissions de CO₂ ayant pour répercussion le réchauffement de l'atmosphère à l'origine de l'effet de serre, est distinguée de la pollution dite locale touchant à la sphère de l'environnement quotidien des populations.

Les émissions sont largement issues de la circulation des voitures particulières. En France, plus du quart des émissions de CO₂ sont le fait des transports routiers. 63 % de ces émissions sont estimées provenir de la circulation des voitures particulières, dont la moitié de la circulation automobile en ville. L'émission de CO₂ rapportée au voyageur-kilomètre est 2 fois plus élevée pour la voiture particulière que pour les transports publics. Celle de CO est 25 fois plus élevée (CERTU, ADEME, 1999). La part imputable au transport en milieu urbain dans les émissions de l'ensemble des transports en France est de 2/3 pour le CO, 1/3 pour les NO_x (CERTU, ADEME, 1999).

S'il existe un accord général pour constater de réels progrès sur les émissions dus en partie au renouvellement du parc automobile et à la généralisation des catalyseurs ayant conduit à une baisse de 24 % des émissions de CO et de 15 % des émissions de COV de 1982 à 1994, force est de constater que sur la même période, la mobilité quotidienne en France a provoqué une augmentation de 28 % des émissions de CO₂ et de 17 % des émissions de NO_x. L'accroissement des déplacements périurbains concourt par ailleurs à hauteur de 68 % à l'augmentation des émissions de CO₂ et 49 % de l'augmentation des émissions de NO_x (Gallez, 1998).

Certes, les catalyseurs ont fait chuter l'émission de CO et la pollution atmosphérique a régressé depuis 20 ans, mais le problème est aujourd'hui dû à la diésélisation croissante des équipements et aux phénomènes de pointes. Nogier (1995) a pu mettre en évidence, à l'occasion d'une étude sur la région parisienne, que la densité de trafic, en

des moments relativement réduits du temps, est un facteur explicatif des pics de pollution.

Le législateur s'est donc prononcé sur ce point (Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie n°96-1236 du 30 décembre 1996 art. 24) en prescrivant que « les véhicules doivent être construits, commercialisés, exploités, utilisés, entretenus et, le cas échéant, réparés de façon à [...] minimiser la consommation d'énergie [...], les émissions polluantes, notamment de dioxyde de carbone ». Ainsi, étant donné la législation en vigueur, l'OCDE (1995) a pu montrer que les émissions devraient être réduites jusqu'en 2005-2010. En revanche, à partir de cette date, en l'absence de nouvelles mesures, la croissance du trafic devrait entraîner une nouvelle hausse de la pollution.

En dépit de difficultés méthodologiques pour évaluer précisément les coûts de la pollution atmosphérique, Le Livre vert de l'Union Européenne (1992) et Quinet (1994) estiment à 0,4 % du PNB les coûts de la pollution locale, c'est-à-dire hors coûts portant sur la biosphère. 90 % seraient directement imputables aux transports terrestres. Pour illustrer à la fois la difficulté de l'évaluation et le poids réel de la pollution atmosphérique en termes de coût, Lescure, Nogier et Tourjansky-Cabart (1997) estiment à 555 800 francs les coûts sanitaires et sociaux directement liés à l'augmentation des oxydes d'azote lors d'un pic de pollution alors que Willinger et Masson (1996) portent l'évaluation à environ 2 millions de francs.

3.1.3 : L'insécurité routière

En France, annuellement, on compte environ 8 400 morts, 39 000 blessés graves et 142 000 blessés légers dus à la circulation routière (ONIRS, 1996). L'évolution tend vers une baisse relative de l'insécurité routière. En 1972, année noire de la sécurité routière en France, 275 000 accidents corporels ont été enregistrés avec 16 500 tués. En 1997, le nombre d'accidents corporels est passé à 125 000 dont moins de 8 000 tués (URF, 1999). En même temps, le trafic a été multiplié par 2,5. Moins d'un tiers des accidents est localisé hors agglomération, mais cette part représente les deux tiers des tués. Le risque d'avoir un accident de la circulation routière, à distance de déplacement équivalente, est 3 fois supérieur en agglomération qu'en rase campagne. En revanche, le risque d'être tué est moins fort (Fontaine, Barjonet, 1989). Une majorité des blessés est répertoriée en milieu urbain (105 371 blessés en 1999) dont la moitié des blessés graves, et un tiers des tués, c'est-à-dire 2 394 tués en 1999 (CCFA, 2000), dont une forte proportion de piétons et de deux roues (CERTU, 1996). 85 % des accidents impliquant des cyclistes en Europe sont situés en agglomération et 90 % des accidents impliquant des piétons. 61 % des piétons tués le sont en agglomération (CEMT, 2000). Néanmoins, l'application de règles de sécurité implique que l'insécurité routière est en forte réduction dans les agglomérations françaises (SATRE 2, 1998).

Cependant, plus que la densité de trafic, le risque routier dépend du comportement des conducteurs. Certains modèles, comme ceux formalisés dans le cadre de la théorie de l'homéostasie du risque (Wilde, 1982), laissent penser que la perception du risque est l'un des principaux facteurs de la détermination du taux d'accident. De fait, les mesures de sécurité sont compensées par un comportement plus risqué des usagers (SATRE 2, 1998). Le risque routier en milieu urbain, en dépit des efforts de sécurité, reste donc bien

réel.

Le lien entre mobilité quotidienne et insécurité routière doit être nuancé dans la mesure où, selon Jones, dans un rapport pour la CEMT (1996), il n'existe pas de relation statistique simple entre l'insécurité routière et la circulation en milieu urbain. En revanche, il apparaît que le risque d'accident s'élève en fonction de la vitesse de circulation. Donc, s'il est difficile d'accuser le développement de la mobilité quotidienne en voiture particulière dans le sentiment d'insécurité routière dans les villes-centres, le mouvement général d'augmentation des vitesses, qui marque la mobilité quotidienne relativement à la dispersion de la résidence de la population urbaine, pose un problème réel d'insécurité routière dans les aires urbaines. De plus, une estimation de Jaeger et Lassare (1999) montre que le facteur principal de réduction du risque routier en agglomération reste la limitation de vitesse à 50 km/h. Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, une hausse de 10 % de la vitesse engendrait en moyenne une augmentation du risque d'accident mortel de 20 %. L'évolution récente de la structure de la mobilité urbaine, affichant des vitesses en moyenne plus élevées, laisse donc présager une augmentation inéluctable du risque routier en milieu urbain.

En termes de coût, dans un rapport pour le Commissariat Général du Plan, Le Net (1994) estime le coût de l'insécurité routière en France en 1992 à 119 milliards de francs décomposés en 61,8 milliards de francs pour le coût estimé des victimes et 57,2 milliards de francs pour le coût estimé matériel des accidents non corporels. De manière plus générale, en dépit des fortes disparités nationales de valorisation du coût de la vie humaine, dans les pays de l'OCDE, le coût de l'insécurité routière s'élève autour de 2 % du PNB (Quinet, 1994). En ce qui concerne la mobilité urbaine, en guise d'illustration, l'OCDE et la CEMT (1995) estiment pour la Grande-Bretagne à 60 % la part des coûts des accidents survenus en ville. Face à ce coût de l'insécurité routière, notamment en milieu urbain, la tendance est à la recherche des moyens les plus efficaces de réduire la mortalité sur la route (Fleury, 1998).

La mobilité urbaine, dominée par l'usage de la voiture particulière, génère donc en premier lieu des nuisances sur l'environnement des citoyens, notables en ce qui concerne le bruit, la pollution atmosphérique et l'insécurité routière qui, constituent un premier argument pour une discussion sur la pertinence d'une intervention régulatrice. En second lieu, la mobilité quotidienne des citoyens, marquée par la part modale prépondérante de la voiture particulière, pose la question de la circulation des flux de transports en milieu urbain, c'est-à-dire la question de la congestion routière urbaine.

3.2 : La congestion routière urbaine

L'importance de l'usage de la voiture particulière dans la mobilité quotidienne a des incidences sur la circulation des transports en milieu urbain. Elle se concrétise notamment par l'existence de situations de congestion dans les villes-centres. Afin d'évaluer la portée des conséquences de la part modale de la voiture particulière sur l'écoulement des flux de transports en ville, il est nécessaire tout d'abord d'apporter une définition claire de la congestion. De cette définition, il est alors tiré des conclusions quant à la mesure de la congestion et du coût de la congestion. Enfin, à partir de la définition de la congestion

routière urbaine, le mécanisme d'évolution de la congestion est décrit. Il permet de montrer, d'une part, en quoi le phénomène est, certes en croissance mais concentré à la fois dans l'espace et dans le temps, d'autre part, qu'il résulte d'une dynamique cumulative.

3.2.1 : Définir la congestion routière

La congestion routière définit un état de la circulation des véhicules sur un tronçon routier pour lequel les usagers des transports ne peuvent se déplacer comme ils le souhaitent (CEMT, 1999). De manière générale, la congestion relate une situation de réduction de la qualité de service que propose une infrastructure à ses usagers à capacité donnée. Elle résulte soit du fait d'une demande excessive par rapport aux capacités que propose l'infrastructure, soit pour d'autres motifs comme, par exemple, la survenance d'un événement imprévu (accident, travaux, *etc.* dans le cas d'une infrastructure routière). La surcharge de l'infrastructure routière traduit un état d'usage de l'infrastructure pour lequel la quantité de véhicules l'empruntant est supérieure à sa capacité ce qui contribue à ralentir la vitesse de déplacement des usagers.

En termes d'ingénierie du trafic, la congestion correspond à la situation pour laquelle, au-dessus d'un certain niveau de trafic, une charge additionnelle produit une réduction de la vitesse globale du trafic. Selon Dargay et Goodwin (CEMT, 1999, p. 178), « la congestion se définit comme la gêne que les véhicules s'imposent les uns aux autres, en raison de la relation vitesse-débit du trafic, dans des conditions où l'utilisation du système de transport se rapproche de la capacité du système ». La relation débit-vitesse (voir Encadré 2) formalise le lien entre l'utilisation de l'infrastructure et la vitesse de circulation. Ainsi, plus une route est empruntée, plus la circulation est ralentie. Dans ce cadre, la congestion apparaît lorsque « **les usagers entravent mutuellement leur libre circulation** » (Goodwin, 1989, p. 24). Elle s'accroît à mesure que l'on s'approche de la capacité maximale de l'infrastructure, jusqu'au point où, la surcharge est telle que plus aucun véhicule ne peut se déplacer. La baisse de la qualité du service rendu par l'usage de la voirie se manifeste alors par l'existence d'embouteillages, ce qui induit un allongement des temps de déplacement, un accroissement des retards, une augmentation de la consommation de carburant, une intensification des nuisances environnementales, *etc.* Ainsi, en termes économiques, dans un état de congestion, d'une part, le coût direct de déplacement à la charge des usagers, c'est-à-dire leur coût privé, ou encore, leur coût généralisé de déplacement s'accroît. D'autre part, le coût social de la mobilité urbaine, c'est-à-dire l'ensemble des coûts différents des coûts directement assumés par les usagers, augmente.

Pour pouvoir évaluer le coût de la congestion urbaine, il est préalablement nécessaire de discuter de la méthode de mesure de la congestion. Or, la mesure du coût de la congestion reste largement discutée tant elle dépend de la définition même de la congestion (CEMT, 1999 ; voir Derycke, 1997 pour un *survey*).

Formellement, l'on définit ainsi, un diagramme fondamentalement rigide, d'un point de vue microscopique de la théorie du trafic (ce ne s'intéresse qu'aux flots globaux de véhicules et non à la relation cinétique des véhicules considérés individuellement et interagissant les uns avec les autres), rend unique de la relation entre la concentration (k) ou la densité) de véhicules, et la vitesse du flot de véhicules, sur une section de route (Celien, 1990).

Soient q le débit, correspondant à la répartition des véhicules en un point donné de la section de route considérée par unité de temps, k la concentration, correspondant à la répartition des véhicules sur une longueur unité de l'espace de circulation, et U la vitesse, c'est-à-dire le longueur parcourue par unité de temps, on peut alors écrire la relation :

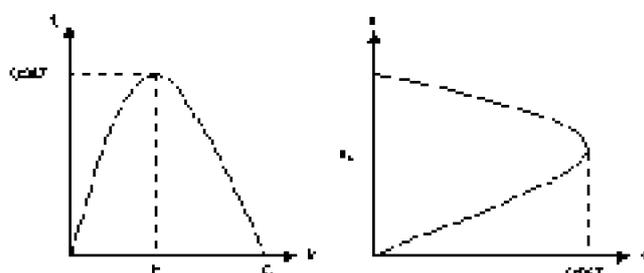
$$q = U \cdot k,$$

la vitesse étant une fonction monotone décroissante de la densité de véhicules :

$$U = U(k) \text{ (hypothèse du diagramme fondamental)}$$

Il résulte que la vitesse U est fonction du débit q .

Le diagramme fondamentalement prend alors la forme suivante :



À faible concentration de véhicules, la vitesse moyenne de flux de véhicules est élevée. Lorsque la densité augmente, les interactions entre véhicules s'intensifient et la vitesse du flot de véhicules diminue. Ainsi, en situation de circulation fluide, les véhicules ne se gênent pas et le débit peut augmenter avec la densité le débit des jusqu'à un certain seuil k_0 , au-delà la concentration critique, les véhicules ne se gênent pas et le débit correspondant à la capacité de l'infrastructure, soit le débit maximal. Si la concentration augmente au-delà de ce seuil, le débit décroît. Les véhicules se gênent ce qui conduit un état de régime de circulation saturée jusqu'à une valeur limite k_c représentant une concentration d'embouteillage.

Un même débit peut donc correspondre à deux niveaux de densité de véhicules différents. Un débit nul pouvant être une situation où l'infrastructure est vide ou une situation où l'infrastructure subit une concentration d'embouteillage.

Encadré 2 : La relation débit-vitesse

3.2.2 : De la mesure de la congestion routière à la mesure du coût de la congestion routière urbaine

Lorsque l'évaluation s'effectue sur la base de la méthode proposée par Glanville et Smeed (1958) qui consiste à calculer le coût du temps de déplacement supplémentaire pour une vitesse de déplacement supérieure à une vitesse cible représentant une situation de circulation fluide, le coût de la congestion se monte à 95 milliards de francs pour la France en 1993 (CEMT, OCDE, 1995). Pour les pays de l'OCDE, elle représente alors peu ou prou 30 % du coût total de l'ensemble des déplacements valorisé à 7 % du PIB, soit 2 % du PIB (OCDE, 1993). En suivant cette méthode, le coût de la congestion a augmenté de 400 à 500 % en quarante ans (CEMT, 1999).

La méthode peut être néanmoins remise en cause dans la mesure où il ne semble pas pertinent de prendre comme situation de référence de la mesure de la congestion des

vitesse de circulation en situation de circulation fluide (Goodwin, 1989 ; CEMT, 1999). En effet, cette situation de référence s'appuie sur un état de sous-utilisation de la capacité routière, donc d'une mauvaise allocation des ressources. La CEMT (1999) propose donc de considérer un état de référence prenant en compte un niveau de congestion reflétant un usage optimal de l'infrastructure. Elle propose de poser comme situation de référence un état de la circulation pour lequel il y aurait une probabilité annuelle de rencontrer un bouchon sur un tronçon d'une infrastructure. Si, par exemple, cette probabilité est de l'ordre de 2 %, alors le coût de la congestion se monte approximativement à 0,5 % du PIB. Une autre méthode consiste à prendre en considération les gains obtenus en efficacité d'usage de l'infrastructure en tarifiant la congestion. Le coût de congestion s'élève alors à 0,75 % du PIB (CEMT, 1999).

En ayant bien conscience de ces difficultés de mesure, il est bon de retenir que la congestion au global a un coût et que ce coût est loin d'être négligeable. Les données suivantes montrent que la congestion est d'autant plus critique qu'elle se situe dans des espaces urbains.

Les encombrements en zone urbaine sont estimés représenter deux tiers des coûts des encombrements globaux (CEMT, OCDE, 1995). Pour illustrer, toutes proportions gardées quant à la forme de l'urbanisation, une étude britannique (Newbery, 1990) avance un rapport allant de 1 à 10 entre le coût de congestion sur l'ensemble du réseau autoroutier et le coût de congestion sur le réseau routier des pôles urbains en période de pointe.

Le coût global de la congestion, en particulier en milieu urbain, est donc loin d'être négligeable. Pour l'utilisateur de la voiture particulière, lorsque la congestion s'intensifie, le coût privé du déplacement s'élève automatiquement. Cependant, l'utilisateur de la voiture particulière perçoit mal le coût réel de son déplacement. D'une part, il apprécie de manière imprécise les coûts qu'il subit personnellement, d'autre part, il ne tient aucunement compte des coûts qu'il génère aux autres usagers par le temps qu'il leur fait perdre dans les embouteillages ou aux coûts relatifs aux nuisances environnementales qu'il contribue à produire. Par exemple, en France, l'INRETS (1991) a évalué le coût de la congestion dû à l'usage de la voiture particulière mais supporté par les autres modes de déplacements urbains entre 15,3 et 28,7 millions de francs.

Donc, du fait d'un certain nombre de difficultés méthodologiques (Orfeuill, 1996), l'appréciation des coûts réels du déplacement par l'utilisateur de la voiture particulière est biaisée (Aydalot, 1985). Cette mauvaise appréciation joue à l'avantage de l'usage de la voiture particulière. En effet, le coût ressenti par l'utilisateur en voiture particulière est peu ou prou équivalent au coût privé d'usage des transports collectifs (CGP, 1992). A coût pratiquement équivalent, l'avantage privé en termes de rapidité, de flexibilité et de confort renforce l'attrait pour l'usage de l'automobile en ville. Ce constat présuppose la forme de la dynamique de la congestion routière urbaine, un phénomène en croissance mais très concentré dans le temps et dans l'espace, et qui conduit à un usage toujours plus conséquent de la voiture particulière.

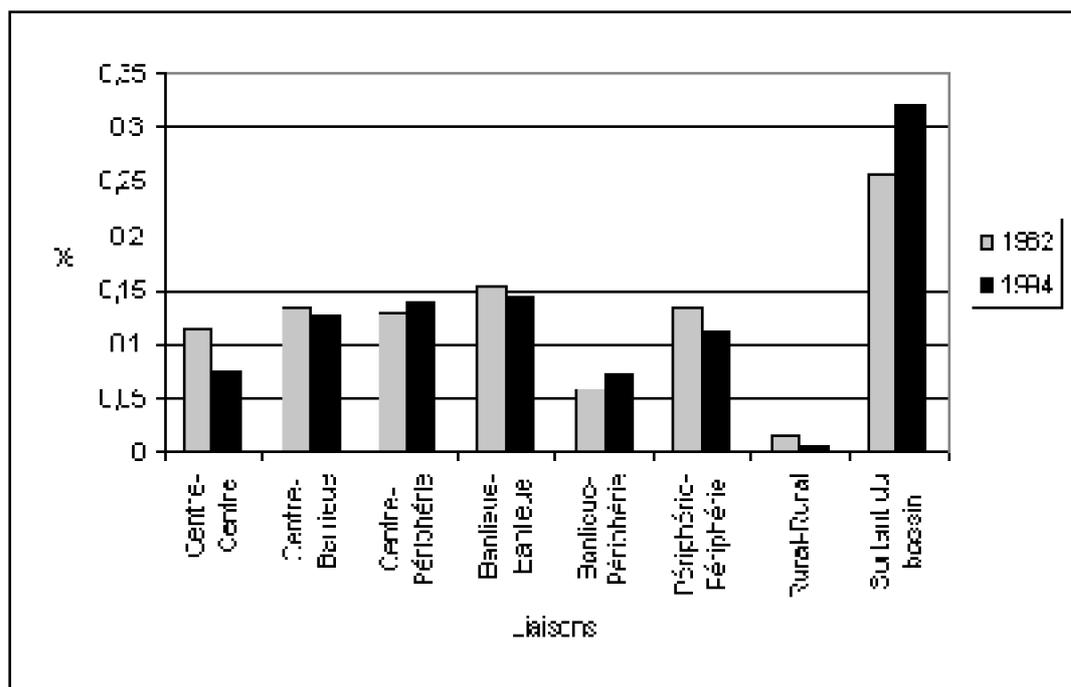
3.2.3 : L'évolution de la congestion urbaine

S'il est délicat de retenir une seule définition de la congestion, il est en revanche permis d'aborder le phénomène de congestion routière urbaine par le biais de son évolution. Tout d'abord, en termes empiriques, le constat peut être fait de l'existence d'une expansion des situations de congestion en milieu urbain. Une analyse plus complète montre cependant que cette croissance est très localisée, à la fois dans l'espace et dans le temps. En revanche, une approche plus analytique permet de mettre en évidence que le phénomène de congestion procède d'une dynamique cumulative.

3.2.3.1 : La croissance de la congestion urbaine : un phénomène en expansion mais concentré

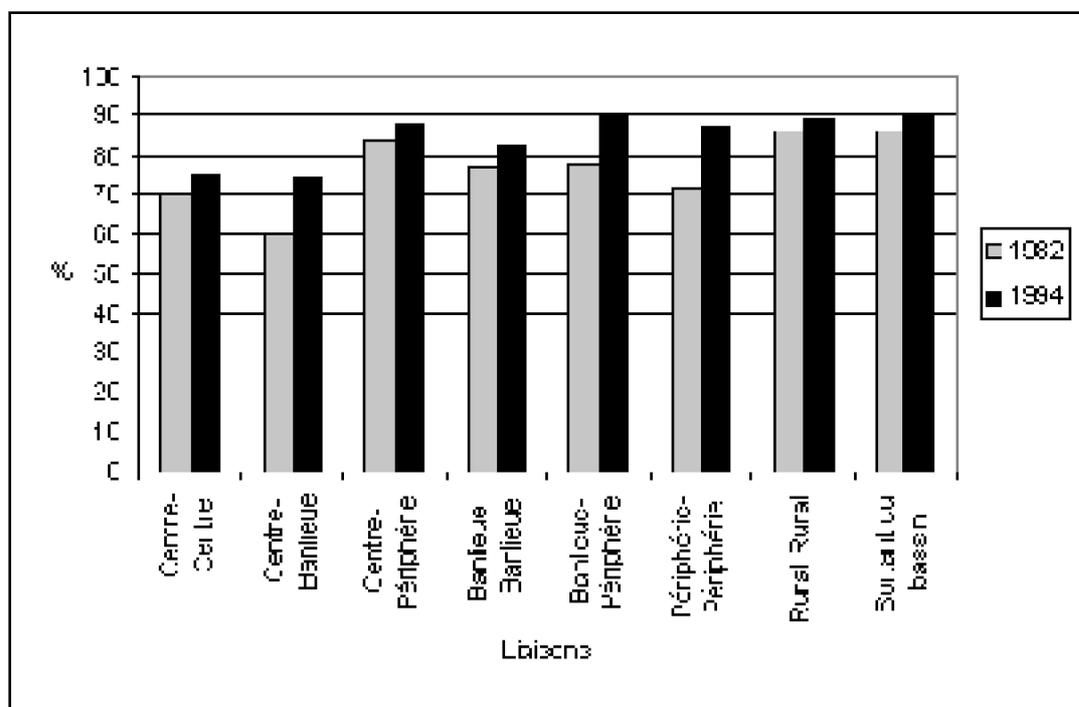
En termes d'évolution de la congestion, même si Andan et Faivre d'Arcier (1992) montrent que la mobilité périurbaine ne présente qu'une infime menace pour la fluidité des déplacements dans les centres urbains, il n'en demeure pas moins vrai que le mouvement de concentration – étalement urbain contribue à l'intensification de la mobilité en voiture particulière, donc, de manière générale, à la congestion dans les aires urbaines, y compris dans les villes-centres. La CEMT (1999) affirme ainsi que la congestion est une conséquence directe du développement de la mobilité quotidienne effectuée en voiture particulière.

Si le nombre de déplacements internes au centre et reliant le centre à la banlieue tend à décroître, les déplacements entre périphéries et centres urbains ne cessent de s'intensifier (Orfeuill, 1997a). Le cumul des déplacements tous modes, internes au centre, joignant le centre et la banlieue, ou reliant le centre et la périphérie, représente en 1994 plus de 34 % des déplacements globaux et près de 51 % des déplacements internes aux aires urbaines (INSEE, Enquêtes transports 1982 - 1994). C'est du reste à l'entrée des agglomérations que la croissance de la circulation est la plus rapide (Madre, 1993). *A première vue* donc, le rayon d'action de la congestion se propage du centre vers les périphéries (voir Figure 4 et Figure 5). En outre, la répartition temporelle des déplacements urbains est plus diffuse (voir Figure 6). Les situations potentielles de congestion s'étalent donc dans l'espace et le temps.



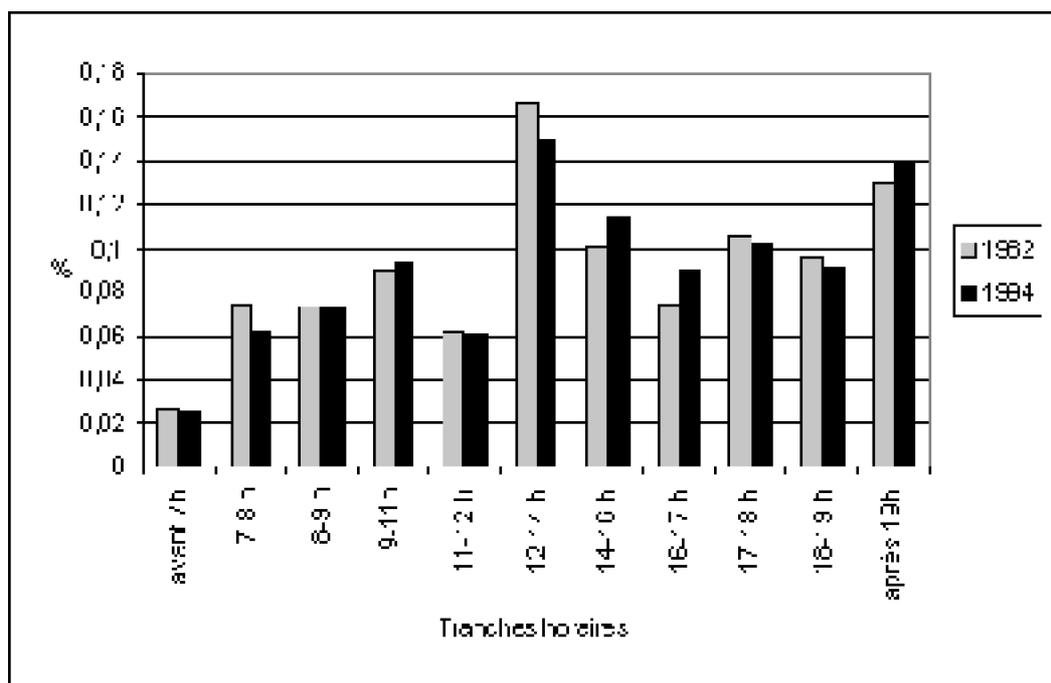
Source : Enquêtes transports INSEE/INRETS.

Figure 4 : Evolution de la répartition spatiale des déplacements tous modes (1982-1994)



Source : Enquêtes transport INSEE/INRETS.

Figure 5 : Evolution de la répartition spatiale des déplacements effectués en voiture particulière (1982-1994)



Source : Paquetés transport DESPRE/MURRAY

Figure 6 : Evolution de la répartition temporelle des déplacements effectués en voiture particulière (1982-1994)

L'amplification de l'usage de la voiture particulière contribue donc *a priori* à la diffusion des états de congestion sur l'ensemble des réseaux routiers, notamment sur les espaces les plus denses où l'espace alloué à la voirie a la particularité d'être limité.

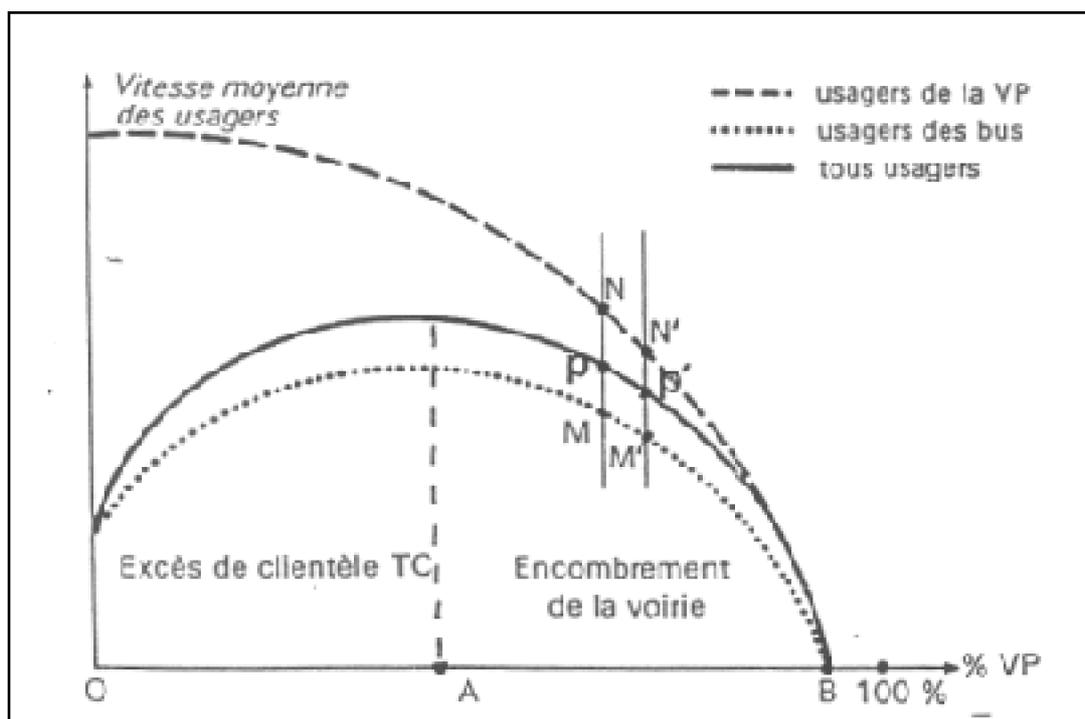
En effet, en zone urbaine dense, la concentration humaine offre peu d'espace libre pour une voirie traditionnelle héritée des anciens modes de transport. La pénurie d'espace pouvant être affecté aux déplacements perturbe donc l'écoulement des transports modernes mécanisés. En Europe, l'espace viaire ancien ne représente en général que 10 à 15 % de l'espace urbain dense. Il assure un écoulement de trafic réduit à des vitesses moyennes proches de 15 km/h. Les avenues et boulevards internes aux pôles urbains offrent des capacités plus grandes et une vitesse moyenne de l'ordre de 30 km/h. En guise de comparaison, les voies rapides et autoroutes urbaines reliées aux espaces périphériques des villes-centres permettent des vitesses moyennes supérieures à 70 km/h. De fait, un bilan de l'importance de la congestion et de sa répartition sur les réseaux routiers européens montre que les situations de congestion les plus fortes sont en réalité limitées, d'une part, en termes d'espace, aux villes-centres et à leurs proches périphéries, d'autre part, en termes de temps, à des phénomènes de pointe (Gerondeau, 1999). Aussi Derycke (2000) parle-t-il d'une concentration extrême dans l'espace-temps expliquant ainsi des circonstances de forte congestion en des plages horaires restreintes sur des espaces urbains très localisés. Pour illustrer, en Europe, une ville sur trois connaît une vitesse moyenne globale, aux heures de pointe du matin, dans l'hypercentre, inférieure à 15 km/h (Bradshaw, Jones, 1998).

Du fait de l'évolution du contexte urbain, il ne peut donc être remis en cause que la congestion routière urbaine s'accroît et que son champ d'action s'étale dans le temps et dans l'espace. Mais il convient de souligner qu'elle reste très concentrée. Ceci permet de noter *que la congestion, qui atteint surtout les centres des aires urbaines, est une conséquence du développement de la mobilité quotidienne réalisée en voiture particulière.*

Le problème de la congestion est d'autant plus redoutable que d'une manière générale, il est prévu, d'après Jones (CEMT, 1996), un doublement du trafic routier dans les trente prochaines années. Il y a tout lieu de penser qu'au regard des évolutions passées, la mobilité quotidienne ne devrait pas être tenue à l'écart de cette évolution. A cet égard, le Commissariat Général du Plan (1993) rappelle que la croissance de la circulation routière étant grandement liée à la croissance économique, la congestion urbaine devrait s'intensifier en cas de reprise économique. La question reste toutefois de savoir quel mécanisme sous-tend la pérennisation de la congestion en milieu urbain.

3.2.3.2 : La dynamique de la congestion urbaine : un processus cumulatif qui s'auto reproduit

La dynamique de la congestion urbaine procède d'un mécanisme pervers que Bonnafous (1996) taxe de « processus auto-entretenu d'encombrement croissant ». Un modèle permet de mieux comprendre ce mécanisme. Le graphique de la Figure 7 représente les vitesses moyennes de deux modes distincts en concurrence pour l'usage de la voirie, à savoir la voiture particulière et l'autobus. Elles sont exprimées en fonction de la répartition modale, pour un niveau global de demande de déplacements fixe, une offre de transports publics et une offre de voirie données. Cette représentation fait apparaître comment le mécanisme de la congestion génère un processus cumulatif d'encombrements.



Source^o : Boumyfous, A., Puel, H. 1983. *Physiologie de la ville*. Paris^o : Les éditions carrières, coll. *Urbanisme économique*, 129. ¶

Figure 7 : Vitesse moyenne en fonction de la répartition modale

Entre les points M et N , le régime de circulation est en un état de fluidité. La part de l'usage de la voiture particulière est relativement faible et l'augmentation de son usage ne gêne en rien la circulation globale. Le point N correspond à une situation optimale où la vitesse des deux modes de transport est maximale. A partir de ce point, l'état de la circulation passe en régime saturé. Le trafic global est ralenti par l'arrivée de nouveaux usagers. Les débits diminuent. Le point M correspond à la part d'usagers optant pour la voiture particulière pour laquelle l'encombrement est total. A partir du point M , l'utilisateur des transports en commun subit des pertes de temps telles qu'il atteint un *seuil de mécontentement* (Salomon, Mokhtarian, 1997) l'amenant à évaluer sa situation. De sorte à réduire son insatisfaction, il préfère alors basculer au profit de l'automobile qui offre une vitesse relativement plus attractive au point N . Ce basculement modal conduit à glisser vers la droite des courbes aux points N' , ce qui occasionne un encombrement plus fort. Les usagers restés dans les transports en commun apprécient de nouveau leur insatisfaction eu égard au nouveau ralentissement de leur vitesse de déplacement et basculent à leur tour vers la voiture particulière. D'une part, l'encombrement de la voirie va en s'accroissant. D'autre part, la clientèle des transports en commun se réduit ce qui entraîne, à quantité d'offre équivalente, une diminution des recettes, donc à un déficit de gestion des transports publics.

La solution pour endiguer la perte de clientèle des transports collectifs a longtemps été d'investir dans des systèmes techniquement et financièrement lourds. Mais, cela a été démontré plus haut, la dynamique de la mobilité urbaine en voiture particulière n'a pas

pour autant été jugulée. De manière générale, en Europe, on note que seulement au mieux 20 % des usagers de nouveaux modes de transports collectifs lourds comme le métro sont des anciens usagers de la voiture particulière (Walmsley, Pickett, 1992), ce qui représente peu ou prou 7 % de l'ensemble des déplacements en transports collectifs. De fait, aujourd'hui, la situation des transports en milieu urbain voit se rencontrer à la fois une *crise de l'encombrement* et une *crise de financement des transports collectifs*.

Ce modèle illustrant la tendance inéluctable à l'encombrement de la voirie urbaine pose en quelque sorte les germes de la problématique de la gestion de la mobilité quotidienne lorsque celle-ci est largement dominée par l'usage de la voiture particulière. La congestion, si rien n'est fait pour inverser la dynamique, se renforce et appelle la congestion. Or, la congestion urbaine provoque un coût pour la société qui mérite que la question soit posée de savoir s'il est raisonnable de laisser la dynamique s'entretenir.

La mobilité quotidienne est largement marquée par l'usage prépondérant de la voiture particulière. Ce partage modal contribue à générer un certain nombre de conséquences nuisibles tant d'un point de vue environnemental que d'un point de vue de la circulation des transports urbains. Ces conséquences peuvent être caractérisées en termes de coûts. Bien que les évaluations laissent encore une large place quant à la discussion de la mesure précise des coûts générés par la mobilité quotidienne urbaine, les estimations réalisées abondent dans le sens d'une réelle nécessité d'infléchir la tendance au recours systématique à la voiture particulière dans les déplacements touchant aux centres urbains. La dynamique de reproduction de la congestion urbaine donne à penser que laisser le processus s'auto-entretenir risque au final de conduire au blocage total de la mobilité urbaine, au détriment de la réalisation des activités des individus et de l'environnement quotidien des citoyens. Il paraît logique alors de réguler la mobilité urbaine sans omettre toutefois de se rappeler que la mobilité des citoyens s'inscrit plus largement dans la dynamique du système constituant la ville.

En reprenant l'analyse de Bonnafous et Puel (1983), *le système de la ville* est constitué de trois sous-systèmes : *un système d'utilisation des sols ou de localisations des activités*, *un système des relations et pratiques sociales* et *un système des déplacements*. À l'évidence, le système de la ville ne peut se réduire à un seul de ces trois systèmes. La dynamique des trois systèmes pris ensemble contribue à produire les formes de l'urbanisation et de la mobilité quotidienne. C'est donc en jouant sur les trois systèmes que la dynamique de la mobilité urbaine peut être infléchie. Néanmoins, la complexité de toucher à la fois aux trois systèmes conduit ici à ne se concentrer que sur un seul. Il faut toutefois garder à l'esprit que ces trois systèmes sont en interaction et qu'une action portant sur l'un des systèmes influence l'état des deux autres. S'agissant du système des déplacements, toutes choses égales par ailleurs, le constat de l'état de la mobilité quotidienne, sous la menace d'un blocage complet des déplacements dans les centres urbains, conduit à se poser la question de la régulation de la demande de déplacements urbains.

4 : Conclusion de la section

Cette section a tout d'abord permis de montrer dans quelle mesure l'évolution de la

mobilité urbaine est largement modelée par l'évolution du contexte urbain. D'un mouvement de concentration sur le territoire, le sens de l'urbanisation s'achemine à présent vers un étalement des populations dans les périphéries des villes-centres, au profit d'espaces diffus, pour lesquels seul l'usage de la voiture particulière permet la réalisation des activités quotidiennes encore largement localisées dans les centres. L'évolution du niveau de vie a par ailleurs permis d'asseoir un usage quasi généralisé de la voiture particulière pour assurer la relation quotidienne entre centres et périphéries. L'automobile devient alors le vecteur de la diffusion des activités sur le territoire urbain.

Par la suite, il a été mis en évidence que le poids de l'usage de la voiture particulière dans les espaces denses urbains s'accompagne de nuisances dégradant l'environnement quotidien des citoyens. Il a été souligné dans quelle mesure leur coût est loin d'être négligeable. Il peut être noté toutefois que les efforts, tant législatifs que techniques, pour assurer une mobilité urbaine moins productrice de nuisances sur l'environnement sont en cours. Pour Banister (2000), l'usage généralisé d'une *eco-car* d'ici 2015-2020 devrait permettre de réduire de manière marquante les effets nuisibles de la mobilité en voiture particulière sur l'environnement. Déjà, les véhicules neufs aujourd'hui polluent 10 à 100 fois moins que les modèles produits dans les années 70 (Small, Cazimi, 1995). Rien ne permet cependant de penser que l'ensemble des nuisances pesant sur l'environnement des citoyens peut être ainsi réduit à court terme. La mobilité urbaine dominée par l'usage de la voiture particulière reste donc une source importante de dégradation de l'environnement urbain. En outre, il a été montré que l'usage croissant de l'automobile dans les espaces centraux des villes répond à une dynamique d'encombrements croissants. De même, le coût de l'encombrement est loin d'être dérisoire. La dynamique 'perverse' de la congestion laisse penser que ce coût devrait encore s'alourdir.

Dès lors, l'évolution inéluctable de la mobilité quotidienne vers un engorgement croissant des villes-centres et, l'urgence de traiter de ses conséquences sur l'environnement et sur la gestion des flux de transports, posent la question de la politique des déplacements urbains. La question est alors de savoir comment adapter la concomitance d'une mobilité quotidienne déjà orientée vers un usage croissant de l'automobile, sur un cadre urbain où l'espace demeure rare, avec un contexte urbain où l'éloignement de la localisation de la résidence des citoyens des lieux d'activités quotidiennes stimule toujours plus l'usage de la voiture particulière.

L'objectif de la section suivante est d'apporter une réponse en discutant notamment de la question de la politique des déplacements urbains. Elle montre dans quelle mesure la politique des déplacements urbains s'oriente vers une régulation de la demande de déplacements. Elle permet de mettre en évidence qu'il existe des outils économiques de régulation de la demande de déplacements pouvant inverser les tendances caractérisant la mobilité urbaine.

Section 2 : La régulation de la demande de déplacements urbains

Le bilan de l'évolution de la mobilité urbaine et de ces conséquences autorisent à poser la question de la mise en oeuvre d'une politique des déplacements urbains. L'adéquation entre, d'une part, des objectifs qui motivent la politique des déplacements urbains et,

d'autre part, le constat d'une mobilité urbaine génératrice d'effets nuisibles pour l'environnement des citadins et caractérisée par une dynamique auto cumulative de la congestion, conduit à s'intéresser à un type d'intervention précis dont l'objectif est de réguler la demande de déplacements urbains. Dans le cadre d'une telle politique, les moyens mis en oeuvre pour atteindre les objectifs se résument, entre autres, par la manipulation d'outils économiques.

La problématique de la deuxième section est donc de montrer en quoi la définition des objectifs d'une politique des déplacements conduit à appliquer un type d'intervention spécifique qui consiste à réguler la demande.

La politique des déplacements urbains est tout d'abord présentée. Cette présentation s'articule autour d'un énoncé général des objectifs et des moyens de la politique de déplacements. Elle s'appuie par ailleurs sur un panorama historique de la logique ayant présidé à la politique des déplacements urbains. Il permet de montrer dans quelle mesure celle-ci s'oriente vers une logique de régulation de la demande de déplacements. Les principes généraux de régulation de la demande sont alors déclinés. Ils contribuent à mettre en évidence que le point de vue économique de la régulation des transports conduit à définir les objectifs en termes d'efficacité de la politique. Par suite, la revue des outils économiques de régulation de la demande de transport amène à s'intéresser plus précisément à la question de la tarification de l'usage des infrastructures urbaines.

1 : La politique des déplacements urbains : vers la régulation de la demande

La régulation de la demande de déplacements urbains constitue une étape de la politique des déplacements. Celle-ci répond à la poursuite d'objectifs précis et s'attache à mettre en oeuvre les moyens nécessaires pour atteindre ses objectifs. En ayant examiné, dans un premier temps de manière générale, les objectifs et les moyens de la politique des déplacements urbains, une lecture chronologique permet de montrer que la politique s'oriente vers la régulation de la demande.

1.1 : Les objectifs et les moyens de la politique des déplacements urbains

Face à l'évolution de la mobilité urbaine, marquée par l'usage majoritaire de la voiture particulière et, devant le poids de ses conséquences, portant à la fois sur l'environnement et sur l'écoulement des flux de transports en ville, la question se pose de savoir comment intervenir sur le système des transports urbains. Autrement dit, pour reprendre le Commissariat Général du Plan, il s'agit de savoir comment agir sur le système des transports urbains de sorte à atteindre un objectif général de « *'politique de mobilité durable'* consistant à satisfaire la demande croissante de mobilité des personnes et d'écoulement des biens tout en luttant contre les conséquences négatives de la croissance de la demande de transport » (CGP, 1993, p. 27). Afin de voir comment l'intervention sur le système peut prendre corps, il convient, premièrement, de mettre en évidence les objectifs de la politique de déplacements avant de présenter, secondement, les principaux outils d'intervention.

La régulation du système des transports revient à la puissance publique (Bonnafous, 1995a). Son intervention consiste en *la mise en oeuvre de moyens nécessaires pour*

assurer les besoins de transport aux moindres coûts économiques et sociaux pour la collectivité. Elle s'inscrit dans le cadre de l'article 1^{er} de la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs (LOTI) n°82-1153 du 30 décembre 1982 qui prescrit que « le système de transports intérieurs doit satisfaire les besoins des usagers dans les conditions économiques et sociales les plus avantageuses pour la collectivité ». Elle dispose pour cela de trois types de leviers : l'investissement en infrastructures, l'administration du secteur et son contrôle, et la politique de tarification et de financement.

L'investissement en infrastructures consiste à intervenir sur le système des transports en concentrant l'action publique sur l'offre de transport, tant du point de vue de son accroissement que de son amélioration.

La réglementation et son contrôle vise à contenir les *effets externes* (voir Encadré 3) générées par l'activité transport. Elle a, par ce biais, un impact direct sur la formation des coûts de transport réellement ressentis par les usagers et contribue donc à peser sur la demande de transport. Du reste, il doit être noté que l'existence d'externalités sur le marché des transports urbains, comme, pour les plus importantes, la pollution atmosphérique, le bruit, l'insécurité routière ou la congestion, constitue une justification en termes économiques de la légitimité de l'intervention de la puissance publique sur le marché des transports urbains.

On parle d'effets externes, d'externalités, ou encore d'externalités technologiques¹, lorsque le résultat de l'activité d'un agent économique est directement influencé, d'une façon ou d'une autre, par le comportement de quelqu'un d'autre, par le comportement de quelqu'un d'un autre agent. Une externalité peut être positive, économique externe, ou négative, économique interne. Le concept, initialement popularisé par Marshall (1892), est un des instruments de l'analyse économique qui contribue à remettre en question l'efficacité du marché de concurrence sous sa forme classique (Kaldor, 1934).

Dans un marché concurrentiel (voir Malinvaud, 1987, ou La Cour, 1990), pour une technologie donnée, les prix coordonnent les actions décentralisées des agents économiques de telle sorte que les échanges permettent de réaliser un équilibre maximisant le bien-être collectif. Chaque agent, par son comportement, maximise son utilité personnelle et contribue pour le bien-être collectif, ou de sa fonction de profit pour le producteur, après son niveau de consommation, en sa production, en agissant de prix en agissant sur les technologies de production, en fournissant des ressources, ou en agissant de prix de l'équilibre, tout le tout imaginant son égoïsme. L'équilibre concurrentiel présente ainsi une forme d'efficacité sociale, une allocation efficace optimale des ressources, dans la mesure où, pour cette allocation, il n'existe pas d'autre allocation réalisable qui améliorerait la satisfaction d'un agent sans diminuer celle d'un autre ou sans aggraver l'équité sociale (voir La Cour, 1990).

En présence d'externalités, les coûts et les avantages privés diffèrent des coûts et des avantages sociaux. En effet, les effets externes, qui modifient les bénéfices d'un individu des autres individus et les conditions de production de quelqu'un, qui sont, au minimum, pour le prix le plus élevé, font plus les agents avec des décisions individuellement optimales. Chaque agent maximise son bien-être individuel privé en agissant de prix de l'équilibre de Pareto sans tenir compte des effets externes. L'absence de prise en compte des externalités négatives se traduit, par exemple, par la production de biens polluants ou par la production de biens nuisibles. L'absence d'externalités négatives se traduit, par exemple, par la production de biens utiles.

4. Plus encore, la présence d'externalités négatives dans le modèle Arrow-Debreu, les décisions économiques sont trop décentralisées. La présence publique d'un bien public pour plusieurs individus peut être vue comme l'absence d'externalités négatives, autrement dit, dans le cadre concurrentiel des agents. C'est, à l'instar d'une externalité positive, directement à la source de l'externalité par le bien-être, mais en la présence d'externalités négatives, on ne peut pas dire que la mise en place de normes réglementaires de Pareto (1901) est, par le bien-être, d'une externalité négative, au sens où elle n'entraîne pas de bien-être social, mais elle est le produit de l'externalité négative elle-même, dans le domaine des effets sociaux que son efficacité générale. La mise en place d'externalités négatives est, en fait, une externalité négative en soi-même, dans le domaine des effets sociaux, qui génère l'externalité négative elle-même. La mise en place d'une norme pour la mise en place d'externalités négatives, cette fois la possibilité d'externalités négatives, est l'externalité négative elle-même. Il peut s'agir également de la mise en place d'un système complexe de marchés concurrentiels qui "maximiserait" les externalités par l'externalité de la création d'un marché de biens de concurrence (La Cour, 1990) – par exemple des droits de pollution – et l'échange concurrentiel des droits de pollution efficace de la mise en place de production des externalités.

¹ Voir, en ce qui concerne les externalités technologiques, par exemple, La Cour (1990) et La Cour (1991) pour une discussion plus approfondie de ce concept et pour la détermination de la mise en place de normes réglementaires de Pareto (1901) et de la mise en place de normes réglementaires de Pareto (1901) et de la mise en place de normes réglementaires de Pareto (1901).

Encadré 3. Les effets externes et leur internalisation

Enfin, la tarification de l'usage des infrastructures est la combinaison de taxes visant une orientation optimale de la demande, soit, au global, poursuivant un objectif d'allocation optimale des ressources. Si les effets externes ne peuvent pas être réduits par la mise en place de normes réglementaires et la tarification d'usage des infrastructures, ils doivent alors faire l'objet d'une procédure d'internalisation qui accompagne la tarification de l'usage des infrastructures.

Sur ce dernier point, le Commissariat Général du Plan (1993) dégage trois niveaux d'internalisation possibles :

- l'internalisation des effets externes dans le cadre de l'évaluation des investissements en transport ;

l'internalisation dans le cadre de la tarification d'usage des infrastructures comme conséquence logique de régulation par les coûts. Dans ce cas, la part revenant à la couverture des coûts sociaux vient s'ajouter au tarif d'usage des infrastructures. Ainsi, la tarification au *coût marginal social* assure en théorie cette allocation optimale des ressources puisqu'elle tient compte des effets externes. Les coûts externes unitaires étant très sensibles au phénomène de variation de la congestion, le Commissariat Général du Plan conseille par ailleurs une tarification différenciée dans le temps et dans l'espace ;

Enfin, l'internalisation par la réglementation et son contrôle.

Parmi ces trois outils d'intervention sur le système des transports urbains, la tarification de l'usage des infrastructures de transport, à la hauteur des coûts réels, directs et indirects, qu'il génère, prend aujourd'hui une place décisive dans la politique des déplacements urbains. A cet égard, le Commissariat Général du Plan (1993, p. 28) recommande pour « maîtriser la mobilité [...], que les transports des personnes et des biens couvrent l'intégralité des coûts qu'ils provoquent, y compris les coûts externes, de sorte que soient dissuadés les transports dont les avantages ne l'emporteraient pas sur les coûts réels ». Ce rang majeur pris par la tarification des usages des infrastructures dans l'arsenal des outils de politique des déplacements urbains résulte d'une évolution de la logique orientant la politique des déplacements.

1.2 : Un point de vue historique sur la politique des déplacements urbains : de la politique de l'offre à la politique de la régulation de la demande

D'un point de vue chronologique, les formes de la politique des déplacements urbains ont connu trois phases marquées (Giuliano, 1992 ; Bovy, Salomon, 1999).

Dans le contexte politique des années 60, propice à toute action permettant d'adapter la ville à la voiture, et encore relativement éloigné des préoccupations environnementales, la lutte contre la congestion routière urbaine s'exprime par l'accroissement de l'offre en infrastructures de sorte à faire face au trafic existant. L'idée d'alors est de suivre strictement les préceptes de la loi fondamentale de l'écoulement du trafic. Elle se conforme scrupuleusement aux enseignements de la relation débit-vitesse (voir Encadré 2). Lorsque le système se trouve au point où le nombre de véhicules est maximum par rapport aux capacités de l'infrastructure, c'est-à-dire au moment où le débit et la vitesse tendent à s'infléchir, glissant vers un état qui pourrait constituer une menace de sclérose du système d'écoulement des flux, les prescriptions sont d'augmenter les capacités de l'infrastructure. C'est la solution quasi « naturelle », d'après Goodwin (1989), qui consiste à construire de manière systématique des routes quand il y a trop de trafic.

Cependant, outre le fait que cette politique est véritablement coûteuse, la mécanique s'enraye du simple fait que le trafic préalablement rencontré sur l'infrastructure ne rend pas compte de la demande réelle de transport. S'ajoutant à une demande directement induite, la demande latente, jadis contrainte, profite de cette offre nouvelle pour s'exprimer. Le mécanisme conduit le système à retourner en un point critique de la courbe

débit-vitesse qui, logiquement, réclame un nouvel investissement dans l'offre routière.

Ce type de politique des déplacements urbains s'inscrit dans une ère de grands investissements routiers pour désengorger les accès entre banlieues et centres-villes, rapidement congestionnés. Il accompagne de surcroît le soutien des politiques publiques à l'industrie automobile, l'émergence des *lobbies* automobiles (Dupuy, 1995) ou la croyance quasi aveugle dans les vertus du « cercle magique de l'asphalte »¹³ (Dupuy, 1978) ayant en grande partie permis de démocratiser la voiture particulière et de fait, ayant contribué à favoriser l'expansion de son usage.

Fort de ce constat patent d'échec de la politique d'accroissement de l'offre au regard de l'évolution de la mobilité urbaine, dans les années 70, la politique des transports urbains se focalise alors sur l'amélioration de la gestion des infrastructures existantes (*Transportation System Management* ou TSM) (USEPA, 1974 ; Rosenbloom, 1978 ; Gakenheimer, Meyer, 1979).

L'état de la double crise des encombrements et des financements des transports publics ne se desserrant cependant pas du fait de la dynamique auto cumulative de la congestion, la politique des transports urbains s'oriente dans les années 80 vers une action directe sur le comportement des usagers, c'est-à-dire, vers une logique de gestion de la demande de déplacements (*Transportation Demand Management* ou TDM). L'objectif est alors de susciter une rupture de la dépendance des citoyens à la voiture particulière en jouant sur les déterminants du choix modal (Domencich, McFadden, 1975 ; Ferguson, 1991 ; Horowitz, Sheth, 1978 ; Teal, 1987), sur la réorganisation des *schémas d'activité* des agents, notamment en adaptant les heures de travail (Wegmann, Stokey, 1983), sur les incitations au covoiturage pour les déplacements domicile-travail (Ferguson, 1990) ou sur la politique du stationnement (Higgins, 1985 ; Willson, Shoup, 1990). Traditionnellement, l'objectif principal de la TDM est de restreindre l'usage de la voiture au profit de celui d'autres modes de transport de sorte à restaurer l'efficacité du marché des transports urbains en contenant, d'une part, la congestion, d'autre part, les effets environnementaux (Bradshaw, Jones, 1998).

Une lecture chronologique de la politique des déplacements urbains dénote le glissement progressif de ses objectifs. Elle passe ainsi d'un effort de l'intervention centré sur l'offre, contribuant ainsi à prolonger les tendances à l'encombrement croissant, à une action sur la demande visant, en revanche, à imposer une contrainte à l'utilisateur de sorte à le pousser à reconsidérer ses choix de transport (Bovy, Salomon, 1999). Cette dernière logique sous-tend la politique de régulation de la demande de déplacements urbains.

2 : La régulation de la demande de transport

La politique des déplacements urbains s'oriente donc à présent vers une logique de régulation de la demande de déplacements urbains. La régulation de la demande de transport repose sur l'analyse de la demande de transport. Ainsi, avant d'aborder les outils de la régulation de la demande de déplacements urbains, un point permet de

¹³ Le « cercle magique de l'asphalte » décrit le raisonnement suivant. Les routes induisent des déplacements qui génèrent des rentrées fiscales, qui elles-mêmes permettent de construire de nouvelles routes, et ainsi de suite.

clarifier la notion d'analyse de la demande de transport sur laquelle repose la politique de régulation.

2.1 : L'analyse de la demande de transport

Dans la politique de gestion de la demande de transport, le concept de demande résume l'expression d'un besoin de transport allant plus loin que la notion de trafic (Kanafani, 1983). En termes microéconomiques, la demande de transport est le volume de trafic susceptible d'apparaître sur une infrastructure donnée pour chaque niveau de prix de transport. La demande de transport résulte d'une friction des activités économiques avec l'espace. Le flux de trafic, en revanche, ne résulte que de la confrontation entre la demande effective de transport et l'offre en infrastructures de transport.

L'analyse de la demande de transport fait le lien entre la demande de transport et les activités économiques qui la génèrent. Les résultats de l'analyse de la demande de transport sont donc les relations entre la mesure de l'activité économique et la mesure de la demande de transport. L'objectif de l'analyse de la demande de transport est alors de comprendre, par le prisme de ces relations, les déterminants de la demande, la manière dont celle-ci réagit aux variations du contexte socioéconomique et, *in fine*, affecte l'évolution du volume de trafic.

L'approche de l'analyse de la demande de transport par l'analyse microéconomique a initialement été posée par Beckmann, McGuire et Winsten (1955) dans le cadre de la recherche d'un équilibre entre offre et demande de transport. Les développements récents de l'analyse de la demande de transport s'intéressent aujourd'hui à une approche comportementale (*behavioral approach*). Celle-ci renvoie ainsi aux hypothèses de base de l'analyse microéconomique, notamment aux hypothèses qui fondent le comportement des agents économiques dans le modèle microéconomique standard. Cela permet dès lors de souligner que le modèle de maximisation de l'utilité est le fondement théorique des modèles de génération de trafic, de choix modal ou de choix d'itinéraire qui constituent aujourd'hui l'analyse de la demande de transport.

2.2 : Une typologie des outils de la régulation de la demande transport

En partant de la définition de l'analyse de la demande de déplacements, une typologie des outils de la régulation de la demande de transports urbains peut être présentée (Dupuy, 1999). La régulation de la demande de déplacements peut prendre trois formes : le laisser-faire, le volontarisme et l'économisme.

Le *laisser-faire* consiste à laisser seul le marché révéler les préférences des agents et les prix. Le marché régule alors de lui-même la demande, par la file d'attente. La thèse du laisser-faire, entrevue par Pigou (1920), soutient donc que lorsque la congestion atteint un seuil insoutenable pour les usagers, les automobilistes doivent en toute logique renoncer d'eux-mêmes à l'usage de leur voiture particulière (conjecture de Mogridge, 1990). Pour Dupuy, le laisser-faire ne semble cependant pas être une bonne solution. En effet, si elle devrait permettre, sur une longue période, une baisse des avantages de la voiture particulière jusqu'à une saturation de la motorisation, elle devrait en même temps conduire à une dégradation du service offert par les autres services de transport, ce qui

revient à reparler des conséquences du mécanisme pervers de la congestion mis en exergue par Bonnafous (1996). De plus, cette saturation devant conduire à la réduction de la dépendance automobile ne pourrait se produire qu'à l'issue d'une croissance économique forte et longue (Madre, Pirotte, 1997), scénario qui semble peu probable à court terme. Enfin, d'un point de vue économique, si le marché concurrentiel permet la réalisation d'une allocation optimale des ressources, la présence d'effets externes, nombreux sur le marché des transports urbains – pollution atmosphérique, bruit, insécurité routière, congestion – remet en cause la possibilité d'atteindre cette allocation optimale. Le laisser-faire ne peut donc résolument pas permettre d'atteindre une efficacité du marché des transports urbains (voir Encadré 3).

Le *volontarisme* consiste à agir directement sur la dépendance à l'automobile. L'action publique a alors pour objectif de modifier en profondeur les choix des individus en jouant sur la relation entre la qualité de l'accessibilité et la demande de transport en voiture particulière. Zuckermann (1991) propose par exemple d'agir sur le stationnement en le taxant fortement de sorte à dissuader les usagers du choix modal pour la voiture particulière. Cependant, les analyses en termes d'accessibilité montrent que les résultats attendus d'une telle action dégraderaient fortement la position des automobilistes sans vraiment augmenter de façon notable celle des usagers des autres modes de transport. Ce résultat est contraire avec la recherche d'une allocation Pareto optimale des ressources.

Il est notable toutefois que l'exemple pris par Zuckermann, même s'il ne constitue qu'un exemple de l'intervention de type volontariste, porte sur le stationnement. Sans aller plus avant dans l'analyse, l'exemple suppose que le stationnement est un levier particulièrement sensible pour jouer sur le choix modal des usagers.

L'*économisme* consiste enfin à mettre en oeuvre un certain nombre de dispositions permettant de rendre plus coûteux, ou du moins à en faire percevoir le véritable coût à l'utilisateur, l'usage de la voiture particulière, au moyen notamment de sa tarification. Certains travaux relativisent l'effet massif de l'augmentation du coût du transport sur la modification du partage modal. Schéou (1997) a par exemple mené des simulations qui montrent que sur l'agglomération lyonnaise, si le prix du carburant et celui des péages autoroutiers sont doublés, si le coût quotidien du stationnement est augmenté de 70 %, si la part de migrants alternants devant stationner en payant passe de 7,4 % à 50 %, et enfin, si est instauré un péage d'entrée dans l'agglomération de l'ordre de 10 francs, moins de 1 % des migrants alternants renoncerait à la voiture particulière entre 1990 et 2010. Si ce scénario semble produire des résultats extrêmes, Van Wee et Van den Brink (1999), se reposant sur les résultats d'une simulation aux Pays-Bas, montrent de même que si la congestion est tarifée uniquement aux heures de pointe et sur les régions les plus congestionnées, l'usage de la voiture particulière ne serait réduit que de 1 %. En revanche, cette étude montre que si des plages horaires plus vastes et une aire plus étendue sont tarifées, l'utilisation de l'automobile serait réduite de 13 %. Si rien ne permet de conclure que la réduction de 13 % est efficace en termes économiques et que celle de 1 % ne l'est pas, l'exemple montre simplement que l'augmentation du coût du transport demeure bien un moyen réel de réduction de l'usage de la voiture particulière.

En termes d'application donc, les issues de l'économisme sont grandement soumises

à discussion. Néanmoins, si l'objectif est d'aller plus loin que l'unique réduction du trafic effectué en voiture particulière, mais est de répondre à la fois à la crise de l'encombrement et à la crise de financement de transports publics urbains, alors les résultats des modèles stratégiques de simulation du besoin de financement des transports publics, modèles Quin-Quin (QUalités INtroduites, QUantités INsolvables), présentées par Bonnaïfous (1985), Bouf et Gargaillo (1985), Bouf (1989) et Tabourin (1989) avancent des conclusions intéressantes. Ils montrent en effet que le desserrement de cette double crise ne peut venir que d'une politique qui à la fois soulage la circulation et apporte des recettes pour le financement du système de transports urbains. Le type d'outils de régulation permettant d'atteindre ce double objectif est bien la tarification ou la taxation de la mobilité, notamment, la forte tarification du stationnement, ou encore, le péage urbain (Bonnaïfous, 1996)¹⁴.

Ainsi, le point de vue économique de la régulation de la demande de transport paraît être l'outil le plus adapté eu égard à la situation du système des transports urbains menacé, d'un côté, par l'encombrement croissant, et de l'autre, par le déficit des transports publics.

3 : La régulation de la demande de transports urbains : le point de vue économique

La régulation économique de la demande de déplacements urbains s'appuie principalement sur deux types d'outils. D'une part, la réglementation envisage la réduction des quantités, produites ou consommées sur le marché des transports urbains, qui sont directement à la source des externalités. Il s'agit de contenir la mobilité en voiture particulière en édictant un certain nombre de règles, de mesures ou de normes, de sorte à limiter la production d'effets externes sources d'inefficacité. D'autre part, la solution tarifaire consiste à faire assumer financièrement les producteurs d'effets externes les coûts sociaux qu'ils génèrent. En contribuant à modifier la structure des coûts de transport pour les usagers, la politique de régulation de la demande de transports urbains aspire ainsi à faire en sorte que les agents effectuent leurs décisions de transport, de manière décentralisée, en considérant les taux marginaux de substitution ou de transformation sociaux. Elle conduit théoriquement à internaliser les effets externes par le biais des mécanismes du marché que sont le rationnement par les prix ou par les quantités et permet la réalisation d'un optimum paretien (voir Encadré 3), ou optimum de premier rang. L'agent qui prend en charge d'imposer la réglementation ou la tarification, en général l'Etat, doit cependant se comporter en agent bienveillant et omniscient, c'est-à-dire n'intervenir que dans l'objectif d'établir une planification parfaite qui assure les conditions du marché concurrentiel, en connaissant l'ensemble des fonctions objectifs des agents (Benard, 1985 ; Laffont, 1988 ; Greffe, 1994).

¹⁴ Les simulations du modèle évaluées sur la base de 1991 prévoyaient pour 2000 sur l'agglomération lyonnaise, dans un scénario au fil de l'eau, que la croissance économique entraînerait un accroissement de l'encombrement de la voirie et du besoin de financement, donc que la congestion contribuerait à dégrader le déficit de gestion des transports collectifs. Dans un scénario d'investissements relativement lourds en transports collectifs, la part de l'usage de la voiture particulière ne serait guère compromise alors que le besoin de financement serait fortement augmenté, accentuant du même coup la pression fiscale.

3.1 : Les outils réglementaires : vers un instrument de planification des déplacements urbains

3.1.1 : Réglementation technique et comportementale

D'un point de vue économique, la réglementation a pour objectif de limiter, par le biais principal de l'instauration de règles et de normes, la quantité produite ou consommée sur un marché, de sorte à internaliser les effets externes générés par l'activité (CGP, 1993). La réglementation concernant les transports en milieu urbain joue sur deux plans : la réglementation technique et la réglementation du comportement. Il s'agit, dans le premier cas, d'intervenir, de manière normative, directement à la source, c'est-à-dire sur le niveau de production des effets externes. Dans le deuxième cas, il s'agit d'édicter des règles ou des mesures dont l'objectif est d'inciter les agents à modifier leur comportement de mobilité. L'application de la réglementation implique en toute logique son contrôle (CGP, 1993).

La réglementation technique porte de manière générale sur la réduction à la source de la production d'effets externes nuisibles pour l'environnement. Concernant les émissions de polluants atmosphériques, la réglementation consiste à édicter des normes antipollution portant sur les performances de la motorisation des véhicules et sur le système d'échappement des gaz. Elle s'accompagne en général de mesures fiscales dont l'objectif est d'inciter à l'usage de carburants moins polluants (voir OCDE, CEMT, 1995 pour un bilan européen et CERTU, 1999, pour une revue des réglementations françaises).

Concernant la pollution sonore, les normes sur la source de production de bruit s'imposent généralement aux constructeurs automobiles. Elles concernent soit l'isolation des moteurs, soit la conception du véhicule hors groupe motopropulseur, comme le système d'échappement des gaz ou la conception des pneumatiques (voir OCDE, CEMT, 1995 ; CERTU, 1999).

S'agissant de l'insécurité routière, les mesures réglementaires relèvent d'une réglementation sur les comportements se fondant sur un ensemble de dispositions juridiques imposant des normes de comportement, comme la limitation de la vitesse en ville ou l'obligation du port de la ceinture de sécurité.

En termes de régulation des déplacements, soit de manière coercitive, soit de manière incitative, la réglementation s'efforce d'amener les individus à réviser leur choix de mode de transport ou leur choix d'itinéraire, éventuellement à reconsidérer l'organisation de leur schéma quotidien d'activités. Bonnel *et al.* (1994) relèvent en Europe une batterie de mesures de modération du trafic cherchant à réduire l'usage de la voiture particulière en milieu urbain : le partage de la voirie, la canalisation du trafic, la 'tranquillisation' du trafic ('zones 30'), la déviation du transit, le cloisonnement des centres et la dérivation des circulations, l'alternance de la circulation à partir du dépassement de seuils d'alerte à la pollution, l'interdiction de circuler ou encore, la réduction et la gestion de l'offre de stationnement (pour un *survey* des applications des mesures réglementaires, voir Arabeyre, 1993). Ce type de mesures réglementaires joue principalement sur une régulation directe du trafic par, de manière générale, une restriction de l'offre. Elle a un

impact indirect sur la formation de la demande de déplacements en voiture particulière en ville puisqu'elle vise à dégrader les avantages en termes de qualité de service rendue par l'automobile – *i. e.* vitesse, confort, accessibilité.

Un autre type de mesures réglementaires a une visée plus incitative. Il tend à faciliter l'émergence de comportements de mobilité urbaine en phase avec les objectifs de réduction des effets externes. Les politiques d'incitation au covoiturage, mode de déplacement entre voiture particulière et transport collectif, cherchent par exemple à augmenter l'occupation moyenne des véhicules pénétrant en ville (voir études INRETS, 1997 ; CERTU, CETE Nord Picardie, 1999, voir également l'expérience californienne dans le cadre de la *Regulation xv*, Wachs, 1993). En offrant un accès aux centres-villes facilité aux voitures particulières occupées par plusieurs personnes – voies réservées sur la voirie urbaine, places de stationnement réservées - elles incitent à la modification des comportements de mobilité.

Il semble néanmoins qu'il soit possible d'aller plus loin sur le rôle de la réglementation dans la régulation de la demande de déplacements urbains. Outre une réglementation de type normatif ou une réglementation comportementale, la réglementation peut avoir une portée plus générale et avoir une visée de type institutionnel. L'objectif est alors de réguler l'organisation globale des déplacements dans un espace urbain délimité comme le propose la mise en place des Plans de Déplacements Urbains.

3.1.2 : Les Plans de Déplacements Urbains

La réglementation ne se limite pas à édicter des mesures incitatives ou des règles contraignantes pour l'usager de la voiture particulière. Plus largement, la réglementation peut faire l'objet d'une orientation de type institutionnel de l'organisation du système des transports urbains et de la régulation de la mobilité urbaine. Dans une agglomération, l'établissement de documents de planification des déplacements urbains, comme les Plans de Déplacements Urbains (PDU) en France, peut être un outil réglementaire de la gestion des transports urbains. Les PDU sont des cadres d'orientation de la politique des villes en matière de déplacements urbains qui s'imposent aux élus dans un premier temps, et qui institutionnalisent un arsenal de mesures pour la régulation des déplacements.

Tableau 6 . Mesures envisageables dans le cadre d'un PDU

1. Baisses de la vitesse réglementaire
* sites 70 sur voies rapides urbaines
* zones 30 à grande échelle
2. Régulation du trafic
* régulation centralisée des feux
* onde verte modérante
* régulation des transports collectifs
3. Orientation des flux de trafic
* concentration des flux sur réseau principal
* déviation du trafic de transit en zone urbanisée
4. Restrictions de circulation
* péage urbain de congestion
* péage urbain environnemental
* zone de trafic limité
* interdiction d'accès selon plaque minéralogique
* interdiction d'accès selon nuisance du véhicule
5. Promotion des modes et véhicules peu polluants
* développement de la marche
* développement du vélo
* développement des transports collectifs performants
* nouvelles gestion de la voiture en ville à l'aide de véhicules peu polluants
6. Actions sur le stationnement
* stationnement favorable aux résidents
* limitation du stationnement des pendulaires en centre-ville
* favoriser stationnement de courte durée pour visiteurs
* stationnement réservé aux véhicules peu polluants
* contrôle du stationnement payant
* facilitation de la recherche de places de stationnement
* développement des parcs-relais
7. Planification de l'urbanisation
* favoriser formes urbains compactes et denses
* favoriser la mixité des fonctions urbaines
* limiter l'implantation des grands équipements
* réserver de l'espace aux infrastructures de voirie et de stationnement destinées aux modes peu polluants
* coordonner urbanisation future, desserte par infrastructures réservées modes peu polluants et organisation stationnement
* réglementer stationnement dans zones constructibles ou d'urbanisation future afin de limiter développement offre privée
Source : d'après CERTU. 1999. Plans de déplacements urbains. Prise en compte de la pollution de l'air, du bruit, et de la consommation d'énergie. CERTU, ADEME, 187

Déjà présents dans la LOTI, les PDU sont relancés par la loi sur l'air. L'article 28 de la LOTI affecte aux PDU le rôle de définir « les principes généraux de l'organisation des

transports, de la circulation et du stationnement dans le périmètre des transports urbains » de sorte à permettre « une utilisation plus rationnelle de la voiture » et assurer « la bonne insertion des piétons, des véhicules à deux-roues et des transports en commun ». L'article 14 de la loi sur l'air rend obligatoires les PDU pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants¹⁵. La loi précise que les PDU visent à « assurer un équilibre durable entre les besoins en matière de mobilité et de facilité d'accès d'une part, et la protection de l'environnement d'autre part » et ont comme objectif « un usage coordonné de tous les modes de déplacements, notamment une affectation appropriée de la voirie, ainsi que la promotion des modes les moins polluants et les moins consommateurs d'énergie ».

Pour résumer, les PDU constituent, pour les collectivités locales concernées, un outil réglementaire permettant de définir et de mettre en oeuvre une politique globale de déplacements urbains. Cette orientation possède à la fois un caractère général de maîtrise du développement urbain et d'amélioration du cadre de vie urbain, un caractère plus ciblé d'assurer une bonne accessibilité, de maîtriser les coûts du système de transport, d'améliorer la sécurité et de diminuer la pollution, enfin, des objectifs précis de développement de l'usage des deux roues et de réduction de la place de la voiture particulière dans les centres-villes (CERTU, 1996).

S'il est possible de considérer de cette manière que les PDU constituent un cadre réglementaire général pour la régulation de la demande de déplacements urbains, il est notable que les mesures envisageables dans le cadre d'un PDU (voir Tableau 6) abordent l'usage de la voie tarifaire, soit de la congestion, soit des effets environnementaux, comme outil de régulation de la mobilité quotidienne. Plus qu'un moyen inscrit parmi d'autres mesures dans le cadre d'un document institutionnel réglementant les déplacements urbains, la tarification des déplacements urbains, notamment celle du stationnement, est ici considérée comme le deuxième type d'outil économique de la régulation de la demande de déplacements urbains.

3.2 : Les outils tarifaires

3.2.1 : Les principes généraux de la tarification

Dans le cadre de l'analyse de la demande de déplacements urbains, la demande de transport est considérée comme l'expression d'un besoin de déplacement relatif à un niveau du coût de déplacement. Il semble alors pertinent de penser que les agents se déplaçant, quel que soit le mode de déplacement, aient à couvrir l'ensemble des coûts que leur déplacement génère. Cela suggère donc que l'usage de la voirie urbaine pour effectuer un déplacement implique le versement d'une contrepartie monétaire permettant de couvrir le coût du déplacement. Or, le rapport Carrère (1992, p. 13), effectué pour le compte du Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports dans le cadre de la mission Transport Destination 2002, souligne que « **la sous-tarification des transports [...] encourage anormalement la demande et conduit à une mauvaise organisation de l'économie sur notre territoire ainsi qu'à une mauvaise organisation urbaine** ».

¹⁵ Sur 76 PDU logiquement attendus, on compte, en 1999, 16 projets finalisés (Beaucire *et al.*, 1999).

Pour donner un ordre d'idée, d'après Orfeuil (1997b), les estimations pour la France exhibent un déficit de tarification de 4 à 9 % de la dépense totale pour la route. De ce fait, les agents économiques apprécient de manière partielle les conséquences économiques des choix qu'ils opèrent en termes de mobilité quotidienne. Ainsi, la demande de transport est plus importante que ce qu'elle devrait être eu égard aux coûts qu'elle génère. Elle conduit à une allocation sous-optimale des ressources de l'économie, donc à l'existence d'une perte sociale. Pour que les individus évaluent correctement le coût de leur déplacement, le rapport appelle notamment à « une meilleure considération des *externalités* ». Ainsi, pour réguler la demande de transports et réduire à un niveau socialement optimal la production d'externalités, le rapport propose de mieux utiliser la tarification en tant que moyen d'orientation et de régulation de la demande. En appliquant la juste tarification des déplacements, le système des prix relatifs est modifié ce qui conduit les agents à prendre conscience, à l'occasion de leur prise de décision économique, que tout déplacement supplémentaire de leur part se traduit inévitablement par un coût réel dont ils font supporter une partie aux autres agents. La correction des prix relatifs par la tarification amène chaque usager à assumer ce coût, que ce soit en tant qu'usager ou en tant que contribuable. S'il paraît donc consensuel de parler de sous-tarification de la mobilité urbaine, cela implique que, soit un autre agent paie pour assumer ce coût, soit ce coût reste non couvert. Clairement, la conclusion du rapport est que la tarification de la mobilité urbaine à sa juste valeur, et laissée à la charge de l'usager, aurait un rôle régulateur de la demande de déplacements et permettrait la réalisation d'un optimum sur le marché de la mobilité urbaine.

La tarification de la mobilité poursuit deux objectifs. Le premier est de réguler la demande de déplacements. Le deuxième est d'internaliser les coûts externes générés par les déplacements. Si l'usage d'une infrastructure de transport peut être ramené à la consommation d'un bien économique, en revanche, les caractéristiques de ce bien, à savoir l'indivisibilité et la présence d'effets externes, expliquent que la seule référence au modèle d'équilibre général Arrow – Debreu n'est pas appropriée. En effet, en présence d'indivisibilité ou d'externalités, la seule décision des agents décentralisés ne permet pas la réalisation d'une allocation Pareto optimale des ressources (Laffont, 1988). Ainsi, qu'il s'agisse de la tarification pour l'usage des infrastructures de transport (voir Encadré 4) ou de la tarification des externalités issues de l'usage des infrastructures, soit la tarification au coût marginal, la logique qui permet de justifier la tarification relève de l'économie publique (Bénard, 1985 ; Greffe, 1994).

Le caractère indivisible de bien (Samuelson, 1954), d'autre part, l'impossibilité, à la fois, d'isoler la consommation d'un agent et d'enclaver un agent de la consommation de ce bien du fait de la consommation de ce même bien par un autre agent (non rivalité des consommateurs), justifie la tarification de l'usage de ce bien pour son financement. La première réflexion formalisée sur le sujet revient à Dupuit (1844). Pour Dupuit, la logique des usagers d'un service public, comme une infrastructure de transport, est celle de *parcours élastique*. Le bien étant indivisible, le principe de rationalité entraîne que le consommateur à payer les agents pour l'usage de ce bien est fidèle et, parallèlement, le prestataire pour la quantité est fidèle. Mais, à la limite, on prend en charge la production de bien et en assure la qualité de service aux usagers. Sans son intervention le bien ne peut être produit puisque aucun agent décentralisé est prêt à en assurer le financement.

Dupuit élabore son analyse en s'appuyant sur le concept de surplus. Il introduit pour précéder le critère de base du calcul économique public (Lesourne, 1976), le concept de *transformation du surplus*, c'est-à-dire la mesure du *biens-être collectif*. Le fondement du calcul économique repose sur la maximisation d'une décision économique n'est acceptable que si elle permet de générer un surplus (Allain, 1981). Lorsque le service est fourni gratuitement, le surplus du consommateur, c'est-à-dire la mesure de la satisfaction des consommateurs sur le marché, est maximum, à condition toutefois que l'offre permette de satisfaire l'intégralité de la demande pour ce bien. Dupuit définit ainsi l'*utilité générale* comme le surplus des consommateurs en cas de gratuité.

Lorsque le service est soumis à des encombrements, autrement dit, lorsque la demande est supérieure à l'offre et que celle-ci est inélastique, alors le bien ou service devient un bien rare (cette situation rappelle l'état de régime forcé évoqué dans la relation décroissante). Lorsque le nombre de biens est supérieur à la capacité d'usage, la vitesse ralentit et il y a présence d'une dégradation du service offert par l'infrastructure. La société de bien se dirige inévitablement vers un état de surcharge de la demande par un prix. L'offre étant incapable de satisfaire l'intégralité de la demande, un péage économique peut se fonder à l'intersection de la courbe d'offre et de la courbe de demande. Les agents sont donc amenés à révéler leurs préférences face au coût lié à la consommation de ce bien. L'introduction de la tarification d'usage, ou du péage, conduit ainsi à recréer la concurrence tout comme le fait le prix sur un marché concurrentiel. Le principe consiste donc à ne tarifier que si la demande globale excède la capacité de l'infrastructure, au niveau tel que la demande globale égale la capacité (Allain, 1985). Fort coïncident, la conclusion de Dupuit, reprise plus tard par Hotelling (1938) est que le seul économique du péage est de équilibrer la demande de sorte à fournir un niveau de service acceptable.

Le péage permet d'équilibrer la demande excédentaire. Néanmoins, le surplus du consommateur est réduit par rapport à la situation de gratuité. Le résidu se partage entre, d'une part, la recette de péage, qui constitue le surplus privé du prestataire, et, d'autre part, une perte sociale. Dans la vision de Dupuit, le surplus du consommateur représentant l'*utilité générale*, le produit des recettes du péage doit permettre d'accroître l'offre afin de satisfaire au maximum l'intégralité de la demande. Le surplus du prestataire lui-même est nul si on réajuste pour équilibrer la courbe d'offre et permet de supprimer la perte sociale et de maximiser de nouveau le surplus du consommateur.

Encadré 4 . La tarification du point de vue de l'analyse du surplus : l'analyse de Dupuit

3.2.2 : La tarification au coût marginal : le modèle Pigou-Knight

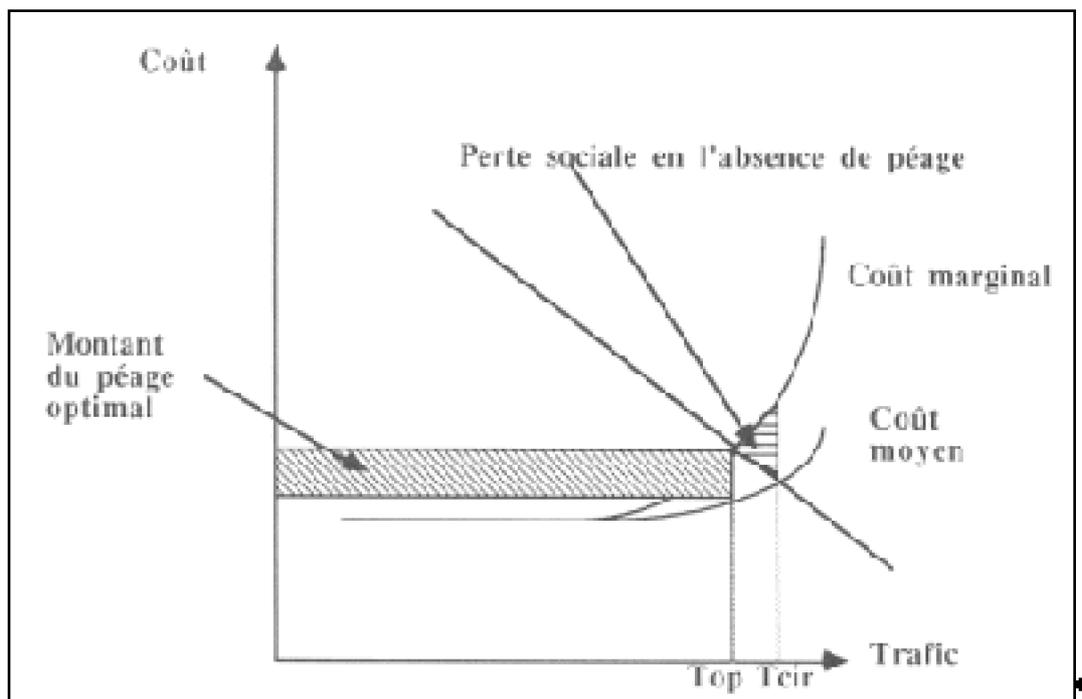
La présence d'effets externes constitue un argument pour justifier le recours à la tarification de la mobilité urbaine. Il a été vu plus haut dans quelle mesure la mobilité urbaine, largement dominée par l'usage de la voiture particulière, est, d'une part, fortement créatrice de nuisances environnementales et, d'autre part, marquée par la congestion. En effet, une infrastructure de transport est un bien soumis à encombrement. Kolm (1968, p. 17) définit l'encombrement de manière générale comme « *un effet externe entre des personnes consommant un même service* ». D'une part, les consommations des uns diminuent le volume disponible pour les consommations des autres. D'autre part, les consommations des usagers du service soumis à encombrement engendrent des modifications de satisfaction pour les agents qui n'utilisent pas le service. Donc, au global, la consommation d'un service soumis à encombrement modifie la satisfaction de l'ensemble des agents, consommateurs ou non. La congestion et les

autres effets externes produits par la consommation des services offerts par une infrastructure routière (la pollution atmosphérique, le bruit ou l'insécurité routière), sont des effets d'encombrement ou encore des effets externes (voir Encadré 3). A ce titre, ils demandent à être considérés par la tarification de l'usage des infrastructures (Gannon, 1994).

La tarification des effets externes issus de l'usage des infrastructures est fondée sur la logique de la tarification au *coût marginal social* (Pigou, 1920 ; Knight, 1924). A partir d'une courbe de demande de déplacements décroissante en fonction du coût direct du déplacement ressenti par l'utilisateur, c'est-à-dire son coût privé, la logique qui préside au calcul du tarif au coût marginal social conduit à évaluer l'écart existant entre le coût moyen privé et le coût marginal du déplacement ressenti par l'ensemble des agents présents ou non sur l'infrastructure. Le coût marginal social prend donc en compte de manière globale le surcoût lié à l'arrivée d'un usager supplémentaire sur l'infrastructure. Considérer le coût marginal social implique donc que l'agent assume le véritable coût de sa décision de se déplacer. Il n'est pas inutile de noter que la notion de dernier usager doit s'entendre au sens de la demande globale de déplacements. Dès lors, pour un niveau de demande, chacun des usagers de l'infrastructure peut-être tenu responsable du supplément de coût total qui résulte de l'arrivée d'un usager supplémentaire pour les autres usagers de l'infrastructure d'une part (perte de temps, accroissement de la consommation de carburant, augmentation de l'insécurité routière), et pour les agents non-usagers de l'infrastructure d'autre part (augmentation du bruit, de la pollution atmosphérique). Le coût marginal social correspond donc au coût privé que ressent l'utilisateur de l'infrastructure pour un niveau de demande, évalué au niveau de son coût moyen, augmenté du coût supplémentaire que l'arrivée du dernier usager sur l'infrastructure fait peser aux autres agents.

Sur la sphère interne à l'usage de l'infrastructure, en régime fluide, l'arrivée d'un automobiliste supplémentaire ne contribue pas à dégrader les conditions de circulation pour les autres usagers. Elle ne génère donc pas de coût supplémentaire pour les autres agents. Le coût moyen privé reste constant et le coût marginal social lui est égal. En revanche, en situation de régime forcé, l'arrivée d'un véhicule supplémentaire contribue à dégrader les conditions de circulation des autres agents, donc à augmenter le coût moyen privé de chaque déplacement. Le coût marginal de chaque usager augmente donc encore plus vite que le coût moyen privé puisque au coût que ressent l'utilisateur supplémentaire s'ajoute le coût de la dégradation des conditions de circulation qu'il inflige aux autres usagers. En absence de péage, le trafic s'établit naturellement au point d'intersection entre la courbe de demande et la courbe de coût moyen puisque aucun agent ne prend en compte, dans sa décision de se déplacer, le surcoût qu'il génère (le trafic s'établit au point dans la Figure 8). En revanche, le trafic optimal se situe à l'intersection entre la courbe de demande et la courbe de coût marginal, soit à un niveau plus faible puisque que le coût marginal étant supérieur au coût moyen, le niveau de demande est naturellement réduit (le trafic optimal s'établit au point dans la Figure 8). L'écart entre ces deux points entraîne une perte sociale. Elle provient de la sous-estimation par les agents de la différence entre leur coût moyen privé et le coût marginal social associé à leur décision de se déplacer (Walters, 1961). Le passage à la situation optimale conduit donc à tarifier au niveau du coût marginal. L'application du principe de taxe pigouvienne permet

donc de calculer le montant du péage optimal (voir Figure 8).



Source : Bouf, D., Crozet, Y. 1991. « Péage urbain versus congestion : l'économiste et les usagers ». In : Raux, C., Les Gosselin, M. (eds.) La mobilité urbaine : de la paralysie au péage. Lyon : Programme Rhône Alpes Recherches en Sciences Humaines, 129-141, 136.¶

Figure 8 . La tarification au coût marginal

La tarification au coût marginal social permet ainsi d'internaliser (voir Encadré 3) les effets externes existant entre usagers de l'infrastructure. Le raisonnement peut aisément s'étendre à la question de l'internalisation de l'ensemble des effets externes reposant sur l'ensemble des agents de l'économie. Le coût réel du déplacement étant plus élevé que le simple coût privé, la demande prête à s'exprimer pour ce niveau de coût est inférieure à celle s'établissant au niveau du coût privé. En particulier, les agents choisissent donc de se déplacer en voiture particulière eu égard à leur disposition à payer pour le niveau de coût que leur choix implique. La tarification au coût marginal social contribue alors à exclure certains usagers de la voirie ce qui conduit à accroître la qualité de service de l'infrastructure et à réduire la production des effets externes environnementaux, c'est-à-dire à internaliser l'ensemble des effets externes. Le principe de tarification au coût marginal constitue donc l'outil d'internalisation par les prix des externalités issues de l'usage des infrastructures de transports. La tarification au coût marginal social permet de surcroît d'orienter la demande vers un état du trafic optimal, soit un état socialement optimal de la consommation des ressources qui maximise le bien-être¹⁶. La puissance publique intervient donc bien sur le marché des transports urbains, à la hauteur toutefois de ce que la théorie parétienne du bien-être prescrit, soit en pratiquant un tarif égal au coût marginal social.

Concernant la question de la régulation de la mobilité urbaine par les prix, l'application du principe de tarification préside à la mise en place des péages urbains.

3.2.3 : L'application à la mobilité urbaine : le péage urbain

En milieu urbain spécifiquement, le Commissariat Général du Plan (1993) recommande donc le recours à la tarification de la circulation pour combler la sous-tarifcation de la mobilité, et orienter la demande vers un usage optimal des modes de transport. En pratique, l'outil de tarification invoqué est l'introduction du péage urbain (Derycke, 1997). Suivant les objectifs qui lui sont attribués, le péage urbain recouvre diverses formes (Geffrin, 1990, 1991). En reprenant *grosso modo* les deux logiques qui prévalent à la tarification, deux objectifs principaux peuvent être assignés au péage urbain : le financement des infrastructures ou *péage de financement* et, l'internalisation des effets externes ou *péage de régulation*. Les formes du péage urbain varient également. La tarification peut être relative à la dimension spatiale de l'usage d'une infrastructure ou à la dimension temporelle de l'usage d'une infrastructure (Pereira-Andrade, Seija-Macias, 1998). Concernant la tarification portant sur l'usage spatial de l'infrastructure, il peut s'agir d'un péage de zone qui consiste à tarifier l'accès aux zones urbaines les plus encombrées prenant souvent la forme d'un cordon protégeant l'hypercentre. Le péage urbain peut également être la tarification d'un axe d'accès au centre chargé. Ce peut être enfin un péage de réseau qui s'applique à un réseau d'infrastructures spécifiques comme les grands axes pénétrant et contournant les centres urbains (Derycke, 1997). Concernant la tarification portant sur l'usage temporel de l'infrastructure, le péage tarife le temps d'usage de l'infrastructure.

Du point de vue de sa mise en pratique, plusieurs villes ont mis en oeuvre la tarification de la mobilité urbaine *via* le péage urbain. Bien qu'il ne soit pas ici le lieu d'étudier de manière approfondie les expériences de péage urbain (voir Derycke, 1997), il est intéressant de noter que le développement de la tarification de l'usage des infrastructures routières urbaines se heurte à un certain nombre de freins politiques (Evans, 1992 ; Giuliano, 1992 ; Lave, 1994 ; Verhoef, 1994) qui justifient le fait que le péage urbain reste encore souvent à l'état de projet.

Il serait cependant réducteur de penser que la tarification de la mobilité urbaine se résume à la tarification routière *stricto sensu*. En effet, lorsque le rapport Carrère (1992) recommande d'introduire la tarification, il entend à la fois la mise en place de péages urbains mais également la tarification du stationnement. De même, l'OCDE et la CEMT (1995) relèvent deux types de tarification, celle qui s'impose sur l'usage circulatoire des

¹⁶ On voit très bien toutefois que dans cette situation, le surplus des consommateurs est réduit car, d'une part, le nombre d'usagers est moindre et, d'autre part, les usagers qui restent doivent payer un prix plus élevé. On comprend que ces derniers vont s'opposer à la tarification sous-couvert d'arguments touchant à la liberté de circuler ou à la discrimination sociale. Papon (1991a, 1991b) propose, pour contourner ce problème, le développement d'une offre routière tarifée, les « routes de première classe », concédée, sans toucher à la voirie ancienne, permettant de segmenter la demande par une tarification différenciée et de maximiser le bien-être collectif. Cette solution offre un avantage net positif pour l'exploitant des infrastructures, pour les autres usagers de la voirie restant gratuite, pour la collectivité au final puisqu'elle conduit à réduire la congestion et les nuisances environnementales tout en permettant d'atteindre une allocation Pareto optimale des ressources.

infrastructures routières et celle qui s'applique au stationnement. En particulier, face aux problèmes de mise en pratique de la solution tarifaire portant sur l'usage circulaire des infrastructures routières urbaines, le stationnement peut éventuellement être considéré comme une opportunité de tarifier la mobilité urbaine en minimisant les problèmes d'acceptation d'ordre politique (Arnott, de Palma, Lindsey, 1991 ; Glazer, Niskanen, 1991 ; Verhoef, Nijkamp, Rietveld, 1995) ou d'ordre comportemental (Raux *et al.*, 1995). De manière synthétique donc, la tarification de la mobilité urbaine concerne l'usage des infrastructures routières urbaines dans son ensemble, c'est-à-dire incluant l'usage circulaire des infrastructures et l'usage du stationnement.

4 : Conclusion de la section

L'évolution de la mobilité urbaine et les conséquences qui en découlent impliquent que la question de la politique des déplacements urbains soit traitée. Les objectifs de la politique des déplacements entraînent que l'intervention publique s'oriente vers la régulation de la demande. Dans la mesure où l'objectif est d'assurer la réalisation d'un état économique aux moindres coûts économiques et sociaux pour la collectivité, la régulation économique, qui consiste à rationner la demande soit par les prix, soit par les quantités, est l'intervention adéquate. Les outils de l'intervention sont alors la réglementation et la tarification¹⁷. La réglementation a pour objectif de restreindre, par la contrainte ou la dissuasion, l'usage de la voiture particulière en ville. Elle fixe également un cadre institutionnel pour la politique des déplacements urbains. L'application de la tarification porte sur l'usage circulaire des infrastructures de transport ou sur le stationnement.

Le raisonnement suivi dans cette deuxième section a donc permis de montrer qu'à partir de la définition des objectifs d'une politique des déplacements urbains, son application conduit à privilégier une politique de régulation la demande.

Que ce soit dans le cadre de l'application de mesures réglementaires ou que ce soit dans celui de l'application des mesures tarifaires, le stationnement apparaît comme un point sensible. Il apparaît notamment comme un point clé sur lequel s'appuient les PDU. En outre, les problèmes d'acceptation de l'application des outils de régulation, notamment de la tarification de la circulation, laissent penser que le stationnement s'avère être un support de l'application de la politique la régulation de la demande de déplacements urbains. A l'évidence donc, le stationnement mérite une attention particulière dans la perspective de mise en oeuvre d'une politique de déplacements urbains.

Conclusion du Chapitre 1

La mobilité urbaine quotidienne est largement modelée par l'évolution du contexte urbain. Cette évolution se manifeste par un mouvement de périurbanisation de la localisation résidentielle des populations urbaines qui s'oppose à une concentration des emplois dans

¹⁷ Il n'est pas le lieu ici de s'interroger sur le degré de pertinence entre réglementation ou tarification pour atteindre un niveau de trafic optimal (Crozet, 1997) donc une régulation efficace, même si certains, d'un point de vue théorique (Buchanan, Tullock, 1975), ou dans l'application à l'économie de l'environnement (Delache, Gastaldo, 1992), ont pu montrer dans quelle mesure l'usage de la tarification semble plus fécond.

les espaces les plus denses des aires urbaines. Cette situation est propice à l'usage prépondérant de la voiture particulière. La part modale de l'automobile dans la mobilité urbaine est ainsi particulièrement marquée.

Une telle empreinte de l'usage de la voiture particulière dans les déplacements des citoyens est source d'effets externes qui pèsent à la fois sur la qualité de l'environnement et sur la qualité de l'écoulement des flux de transports. De surcroît, en termes de circulation des transports, la dynamique de la congestion relève d'un processus auto cumulatif. Si aucune intervention extérieure au marché des transports urbains ne vient perturber cette dynamique, l'évolution de la forme du contexte urbain ne peut qu'entraîner une croissance de l'usage de la voiture particulière en milieu urbain, donc un accroissement des effets externes. Or, ces effets externes génèrent un coût supporté par la collectivité alors que les automobilistes, dont les déplacements sont à la source de ces effets, n'assument que le coût privé de leur déplacement.

Une intervention publique sur le système des transports urbains est donc nécessaire. Elle se justifie, d'une part, par l'existence de ces effets externes et, d'autre part, par le caractère indivisible de l'offre de transport. Dès lors, seule une intervention publique doit permettre de retrouver un état socialement efficace du marché des transports urbains.

Ce premier chapitre a donc montré que le bilan issu de l'évolution de la mobilité urbaine réclame une intervention publique. Il a permis d'avancer que l'objectif de cette intervention doit être de réguler la demande de déplacements urbains. La régulation de la demande de déplacements se concrétise, soit par l'application d'outils réglementaires dont l'objectif est de rationner les quantités consommées sur le marché des transports, soit par l'application de mesures tarifaires dont l'objectif est de rationner la consommation de transport par le biais des prix.

La revue des outils de régulation a permis de mettre en évidence, certes encore de manière très allusive, que l'application des outils de régulation de la demande spécifiquement sur le stationnement se révèle pertinente quant à l'atteinte des objectifs fixés par la politique. Il a notamment été évoqué le fait que lorsque les outils de régulation appliqués sur l'usage circulaire des infrastructures de transport soulèvent des problèmes d'acceptabilité, le recours à la tarification du stationnement devient un outil dont il convient de tenir compte.

Le propos du chapitre suivant est donc d'apporter, dans un premier temps, un éclairage sur le rôle que peut jouer le stationnement dans la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. Il permet, dans un deuxième temps, de justifier que la réflexion sur l'usage du stationnement dans la régulation de la demande de déplacements se focalise inévitablement sur la question de la fraude au stationnement.

Chapitre 2 : Le stationnement et la politique de régulation de la demande de déplacements : vers une

analyse économique de la fraude

Le premier chapitre a permis de montrer, à travers la présentation d'un bilan de l'évolution de la mobilité urbaine, en quoi il est pertinent de mettre en oeuvre une politique des déplacements urbains qui concentre son action sur la régulation de la demande de déplacements. Ce type de politique se concrétise par la manipulation d'outils économiques qui portent sur l'usage circulaire des infrastructures routières urbaines et sur l'usage du stationnement. Les quelques préconisations portant sur le champ d'application des outils économiques de la régulation de la demande de déplacements urbains suggèrent que l'intervention sur le stationnement constitue un levier privilégié pour l'action. Pour que celle-ci soit cependant efficace, il paraît indispensable d'avoir une bonne connaissance de l'ensemble des phénomènes caractéristiques du stationnement urbain.

La politique de régulation de la demande de déplacements urbains repose sur une analyse de la demande. De même, lorsqu'elle s'appuie sur le stationnement, la politique de régulation de la demande de déplacements urbains se nourrit, en toute logique, de l'analyse de la demande de stationnement. Or, entre autres comportements caractérisant la demande de stationnement, l'application des outils de la régulation de la demande de déplacements sur le stationnement favorise l'émergence de comportements de type frauduleux. La décision des agents de contourner les contraintes réglementaires ou tarifaires portant sur l'usage du stationnement pose un certain nombre de questions quant à l'efficacité de l'application des outils économiques mobilisés pour réguler la demande de déplacements.

Ainsi, la problématique de ce deuxième chapitre est de montrer *dans quelle mesure l'application d'une politique de régulation du stationnement, dans le cadre plus large de l'efficacité d'une politique des déplacements urbains, conduit à s'interroger sur la question de la fraude.*

Dans une première section, à partir d'une conceptualisation du stationnement, la question du rôle du stationnement et celui de la politique du stationnement dans le cadre de la politique des déplacements est abordée. Elle conduit naturellement à conclure que lorsque la politique du stationnement est comprise comme un instrument de la politique de la régulation de la demande de déplacements, elle repose sur une politique de la régulation de la demande de stationnement.

Dans une deuxième section, il est montré comment la mise en oeuvre de la politique de la régulation de la demande de stationnement encourt l'échec si la question de l'existence de la fraude est ignorée. Lorsque cette dernière est considérée, il est mis en évidence que le traitement traditionnel de la fraude repose sur des hypothèses inadaptées quant à la réalisation de l'objectif d'efficacité économique de la politique des déplacements. La recherche d'un état socialement efficace du marché des déplacements urbains passe alors par une analyse économique du comportement individuel de fraude au stationnement payant sur voirie.

Section 1 : D'une analyse du stationnement à la politique de régulation de la demande de stationnement

Le stationnement joue un rôle dans la politique des déplacements urbains, notamment lorsque la politique des déplacements urbains a pour objectif de réguler la demande de déplacements. Le but de cette section est tout d'abord de montrer en quoi ce rôle tenu par le stationnement est prépondérant dans la mise en oeuvre de la politique des déplacements urbains. Il s'agit en outre de mettre en évidence que la politique de stationnement, dans le contexte de régulation de la demande de déplacements urbains, se concrétise par la régulation de la demande de stationnement. La politique de régulation de la demande de stationnement repose sur une analyse de la demande de stationnement. Cette dernière permet de montrer, dans une deuxième section, en quoi l'existence de comportements frauduleux conduit à remettre en cause l'efficacité, en premier ressort, des outils économiques de régulation de la demande de stationnement, en second ressort, de la politique des déplacements urbains. Ainsi, l'analyse de la demande de stationnement doit contenir un versant fondé sur une analyse du comportement de fraude.

Après avoir mis en évidence, dans un premier temps, le lien existant entre déplacement et stationnement qui confère un rôle véritable au stationnement dans la politique des déplacements urbains, dans un deuxième temps, la politique du stationnement est véritablement abordée. Il est alors montré dans quelle mesure la politique du stationnement, en tant qu'élément de la politique des déplacements, s'oriente vers une politique de régulation de la demande de stationnement.

1 : Le lien conceptuel entre déplacement et stationnement

Pour qu'il puisse être entendu que le stationnement est bien un levier que la politique des déplacements urbains peut actionner pour réguler la demande de déplacements, il convient tout d'abord de montrer en quoi le stationnement urbain est un élément constitutif de la mobilité urbaine. Ainsi, une première définition, très classique, conduit à s'interroger sur le lien existant entre le déplacement et le stationnement. A partir d'une construction conceptuelle de l'objet *stationnement*, la prééminence de ce lien est établie. Elle permet de souligner le degré de pertinence de la prise en compte du stationnement dans le cadre d'une politique des déplacements urbains. Par la suite, l'élaboration d'une typologie du stationnement conduit à approfondir la teneur du lien entre stationnement et déplacement. Elle apporte des éléments sur la connaissance de l'offre et de la demande de stationnement. Ces éléments mettent l'accent sur le bien-fondé d'aborder le stationnement dans le cadre de la politique des déplacements urbains.

1.1 : La construction de l'objet d'étude

Un point sur la définition du stationnement permet d'élaborer le concept de stationnement en tant qu'objet d'étude construit (Bonnafous, 1989). Il serait peu pertinent de penser qu'une réflexion portant sur le stationnement urbain pourrait se contenter d'une définition

classique du stationnement. L'analyse du stationnement nécessite que soit étudié, non pas le phénomène lui-même, mais *une conceptualisation du stationnement* qui soit un réel moyen de connaissance (Grawitz, 1993)¹⁸. Ainsi, à partir d'une définition classique, le stationnement est défini, ou plutôt construit, à travers le prisme de la mobilité.

1.1.1 : Une définition classique du stationnement

Tel qu'il est défini dans un dictionnaire classique de la langue française¹⁹, le stationnement caractérise le « fait de stationner », c'est-à-dire le « fait de s'arrêter au cours d'un déplacement ». *Le Robert* apporte comme précision que le stationnement est un synonyme d'« arrêt » ou de « halte ». Dans ce sens, le stationnement est un état qui diffère de l'état de mouvement, donc de mobilité.

Le Robert indique par ailleurs que le stationnement est également un « endroit aménagé pour l'arrêt momentané de véhicules ». Le stationnement désigne alors un espace, un lieu défini.

Au-delà de cette définition classique, en tant qu'objet d'étude, le stationnement ne peut être considéré ainsi définitivement donné. Le stationnement est un objet qu'il convient de construire intellectuellement afin de le vider de la neutralité imposée par une telle définition classique.

1.1.2 : Le stationnement comme élément du déplacement

Dans le cadre de la définition classique, le stationnement désigne un arrêt momentané, effectué quel que soit le mode de transport, que se soit au cours d'un déplacement réalisé à pied ou en deux roues, ou exécuté grâce à un mode de transport mécanisé. Un point essentiel doit en être retenu : *le stationnement est un élément du déplacement*. Il implique que le stationnement doit être pris en considération dans le cadre d'un déplacement. L'étude du stationnement ne prend corps que dans le cadre de l'étude du déplacement. Ainsi, il n'y a pas de stationnement s'il n'y a pas de déplacement. La réciproque étant du reste vraie, il n'y a pas de déplacement s'il n'y a pas de stationnement. De fait, l'analyse du déplacement conduit à analyser le stationnement. De manière conceptuelle, la définition classique du stationnement en tant qu'état strictement opposé au mouvement, ou à la mobilité, ne peut donc être ici conservée puisqu'il est maintenant prouvé que le stationnement est un élément intrinsèque du déplacement, donc de la mobilité.

Ce lien entre déplacement et stationnement, qui certes apparaît dans la définition classique du stationnement, mais dans le sens où le stationnement s'oppose au déplacement, entraîne en fait que le stationnement soit pris en compte dans le cadre plus large de la mobilité. En effet, la mobilité concerne les déplacements. Le stationnement est par conséquent un élément de la mobilité et, dans le cadre du milieu urbain, le

¹⁸ En reprenant Lefebvre (1969), la formation du concept résume le parcours qui est fait par le sujet pensant depuis l'apparence du phénomène vers un niveau d'abstraction qui permet d'atteindre un degré supérieur d'objectivité contenu dans la définition de l'objet d'étude nécessaire à l'analyse.

¹⁹ *Le Robert, dictionnaire d'aujourd'hui*, 1992.

stationnement urbain est un élément de la mobilité urbaine. Il n'y a plus lieu de voir une opposition entre déplacement et stationnement, mais au contraire d'y associer une *complémentarité*.

Cette première remarque conduit à souligner l'importance de considérer le stationnement non pas comme un élément en soi, mais bien comme un élément qu'il s'agit d'appréhender dans le cadre plus général de la mobilité. Un premier argument est donc posé pour justifier d'aborder la question du stationnement urbain, en tant qu'élément du déplacement, dans le cadre d'une analyse de la mobilité urbaine. Il témoigne déjà de la pertinence de considérer le stationnement dans une politique des déplacements urbains.

En tant qu'élément du déplacement, le stationnement doit être défini relativement aux règles qui définissent la circulation. Le Code de la route (1^{er} alinéa de l'art. R. 1^{er} D. n. 72-541 du 30 juin 1972) énonce que le « terme 'stationnement' désigne l'immobilisation d'un véhicule sur la route hors les circonstances caractérisant l'arrêt »²⁰. L'arrêt désigne « l'immobilisation momentanée d'un véhicule sur une route durant le temps nécessaire pour permettre la montée ou la descente de personnes, le chargement ou le déchargement du véhicule, le conducteur restant aux commandes de celui-ci ou à proximité pour pouvoir, le cas échéant, le déplacer ». Contrairement donc à la définition classique, le stationnement, même s'il définit bien un état d'immobilisation momentanée d'un véhicule, se distingue radicalement de l'arrêt. Les circonstances du stationnement supposent qu'il soit motivé par la réalisation d'un événement particulier qui implique que le véhicule soit en quelque sorte abandonné par le conducteur, pendant un certain temps, sur la chaussée. La distinction faite par rapport à l'arrêt, tel qu'il est défini dans sa dimension juridique, permet d'avancer que le stationnement, effectué dans le cadre du déplacement, est en fait lié à l'exécution d'une activité conduisant l'automobiliste à laisser un certain temps son véhicule immobilisé sur la chaussée.

Il peut être ici utile de rappeler que le déplacement correspond à la manifestation d'un changement de lieu, *lié à un changement d'activité*, pendant lequel le mode de transport peut être amené à varier. Le stationnement étant un élément du déplacement, il peut être déduit que le stationnement se réfère bien également à la réalisation d'une activité. En introduisant à présent la notion de *trajet* (Andan *et al.*, 1986), repéré par une origine, une destination, une heure de départ, une heure d'arrivée et *un seul mode de transport*, le stationnement devient le point de jonction entre deux trajets. Un déplacement pouvant être réalisé par le biais de l'utilisation de plusieurs modes de transport, un enchaînement de plusieurs trajets constitue alors un déplacement. Le stationnement, en tant que moment particulier situé aux limites initiales et terminales d'un trajet, est alors un élément constitutif d'un trajet, c'est-à-dire une sorte de charnière entre deux trajets. En ce sens donc, il est bien un véritable fragment du déplacement.

Dans cette approche, *le stationnement est donc lié à la réalisation d'une activité*. Le stationnement ne peut donc pas être considéré comme une fin en soi, mais bien comme un événement qui permet la réalisation d'une activité à l'occasion d'un déplacement. Pour

²⁰ Cette définition exclut l'immobilisation au cours d'un déplacement effectué par la marche à pied. Le stationnement concerne donc de manière stricte un déplacement de véhicules.

Dupuy (1999), le stationnement est en quelque sorte le « service de base pour l'automobiliste ».

La définition du stationnement, en tant qu'objet d'étude, peut donc ainsi être précisée. Le stationnement est *un état d'immobilisation d'un véhicule, sur la chaussée, accompli au cours d'un déplacement effectué dans le but de réaliser une activité*. Le stationnement du véhicule concernant un état constitutif du déplacement du véhicule, il ne peut par conséquent pas être défini en opposition au déplacement, mais doit bien être considéré conjointement au déplacement et aux déterminants qui le motivent.

L'objet stationnement ainsi défini, il vient que toute réflexion portant sur les déplacements est inévitablement conduite à s'intéresser à la question du stationnement. De fait, le statut du stationnement, en tant qu'élément inhérent au déplacement, donne au stationnement une consistance véritable dans la mobilité urbaine. L'analyse de la mobilité est par conséquent incomplète si elle entend éluder l'analyse du stationnement. D'où l'intérêt éminent de s'intéresser à la question du stationnement dans le cadre d'une étude portant sur la mobilité.

Pour préciser la construction de l'objet d'étude que constitue le stationnement, une analyse typologique dressant un inventaire des principaux caractères qualifiant le stationnement, tant du point de vue des caractéristiques de l'offre que du point de vue des caractéristiques qualifiant la demande, est proposée.

1.2 : Une typologie du stationnement urbain

Dans la définition classique, le stationnement est soit un état, soit un espace défini. Cette distinction est particulièrement pratique pour une caractérisation sophistiquée du stationnement. En effet, en tant qu'espace, le stationnement est le réceptacle de l'état de stationnement. Dit autrement, l'espace de stationnement constitue l'offre de stationnement qui permet d'accueillir l'état, c'est-à-dire la demande de stationnement. Pour faire une analogie avec la lecture de Reichman (1983, p. 35) sur la « réalité concrète, directement observable sur le terrain » des transports, l'analyse du stationnement repose d'une part, sur celle des équipements, ou des infrastructures, qui caractérisent l'offre, et sur celle des flux, ou de la circulation, qui relèvent de la demande.

La typologie proposée considère cette dichotomie entre l'offre et la demande. Elle n'envisage néanmoins pas d'aborder l'offre et la demande de manière exhaustive mais « consiste à réduire (le) trop grand nombre en définissant quelques '*observations-types*' propres à décrire la diversité des situations et suffisamment contrastées deux à deux pour que leurs différences puissent être interprétées » (Bonnaïous, 1989, p. 45). Le stationnement ainsi défini par le biais de ces observations ordonnées devient alors, en tant qu'élément du déplacement, un instrument directement mobilisable pour la politique des déplacements urbains.

1.2.1 : L'offre de stationnement

Dresser une typologie de l'offre de stationnement urbain n'est pas une tâche aisée tant la réalité du stationnement est complexe. Il est cependant possible de proposer une typologie suffisamment élaborée pour caractériser l'offre de stationnement urbain.

Une première scission au sein de l'offre globale de stationnement urbain peut être faite au regard de l'origine de *la gestion de l'offre* (CETUR, 1992). Elle conduit à distinguer l'offre d'origine publique d'une part, sur voirie ou hors voirie, gratuite ou payante, de l'offre d'origine privée d'autre part, pouvant par ailleurs être réservée essentiellement à certaines catégories d'usagers. Elle range donc, d'un côté, l'offre en voirie publique ou en parc public et, de l'autre côté, l'offre en parc privé ou située sur le domaine privatif. Cette première distinction vient du fait qu'il convient de séparer ce qui ressort de la gestion du domaine public, c'est-à-dire « **le stationnement pris en charge directement ou indirectement par une personne publique afin de livrer des emplacements à une collectivité indéterminée d'automobilistes** » (Dreifuss, 1995, p. 6), du stationnement relevant du domaine privé. La délimitation juridique du stationnement en restera ici sur cette simple distinction (pour un développement complet, voir Dreifuss, 1995).

Toutefois, si la séparation de l'offre selon l'origine de sa gestion est relativement claire, il convient de noter que les responsabilités en termes de stationnement relèvent en France de plusieurs instances. Au niveau de l'Etat, pas moins de 5 ministères sont compétents en termes de stationnement. Le ministère en charge de l'équipement, des transports et du logement intervient dans le cadre du Code de la route et du Code de l'urbanisme *via* les Plans d'Occupation des Sols (POS). Le ministère de l'Intérieur intervient d'une part, dans le cadre du Code général des collectivités territoriales définissant par exemple le pouvoir de police des maires, d'autre part, dans le cadre du Code de la route et dans le cadre de la signalisation routière. Le ministère de la Justice s'occupe du recouvrement des amendes et le ministère des Finances de la perception des amendes. Enfin, le ministère chargé de l'environnement et de l'aménagement du territoire intervient dans le cadre des PDU. Au niveau local, tout d'abord, les communes ont autorité sur la voirie, les parcs de stationnement et les POS. Ensuite, les communautés urbaines et les autorités organisatrices de transport sont également compétentes sur les parcs de stationnement (CERTU, ADEME, 1999). En outre, il convient de considérer l'ensemble des acteurs privés ou semi-privés responsables de la gestion du domaine privé. Du point de vue des compétences en termes de stationnement, cette première distinction permet de souligner dans quelle mesure, même si la distinction privé – public paraît simple *a priori*, la gestion du stationnement est complexe tant elle fait intervenir de multiples acteurs.

Une deuxième partition touche à *l'organisation du stationnement* (CETUR, 1992). Elle isole, d'un côté, l'offre banale, qui n'est ni gérée, ni tarifée, autorisée, tolérée ou interdite, de l'offre organisée de l'autre côté, faisant l'objet d'un service. L'offre organisée est en général publique, dans le sens où elle est ouverte à la collectivité, rotative (courte, moyenne ou longue durée) ou résidentielle (au sens large, c'est-à-dire pour le domicile ou pour le travail), relevant soit du domaine public, soit du domaine privé, tarifée (tarif constant, progressif, dégressif, forfaitaire, ou abonnement permanent, diurne ou nocturne, paiement par parcmètre, horodateur, parcmètre individuel) ou non tarifée. L'offre banale est plus difficile à caractériser. A défaut, elle regroupe les espaces de stationnement ne faisant pas l'objet d'une organisation telle qu'elle est définie pour l'offre organisée.

Sur la base de ces deux premières partitions caractérisant l'offre de stationnement, à côté de l'offre privée par définition organisée hors voirie, une typologie élaborée de l'offre

publique de stationnement peut être construite (voir Tableau 7) en distinguant, d'une part, l'offre sur voirie, c'est-à-dire le stationnement sur la chaussée, de l'offre hors voirie, et, d'autre part, l'offre ouverte au public de l'offre réservée à une certaine catégorie du public (CERTU, ADEME, 1999). Bien qu'elle ait pu être plus sophistiquée, en considérant par exemple les différents types de stationnement hors voirie (en enclos, enterré ou élevé) ou encore, les différents modes de paiement, cette typologie fait apparaître le degré de complexité de l'offre publique de stationnement urbain. Cette diversité présage de la difficulté de traiter du stationnement dans le cadre d'une politique publique des déplacements urbains.

Tableau 7 . Une typologie de l'offre publique de stationnement urbain

Offre organisée
Offre sur voirie
Stationnement <i>payant</i>
Stationnement <i>gratuit à durée limitée</i>
Offre hors voirie
Parc de stationnement <i>payant ouvert au public</i>
Parc de stationnement <i>payant réservé à une catégorie du public</i>
Parc de stationnement <i>gratuit ouvert au public</i>
Offre banale
Offre sur voirie
Stationnement <i>autorisé</i>
Stationnement <i>interdit</i>

1.2.2 : La demande de stationnement

Une deuxième dimension, liée aux flux de transport, est mobilisée pour spécifier le stationnement urbain. Elle repose sur l'analyse de la demande de stationnement.

Tout d'abord, quelques généralités permettant de qualifier la demande de stationnement sont exposées avant d'aborder, dans un premier temps, le stationnement résidentiel, puis, dans un deuxième temps, le stationnement pour travail, comme deux pratiques particulièrement marquantes de la demande de stationnement.

1.2.2.1 : Généralités sur les pratiques de stationnement

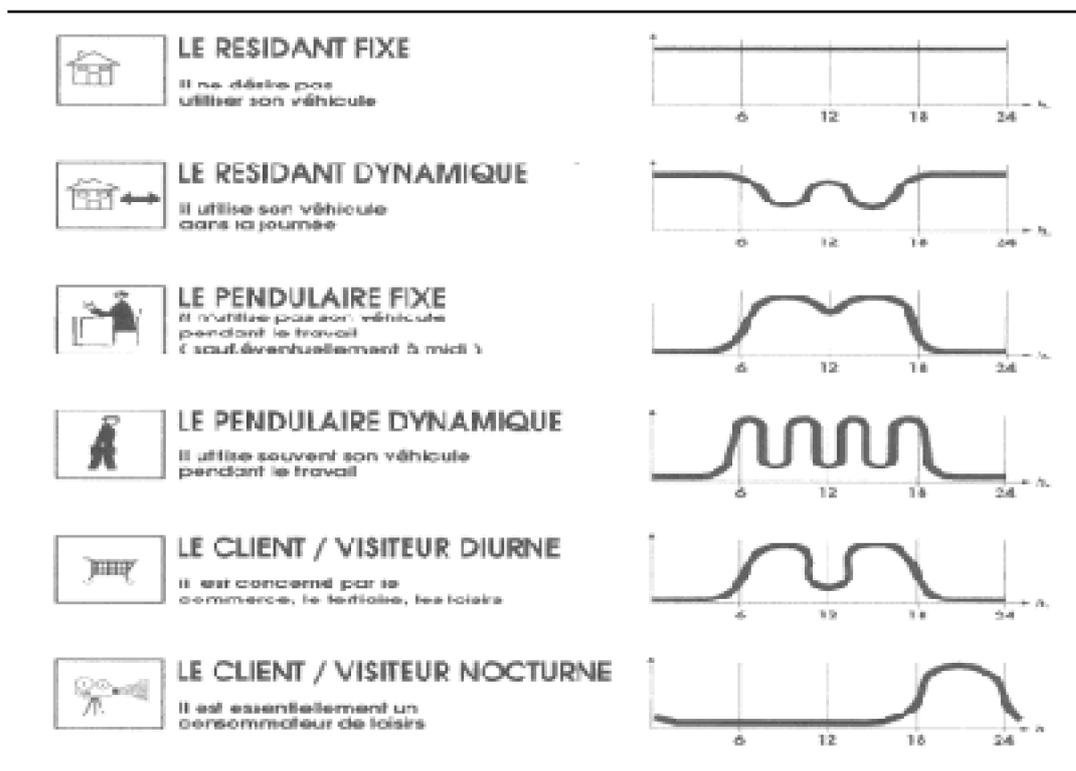
Si le fondement de la typologie de la demande de stationnement repose sur la définition classique du stationnement en tant qu'état, il convient de souligner que cet état diverge de celui énoncé dans la définition classique. Il confère en effet au stationnement le statut d'état comme un élément de la mobilité, donc du déplacement.

En dépit de ces facultés permettant de concrétiser un état de mouvement, de manière générale, une automobile demeure statique entre 95 et 97 % du temps de son existence (CETUR, 1992 ; Bays, Christe, 1994). Sur une journée, en moyenne, une voiture circule 68 minutes (Topp, 1993 ; Rennes, Orfeuill, 1997). Le reste du temps, elle stationne et occupe une des places répertoriées dans la typologie de l'offre de

stationnement. Globalement, pour donner un ordre d'idée de la répartition de la demande sur l'occupation de cette offre, il peut être noté que le stationnement sur voirie en France représente 27 % des stationnements²¹ (Rennes, Orfeuill, 1997).

Donc, si la voiture est conçue *a priori* pour rouler, dans la pratique, elle demeure surtout stationnée. Ce constat rappelle que le stationnement en tant qu'objet construit est avant tout un moment du déplacement lié à la réalisation d'une activité. Pendant la durée d'inactivité de l'automobile, en toute logique, le conducteur réalise une activité. Par conséquent, l'activité à la source du déplacement, donc du stationnement, caractérise la demande de stationnement.

L'étude de la demande de stationnement est donc intimement liée à l'étude de la demande de déplacements qui dépend de la réalisation des activités (Bonnell, 1992). Ces activités sont relatives à la résidence du ménage, au travail des personnes, ou au fonctionnement du ménage hors travail (achats, accompagnements et loisirs). Ces trois domaines de réalisation de l'activité humaine constituent les trois entrées caractéristiques de la demande de stationnement.



Source: Glayre, F., Chastellain, F. 1993. «Le stationnement: du passif au rationnel». *Méthodologie d'approche d'une politique de stationnement sur la Presqu'île à Lyon*, TEC, 119, 43. ¶

Figure 9 : Une typologie de la demande de stationnement

La Figure 9 dresse schématiquement une typologie de la demande de stationnement

²¹ A titre indicatif, ce pourcentage se monte à 40 % à Paris et s'établit autour de 30 % dans les centres des grandes agglomérations françaises.

en fonction de l'activité des citoyens. Elle permet de distinguer le stationnement résidentiel du stationnement pour travail, ou pendulaire, et du stationnement client / visiteur renvoyant aux activités d'achat ou de loisirs.

De manière globale, en France, le temps moyen de stationnement se monte à 3 h 1/2, mais il est de 2 h 1/2 pour les stationnements autres que stationnement résidentiel. Le temps de stationnement pour travail est en moyenne de 5 h 20, mais de 2 h 1/4 pour le stationnement réalisé dans le cadre même de la profession. Enfin, le stationnement pour le motif achats-visites se monte à 1 h 1/4 en moyenne et le stationnement pour accompagnement est de l'ordre de 18 minutes (Rennes, Orfeuil, 1997). Cette comparaison des temps moyens de stationnement par activité enseigne que les pratiques de stationnement sont fortement variables selon le type d'activités que le stationnement permet de réaliser. Elle justifie donc que soit abordée la typologie de la demande de stationnement en fonction de l'activité. Par ailleurs, elle offre la possibilité de classer la demande de stationnement selon la charge temporelle que celle-ci fait peser sur l'offre de stationnement. Or, la pression la plus forte semble être celle du stationnement résidentiel et celle du stationnement pour travail. C'est d'ailleurs sans doute une des raisons qui expliquent qu'il n'existe que très peu de littérature sur le stationnement pour achats ou visites. Il convient de retenir cependant que le stationnement pour motif achats ou visites est en général plutôt de courte durée. De fait, bien que le stationnement pour le motif achats ou visites soit considéré comme une composante vitale de l'attractivité des équipements centraux des agglomérations, le raisonnement qui suit est contraint de n'étudier que les deux principales pratiques de stationnement, en termes temporels, qui constituent la demande de stationnement, à savoir, le stationnement résidentiel et le stationnement pour travail.

1.2.2.2 : Le stationnement résidentiel

L'enquête transports de 1994 montre que chaque véhicule stationne en moyenne, en France, 17 fois par semaine, dont 9 fois au domicile (Rennes, Orfeuil, 1997). Ce constat révèle le poids significatif que tient le stationnement résidentiel dans la demande de stationnement.

La Figure 12 distingue deux types de stationnement résidentiel : le stationnement résidentiel fixe et le stationnement résidentiel dynamique. Le stationnement résidentiel fixe concerne le stationnement des résidents laissant leur véhicule stationné à proximité de leur domicile toute la journée. Le stationnement résidentiel dynamique considère le stationnement des résidents qui utilisent leur voiture dans la journée et ne laissent donc pas leur véhicule garé toute la journée à proximité de leur domicile.

Les résultats de l'enquête-ménages effectuée sur Lyon en 1986 (COURLY, 1993) montrent qu'un tiers des résidents ne bougent pas leur voiture sur une période de 24 h. Ce chiffre donne une indication sur l'importance du stationnement de véhicules restant immobiles un jour complet à proximité du domicile. Sur cette proportion de stationnement résidentiel fixe, 45 % concernent des véhicules stationnés sur la voirie. La pression de la demande de stationnement résidentiel en voirie s'exerce surtout la nuit. A titre d'exemple, à Lyon, 45 à 58 % des résidents stationnent la nuit sur la voirie. Le mouvement s'oriente

cependant progressivement vers un stationnement résidentiel en parc. En France (Rennes, Orfeuill, 1997), la proportion de stationnement sur voirie en centre-ville la nuit, qui peut être grandement assimilé à du stationnement résidentiel, est passée de 22 % à 13 % entre 1982 et 1994. Toutefois, le stationnement résidentiel en voirie de nuit reste plus fort dans les centres des grandes agglomérations, de l'ordre d'environ 30 %, ce qui permet de souligner la charge que fait peser le stationnement résidentiel la nuit précisément sur la voirie des villes-centres des grandes agglomérations françaises.

Pour confirmer le poids de la pression du stationnement résidentiel sur l'offre de stationnement des villes-centres, il paraît intéressant de souligner que, de manière globale, la proportion de véhicules stationnés en voirie diminue avec l'éloignement au centre (Rennes, Orfeuill, 1997). En effet, la structure du bâti en périphérie favorise le stationnement résidentiel privé hors voirie. En revanche, en milieu dense, la plus forte pression foncière conduit à une demande de stationnement résidentiel s'exprimant de préférence sur la voirie publique.

Donc, si le stationnement résidentiel exerce une pression notable sur l'offre de stationnement des centres urbains, il serait aisé de conclure cependant que le développement du stationnement hors voirie a tendance à permettre un relâchement de cette pression. Toutefois, plus de la moitié des véhicules occupant des places en voirie appartiennent à des ménages disposant déjà de places en parc privatif et 80 % appartiennent à des ménages multimotorisés (Rennes, Orfeuill, 1997). En conséquence, il peut être déduit que l'intensité du stationnement résidentiel dans les centres urbains reste sensible (Rennes, Orfeuill, 1997).

La demande de stationnement résidentiel dans Paris mérite quelques mots puisqu'elle permet de souligner l'enjeu qu'il y a de s'intéresser au stationnement résidentiel en tant que phénomène particulier de la demande de stationnement. L'espace viaire de stationnement est largement plus densément occupé à Paris par la voiture 'résidente' que dans les autres centres urbains. Le nombre de voitures en stationnement de nuit sur voirie en 1994 est de plus de 2 700 véhicules au km² à Paris alors qu'il est de 400 véhicules au km² environ dans les centres des autres grandes agglomérations françaises. Pour Rennes et Orfeuill (1997), si 8 % des parisiens qui stationnent sur la voirie la nuit ne prennent pas leur voiture la journée, leurs véhicules occupent alors autant de places que le stationnement sur voirie de l'ensemble des actifs. Cela permet de pointer le rôle crucial que peut jouer une action favorisant le stationnement résidentiel la journée dans les villes-centres dans une politique de modération de la circulation.

Le stationnement résidentiel dynamique couvre pour une très grande part le même stationnement que le stationnement pour travail. De fait, c'est par défaut en étudiant le stationnement pour travail que le stationnement résidentiel dynamique peut être analysé.

1.2.2.3 : Le stationnement et l'activité professionnelle

Il est d'usage de distinguer pour l'étude du stationnement effectué dans le cadre de l'activité travail, à l'instar de ce qui est présenté dans la Figure 9, d'une part, le stationnement sur le lieu de travail fixe, pour lequel le véhicule reste en permanence garé pendant la durée du travail, et, d'autre part, le stationnement réalisé dans le cadre même

de l'exercice de l'activité professionnelle pour lequel le véhicule est utilisé et stationné plusieurs fois pendant la durée du travail. Au regard du temps moyen de stationnement pour le travail, il semble que ce soit surtout le stationnement fixe sur le lieu du travail qui pèse sur l'offre de stationnement. Le stationnement itinérant pour travail ne fait l'objet d'aucune attention particulière dans la littérature, si ce n'est éventuellement dans le cadre de l'étude du transport de marchandises en ville (Gérardin *et al.*, 2000) qui, il convient de le rappeler, sort du cadre du raisonnement suivi dans cette thèse. Le fait le plus marquant du stationnement lié à l'activité professionnelle reste le stationnement fixe sur le lieu de travail.

De manière globale, en France, 66 % des actifs utilisent la voiture pour aller travailler lorsqu'une facilité de stationnement est offerte sur le lieu de travail (Hivert, Orfeuill, 1986). Plus récemment, l'enquête transports de 1994 montre que 34 % des actifs utilisent leur voiture particulière s'il n'y a pas d'opportunité de stationnement sur le lieu de travail contre 76 % lorsqu'il existe un stationnement hors voirie (proportions respectives de 40 et 60 % à Paris), et 67 % lorsqu'il existe une offre de stationnement sur voirie. La proportion d'actifs empruntant la voiture particulière pour aller au travail passe à 19 % à Paris lorsque l'offre sur voirie est réservée au stationnement de courte durée (Rennes, Orfeuill, 1997). Ce dernier point met en lumière que plus l'offre est contrainte, plus la proportion d'actifs utilisant la voiture particulière est faible. Il peut être aisément conclu que l'existence d'une offre de stationnement aisée au lieu de travail est un élément permissif de la mobilité urbaine en voiture particulière.

Plus précisément, dans une étude portant sur les pratiques de mobilité des périurbains (Andan *et al.*, 1989), il est explicitement montré que la 'captivité' vis à vis de la voiture particulière est facilitée par la disposition d'une offre de stationnement dans le cadre du travail²². En 1988, 57,9 % des actifs travaillant en centre-ville choisissent la voiture particulière pour se rendre au travail, qu'ils soient conducteurs ou non (CETUR, 1994a). Plus de la moitié dispose d'une offre de stationnement gratuite sur un espace mis à disposition par l'employeur et 40,8 % stationnent gratuitement sur la voie publique. Le stationnement payant, proposé par l'employeur ou public, ne représente en revanche que 2,6 % du stationnement sur le lieu de travail.

Le stationnement sur le lieu de travail conditionne le partage modal dans la mobilité urbaine. En Suisse, une étude montre que la variabilité de la part modale des transports collectifs est largement fonction de la proportion de places de stationnement au travail (Kaufmann, Guidez, 1996). Un premier élément concernant la perception du temps de transport permet d'expliquer ce choix pour la voiture particulière. L'exemple suisse montre que de 80 à 90 % des actifs utilisant leur voiture particulière pour rejoindre leur lieu de travail effectuent un déplacement plus rapide qu'en transports publics s'ils disposent d'une place de stationnement à destination. Un peu moins de 40 % effectuent un déplacement plus long (Kaufmann *et al.*, 1995). En France, en 1988, la proportion d'actifs tertiaires en centre-ville disposant d'un stationnement sur leur lieu de travail empruntant

²² Sur ce point, il convient de noter qu'il n'existe pas de lien direct entre le stationnement sur le lieu de travail et la localisation résidentielle en milieu périurbain (CETUR, 1994). Le stationnement sur le lieu de travail favorise l'effet de la coïncidence de multiples paramètres qui conduisent au choix résidentiel pour la périphérie des centres urbains.

les transports collectifs est de 15 % alors qu'elle se monte à 36 % si les actifs ne disposent pas de stationnement à destination (CETUR, 1994a). Aux Etats-Unis, la proportion d'actifs utilisant leur voiture pour se rendre au travail baisse de 40 % lorsque le stationnement devient payant par rapport à une situation où le stationnement est totalement gratuit (Willson, Shoup, 1990). Ces exemples montrent en quoi la présence d'une offre de stationnement, à plus forte raison gratuite, en milieu urbain, est un déterminant véritable du partage modal qui profite à l'usage de la voiture particulière.

Un des phénomènes explicatifs du lien entre la disposition d'une place sur le lieu de travail et la mobilité urbaine en voiture particulière est que l'offre de stationnement sur le lieu de travail permet une extension considérable d'une part, de l'aire de recrutement des employeurs, d'autre part, de l'aire de recherche d'un emploi des actifs (Rennes, Orfeuil, 1997). La possibilité de stationnement à proximité du lieu de travail offre à l'employeur l'opportunité de chercher une main d'oeuvre éloignée, car motorisée, et réciproquement, la possibilité de stationner permet à l'employé d'élargir son aire d'acceptation d'un emploi.

Le stationnement sur le lieu de travail constitue donc, tout d'abord, un phénomène particulièrement marquant de la demande de stationnement. Ensuite, il est un élément prépondérant dans l'état de domination de la mobilité urbaine par l'usage de la voiture particulière.

En guise de synthèse, sur la base de cette approche dichotomique de la présentation du stationnement urbain qui distingue, d'un côté, l'offre de stationnement, de l'autre, la demande, il est possible de proposer, en superposant la grille d'analyse de la demande de stationnement et celle de l'offre de stationnement, en s'inspirant des travaux de la Semaly et du LET (2000), une typologie du stationnement (voir Tableau 8).

Tableau 8 . Une typologie du stationnement

Stationnement résidentiel privé (garages et parkings en habitat immobilier, propriété ou location en garage)
Stationnement résidentiel public (sur voirie ou en parc)
Stationnement gratuit sur voirie (autorisé)
Stationnement payant sur voirie (accès non contrôlé, payé ou en infraction)
Stationnement payant public hors voirie (accès contrôlé, y compris stationnement « employeur » payant)
Stationnement gratuit fourni par l'employeur (hors voirie)
Stationnement commercial (hors voirie gratuit ou hors voirie et voirie remboursé par le commerce)
Illégal (non autorisé)

Cette typologie du stationnement étant posée, l'objet stationnement appliqué à la mobilité urbaine est à présent construit. Sa définition repose sur le fait que le stationnement est un élément du déplacement. Elle justifie que le stationnement soit abordé en liaison avec le motif à l'origine du déplacement. Il a notamment été montré dans quelle mesure le stationnement effectué dans le but de réaliser une activité est un élément permissif de la mobilité urbaine opérée en voiture particulière. Le stationnement

sur le lieu de travail en donne un bon exemple. Pour ces raisons, il paraît inévitable de considérer le stationnement dans toute étude concernant les déplacements urbains. En particulier, ce type de conclusion constitue un plaidoyer pour la prise en compte du stationnement dans le cadre de la politique des déplacements urbains.

2 : Vers une politique de régulation de la demande de stationnement

La définition du stationnement a permis de mettre en évidence un lien robuste entre stationnement et déplacement. La mise en exergue de l'existence de ce lien n'est pas anodine puisqu'elle permet d'alimenter la réflexion sur la politique des déplacements urbains. En effet, la réglementation et la tarification de la demande de déplacements urbains semblent pouvoir se nourrir d'une application au stationnement. Le stationnement constitue bien *a priori* un élément de la politique des déplacements urbains. Mais il ne suffit pas d'avoir défini le stationnement comme un élément du déplacement pour pouvoir directement conclure que le stationnement est un support sur lequel la politique de régulation de la demande de déplacements urbains peut s'exercer. Il convient donc de considérer l'intervention portant sur le stationnement dans le cadre plus formel d'une politique de stationnement, et dans celui, plus large, d'une politique des déplacements urbains.

La question qu'il convient tout d'abord de poser est de savoir comment la politique de stationnement est bien un élément constitutif de la politique des déplacements urbains. Dans ce cadre, il s'agit de montrer dans quelle mesure le lien avec la politique des déplacements urbains, dont l'orientation la régulation de la demande, réclame que la politique du stationnement, mobilisable pour la politique des déplacements urbains, soit également dirigée vers une régulation de la demande.

Primo, les objectifs de la politique du stationnement urbain sont déclinés. *Secundo*, les moyens mobilisés pour répondre à ces objectifs sont abordés.

2.1 : La politique du stationnement

La présentation de la politique du stationnement réclame tout d'abord d'en proposer une définition. Cette définition étant posée, il convient de décliner les objectifs principaux qui motivent l'application de la politique du stationnement

2.1.1 : Une définition de la politique du stationnement

Une définition très générale fournit une première approche de la portée de la politique du stationnement urbain. Une politique de stationnement est « un ensemble de mesures physiques, organisationnelles, tarifaires et d'aménagement visant à gérer et à développer le stationnement en fonction d'objectifs d'urbanisme, de transport et d'environnement » (Bays, Christie 1994, p. 89). La politique du stationnement urbain se résume donc à une panoplie de moyens mobilisés *en fonction* de la réalisation d'un certain nombre d'objectifs relatifs à la fois à l'organisation de l'espace urbain, à la mobilité des citoyens et à leur environnement.

Cette première définition illustre bien le fait que, si la politique du stationnement a

effectivement pour objectif de manipuler le stationnement, elle est directement connectée à des objectifs plus généraux liés à l'organisation du système urbain et, en particulier, aux objectifs propres à la régulation de la mobilité urbaine (voir premier chapitre). C'est un premier point fondamental qui renforce l'importance du lien entre le stationnement et le déplacement. Autrement dit, les moyens mis en oeuvre dans le cadre de la politique du stationnement sont motivés par la réalisation d'objectifs portant sur la gestion de la ville, dont ceux relatifs à la régulation des déplacements urbains. Un point sur les objectifs de la politique du stationnement urbain est ainsi présenté.

2.1.2 : Les objectifs de la politique du stationnement

La définition de la politique du stationnement souligne que ce sont principalement les objectifs en termes d'urbanisme, de transport et d'environnement qui doivent motiver l'orientation des moyens de gestion du stationnement urbain. Par conséquent, il convient d'insister ici sur le fait que la politique du stationnement urbain n'est pas isolée de la politique des déplacements urbains, mais qu'elle doit au contraire être considérée dans le cadre plus large de la politique globale de la ville, et en particulier, de la politique des déplacements.

En conservant cette lecture de la politique du stationnement urbain, ses objectifs peuvent être déclinés de la manière suivante (Bays, Christe, 1994 ; CERTU, 1999). Tout d'abord, pour les auteurs, elle doit participer au *maintien de l'attractivité du centre urbain* (Legaignoux, 1999). Dans ce cadre, elle doit, d'une part, contribuer à la préservation de la localisation de la population dans les villes-centres, et d'autre part, participer, autant que faire se peut, au développement de l'activité économique des centres urbains. Ainsi, elle doit permettre de trouver un équilibre entre la commodité du stationnement, quels que soient *a priori* les motifs qui conduisent à stationner, pourvu qu'ils concourent au maintien de la densité du tissu urbain propice au développement des activités (Voith, 1998).

Ensuite, la politique du stationnement urbain doit participer à la *valorisation des espaces publics urbains*. Elle doit permettre d'améliorer la qualité de l'usage des espaces publics, notamment en assurant un partage de la voirie permettant de préserver la diversité des usages (Faivre d'Arcier, 1992). Elle peut notamment constituer un point d'appui pour toutes les actions dont l'objectif est de limiter les conflits d'usage de la voirie, entre usagers du stationnement d'une part, entre tous les usagers de l'espace viaire urbain d'autre part (CERTU, 1999).

Enfin, la politique du stationnement doit contribuer à *assurer un équilibre dans l'utilisation des différents modes de transport en ville*. Le stationnement doit être un élément essentiel de l'organisation des déplacements urbains. Notamment, comme le montre explicitement l'exemple de l'impact du stationnement au lieu de travail sur le partage modal profitant à l'usage massif de la voiture particulière, l'action sur le stationnement peut avoir de fortes retombées sur l'utilisation de la voiture particulière (Gelbmann-Ziv, 2000). Il est bon de noter par ailleurs que par ce biais, la politique du stationnement a un rôle évident à jouer sur la réduction des nuisances environnementales générées par la mobilité urbaine.

La politique du stationnement vise donc des objectifs diversifiés qui relèvent plus

globalement de la politique de la ville. Cette pluralité dans les objectifs appelle toutefois quelques remarques. Elle soulève en premier lieu le problème de la concurrence potentielle entre les objectifs. Ce problème doit induire que soit toujours prescrit le recentrage de la politique du stationnement dans une approche globale de la ville, c'est-à-dire en fonction des objectifs de politique urbains que se fixe le décideur public. Vivet (1998) montre par exemple comment une politique du stationnement dont l'objet ne viserait qu'à répondre aux objectifs de la politique des déplacements urbains, c'est-à-dire qui se limiterait par exemple à restreindre le nombre de places disponibles en vue de réduire la mobilité en voiture particulière, constitue un risque réel pour la réalisation des objectifs de renforcement de l'attractivité des villes-centres. Pour l'auteur, en favorisant une localisation diffuse des activités, la réduction de l'offre de stationnement dans les centres urbains conduirait à amoindrir l'accessibilité du centre et serait un vecteur de multiplication de centres externes dont la vitalité pourrait se révéler préjudiciable pour le dynamisme des villes-centres. Inversement, une action sur le stationnement, visant à la fois à réduire la dépendance des citoyens envers la voiture particulière et à préserver le dynamisme économique des villes-centres, ne peut pas se réaliser au détriment des autres actions en faveur des autres modes de transport urbain (Pelliard, Perret, 1982). Autrement dit, une politique du stationnement urbain répondant aux objectifs de vitalité économique des centres et de réduction de la mobilité en voiture particulière doit en contrepartie respecter les objectifs de valorisation de l'espace public urbain.

Dès lors, il convient de retenir que la politique du stationnement doit répondre aux objectifs choisis de politique urbaine, notamment les objectifs poursuivis par la politique des déplacements urbains. Elle doit veiller à assurer une cohérence des actions sur le stationnement en fonction de l'ensemble de ces objectifs. Pour y parvenir, la politique du stationnement dispose d'un certain nombre de moyens. Ces moyens sont classés entre, d'une part, une action sur l'offre de stationnement, et d'autre part, une action sur la demande.

2.2 : De la politique de l'offre à la politique de la demande

Lorsqu'est posée la question du stationnement dans la problématique des déplacements urbains, le premier constat qu'il convient de dresser est celui du déséquilibre patent entre l'offre de stationnement et la demande de stationnement. De là, deux options sont possibles pour la politique du stationnement. Soit elle s'inscrit dans une logique d'adéquation de l'offre à la demande, soit elle opte pour une gestion de la demande.

2.2.1 : La politique de l'offre : grandeur et décadence

La politique de l'offre de stationnement consiste à adapter l'offre de stationnement à la demande de stationnement. Déjà à la fin des années 60, Sauvy (1968) mentionne la submersion du milieu urbain parisien par la circulation et le stationnement des automobiles. L'offre semble alors structurellement inadaptée à la demande. Face à cet état de fait, la politique mise en oeuvre, toujours selon les principes de la loi fondamentale du trafic, consiste à augmenter l'offre pour satisfaire la demande. La logique remonte d'ailleurs plus loin dans le temps puisque à la fin du XIX^e siècle, au moment de l'apparition

de l'automobile comme mode de déplacement remplaçant le mode hippomobile, l'offre de stationnement sur voirie va s'imposer comme une nécessité alors qu'il était autrefois purement et simplement interdit (Picard, Delacourt, 2000). Cette légitimité de stationner sur la voirie publique, renforcée en 1954 par la suppression de l'obligation d'éclairer les véhicules en stationnement dans la rue la nuit, impose la voirie urbaine, non plus seulement comme un espace alloué à la circulation des véhicules, mais également comme un véritable garage²³ (Picard, Delacourt, 2000). Ainsi, pendant une longue période, la politique du stationnement est uniquement vouée à l'accroissement de l'offre. Et, à l'instar de ce qu'il a pu être constaté dans le cadre de la politique d'offre en infrastructures routières, l'opportunité toujours plus grande de stationner n'a fait que faciliter l'essor de la voiture particulière dans la mobilité urbaine (Sauvy, 1968). Un modèle de Douglas (1975) montre de surcroît comment, lorsque l'offre de stationnement est effectivement relativement faible, une augmentation de cette offre entraîne une augmentation de la demande de stationnement dans des proportions plus conséquentes. Donc, produire de l'offre pour réduire l'excès de demande augmente en réalité la demande.

De sorte qu'à l'aube des années 90, l'enquête effectuée par la SOFRES pour le compte du CETUR (1991a) révèle que 78 % des citoyens estiment que les conditions de stationnement en ville stagnent ou se dégradent. Manifestement, la politique de l'offre de stationnement n'a pas rempli le rôle qui lui était initialement attribué, à savoir d'accroître l'offre dans le but de réduire la congestion du stationnement. Au contraire, elle aurait apporté sa pierre à l'évolution de la mobilité urbaine dominée par l'usage de la voiture particulière et qui pose aujourd'hui des problèmes tant du point de vue environnemental que du point de vue de la circulation des flux de transport en milieu urbain.

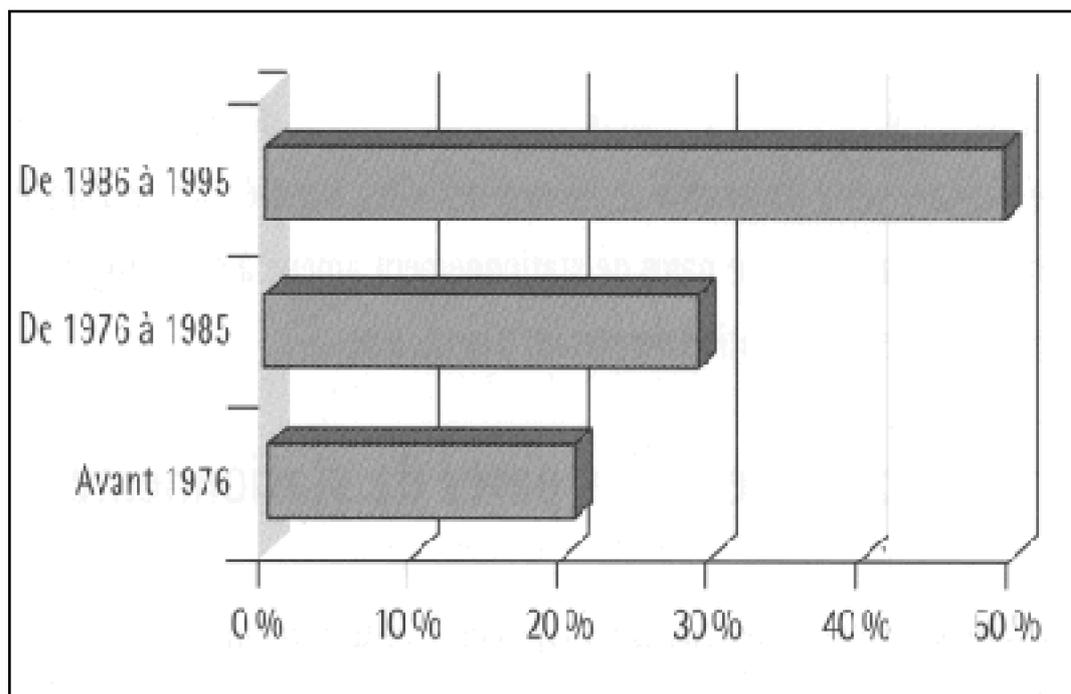
Concrètement, la politique de l'offre de stationnement s'inscrit fortement dans les actions de gestion de la ville. Ainsi, en 1967, lors de la création des POS par la Loi d'Orientation Foncière, la tendance au développement de l'offre de stationnement urbain est explicitement donnée. L'article 12 du POS précise ainsi en substance que, lors de la réalisation d'un programme immobilier, la possibilité est laissée au maire d'exiger la réalisation d'un minimum de places de stationnement hors voirie correspondant aux besoins de l'immeuble à construire, selon le type d'activités et la surface de locaux à construire. Certes, la loi est *a priori* louable puisqu'elle s'inscrit dans un contexte où les espaces urbains sont lourdement déficitaires en places de stationnement. Dès lors, face à l'engorgement de l'espace public viaire par le stationnement des véhicules, la loi propose de vider ces espaces publics des voitures particulières qui perturbent le fonctionnement de la ville. Elle s'inscrit néanmoins dans un état d'esprit ouvertement dédié à la promotion de la mobilité urbaine en voiture particulière puisqu'elle ambitionne d'offrir une place à tout actif travaillant dans un immeuble récent de sorte à ce qu'il puisse stationner sur son lieu de travail. L'article 12 du POS s'intègre donc parfaitement dans une logique de développement de l'offre de stationnement. Cette politique de développement de l'offre de

²³ Dans les années 60, George (1964, p. 130), persuadé du caractère irréaliste de son hypothèse d'une voiture par ménage, imagine, dans le cas extrême, que le stationnement rendrait la ville impraticable et contribuerait à la « négation de la possibilité (de) circulation ». Dans le même ordre d'idée, Clozier (1963) pensait voir la rue perdre sa fonction première de circulation en devenant un garage.

stationnement dans les édifices privés contribue de plus à diversifier la structure de l'offre. Ainsi, aujourd'hui, la conséquence naturelle est que l'offre privée représente peu ou prou 50 % de l'offre totale (CERTU, 1999).

En guise de conclusion sur la question de l'offre de stationnement, il est aisé d'avancer qu'historiquement, la politique de stationnement a largement suscité le développement de la mobilité urbaine en voiture particulière (Pelliard, 1977). Elle l'a d'autant plus stimulé que, face à l'évidence de son inefficacité pour contenir la demande de stationnement, la politique de l'offre de stationnement s'est progressivement enrichie d'outils de gestion de l'offre qui ont *in fine* entraîné un renforcement de l'avantage de l'usage de la voiture particulière. Par exemple, la gestion de l'offre consistant à faciliter la rotation des véhicules en stationnement en centre-ville a permis de toujours maintenir une quantité de places gratuites proches des lieux d'activités. Cette gestion a perduré jusqu'à ce que l'offre existante ne puisse plus satisfaire la demande. En outre, elle a contribué à accentuer les problèmes de circulation. Topp (1994) évalue par exemple à environ 50 % du trafic total en centre-ville la part du trafic uniquement induit par la recherche d'une place libre. Ces chiffres semblent relativement excessifs au regard des travaux anglais qui ont mis en évidence que plus du quart du temps de déplacement est un temps consacré à la recherche d'une place de stationnement (Polak, Vythoukas, 1993). Le même type de recherche en Allemagne porte à 40 % en situation de congestion routière cette fois, la proportion du trafic induit par la recherche d'une place de stationnement (Axhausen *et al.*, 1994). La gestion de l'offre a donc non seulement permis à une demande toujours plus forte de se manifester, mais elle a en outre contribué à accroître le nombre de véhicules en circulation sur la chaussée. Elle a donc ainsi apporté son concours à l'accélération de la dégradation des conditions de déplacement en ville, et a accentué la tendance à l'engorgement croissant des villes-centres.

L'apogée de la politique de l'offre de stationnement a consisté dans les années 80 à construire des grands parkings localisés dans les centres villes, dont la gestion a été généralement confiée à des entreprises privées. Le graphique de la Figure 10 montre que près de la moitié des parcs de stationnement en France a été construite à partir de 1985. Non seulement, cette politique a exacerbé l'usage de la voiture particulière, mais elle n'a fait, de plus, qu'accroître la complexité de la gestion du stationnement en ville en multipliant le nombre d'intervenants chargés de la gestion du stationnement en ville sur lesquels la politique du stationnement, et plus globalement, la politique des déplacements urbains, ne peut exercer d'influence (CETUR, 1994b).



Source: CERTU, 1999. Une politique de stationnement. Pourquoi? Comment? Lyon: CERTU. Coll. Références, 10, 55.

Figure 10 : Répartition des parcs de stationnement selon leur date de mise en service

En résumé, le titre de cette présentation de la politique de l'offre de stationnement résume bien le passage d'un état euphorique de la politique du stationnement qui met tout en oeuvre pour satisfaire les besoins de stationnement, à un état de discrédit de la logique de l'offre qui, au global, ne fait qu'accroître la mobilité en voiture particulière, la congestion des centres et la complexité de gestion du stationnement urbain.

Dès lors, les prémices d'une remise en cause de la politique d'accroissement de l'offre de stationnement peuvent apparaître. Elle devient évidente lorsque la question du poids de l'espace qu'occupe le stationnement sur l'espace public urbain est soulevée. L'espace consommé par personne pour le stationnement d'une voiture particulière est 5 fois supérieur à celui occupé par une personne stationnant en deux roues (sur une base de 9 heures de stationnement). Il est nul pour le stationnement d'un transport collectif (Quinet, 1994). En considérant le stationnement dans le cadre du déplacement, Merlin (1992) évalue à $60 \text{ m}^2 \times \text{h}$ l'espace consommé par une voiture particulière dans le cadre d'un déplacement domicile-travail de 10 kilomètres (sur la base de 9 heures de stationnement), à $26,7 \text{ m}^2 \times \text{h}$ pour un autre motif (2 heures de stationnement) et entre 3 et $4 \text{ m}^2 \times \text{h}$ pour un déplacement effectué en transport collectif quel que soit le motif. Le Tableau 9 affiche des chiffres soulignant le poids du stationnement dans le déséquilibre de consommation d'espace urbain viaire entre un déplacement en voiture particulière et un déplacement avec un autre mode de transport.

Tableau 9. Consommation d'espace, exprimée en $\text{m}^2 \times \text{heure}$, selon le mode de transport (parcours domicile-travail)

	Circulation	Stationnement	Total
Automobile	$18 \text{ m}^2 \times h$	$72 \text{ m}^2 \times h$	$90 \text{ m}^2 \times h$
Autobus ou tramway	$3 \text{ à } 12 \text{ m}^2 \times h$	$0 \text{ m}^2 \times h$	$3 \text{ à } 12 \text{ m}^2 \times h$
Vélo	$8 \text{ m}^2 \times h$	$12 \text{ m}^2 \times h$	$20 \text{ m}^2 \times h$
Source : Vivier, J. 1999. « Etat de l'art ». In : IUTP. <i>Politique de stationnement</i> . Bruxelles : IUTP, 6			

Outre l'espace consommé par le véhicule sujet du déplacement, il a déjà été souligné que la circulation générée par la recherche d'une place de stationnement s'élève *grosso modo* à la moitié du trafic urbain. Or, le montant du trafic en voiture particulière produit par une place de stationnement dépend du temps de stationnement et de la fréquence d'utilisation de la place (Topp, 1993). Pour Topp, si plus de places de stationnement sont affectées au stationnement de courte durée (pour motif achats ou visites) et remplacent des places de stationnement de longue durée (pour motif travail), le trafic n'augmente pas. D'où, dans le but de réduire le trafic urbain, Topp propose de transformer, par exemple, cinq places affectées au stationnement de longue durée en une place allouée au stationnement de courte durée, une place affectée au stationnement résidentiel, et de laisser le reste de l'espace récupéré partagé entre les autres usages viaires. Sans aller pour l'instant plus en avant sur la question du rôle du stationnement dans la modération du trafic urbain, cette illustration montre le glissement de la politique du stationnement qui, lorsqu'elle considère l'espace consommé par le stationnement et le trafic induit par le stationnement, passe d'une gestion de l'offre en termes quantitatifs, à une gestion en fonction des motifs de stationnement, c'est-à-dire en fonction de la demande de stationnement. Ainsi, d'une politique de l'offre de stationnement, la gestion du stationnement passe à une politique orientée vers la prise en considération de la demande.

2.2.2 : La politique de la demande de stationnement

Au regard du bilan de la mobilité urbaine, la politique de l'offre de stationnement, si elle a bien contribué à créer massivement de l'espace de stationnement supplémentaire, n'a pas permis d'atteindre les objectifs de la politique des déplacements urbains, à savoir de modérer l'usage de la voiture particulière, de sorte à satisfaire les besoins de mobilité aux moindres coûts économiques et sociaux pour la collectivité. En effet, l'unique objectif de résoudre le déséquilibre entre l'offre et la demande, doublé d'une réelle complexité dans le domaine de la répartition des compétences et des responsabilités dans la gestion du stationnement urbain, contribue à ce que la politique du stationnement exacerbe le conflit entre les objectifs de la politique des transports urbains et les objectifs de la politique de la ville.

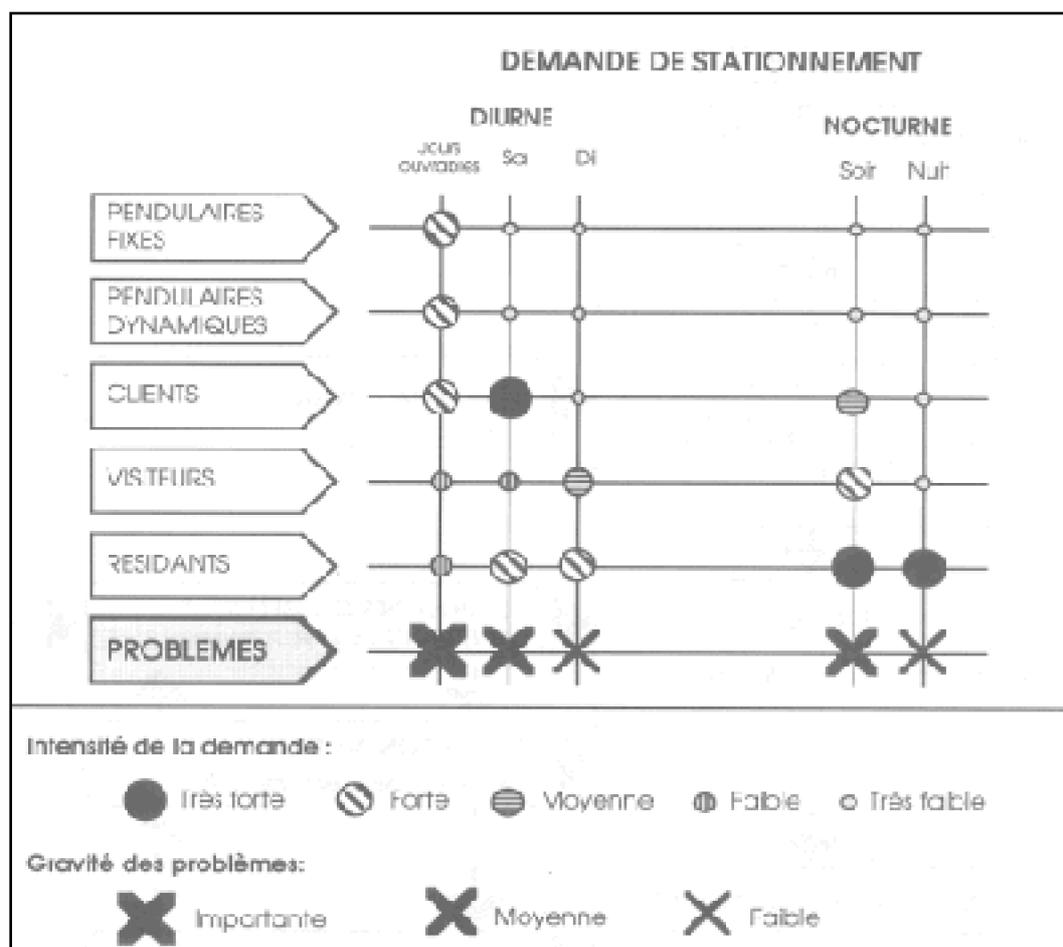
Dès lors, la voie que semble devoir emprunter la politique du stationnement n'est plus de créer de l'offre, mais de gérer l'offre existante, notamment en tenant compte de la demande de stationnement. Il ne s'agit donc plus de connaître seulement la demande dans sa dimension strictement quantitative pour lui rendre adéquate l'offre de stationnement, mais il convient d'appréhender la demande dans son aspect qualitatif. Il

s'agit alors de dégager les points sensibles caractérisant les déterminants de la demande de stationnement sur lesquels la politique du stationnement peut agir afin de contribuer à la réalisation des objectifs de la politique des déplacements urbains.

La Figure 11 illustre la répartition temporelle des difficultés de stationnement dues à l'intensité de la demande en fonction de l'activité à l'origine du déplacement. Elle permet de produire une image de la pression dans le temps qui s'exerce sur l'offre de stationnement. Elle offre la possibilité de distinguer l'origine de la pression selon le motif de stationnement.

Tous motifs confondus, le problème le plus important se situe en journée, les jours de semaine. C'est là que se manifeste l'ensemble des pratiques constituant la demande de stationnement. Le week-end, c'est surtout le samedi que se cristallisent les problèmes de stationnement dus à la confrontation de la demande de stationnement pour motif achats et de la demande pour stationnement résidentiel. La tension s'exerce la nuit sur le stationnement résidentiel.

Cette lecture succincte de la répartition temporelle des problèmes de stationnement en ville produit néanmoins *une segmentation de la demande de stationnement*. Elle annonce l'orientation que peut prendre la politique du stationnement lorsqu'elle est orientée sur la gestion de la demande. En substance, la politique du stationnement doit distinguer la demande pour motif travail, la demande pour motif achats-visites et la demande résidentielle. Ces trois types de demande constituent les trois points d'entrée à partir desquels l'action sur le stationnement, prise dans le cadre de la politique des déplacements urbains, doit s'exercer.



Source: Eays, F., Christe, F. 1994. Le stationnement. Lausanne: Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, Département de Génie civil, Institut des transports et de la planification, TEA, cahier TE47, 65

Figure 11 : Superposition des demandes temporelles des usagers

En outre, nombre d'études empiriques ont montré qu'en plus des conséquences sur le choix du type de stationnement, sur sa localisation, sur l'itinéraire du déplacement à l'origine du stationnement ou sur le temps de déplacement (Coombe *et al.*, 1997), la politique du stationnement a un impact sur le choix modal, sur le nombre de déplacements ou encore, sur le taux d'occupation des véhicules (Cervero, 1995 ; Coombe *et al.*, 1997 ; Feeney, 1989 ; Gayda, 1994 ; Hudson, Shoarian-Satari, Kompfner ; 1993, Verhoef, 1996). S'agissant du choix modal, l'exemple du stationnement sur le lieu de travail est là encore symptomatique. Une pression sur l'offre de stationnement pour le motif travail a des répercussions notables sur le partage modal. Dès lors, cette illustration permet de conclure que l'action sur l'offre de stationnement, mise en oeuvre au regard des déterminants de la demande, joue un rôle décisif sur l'usage de la voiture particulière en milieu urbain. Partant, c'est en actionnant ce levier, qui consiste à organiser l'offre de stationnement compte tenu de la demande, plus précisément, des motifs de stationnement (CETUR, 1994b), que la politique du stationnement devient un élément

essentiel de la politique des déplacements urbains.

En résumé, il peut être avancé, à l'instar de ce qui définit la politique des déplacements, que la politique du stationnement ne peut plus se contenter d'adapter l'offre à la demande, mais qu'elle consiste à présent à *mettre en oeuvre les moyens nécessaires, pour participer à la politique des déplacements urbains, afin de contribuer à assurer les besoins de transport aux moindres coûts économiques et sociaux pour la collectivité, dans un contexte plus général dicté par les objectifs de la politique de la ville.* En effet, la politique des déplacements urbains, de sorte à assurer les besoins de transport aux moindres coûts économiques et sociaux pour la collectivité, prend le cap de la régulation de la demande de déplacements. Il paraît alors naturel que la politique du stationnement s'oriente également vers une politique de régulation de la demande. La politique du stationnement qui se limite à proposer une offre supplémentaire pour rendre adéquate l'offre à la demande ayant montré ses faiblesses, l'alternative consiste à organiser l'offre de stationnement en fonction de la demande de stationnement. Elle conduit, dans un contexte de régulation de la demande des déplacements urbains, à organiser l'offre de sorte à réguler la demande de stationnement, notamment en portant son action sur les déterminants de la demande de stationnement.

3 : Conclusion de la section

L'objectif de cette section était de montrer en quoi le stationnement remplit un rôle essentiel dans la mise en oeuvre de la politique des déplacements urbains. A cet égard, la politique de stationnement est un instrument de régulation de la demande de déplacements, c'est-à-dire un outil permettant de modérer l'usage de la voiture particulière dans la mobilité urbaine, tant pour atténuer les problèmes environnementaux générés par la mobilité en voiture particulière que pour inverser la tendance à la congestion croissante.

En ayant mis en évidence le lien entre déplacement et stationnement qui confère un rôle véritable au stationnement dans la politique des déplacements urbains, l'exposé des objectifs et des moyens à disposition de la politique du stationnement a permis de montrer dans quelle mesure la politique du stationnement, en tant qu'élément de la politique des déplacements, s'oriente vers une politique de régulation de la demande. L'application de la régulation de la demande de stationnement repose sur une segmentation de la demande en fonction des motifs de déplacement à l'origine du stationnement.

Ainsi, en reprenant l'analyse de Vivet (1998), la politique du stationnement urbain s'emploie à poursuivre deux objectifs interdépendants. Tout d'abord, elle consiste à gérer l'offre de stationnement en assurant toujours un équilibre entre l'offre et la demande. Ensuite, elle agit sur l'organisation de l'offre de sorte à jouer sur les déterminants du choix modal. Ce deuxième objectif relève bien de la régulation de la demande de stationnement.

Dès lors, dans une deuxième section, l'analyse de la politique de régulation de la demande de stationnement conduit à souligner en quoi l'existence de comportements frauduleux peut remettre en cause, d'une part, l'efficacité de la politique du stationnement, d'autre part, l'efficacité de la politique des déplacements. Ainsi, l'existence de la fraude au

stationnement urbain commande que l'analyse de la demande de stationnement contienne un versant fondé sur une analyse du comportement de fraude.

Section 2 : La politique de régulation de la demande de stationnement : vers une analyse économique du comportement de fraude

La politique du stationnement est un élément essentiel de la politique des déplacements urbains. A cet égard, elle est un instrument de la politique de régulation de la demande de déplacements. Par conséquent, de manière à conserver une cohérence entre les actions constituant la politique du stationnement et les objectifs de la politique des déplacements, la politique du stationnement s'oriente également vers une logique de régulation de la demande. Dans ce cadre, les instruments économiques sollicités à l'occasion de la mise en oeuvre de la politique de la régulation de la demande de stationnement sont les mêmes que ceux mobilisés à l'occasion de la politique de régulation de la demande de déplacements. Leur objectif est de modifier les déterminants économiques de la demande.

Dans cette section, la mise en évidence de l'existence de comportements frauduleux permet de montrer que, de manière générale, la politique du stationnement urbain bute sur la question de l'appréhension des comportements économiques de choix individuels. Notamment, la mauvaise connaissance des comportements de fraude est un facteur de mise en échec de la politique de régulation de la demande de stationnement urbain. Au-delà, elle est un vecteur d'échec de la politique des déplacements. La question posée dans cette section est donc de savoir dans quelle mesure la politique de régulation de la demande de stationnement s'arrange de la présence de tels comportements frauduleux.

Dans un premier temps, la politique de régulation de la demande de stationnement est abordée. Les principes généraux et les outils économiques de régulation de la demande sont ainsi exposés. Dans un deuxième temps, le rôle de l'existence de comportements de fraude dans l'échec de la politique du stationnement urbain est mis en évidence. Il conduit à conclure que l'analyse économique du comportement constitue le fondement de la politique du stationnement en charge de la fraude.

1 : La régulation de la demande de stationnement

Réguler la demande de stationnement consiste à intervenir directement sur l'offre de stationnement dans le but de modifier les déterminants de la demande. La justification du recours à la régulation de la demande de stationnement repose sur le constat avancé par Dupuy (1999) que l'intervention sur le stationnement, en comparaison avec d'autres types d'intervention, a les effets les plus forts sur le degré de dépendance à l'automobile²⁴. Pour certains, ce type d'intervention sur le stationnement revient à mener une politique « restrictive » du stationnement (Vivet, 1998). Il convient de nuancer ce propos. En effet,

²⁴ Dupuy énonce cette conclusion à l'issue des simulations du modèle MAAGIC (Modèle d'Accessibilité Automobile Générée par les Interactions de Club) dont l'objet est de détecter les variables jouant un rôle majeur dans la dépendance automobile.

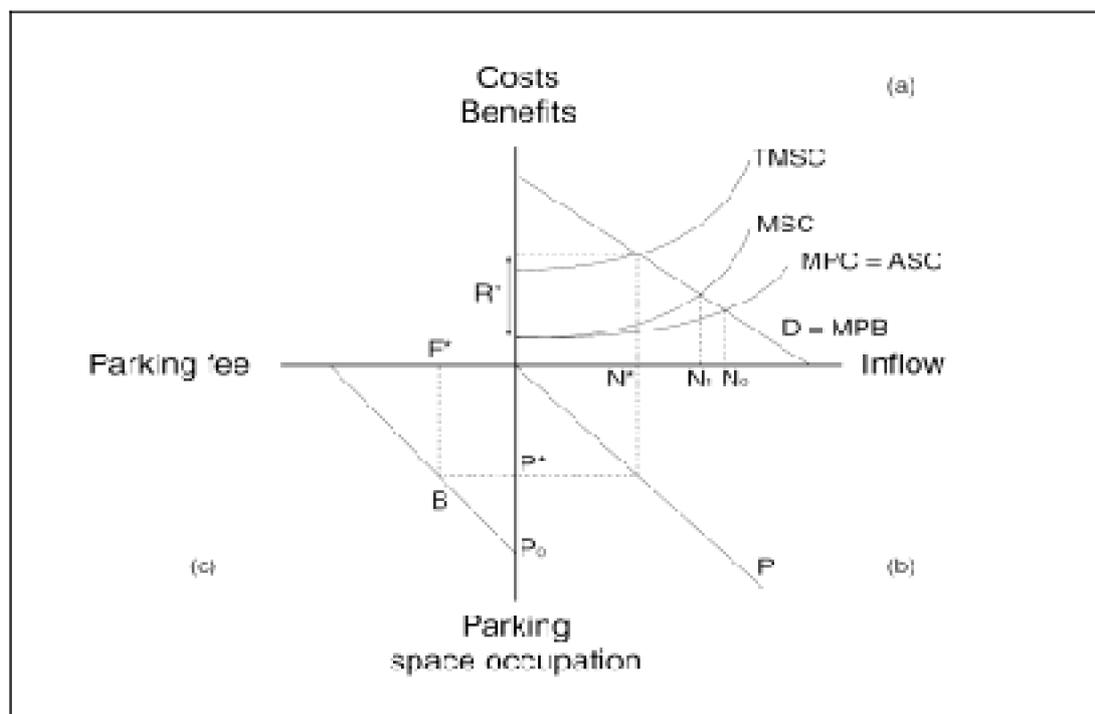
la politique de régulation de la demande de stationnement ne signifie pas que les conditions de stationnement soient dégradées de telle sorte que seul l'objectif de la politique des déplacements, c'est-à-dire la réduction de la mobilité en voiture particulière, soit privilégié, au détriment des objectifs plus généraux de la politique urbaine. En substance, l'objectif de la politique de régulation de la demande de stationnement est de modifier les conditions de stationnement, de sorte à agir sur les déterminants économiques de la demande de stationnement qui favorisent la domination modale de la voiture particulière, en respectant toutefois les objectifs de la politique urbaine. Il ne s'agit donc pas de restreindre à proprement parler l'usage du stationnement, mais de contraindre dans une certaine mesure la demande de stationnement²⁵. Ces conditions respectées, la politique de régulation du stationnement s'insère bien dans la politique de régulation de la demande de déplacements urbains.

Ainsi, en se fondant sur les enseignements de l'analyse de la demande de stationnement, en pratique, la régulation de la demande consiste à gérer l'offre de stationnement en traitant de manière différenciée et sélective les divers motifs de stationnement. Les outils mobilisés sont les outils économiques classiques de rationnement déjà mis en oeuvre à l'occasion de l'application de la politique de régulation de la demande de déplacements. Il s'agit, d'une part, de la réglementation dont l'objectif est de limiter sélectivement l'espace de stationnement disponible de sorte à ce que la demande s'établisse au niveau d'une quantité d'offre qui réalise un état économique optimal. D'autre part, il s'agit de l'outil tarifaire dont l'objectif est de rationner par les prix, soit d'amener la demande à s'adapter à l'offre de sorte que les agents qui stationnent assument le coût réel que génère leur stationnement et que le niveau de demande de stationnement s'exprime à un niveau optimal.

1.1 : Les principes généraux

Verhoef, Nijkamp et Rietveld (1995b) décrivent le mécanisme de régulation économique de la demande de stationnement tel qu'il est formalisé dans le graphique de Figure 12.

²⁵ Il s'agit bien de contraindre la demande car, pour paraphraser Vickrey (1959), si personne ne veut stationner plus de temps que le temps possible, il n'y aurait pas de nécessité de contraindre. En revanche, si quelqu'un a fortement besoin de stationner 2 heures sur une place autorisant un stationnement d'1 heure et qu'il est disposé à payer une somme supérieure à ce qu'il peut dépenser en 1 heure, il devra être amené à être contraint de chercher une place en un autre endroit.



Source : Verhoef, H., Nijkamp, P., Bhatnagar, P. : 1995, «The economics of regulatory parking policies: The (im)possibilities of parking policies in traffic regulation», *Transportation Research*, 29A(2), 145. ¶

Figure 12 : Un modèle de base de régulation du stationnement

La partie (a) du graphique rappelle les principes de tarification au coût marginal. Lorsque le coût du déplacement est fixé au niveau auquel le coût marginal social (*Marginal Social Cost* - MSC) rencontre la demande (*Marginal Private Benefit* - MPB), le niveau de trafic passe de N_0 à N^* . Les coûts sociaux du déplacement sont alors internalisés et la demande de transport est ramenée à un niveau optimal. Le coût marginal social total (*Total Marginal Social Cost* - TMSO) inclut le coût social du stationnement. Il déplace en fait vers le haut la courbe de coût marginal social. Le niveau optimal de la demande de déplacements se situe alors en N^* . Le niveau optimal de tarification de la demande de déplacements est donc R^* , portant à la fois sur le déplacement lui-même et sur l'occupation du stationnement.

L'axe vertical de la partie (b) représente l'occupation du stationnement. Par hypothèse (qui vient directement du fait que le stationnement est un élément du déplacement), le niveau d'occupation du stationnement est signalé par la fonction P . L'intervention de type réglementaire consiste à réduire l'offre de stationnement au niveau de P^* qui correspond au niveau optimal de demande N^* . L'axe horizontal de la partie (c) est le montant du tarif de stationnement. La courbe F représente le niveau de demande en fonction du tarif de stationnement (sans faire d'hypothèse sur la forme de la courbe d'utilité du stationnement, la courbe est en fait une fonction d'enchères). Le niveau de l'enchère correspond à la disposition à payer des agents, nette des coûts privés, pour effectuer un déplacement en voiture particulière, en fonction du niveau d'occupation de

l'offre de stationnement (projection de la distance verticale entre la courbe de demande – MPB - et la courbe de coût privé – MPC – par le biais de la courbe d'occupation de l'offre de stationnement). Le niveau optimal de la tarification F^* correspond alors au niveau de demande optimale. En première approche donc, le niveau optimal de tarification du stationnement est équivalent au tarif optimal du péage de circulation.

En ce sens, le modèle confirme le point de vue de Rennes et Orfeuil (1997) qui affirment que la réglementation et la tarification du stationnement sont deux « leviers majeurs » de la modération du trafic automobile en ville. La validité de cette assertion repose sur le fait que la construction de l'objet d'étude a montré que le stationnement est un élément constitutif du déplacement. Dès lors, la prééminence du poids du stationnement dans la modération du trafic automobile campe sur l'hypothèse que l'intervention sur le stationnement a les mêmes effets sur la mobilité urbaine que les interventions visant directement la mobilité.

1.2 : L'approche réglementaire de la régulation de la demande de stationnement

La vocation de la réglementation du stationnement urbain est de contraindre la demande de stationnement par le biais d'une réduction de la quantité d'offre. Le but est que la demande s'établisse à un niveau qui correspond à la réalisation d'un équilibre optimal du marché des déplacements urbains. Pour Shaw (1997), la réglementation est bien à cet égard un outil de régulation de la demande de stationnement. Elle permet d'établir un niveau d'offre de stationnement assurant une allocation optimale des ressources sur le marché du stationnement.

D'après le CERTU et l'ADEME (1999), les conditions de stationnement déterminent de façon importante le choix du mode de déplacement. Pour s'en convaincre, il suffit une nouvelle fois de rappeler l'influence sur la part modale de la disposition d'un stationnement gratuit sur le lieu de travail. Partant, la réduction de l'offre de stationnement participe à la politique des déplacements urbains. De fait, en contraignant la demande de stationnement par la réglementation de l'offre disponible, en toute logique, la réglementation du stationnement contribue à réduire la part modale de la voiture particulière dans la mobilité quotidienne. Par conséquent, elle concourt à la diminution des effets externes produits par la circulation urbaine, donc à la réduction de la congestion. Le stationnement étant un élément du déplacement, la réglementation du stationnement conduit ainsi à réduire les effets externes de la circulation automobile à un niveau optimal. Elle prend part donc à la réalisation d'un équilibre optimal du marché des déplacements urbains. L'interdiction de stationner et la limitation de l'offre de stationnement sont les actions principales de réglementation du stationnement (Bays, Christe, 1994).

1.2.1 : L'interdiction de stationnement

Le principe général de *l'interdiction du stationnement* est de réduire l'offre de stationnement en termes quantitatifs. L'interdiction de stationner est du reste, en France, du ressort du pouvoir de police de la circulation du maire. Elle est par conséquent très facile à mettre en place dans le cadre de la politique des déplacements urbains. A ce titre,

Bradshaw et Jones (1998) mettent en évidence que l'interdiction de stationnement est l'intervention la plus couramment utilisée dans les politiques européennes de stationnement urbain.

Maitra, Sikdar, Dhingra (1998) montrent que lorsque les conditions de stationnement se dégradent, si dans un premier temps les individus cherchent plus longtemps une place de stationnement contribuant ainsi à renforcer la congestion, dans un deuxième temps, ils viennent à renoncer à l'usage de leur voiture particulière pour effectuer leurs déplacements en ville. En ce sens, la réglementation par interdiction du stationnement permet bien de modifier les déterminants de la demande de stationnement. La limitation de l'offre sur le marché du stationnement conduit bien en théorie à réduire la demande de déplacements automobiles en ville. Si l'offre de stationnement est réduite à un niveau permettant de rencontrer un équilibre Pareto optimal de la demande de déplacements en voiture particulière, alors la réglementation du stationnement par interdiction s'intègre efficacement dans la politique de régulation de la demande de déplacements. La condition reste toutefois que l'interdiction de stationner réduise suffisamment l'offre pour que l'effet sur la demande de déplacements soit efficace.

L'exemple d'interdiction de stationnement le plus draconien est la mise en place des 'axes rouges' à Paris (CETUR, 1994b). Les estimations menées par l'observatoire des déplacements parisiens en 1990 montrent que les effets de cette mesure sont significatifs. Après la mise en place des 'axes rouges', la vitesse moyenne de transport sur l'ensemble de la ville a augmenté de 14 %, la vitesse sur les axes concernés par les 'axes rouges' a progressé de 23 %. En outre, le nombre de kilomètres perdus pour les autobus a chuté de 57 %. Enfin, la fréquentation des parcs publics a augmenté de 6 %. Cet exemple illustre bien le type d'effets que peut générer l'interdiction du stationnement. Notamment, le gain en kilomètres parcourus des autobus laisse penser que l'interdiction du stationnement contribue à restaurer la compétitivité des transports collectifs, donc intervient dans la réalisation de l'objectif de desserrement de la crise des encombrements et de la crise du financement des transports publics. La réduction de la congestion et le gain en qualité des services fournis par les transports collectifs restaurent *a priori* la compétitivité des transports en communs urbains. La réglementation du stationnement concourt donc bien là à remplir les objectifs de la politique des déplacements urbains. En revanche, l'augmentation de la vitesse globale des déplacements ne rentre pas à proprement parler dans les objectifs que vise la modération du trafic. *A contrario*, il a déjà été vu que l'augmentation de la vitesse en ville est un facteur croissant d'insécurité routière. Dès lors, l'interdiction de stationner, en facilitant l'augmentation des vitesses, peut avoir pour conséquence d'augmenter les effets externes de la mobilité en voiture particulière. Cela montre bien que la réglementation du stationnement nécessite d'être en lien avec l'ensemble des objectifs poursuivis par la politique des déplacements urbains. Dès lors, l'effet de la réglementation par interdiction, si elle peut permettre une réduction efficace de la demande de transport en voiture particulière, il demeure hypothétique de conclure qu'elle participe à en internaliser l'ensemble des effets externes.

En conclusion, si l'interdiction de stationner est bien un instrument de la réglementation du stationnement susceptible d'être mobilisé dans le cadre de la régulation de la demande de stationnement, il convient qu'elle soit utilisée en s'assurant

qu'elle ne rentre pas en conflit avec les objectifs poursuivis par la politique des déplacements urbains. Certes donc, la réduction de l'offre de stationnement par l'interdiction de stationner contribue en théorie à retrouver un niveau optimal de la demande de stationnement. Mais elle ne permet de réaliser un équilibre optimal du marché des déplacements que dans la mesure où elle accompagne une politique plus globale de régulation de la demande de déplacements urbains.

La limitation de l'offre se décline entre, d'une part, la limitation de la durée de stationnement, et d'autre part, la limitation de la construction d'une offre nouvelle de stationnement.

1.2.2 : La limitation de la durée de stationnement

Largement utilisée dans les années 60 et 70, *la limitation de la durée de stationnement* a initialement été instaurée en 1955 par la définition des 'zones bleues' (CERTU, 2000). Dans un contexte d'accroissement de l'offre, l'objectif alors affiché de ce type de réglementation est de lutter contre la congestion en laissant toutefois gratuit l'usage de l'espace de stationnement (Picard, Delacourt, 2000). Le principe de la limitation de la durée de stationnement repose sur la recherche de la plus grande rotation des véhicules en stationnement. Il a déjà été évoqué qu'en instaurant une limitation temporelle du stationnement, l'objectif est d'utiliser au mieux les ressources disponibles en optimisant la demande et en diminuant le nombre de véhicules insérés dans la circulation à la recherche d'une place de stationnement. Si cette mesure a bien comme but d'optimiser l'usage de l'offre de stationnement disponible, elle va néanmoins à l'encontre de l'objectif de modération de la circulation automobile recherché par la politique de régulation de la demande de déplacements. En effet, elle ne contraint pas directement l'usage de la voiture particulière. A l'inverse, en assurant à chaque automobiliste une offre de stationnement disponible dans le centre-ville grâce à une forte rotation des véhicules par place de stationnement, elle favorise l'usage de la voiture particulière et encourage même son essor. Elle contribue à pérenniser, voire à stimuler la production d'effets externes environnementaux de la mobilité urbaine et de la congestion. Le résultat est donc inverse de celui désiré dans le cadre de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. De nouveau, la réglementation du stationnement ne peut être efficace pour la régulation de la demande de déplacements que si elle accompagne les mesures mises en oeuvre dans le cadre de la politique de modération de la demande de déplacements urbains.

La politique de limitation du temps de stationnement peut néanmoins rencontrer les objectifs affichés par la politique des déplacements. Elle repose en effet sur une segmentation de l'intervention par le type de demande de stationnement. Elle consiste ainsi à différencier la réglementation selon les pratiques de stationnement, c'est-à-dire, en distinguant, d'une part, les résidents, et d'autre part, les visiteurs et les pendulaires (Gelbmann-Ziv, 2000). Lorsque la limitation de la durée de stationnement ne s'impose qu'aux seconds, elle les incite à basculer sur un mode de transport alternatif. Elle rencontre alors l'objectif principal de la politique des déplacements urbains qui ambitionne de réduire la circulation d'automobiles en ville. Dans ce cadre, de sorte à répondre aux objectifs de vitalité économique des centres, il est néanmoins possible de faciliter le

stationnement des visiteurs par adaptation de leur limitation de durée de stationnement (Bays, Christe, 1994). En permettant aux premiers de stationner sans durée limitée, elle leur permet de laisser leur véhicule en stationnement la journée près de leur domicile et d'utiliser également un mode alternatif pour leurs déplacements. En outre, l'espace alors occupé par les résidents réduit de fait l'espace de stationnement disponible pour les visiteurs ou les pendulaires. Dès lors, la réglementation par la limitation de la durée de stationnement croise les objectifs de la politique des déplacements en modifiant de manière différenciée les déterminants de la demande de stationnement. La limite de cette mesure tient une nouvelle fois dans la possibilité qu'elle offre d'augmentation de la vitesse de circulation.

1.2.3 : La limitation du stock d'offre de stationnement

La limitation de la création d'une offre nouvelle de stationnement est le dernier instrument réglementaire de régulation de la demande de stationnement en milieu urbain. Le principe de limitation de la création de l'offre publique suit la même logique que l'interdiction d'usage de l'offre. Etant une offre d'origine publique, la limitation ne pose *a priori* pas de problèmes quant à son application. En revanche, la multiplication du nombre de places de stationnement produit à l'occasion des programmes immobiliers engendre une offre privée dans les centres urbains sur laquelle la politique du stationnement n'a pas d'influence directe. Or, les normes minimales de places de stationnement exigées par l'intermédiaire de l'article 12 du POS sont un fort encouragement à la mobilité en voiture particulière. Elles participent à l'existence d'une offre privée qui contribue vivement à faciliter le stationnement gratuit sur le lieu de travail, donc à favoriser grandement la mobilité en voiture particulière.

La politique de régulation de la demande de stationnement est donc une forte incitation à revoir les normes du POS en fixant un seuil maximal plutôt qu'un seuil minimal. L'écart entre la France et la Suisse ou l'Allemagne est significatif de la politique du stationnement en France encore peu portée à jouer sur la réglementation de la production de l'offre pour limiter l'offre de stationnement (Bonnel, 1995). En France, en moyenne, on compte une place de stationnement pour 20 à 100 m² de surface hors oeuvre nette de bureaux (SHON). En Suisse ou en Allemagne, la proportion moyenne est d'une place pour 250 à 1 250 m² de SHON (MELT, CERTU, 1996). Le Tableau 10 permet de voir directement le résultat sur l'offre de stationnement. Les données pour Francfort ou Tokyo affichent une politique volontariste en termes de limitation de l'offre de places de stationnement par emploi alors que les données sur Paris résument bien la politique française en la matière. Ce résultat peut être aisément rapproché du bilan modal de la mobilité urbaine en France²⁶. Il est facile de conclure alors sur l'influence de l'offre de stationnement, notamment privée, sur la mobilité urbaine. Il est aisé de comprendre en

²⁶ Conscientes des effets permissifs sur la mobilité, certaines collectivités s'emploient à modifier les normes du POS. A Nantes, la norme a été réduite de 15 % pour la construction de bureaux situés à moins de 400 mètres du tramway (Rennes, Orfeuill, 1997). A Strasbourg, une norme « plancher-plafond » a été définie. Elle fixe un minimum d'une place et un maximum de 3 places pour 100 m² de SHON. Cette norme est réduite à, respectivement, 0,5 et 2 places pour les quartiers centraux situés à 500 mètres du tramway (CERTU, 1999).

quoi la réglementation sur la limitation de l'offre de stationnement peut jouer un rôle dans la politique de régulation de la demande de stationnement et dans la politique des déplacements urbains.

Attentif aux enjeux de la limitation de l'offre sur la mobilité urbaine, le législateur français, dans le projet de loi relatif à la solidarité et au renouvellement urbain, envisage de modifier la réglementation à l'occasion de l'établissement des plans locaux d'urbanisme voués à remplacer les POS. Si la règle reste relativement floue, elle institue cependant que le plan local d'urbanisme doit être compatible avec le PDU en vigueur (Art. L. 123-1) avec effet rétroactif sur le plan local d'urbanisme en fonction des règles posées dans le PDU. La réglementation va donc dans le sens de la limitation de l'offre de stationnement privée en fonction des objectifs de la politique des déplacements urbains.

Tableau 10 : Espaces de stationnement dans quelques grandes villes

Ville	Emploi (par 1000)	Surface (ha)	Surface de stationnement pour 1 000 emplois	Surface de stationnement (ha)
Tokyo	3 867	10 916	48	17
Paris	1 810	10 540	402	69
Francfort (centre)	114	2 500	249	11
Londres	1 984	30 141	67	4
Washington DC	511	15 718	344	11

Source : Lamure, C. 1995. *Quelle automobile dans la ville ?* Paris : Presses de l'ENPC, 116.

Un dernier point mérite d'être noté. Il concerne l'augmentation paradoxale de l'offre de stationnement dans le cadre de la réglementation de l'offre de stationnement en centre-ville. La limitation de l'offre de stationnement va en effet de pair avec un accroissement de l'offre de stationnement à la périphérie des centres urbains congestionnés. C'est la logique qui préside au développement des *parcs relais* dont l'objectif est de contenir la demande de stationnement en centre-ville pour la retenir en périphérie, connectée à des modes de transports collectifs lourds reliant le centre (voir Encadré 5). Son efficacité s'accroît si elle est accompagnée de systèmes d'information sur le stationnement permettant aux usagers d'adapter leur demande de stationnement en fonction de l'offre réellement disponible²⁷.

En résumé, la réglementation du stationnement, en tant qu'instrument économique de régulation de la demande de stationnement, joue sur la limitation de la quantité de stationnement offerte de sorte à modérer la demande de stationnement. L'objectif est de modifier les contraintes qui déterminent la demande afin que celle-ci ne s'exprime qu'à un

²⁷ Les systèmes d'information sur le stationnement semblent donner des résultats relativement intéressants, bien qu'encore trop peu souvent validés, à la fois sur le temps de recherche d'une place et sur une réduction significative de la congestion du stationnement et de la circulation. L'évaluation des expériences déjà menées montre toutefois que cette diminution n'est peut-être pas aussi massive que ce qui pourrait être escompté (Axhausen, Polak, 1995 ; Polak *et al.*, 1990 ; Khattak, Polak, 1993 ; Thompson, Bonsall, 1997).

niveau permettant la réalisation d'un état économique optimal. Que ce soit par le biais de l'interdiction de stationner ou par celui de la limitation de la durée de stationnement ou de la création d'une offre supplémentaire, elle entre bien dans le cadre de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. En effet, elle permet de réaliser une allocation optimale des ressources sur le marché du stationnement dans une première mesure. Dans une deuxième mesure, sous l'hypothèse que le stationnement est bien défini comme un élément constitutif du déplacement, et surtout, éminemment permissif de la mobilité en voiture particulière, la réglementation permet la réalisation d'un optimum sur le marché des déplacements.

Le parc-relais (CETUR, 1993, p.17) est une "équipement (...) qui vise à favoriser les pratiques alternatives de transport par optimisation du lien entre véhicules individuels et modes de transports collectifs". L'objectif est de capter une partie ou l'ensemble des besoins vers le centre, ou de reporter hors centre-ville, une demande excédentaire de stationnement. Ainsi le développement des parcs-relais satisfait les objectifs de gestion de l'espace public et de modération de l'usage de l'automobile dans les centres. C'est un élément constitutif de la lutte contre la congestion et de la diminution des coûts sociaux liés à congestion. Aussi, d'après Merminier (1998), le stationnement, habituellement vecteur de l'usage de la voiture en ville, devient paradoxalement, non plus un élément antagoniste, mais un outil complémentaire du développement des transports publics en ville, et un outil de régulation de la demande de déplacements urbains.]

En France, les expériences de parcs-relais ont montré que l'offre est utilisée pour moitié pour des déplacements domicile-travail, et également pour moitié, par des voitures particulières stationnées la journée entière (CETUR, 1990 et 1999). Le système remplit relativement bien son rôle qui est de capter une demande de stationnement utilisant auparavant la manière non optimale, l'offre de stationnement dans les centres. Merminier (1998) avance que, d'un point de vue économique, l'organisation de l'offre gratuite en parcs-relais, près des parcs, irriguant les espaces très denses, apporte un bénéfice social résultant de la réduction des coûts de congestion.]

Les enseignements des expériences anglaises (Mangill, 1995) illustrent le fait que les parcs-relais réussissent à rendre opérationnel un possible partenariat entre le domaine public de la gestion du stationnement et la sphère privée. De sorte que le parc-relais devient un outil privilégié d'une ouverture sur une gestion globale du stationnement (*politique intégrée du stationnement*) dans le cadre d'une politique de déplacements urbains. Par exemple, face au risque de voir se développer de nouvelles centralités autour des parcs-relais, la politique de régulation de la demande de stationnement en centre-ville doit être compatible avec l'accroissement de l'offre en périphérie. Dans le cas contraire, le risque est de voir s'exprimer une demande latente sans pour autant accéder aux objectifs posés par la politique des déplacements urbains. En principe donc, le parc-relais devrait permettre d'incliner la congestion en centre-ville. Pourtant, une étude britannique montre que, suite à l'introduction d'un parc-relais, si les usagers ont positivement apprécié leur gain en temps de transport, le trafic général n'a pas changé. Il a même augmenté du fait de l'attrait, d'une part, de la nouvelle offre du parc-relais, d'autre part, de la nouvelle offre constituée des places laissées disponibles en centre-ville (Patterson, 1995). D'où le besoin réel que s'impose une politique globale autour du développement de parcs-relais. Notamment, celle-ci nécessite d'accorder la politique de régulation en centre-ville avec la construction de l'offre en périphérie. Elle oblige également à considérer la politique générale des transports urbains dans un périmètre régional très large (Jones, 1994).]

Encadré 5 . Les parcs relais

1.3 : La tarification du stationnement

Le deuxième outil économique de régulation de la demande est la tarification de l'usage du stationnement. La question est alors de savoir dans quelle mesure la tarification du

stationnement est efficace d'un point de vue économique de sorte à pouvoir s'interroger sur la pertinence de son application dans la politique de modération de la mobilité urbaine. A l'issue de cette discussion, il peut être alors examiné comment la tarification du stationnement peut prendre forme dans la pratique.

1.3.1 : La tarification du stationnement est-elle efficace ?

Il existe deux sources d'inefficacité du marché des transports urbains (Calthrop, Proost, van Dender, 2000). Premièrement, le coût du transport que supportent les individus utilisant la voiture particulière comme mode de transport quotidien en ville ne reflète pas le coût réel de leur déplacement. Cette première défaillance a été traitée par l'introduction de la tarification de la mobilité quotidienne au niveau du coût marginal social de déplacement. Le péage urbain en est l'application principale. Deuxièmement, peu d'individus payent leur stationnement à la fin de leur déplacement. Shoup (1995) souligne à ce propos que, de manière générale, aux Etats-Unis, le stationnement gratuit est beaucoup plus utilisé que le stationnement payant. En France, le nombre de places payantes sur voirie a augmenté de 50 % entre 1985 et 1995 (CERTU, 1999)²⁸. Cependant, en excluant le stationnement résidentiel, 36,8 % de l'offre globale en places de stationnement est payante à Paris et à peine 10 % dans les villes-centres des grandes agglomérations (Rennes, Orfeuil, 1997). Ces chiffres dénotent bien un intérêt très mesuré pour l'opportunité de gérer le stationnement par le biais de la tarification²⁹.

Pourtant, en posant toujours l'hypothèse que le stationnement est un élément du déplacement, en termes économiques, il est possible de conclure que la tarification du stationnement joue en théorie un rôle dans la régulation de la mobilité urbaine comme le montrent le modèle de Verhoef, Nijkamp et Rietveld (1995b) ou l'analyse d'Arnott et Rowse (1999). La tarification du stationnement répond à plusieurs logiques.

Pour Bonnafous (1991), si la tarification du stationnement est bien un instrument de modération de la circulation automobile en ville, le stationnement payant sur voirie se distingue des péages traditionnels. L'objectif de la tarification du stationnement n'est pas de couvrir les coûts, mais d'orienter la demande dans le but de réaliser une allocation optimale des ressources. En considérant la voirie comme « une ressource rare », il s'agit de faire en sorte qu'elle ait un prix. C'est un exemple typique de tarification « à la Dupuit » d'un bien gratuit mais rare (voir premier chapitre). Pour Bonnafous, le stationnement payant est alors « une forme douce du péage urbain ». En suivant cette logique « à la Dupuit », la tarification du stationnement doit alors servir à fournir les lignes d'investissements futurs en offre de stationnement (Button, 1982).

²⁸ Le stationnement payant sur voirie apparaît en France aux alentours de 1967 (pour un bilan historique de son introduction en France et de son acceptabilité politique, voir CERTU, 2000).

²⁹ Pour Darbera (1999), le faible recours à la tarification du stationnement est symptomatique de la politique française du stationnement qui est de réduire l'offre en la sous-tarifant, de sorte à créer de la congestion. Ce choix n'est pas tenable car il implique, d'une part, l'existence d'un trafic supplémentaire de véhicules à la recherche d'une place libre comme le montrent les simulations sur plusieurs villes européennes du modèle SUPERNOVA (Papon, 1992), et d'autre part, des effets de débordement (Lamure, 1995).

La littérature qualifie en général la tarification du stationnement comme un instrument permettant d'atteindre un optimum de second rang (voir Encadré 6) sur le marché des déplacements urbains en absence de tarification des déplacements (Verhoef, Nijkamp, Rietveld, 1995b ; Button, Verhoef, 1998). Lorsque la circulation n'est pas tarifée, les agents expriment leur demande de déplacements en fonction de leur coût privé, sans considérer le coût marginal social que génère leur déplacement. Le marché des déplacements urbains est donc sous-optimal. En partant du principe que le stationnement gratuit exacerbe la sous-tarification de la mobilité en voiture particulière, donc la mauvaise allocation des ressources sur le marché des déplacements urbains (Small, 1992), la tarification du stationnement au niveau du coût marginal social de stationnement contribue à réguler la demande sur le marché du stationnement (Arnott, Rowse, 1999). Elle permet un accroissement de la satisfaction des agents désirant stationner. Glazer et Niskanen (1992) montrent ainsi que s'il est vrai que pour un agent, la tarification du stationnement conduit à réduire sa satisfaction en l'obligeant notamment à écourter son temps de stationnement, elle contribue à accroître le nombre d'agents pouvant stationner. Au global, le gain en satisfaction des nouveaux agents pouvant stationner peut dépasser la perte de satisfaction des agents stationnant déjà et devant alors stationner moins longtemps.

La situation pour laquelle l'existence de devances sur le marché, telles que les effets externes, implique que les agents économiques n'égalisent pas leur taux marginal de substitution privés aux taux marginaux sociaux conduit à s'écarter de l'optimum pareto, qualifié d'optimum de premier rang. Le rôle de l'Etat est alors d'intervenir sur le marché par l'application de mesures de politique économique que le marché à lui-même ne réalise pas (voir Encadré 5).

Lorsque le marché, malgré l'intervention de l'Etat, ne réalise cependant pas à l'optimum pareto, il convient alors de définir une politique optimale de second rang qui cherche à déterminer une allocation optimale des ressources qui soit la meilleure possible eu égard à l'introduction de contraintes additionnelles : comme une contrainte d'équilibre budgétaire par exemple (Lafont, 1988).

Encadré 6. Optimum premier et optimum de second rang

Donc, la tarification du stationnement génère un accroissement du bien-être sur le marché du stationnement proprement dit. En outre, elle permet d'internaliser les effets externes produits par l'usage du stationnement dans le cadre d'un déplacement en voiture particulière. En tarifant le stationnement, si le coût marginal social du déplacement n'est pas couvert, une contrainte au terme de leur trajet amène les agents à considérer le coût marginal social de leur stationnement. Cette contrainte s'impose alors sur le coût privé du déplacement. L'enjeu de la tarification est alors d'atteindre un optimum de second rang sur le marché des déplacements par la réalisation de niveaux de l'offre et de la demande de stationnement optimaux. Le stationnement payant devient en quelque sorte un « péage d'extrémité » (Schaefer, 1994). Dans ce cas, la tarification du stationnement internalise les coûts sociaux liés uniquement au stationnement, notamment, la congestion sur le marché du stationnement.

Enfin, en théorie, rien n'empêche *a priori* de considérer la tarification du

stationnement comme un outil efficace de régulation de la demande de déplacements urbains. Certes, Raux (CEMT, 1996) rappelle que le stationnement payant taxe l'immobilité du véhicule. Il est donc vrai qu'en première approche, la tarification du stationnement a peu de rapport avec les effets de la circulation automobile sur l'environnement et sur la congestion. Mais, il a été vu dans quelle mesure les conditions de stationnement influent sur le choix modal. Il a également été noté le poids que joue le stationnement sur le niveau de trafic eu égard au nombre de véhicules en circulation à la recherche d'une place de stationnement. De fait, en considérant le *coût du stationnement* comme un élément du *coût du déplacement*, c'est-à-dire, en considérant le stationnement comme un élément du marché des déplacements, la tarification du stationnement peut avoir, en absence de tarification des déplacements, le rôle d'internaliser l'ensemble des coûts liés aux déplacements. Dans ce cas, la tarification du stationnement est un instrument efficace de régulation de la demande de déplacements urbains.

De la tarification du stationnement comme forme de péage, la tarification du stationnement devient un péage urbain. Cette conclusion semble d'autant plus attrayante que le stationnement payant possède un fort potentiel d'acceptation par les usagers par rapport aux difficultés d'acceptation politique que rencontre la mise en place de la tarification de la circulation (Bonnafous, 1991 ; Verhoef, Nijkamp, Rietveld, 1995b ; CEMT, 1996)³⁰. Ainsi, à faire l'hypothèse que la tarification du stationnement internalise l'ensemble des coûts sociaux générés par le déplacement, la tarification du stationnement permet de réaliser un optimum de premier rang. La tarification du stationnement conduit à faire payer le coût réel de stationnement des usagers, eu égard au fait que ce coût comprend l'ensemble des coûts sociaux liés au stationnement, y compris les coûts du déplacement en amont du stationnement.

Néanmoins, si, en théorie, l'idée d'appréhender la tarification du stationnement comme un instrument économique de premier rang paraît séduisante, en pratique, le stationnement payant ne permet pas de rivaliser en termes d'efficacité avec la tarification de la circulation (Verhoef, Nijkamp, Rietveld, 1995b). La raison est relativement simple. La tarification de la circulation maximise le bien-être dans la mesure où elle peut varier en fonction des caractéristiques propres au déplacement – *i.e.* la longueur du déplacement, le temps de déplacement, le choix d'itinéraire, le type de véhicule, *etc.* Ces caractéristiques déterminent le niveau de coût marginal social du déplacement. La tarification du stationnement ne peut en revanche influencer que le nombre de déplacements et le choix modal, mais en aucune manière le choix d'itinéraire, la longueur du déplacement ou encore le type de véhicule utilisé. Dès lors, si intellectuellement, la tarification du stationnement est potentiellement susceptible de contribuer à la réalisation qu'un équilibre Pareto optimal sur le marché des déplacements urbains, force est d'admettre qu'elle ne permet pas en réalité d'internaliser l'ensemble des coûts externes que génère le déplacement. Le stationnement étant situé en fin de déplacement, il n'est pas en pratique possible, au moment de tarifier, d'intégrer le niveau de l'ensemble des coûts externes provoqués en amont du stationnement, c'est-à-dire dans le cadre du

³⁰ D'après Arnott, de Palma et Lindsey (1991), le public a conscience que le stationnement est un bien rare et qu'il doit être régulé par les prix. En outre, il est prêt à l'accepter étant donné que son mode de régulation a l'avantage de préserver l'anonymat à la différence du péage.

déplacement.

La seule solution pour réhabiliter l'efficacité de la tarification du stationnement est non pas de tarifer le coût social individualisé en fonction des coûts réellement générés par chaque déplacement, mais de tarifer le coût moyen des effets externes issus de la circulation de tous les agents. Verhoef, Nijkamp et Rietveld (1995b) illustrent l'inefficacité de cette solution sur la question de l'internalisation des effluents chimiques. Dans le prix du stationnement, une partie pourrait correspondre au niveau moyen des coûts externes liés à cette pollution. Cette tarification se révélerait en fait être une subvention au détriment des déplacements courts (soit les moins polluants) au profit des déplacements les plus longs qui rejettent le plus d'effluents dans l'atmosphère. Bien que les deux types de déplacements viendraient effectivement à diminuer, cette taxe serait économiquement inefficace. Au final, la tarification du stationnement n'est efficace qu'à l'unique condition que la seule externalité de la mobilité quotidienne soit la congestion de la circulation.

Pourtant, l'idée de substituer le stationnement payant au péage urbain n'est pas récente (Jackson, 1973 ; Roth, 1965 ; Thompson, 1967). En partant du même principe que la tarification du stationnement a un impact sur le choix modal, Gillen (1977) analyse l'éventualité de substituer le péage urbain par le stationnement payant. Ainsi, en réponse aux propositions de McFadden (1974a) d'augmenter le coût du déplacement en voiture particulière par la tarification du stationnement de sorte à promouvoir l'usage des transports publics, les résultats de l'analyse de Gillen montrent qu'un changement dans le tarif de stationnement, toutes choses égales par ailleurs, a un impact finalement très faible sur le choix du mode de déplacement pour le travail. Le modèle de Gillen produit une élasticité de la demande de déplacement en voiture particulière au prix du stationnement de $-0,31$ (Gillen, 1978). L'explication de la relative faiblesse de cette élasticité est que les conducteurs, face à l'augmentation du prix du stationnement, peuvent effectivement changer de mode de transport, mais également changer de mode de stationnement. Les agents substituent en fait une délocalisation de leur stationnement à un report modal qui contribuerait à faire baisser la congestion. En définitive, seuls les agents déjà stationnés loin de leur destination changent de mode de transport. En outre, l'élasticité chute avec la distance au centre, simplement parce que la demande y est moins forte et que la pression sur l'offre y est également moins forte. Gillen met donc en évidence un *effet de débordement* du stationnement payant puisque, pour une distance donnée, la demande, donc la congestion, est déplacée vers la périphérie. Par conséquent, la tarification a plus de chance de jouer un rôle sur le partage modal si elle est appliquée en périphérie plutôt qu'au centre. Mais, de même, une telle politique appliquée uniquement en périphérie implique une délocalisation du stationnement vers le centre³¹. Donc, pour Gillen, la politique de tarification du stationnement, pour être efficace, doit être continue sur un large périmètre de l'espace urbain.

Ainsi, si la tarification du stationnement peut éventuellement avoir des effets sur le

³¹ Hunt et Teply (1993) montrent toutefois à partir d'un modèle de choix de localisation du stationnement que le prix du stationnement n'est pas le seul déterminant de choix de localisation du stationnement. La position du stationnement par rapport au déplacement, la nature du stationnement, et la nécessité de chercher et d'attendre une place disponible ont également un rôle non négligeable.

trafic et sur l'environnement, elle a également un impact sur l'usage de l'espace (Button, 1998). Arnott, de Palma et Lindsey (1991) montrent que la tarification optimale du stationnement, différenciée en fonction du lieu de stationnement, réduit partiellement la congestion. Les agents, de sorte à diminuer leur coût de déplacement, ne changent cependant pas de mode de transport, mais cherchent effectivement à stationner plus loin. Le gain en efficacité est relativement faible. Au global, *l'optimum est en fait obtenu en combinant la tarification du stationnement et la tarification de la circulation*.

Au lieu de substituer le péage et la tarification du stationnement, Calthrop, Proost et van Dender (2000) montrent que les deux politiques utilisées de manière complémentaire est le meilleur moyen de parvenir à un état optimal du marché du transport urbain. En fait, leurs simulations avancent que le niveau du tarif du stationnement et le niveau du tarif du péage de circulation doivent être déterminés simultanément. Ainsi, lorsque le niveau de tarification du stationnement est efficace, le niveau de tarification de la circulation baisse. En revanche, dans la cas de figure où il existe un péage de cordon, le niveau de tarification du stationnement doit baisser. Pour Van der Waerden, Borgers et Timmermans (1998), la politique efficace est au final une politique mixant un péage cordon et la tarification du stationnement. Cette solution permet de capter plus des trois quart des gains de bien-être possibles. La tarification du stationnement élimine une partie de l'inefficacité, celle ressortant de la mauvaise allocation des ressources du marché du stationnement. Le péage de circulation s'attaque directement à la congestion des déplacements source des effets externes routiers. En outre, cette politique est avantageuse dans la mesure où le péage de cordon seul ne taxe pas les déplacements à l'intérieur du périmètre alors que la tarification du stationnement taxe les déplacements réalisés dans le périmètre.

Elle la régule dans une certaine mesure cependant. Le modèle de Glazer et Niskanen (1992) montre en effet qu'en théorie, si la tarification du stationnement est susceptible de pouvoir accroître le surplus des agents, il existe un niveau de tarification optimal à ne pas franchir au risque de faire apparaître un effet pervers de la tarification du stationnement. L'augmentation du tarif de stationnement génère une offre de stationnement nouvelle puisque le temps de stationnement de chaque agent se réduit. Au final, plus le tarif de stationnement est élevé, plus la congestion de la circulation est forte.

En conclusion, si en théorie la tarification du stationnement est un instrument de régulation efficace du marché des déplacements urbains, en réalité, son efficacité n'est que relative, sous certaines conditions, aux effets externes de congestion. Elle ne conduit qu'à un optimum de second rang au regard de l'ensemble des effets externes de la circulation automobile. De plus, elle nécessite que soit choisi un tarif qui permette de maximiser le bien-être sur le marché des déplacements. Dans le cas contraire, un tarif trop élevé peut conduire à une perte en efficacité issue d'une augmentation de la circulation induite par la nouvelle offre produite par la tarification. En revanche, combinée avec la tarification des déplacements, elle participe efficacement à la régulation de la demande de déplacements. La question demeure de savoir comment user de la tarification pour atteindre à la fois les objectifs de réduction de la mobilité urbaine et les objectifs plus généraux de la politique de la ville.

1.3.2 : La pratique de la tarification du stationnement

Quelques illustrations de politique permettent d'aborder la tarification du stationnement dans la pratique. Dans un livre blanc sur la politique des transports en Grande-Bretagne, le gouvernement britannique recommande la tarification du stationnement sur le lieu de travail (Department of the Environment, Transport and the Regions, 1998). Il ne réclame pas, en revanche, de stationnement payant pour les autres motifs. Une telle segmentation provient du fait que la politique du stationnement est contrainte de respecter les objectifs de la politique des déplacements d'une part, de la politique de la ville d'autre part. En ce sens, l'analyse des pratiques de stationnement a montré dans quelle mesure il est pertinent de traiter de manière distincte le stationnement pour le travail du stationnement pour achats-visites et du stationnement résidentiel. De fait, dans cette logique, l'efficacité de la tarification du stationnement doit être interrogée à travers la prise en compte des différentes pratiques qui caractérisent la demande de stationnement.

Aux Etats-Unis, Wachs (1991) souligne qu'une des principales sources d'inefficacité du marché des transports urbains à Los Angeles et à San Francisco est l'offre gratuite de stationnement par les entreprises. Elle est la première source de mobilité de conducteurs venant seuls au volant d'une voiture particulière. En effet, en offrant le stationnement à leurs employés, les entreprises subventionnent 71 % du coût marginal de transport domicile-travail. Ainsi, selon Willson et Shoup (1990), le prix du carburant devrait augmenter à Los Angeles de 9 % pour compenser les coûts générés par la subvention de stationnement offerte par les employeurs aux employés. De manière quasiment mécanique, la subvention est telle qu'elle favorise encore la mobilité en voiture des employés de sorte que l'offre au lieu de travail ne semble plus pouvoir aujourd'hui accueillir toute la demande (Merriman, 1998).

Or, lorsque la subvention disparaît, la part du nombre d'employés utilisant seuls leur voiture particulière passe de 48 à 30 % (Surber, Shoup, Wachs, 1984). Une expérience menée à Los Angeles (Willson, Shoup, 1990) de faire payer le stationnement sur le lieu de travail a permis de faire baisser la mobilité en voiture particulière à raison de 15 à 38 %. La réduction du nombre de kilomètres parcourus pour les trajets domicile-travail diminue de 12 % (Shoup, 1997)³². De plus, Willson (1992) montre que 43 % des conducteurs, soit ne se rendent plus au travail en voiture particulière, soit pratiquent le covoiturage. Willson et Shoup (1990) estiment que l'élasticité de la demande de déplacements en voiture particulière au prix du stationnement pour les employés occupant seuls leur voiture se situe entre - 0,10 et - 0,68. D'où, en doublant le prix du stationnement, entre 10 et 68 % des employés occupant seuls leur voiture disparaissent.

En pratique, la politique de tarification du stationnement sur le lieu de travail peut être soit une taxe sur la possession d'espaces de stationnement imposée aux employeurs, soit une taxe directement imposée aux pendulaires. Higgins (1992) avance que la tarification

³² Le programme californien *parking cash-out programs* oblige les entreprises de plus de 50 salariés à proposer à leurs employés bénéficiant d'une place gratuite de continuer à profiter de cet avantage ou de recevoir une somme équivalente à la valeur de la place, versée sur leur salaire, en échange d'un report modal. Le résultat est un passage de la part de salariés venant seuls en voiture de 76 % à 63 % (Shoup, 1997).

directe des usagers a plus de chance d'aboutir que la taxation des employeurs dans la mesure où ces derniers peuvent en quelque sorte absorber la taxe dans l'ensemble de leurs coûts de production et ne pas la répercuter sur leurs employés. De plus, taxer les usagers permet de mettre en place une politique de zone du stationnement payant ce qui rencontre les prescriptions théoriques mises en évidence par Gillen.

Si l'augmentation du taux d'occupation des véhicules peut se révéler être un enjeu pour la politique des déplacements, une nuance doit cependant être apportée. En effet, une des conséquences du covoiturage peut être la baisse de fréquentation des transports publics. L'effet pervers vient du fait que le covoiturage conduit à recruter des individus, notamment au sein des clients des transports publics, pour remplir les voitures (Willson, Shoup, 1990). Le résultat est alors inverse de celui recherché dans la cadre de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains qui consiste, entre autres, à favoriser la demande pour les transports publics de sorte à restaurer l'état financier des transports collectifs urbains.

Les Tableaux 11 et 12 relatent les résultats d'un certain nombre d'expériences empiriques qui soulignent l'effet, sur le mode de déplacement et sur le taux d'occupation des véhicules, des mesures de tarification du stationnement sur le lieu de travail. L'impact de l'introduction du stationnement payant sur la part du covoiturage tout d'abord, sur le partage modal ensuite se révèle, au regard des résultats, relativement conséquent.

Tableau 11. Effet de la suppression de la subvention du paiement du stationnement des employés par les employeurs sur le nombre de conducteurs seuls dans leur voiture particulière

		Part de conducteurs seuls dans leur voiture particulière pour un déplacement domicile-travail		
	Tarif mensuel pour employé avant politique / tarif mensuel pour employé après politique	Part d'employés dont employeur paye le stationnement	Part d'employés payant le stationnement	Variation de la part de conducteurs seuls dans voiture particulière après introduction stationnement payant pour employés
Mid Wilshire, Los Angeles	0\$ / 58\$	42%	8%	-81%
Warner Center, Los Angeles	0\$ / 30\$	90%	46%	-49%
Century City, Los Angeles	0\$ / 30\$	92%	75%	-19%
Civic Center, Los Angeles	0\$ / 30\$	72%	40%	-44%
Downtown Ottawa, Canada	0\$ / 23\$	35%	28%	-20%
Moyenne		66%	39%	-41%
Source : d'après Willson, R.W., Shoup, D.C. 1990. « Parking subsidies and travel choice: Assessing the evidence », <i>Transportation</i> , 17, 144				

Tableau 12. Effet de la suppression de la subvention du paiement du stationnement des employés par les employeurs sur le nombre de déplacements en voiture particulière

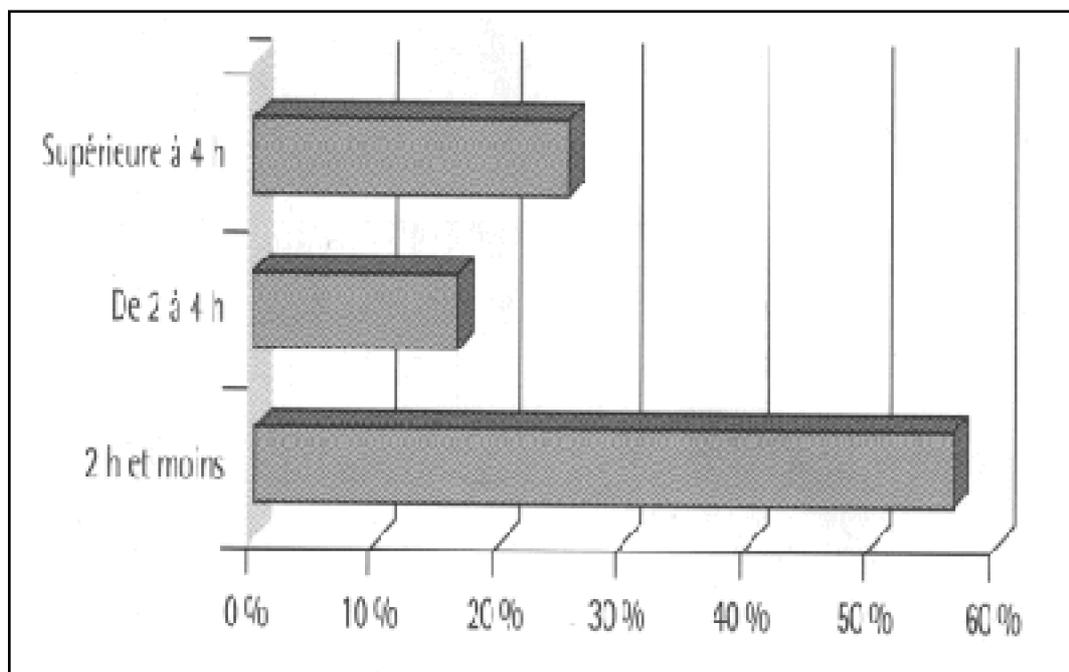
		Part de conducteurs seuls dans leur voiture particulière pour un déplacement domicile-travail		
	Tarif mensuel pour employé avant politique / tarif mensuel pour employé après politique	Part d'employés dont employeur paye le stationnement	Part d'employés payant le stationnement	Variation de la part modale de la voiture particulière après introduction stationnement payant pour employés
Mid Wilshire, Los Angeles	0\$ / 58\$	48%	30%	-38%
Warner Center, Los Angeles	0\$ / 30\$	92%	64%	-30%
Century City, Los Angeles	0\$ / 30\$	94%	80%	-15%
Civic Center, Los Angeles	0\$ / 30\$	78%	50%	-36%
Downtown Ottawa, Canada	0\$ / 23\$	39%	32%	-18%
Moyenne		70%	51%	-27%
Source : d'après Willson, R.W., Shoup, D.C. 1990. « Parking subsidies and travel choice: Assessing the evidence », <i>Transportation</i> , 17, 145.				

Donc, la tarification du stationnement sur le lieu de travail fournit une première approche de la régulation de la demande de stationnement par les prix. L'objectif est de susciter directement la réduction de l'usage de la voiture dans la mobilité quotidienne.

Dans un contexte de politique tarifaire du stationnement, le traitement spécifique du stationnement des résidents joue également un rôle. Mais, à la différence du stationnement payant sur le lieu de travail, le paiement du stationnement des résidents peut être un facteur d'incitation à la mobilité en voiture particulière (Bays, Christie, 1994). En effet, pour Quinet (1999), la tarification du stationnement pose un problème car elle favorise les déplacements de courte durée, donc tend à accroître le nombre de véhicules en circulation. La Figure 13 montre qu'en France, la politique tarifaire est majoritairement favorable au stationnement de courte durée. Cela rencontre bien les objectifs de dissuasion du stationnement de longue durée, notamment, le stationnement des pendulaires. Mais ce choix de politique va en revanche à l'encontre de l'idée de favoriser le stationnement résidentiel.

Pourtant, l'analyse de la demande de stationnement a montré que le niveau de tarif du stationnement pour les résidents doit évoluer dans le sens inverse du tarif de stationnement pour le travail. Tout d'abord, il doit permettre aux résidents de pouvoir choisir leur mode de transport. Or, un tarif trop élevé, s'il est dissuasif de la mobilité automobile des pendulaires, est permissif de l'usage de la voiture particulière des résidents. En outre, comme il a déjà été abordé dans le cadre de la réglementation du

stationnement, un tarif différencié pour le stationnement de longue durée des résidents incite ces derniers à laisser leur véhicule stationné la journée. L'espace alors occupé réduit d'autant l'offre pour le stationnement pour le travail. Il conduit *in fine* à améliorer l'allocation des ressources sur le marché du stationnement d'une part, celle du marché des déplacements urbains d'autre part.



Source : CERTU, 1999. Une politique de stationnement. Pourquoi? Comment? Lyon : CERTU, Coll. Références, 19, 50, d'après Enquête CERTU, 1995.

Figure 13 : L'offre de stationnement payant selon sa durée

Dans les faits, 30 % des villes en France développent une politique de stationnement résidentiel. Bien qu'ayant longtemps été source de conflit entre collectivités locales et usagers de la route, elle est à présent juridiquement acceptée par la Cour de cassation sous l'argument qu'« il existe entre les riverains des voies publiques et les autres usagers une différence de situation de nature à justifier que des tarifs réduits de stationnement leur soient offerts sur ces voiries ». L'argument juridique entérine ainsi l'argument économique de différencier la tarification du stationnement en fonction des objectifs de la politique des déplacements.

Si la tarification du stationnement doit être différenciée, notamment en termes de motifs de déplacement, elle nécessite néanmoins d'être cohérente. Notamment, la cohérence doit s'établir entre le niveau de tarification sur la voirie publique et le niveau de tarification privée hors voirie (Vivet, 1998). Vickrey (1959) soulignait déjà l'enjeu pour la réussite de la politique de régulation du stationnement par les prix de veiller à la réalisation d'une condition nécessaire, à savoir que le prix sur la voirie soit plus élevé que le prix le plus faible en parc. Or, en règle générale, en France, la première heure de stationnement en parc privé est plus chère que la première heure en voirie. Le système

contribue donc à la saturation de l'offre en voirie et joue à l'inverse des objectifs visés par la politique des déplacements urbains. En moyenne, les parcs privés restent sous-utilisés (à 50 % de leur capacité). Ils ne sont au final pour l'automobiliste qu'une solution de rabattement lorsqu'ils n'ont pas, à l'issue d'une première recherche, trouvé de place en surface (Delcroix, 1998). Ainsi, bien que d'évidence, la politique tarifaire du stationnement soit difficile à imposer aux gestionnaires du stationnement privé dont l'objectif est de rentabiliser leur investissement (Bays, Christie, 1994), la politique du stationnement ne peut prétendre réaliser les objectifs de la politique des déplacements urbains si une cohérence ne peut être trouvée sur la mise en place de la tarification du stationnement (voir sur ce point l'exemple des parcs relais Encadré 5).

En première instance, la pratique tarifaire du stationnement fait partie d'une gestion du stationnement différenciée en fonction des différentes pratiques qui constituent la demande de stationnement (Bovy, 1999). De sorte à atteindre les objectifs fixés par la politique du stationnement, elle implique de segmenter la demande entre le stationnement pour le travail, le stationnement pour achats-visites et le stationnement résidentiel. Cette conclusion est d'ailleurs reprise par le législateur. Le projet de loi relatif à la solidarité et au renouvellement urbain adopté le 21 mars 2000 en première lecture par l'Assemblée Nationale (Art. 40^{ter}) modifie le code général des collectivités territoriales en insérant l'article L. 2333-87 qui permet au « conseil municipal ou l'organe délibérant de l'établissement public de coopération intercommunale ou du syndicat mixte compétents pour l'organisation des transports urbains, lorsqu'il y est autorisé par ses statuts, peut établir sur des voies qu'il détermine une redevance de stationnement, compatible avec les dispositions du plan de déplacements urbains s'il existe. [...] La délibération établit des tarifs applicables à chaque zone de stationnement payant. Le tarif peut être modulé en fonction de la durée du stationnement. Il peut prévoir également une tranche gratuite pour une durée déterminée. L'acte instituant la redevance peut prévoir une tarification spécifique pour certaines catégories d'usagers et notamment les résidents ». Le législateur confirme ainsi le fait que la politique du stationnement s'insère dans une politique globale des déplacements. Il apporte, tout d'abord un aval juridique à la tarification du stationnement, ensuite, à la différenciation entre le stationnement résidentiel et le stationnement pour autres motifs. De fait, en plus d'une tarification du stationnement favorable aux résidents, le stationnement payant peut être utilisé pour contraindre le stationnement pour les autres motifs, en particulier, le stationnement pour motif travail.

En conclusion, la tarification du stationnement comme instrument de régulation de la demande de déplacements urbains est susceptible de donner des résultats intéressants. D'un point de vue théorique, si la tarification du stationnement ne semble pas pouvoir être un outil efficace de régulation du marché des déplacements, elle permet cependant d'atteindre un optimum de second rang sur ce marché. D'un point de vue pragmatique, elle n'a de sens que si elle considère la demande de stationnement de manière segmentée. En substance, la tarification du stationnement doit être une contrainte forte sur le recours à la voiture particulière pour les déplacements effectués pour le travail. De même, elle doit inciter les résidents à basculer sur un mode alternatif pour leurs déplacements quotidiens, à condition que le niveau de tarif soit suffisamment faible pour que les résidents acceptent de laisser leur véhicule stationné la journée entière à

proximité de leur domicile. En tout état de cause, le tarif de stationnement doit s'établir à un niveau optimal. Un tarif trop important, en augmentant le taux de rotation des véhicules en stationnement, n'aurait comme conséquence que d'accroître la demande de déplacements, donc la congestion.

En guise de synthèse sur la question de la régulation de la demande de stationnement, il peut être noté que les outils économiques traditionnels de régulation de la demande de déplacements sont applicables à profit dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de stationnement. En ayant comme principe celui de rationner la demande, la réglementation ou la tarification du stationnement conduisent à modifier les conditions d'offre de stationnement de sorte à changer les déterminants de la demande (Cassady, Kobza, 1998). L'idée est d'amener la demande de stationnement à s'exprimer à un niveau optimal. Celui-ci permet en théorie de réaliser un niveau de demande de stationnement susceptible de coïncider avec un niveau optimal de demande de déplacements urbains. Toutefois, le stationnement étant situé en fin de déplacement, sa tarification ne peut conduire à internaliser l'ensemble des effets externes issus de la circulation. Dès lors, la régulation du stationnement, si elle permet de réaliser un équilibre optimal sur le marché du stationnement, ne peut en pratique que permettre de réaliser un optimum de second rang sur le marché des déplacements urbains.

Cette conclusion est retenue par le législateur puisque dans le projet de loi relatif à la solidarité et au renouvellement urbain adopté le 21 mars 2000 en première lecture par l'Assemblée Nationale (Art. 36), les prérogatives des PDU sont précisées de sorte à ce que « l'organisation du stationnement sur voirie et dans les parcs publics de stationnement, et notamment les zones dans lesquelles la durée maximale de stationnement doit être réglementée, les zones de stationnement payant, [...], la politique de stationnement à établir, en relation avec la politique de l'usage de la voirie, en matière de stationnement sur voirie et en matière de parcs publics, la localisation des parcs de rabattement à proximité des gares ou aux entrées des villes, [...], et tendant notamment à favoriser le stationnement des résidents, en privilégiant les véhicules peu polluants ». En pratique donc, la politique de régulation du stationnement s'insère bien dans le cadre de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. Notamment, en préconisant une tarification favorable aux modes de transports non polluants, il confirme que la tarification du stationnement a un rôle à jouer dans l'objectif de favoriser un report modal des déplacements quotidiens.

La loi souligne toutefois que la politique de régulation du stationnement doit prendre en considération les diverses pratiques qui constituent la demande de stationnement. En d'autres termes, la régulation du stationnement ne peut être considérée de manière homogène selon le type de stationnement considéré, au regard notamment des objectifs de la politique du stationnement qui doit respecter des objectifs plus globaux de la politique urbaine. Papon (1992) montre à cet égard, à l'aide de simulations du modèle SUPERNOVA menées sur plusieurs villes européennes, que les mesures prises pour réguler le stationnement sont de nature nécessairement très variables selon la ville considérée, voire le quartier considéré. Dès lors, chaque mesure de régulation de la demande de stationnement doit être mise en oeuvre en fonction du contexte sur laquelle elle s'exerce.

Jusqu'à présent, la politique du stationnement participe à la politique de régulation de la demande de déplacements urbains sous l'hypothèse que les agents respectent les contraintes réglementaires ou tarifaires. Les conclusions qui viennent d'être émises supposent donc que les agents réagissent à la politique du stationnement comme s'ils ne contournaient pas ces contraintes. Il reste donc à présent à lever cette hypothèse pour juger du rôle de la fraude au stationnement dans la politique des déplacements urbains.

2 : Pourquoi une analyse de la fraude au stationnement

Selon Ross (1961), dans le cadre d'une analyse sociologique de la fraude dans les transports, la fraude pour non-paiement du stationnement peut être taxée de « *folk crime* ». Une photographie de l'état du stationnement urbain donne en effet une idée de l'importance de la fraude. Elle permet de conclure dans quelle mesure la fraude au stationnement, quelle que soit sa forme, est un acte de délinquance routière largement répandu. Une illustration sommaire sur Paris permet de s'en convaincre. Barbero (1988) estime ainsi à environ 100 000 le nombre de véhicules stationnant illégalement sur la voie publique en tout moment de la journée à Paris. Peu ou prou, un huitième des véhicules en stationnement à Paris sont en situation de fraude. D'après l'auteur, une voiture mal garée représente environ 30 % de trafic en moins. Plutôt que de trafic en moins, il est sans doute préférable de penser qu'il s'agit en fait d'un trafic gêné. Si la conclusion de l'auteur est peut-être mal formulée, il n'en demeure pas moins que cet argument met bien en relief l'intérêt de s'intéresser à la question de la fraude au stationnement ainsi qu'au lien entre la fraude au stationnement et l'état de la mobilité urbaine.

Ce dernier point de cette première partie du raisonnement a pour objectif de montrer en quoi l'existence et l'importance de la fraude au stationnement posent dans les faits des problèmes pour la politique de régulation de la demande de déplacements. La fraude au stationnement s'impose en effet aux moyens mis en oeuvre pour réguler le stationnement, que ce soit à la réglementation du stationnement ou que ce soit à la tarification. Elle nécessite d'être considérée sachant qu'elle peut interférer dans les résultats attendus de la mise en oeuvre de la politique de régulation de la demande de stationnement.

Formellement, il n'y a pas de raison de traiter la fraude à la tarification plutôt que la fraude à la réglementation. Néanmoins, ici, le choix est fait de s'arrêter sur la fraude au paiement du tarif de stationnement. La raison, en termes économiques, est qu'elle conduit particulièrement bien à mettre en relief l'existence du rapport entre le niveau de tarification nécessaire pour réguler efficacement la demande de stationnement, et le niveau de répression nécessaire pour juguler la fraude de sorte à ne pas entraver la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. De plus, il semble plus pertinent de s'intéresser à la fraude au paiement du stationnement au regard des conclusions généralement avancées qui tendent à donner plus de crédit en termes d'efficacité à la tarification plutôt qu'à la réglementation (Buchanan, Tullock, 1975 ; Delache, Gastaldo, 1992).

L'enjeu se situe donc dans l'interdépendance entre le niveau de tarification, le niveau de fraude et le niveau de répression³³. De fait, l'existence de cette interdépendance fait du niveau de répression un instrument à part entière de la politique de régulation de la

demande de déplacements. Le couple constitué du niveau de tarification et du niveau de répression joue sur l'efficacité de la politique du stationnement, et au-delà, sur le degré de réussite de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains.

D'une part, il semble donc pertinent de s'interroger tout d'abord sur le niveau réel de la fraude et sur son impact sur la politique des déplacements urbains. D'autre part, il s'agit de montrer en quoi la remise en cause des objectifs poursuivis par la politique de régulation de la demande de stationnement implique que soit conduite une analyse économique du comportement de fraude au stationnement.

Une fois l'importance de la fraude mise en évidence, l'enjeu du manque de connaissances concernant les déterminants du comportement de fraude va être maintenant souligné. Cette limite entraîne une réflexion sur la pertinence des actions publiques traditionnellement mises en oeuvre qui visent à réduire, voire à supprimer la fraude au paiement du stationnement urbain. Il est alors montré en quoi ce type d'intervention publique est inadapté lorsque la question de la fraude est envisagée dans une perspective plus globale de régulation de la demande de déplacements urbains. Partant, il est donc proposé d'apporter ici sur la question du traitement de la fraude au stationnement un regard différent. Fondé sur les principes de l'*économie publique*, il consiste à prendre appui sur une analyse du comportement individuel.

2.1 : L'importance de la fraude au paiement du stationnement sur voirie : un argument pour l'analyse économique du comportement de fraude

Avant d'analyser la question de la fraude au stationnement urbain, il convient de dresser un bilan du phénomène. Bien que la question reste peu abordée dans la littérature, quelques données illustrent tout de même l'importance de la fraude au stationnement. Elles apportent un argument à l'enjeu de considérer l'existence de la fraude au stationnement, notamment de la fraude au stationnement payant sur voirie, dans le cadre plus général de la régulation de la demande de déplacements. Une première explication du niveau de fraude au stationnement portant sur la faiblesse de la répression conduit à se poser la question du rôle du manque de connaissances sur le comportement individuel de fraude.

2.1.1 : Le poids spécifique de la fraude au non-paiement du tarif de stationnement et son impact sur la mobilité urbaine

En France, la Gendarmerie Nationale et la Police Nationale comptabilisent pour 1990 un peu plus de 14 millions d'infractions aux règles de la circulation routière. La part du nombre d'infractions concernant le stationnement s'élève à 63,4 %. La fraude au stationnement, prise dans un sens très large, c'est-à-dire comprenant l'ensemble des infractions liées au stationnement des véhicules, représente donc une part considérable des délits routiers.

La fraude au stationnement est un phénomène avant tout urbain. En effet, plus la

³³ Par niveau de répression, il faut entendre ici à la fois niveau du montant de l'amende et niveau du contrôle, c'est-à-dire, la fréquence de passage des agents chargés de la surveillance du stationnement et de la répression.

taille de la ville augmente, plus le nombre de procès-verbaux est élevé (Perrière, 1997). En moyenne, en France, en 1995, le nombre de procès-verbaux pour infractions au stationnement par place et par mois se monte à 1,4. Ce chiffre passe à 1,8 dans les communes de plus de 100 000 habitants. Le nombre de procès-verbaux pour défaut de paiement du tarif de stationnement par place et par mois est de 1,1. Il est de 1,4 dans les communes de plus de 100 000 habitants.

Ces données illustrent tout d'abord l'importance de la part relative du non-paiement du tarif de stationnement dans les infractions au stationnement. Cette première remarque justifie donc que la question de la fraude au stationnement urbain fasse plus précisément l'objet d'une étude portant sur la fraude au non-paiement du tarif de stationnement.

Ces chiffres mettent, en outre, en lumière le fait que plus le contexte urbain est dense, plus la fraude est importante. Ce dernier point s'explique lorsque le poids de la fraude au stationnement relatif à la taille de la ville est rapproché de l'évolution de la structure de la mobilité urbaine. Précédemment, il a été vu dans quelle mesure la tendance à l'urbanisation croissante s'est doublée d'une forte expansion de l'usage de la voiture particulière dans la mobilité urbaine. Le mouvement de périurbanisation des ménages et de résistance de la concentration des activités génère une pression croissante de l'usage de la voiture particulière sur les espaces centraux. Plus cette pression sur la circulation est forte, plus les effets externes sur l'environnement sont importants, plus l'urgence de réguler la demande de déplacements urbains se fait sentir. Or, dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements urbains, la politique du stationnement se concrétise par la régulation de la demande qui passe, entre autres, par l'usage de la tarification du stationnement. Dès lors, plus le contexte urbain est dense, plus les contraintes sur l'usage du stationnement sont fortes. Il semble alors logique de conclure que, la pression sur le stationnement se faisant plus forte dans les espaces urbains denses, la présence de comportements frauduleux est plus importante dans ces espaces. Ce point permet donc de justifier le besoin de s'intéresser ici à la fraude au stationnement payant dans un contexte urbain dense.

En France, le taux de fraude, c'est-à-dire la part de véhicules stationnés en infraction sur un espace de stationnement payant, est estimé entre 60 et 70 % (Carles, 2000). En 1993 à Lyon (LPA, 1994), si le taux de paiement se situe aux alentours de 50 %, plus de 80 % des véhicules en infraction sont des véhicules pour lesquels le stationnement n'a pas été payé. Le reste est constitué de véhicules dont le stationnement a été payé mais dont la durée de stationnement effective au moment de l'enquête dépasse le temps prépayé. Cet exemple montre que le problème de la fraude au stationnement est en premier lieu une question de non-paiement du tarif de stationnement. Le problème de dépassement du temps de stationnement reste marginal³⁴. La fraude au paiement du tarif de stationnement est bien le point sur lequel la politique du stationnement et la politique

³⁴ Si la suite du raisonnement se focalise sur la question du non-paiement du stationnement, il est bon de noter toutefois que la réduction de 15 % à 5 % du taux de stationnement illicite en termes de dépassement de temps légal permettrait de doubler l'offre de stationnement (Glavyre et Chastellain, 1993). Bien que ce type de fraude ne fasse pas l'objet de l'étude car trop peu important en termes relatifs, il convient d'avoir à l'esprit le rôle qu'il peut éventuellement jouer dans la politique du stationnement, *a fortiori* dans la politique de régulation de la demande de déplacements urbains.

des déplacements doivent s'attarder. Un argument décisif viendrait toutefois de la mise en évidence de l'impact de la fraude au paiement du stationnement sur la mobilité urbaine.

A ce jour cependant, force est de constater la relative pauvreté du nombre de données empiriques permettant d'estimer l'impact spécifique du non-paiement du tarif de stationnement sur la mobilité urbaine. Si le regard porté en particulier sur la fraude au paiement du stationnement paraît légitime, il reste peu aisé de conclure à la lumière des faits que l'analyse de la fraude au paiement du tarif de stationnement urbain constitue une priorité dans le cadre de la politique de régulation des déplacements urbains. Néanmoins, un certain nombre de travaux fournissent quelques éclairages concernant l'impact de la fraude au stationnement sur la mobilité urbaine.

Il a pu par exemple être mis en évidence qu'à Londres, la fraude au stationnement participe pour moitié à la réduction des vitesses de transport en ville tous modes confondus (Elliott et Bursey, 1979). La même étude a montré que, dans l'hypothèse où la répression envers la fraude au stationnement serait totale, la réduction du nombre de kilomètres parcourus en milieu urbain pourrait s'élever jusqu'à 20 %. May (1985) a montré que la fraude au stationnement induit un niveau de trafic plus élevé et une congestion supplémentaire, donc une augmentation des effets de la mobilité urbaine sur l'environnement. Par ailleurs, Ribgy (1983) a pu mettre en évidence que la congestion induite par la fraude au stationnement pénalise la qualité de service des transports collectifs.

Manifestement donc, la fraude au stationnement a un impact réel sur la mobilité urbaine, que ce soit sur la circulation des flux de transport en ville, ou que ce soit, par contrecoup, sur le niveau des effets sur l'environnement. La question reste de savoir quels sont les déterminants qui conduisent les individus à frauder au stationnement.

2.1.2 : Le manque de connaissances sur le comportement de fraude

Une première explication de l'importance de la fraude à la tarification du stationnement semble venir du faible degré de surveillance, de contrôle et de répression de la fraude. En première analyse, les chiffres sont en effet pour le moins parlants. A Paris, sur 100 voitures en infraction au stationnement, 9 sont verbalisées (Dupuy, 1995). A Lyon, 7,6 % des infractions sont verbalisées (LPA, 1994). Toujours à Lyon, lorsqu'il s'agit du non-paiement du tarif de stationnement, 6 % des véhicules en infraction sont verbalisés. Ces chiffres sont confirmés par la baisse en France d'environ 25 % du nombre de procès-verbaux par place et par mois pour infraction au stationnement de 1985 à 1995. Cette baisse s'explique à première vue par l'augmentation d'environ 20 % du nombre de places par surveillant sur la même période (Perrière 1997). Ce mouvement est en outre corroboré par la diminution, toujours sur la même période, du nombre de procès-verbaux par place et par mois dans les villes-centres des grandes agglomérations françaises de 2,2 à environ 1,8 (CERTU, ADEME, 1999). Donc, dans une première analyse, il semble aisé de lier l'importance de la fraude au stationnement à une dégradation du niveau de répression.

Ainsi, la réponse quasi généralement apportée à la question de savoir quel est le déterminant qui explique l'importance de la fraude au stationnement urbain est le relatif

manque de répression. L'argument largement avancé dans la plupart des études traitant du stationnement est le suivant. Si l'objectif est de lutter contre la fraude pour assurer une réussite de la politique du stationnement, et donc, de la politique des déplacements urbains, il convient d'augmenter le niveau de répression, jugé trop faible pour qu'il apparaisse avantageux aux agents de s'acquitter de la redevance de stationnement.

Cependant, bien que la question du stationnement payant ait été largement abordée dans la littérature traitant des problèmes de transports urbains, Adiv et Wang (1987) soulignent le manque patent de connaissances concernant le comportement des agents dans un environnement de stationnement payant. Notamment, ils soulignent le manque de travaux portant spécifiquement sur l'élasticité de la demande de stationnement et de la demande de stationnement frauduleux au niveau du prix du stationnement et du niveau de répression. Cette lacune ne permet donc pas d'avancer si aisément que l'augmentation du niveau de répression puisse être un argument pour modérer la fraude. En dépit du fait que cette solution semble *a priori* évidente et au demeurant, facile à mettre en oeuvre, *nul ne peut affirmer que le comportement des individus face à l'augmentation du niveau de répression est de frauder moins*. Pour Adviv et Wang, il existe là un fossé entre l'appréhension subjective du problème vu par les usagers qui jugent que l'Etat devrait s'occuper d'autres types de délinquance³⁵, et une appréhension objective et rigoureuse du problème. C'est la principale raison pour laquelle May (1982) réclame à cet égard une meilleure connaissance de la réaction des individus à la répression, de sorte à adapter une politique de répression compatible avec les objectifs de la politique de régulation des déplacements urbains.

En outre, *il n'existe aucune réflexion qui permet de conclure que l'augmentation du niveau de répression a un effet positif sur la mobilité urbaine*, tant du point de vue de l'impact sur la congestion de la circulation que du point de vue du niveau des effets externes sur l'environnement. En effet, il n'existe pas à proprement parler d'analyse sur la relation entre le niveau de fraude, le niveau de répression et le niveau de la congestion urbaine ou celui des effets sur l'environnement.

Le point suivant montre que les travaux portant spécifiquement sur la question de la fraude au stationnement apportent généralement des solutions qui envisagent la réduction systématique de la fraude au stationnement payant par le biais de l'augmentation du niveau de répression comme seule politique à mettre en oeuvre face à l'importance du niveau de fraude. Fondés sur un raisonnement inadapté, il est démontré que les objectifs traditionnellement visés résultent en fait d'une mauvaise appréciation du comportement de fraude au stationnement.

2.2 : La prise en compte du comportement de fraude au stationnement

Un premier point montre que le raisonnement traditionnellement admis consiste à dire que la seule solution efficace est l'augmentation du niveau de répression de telle sorte que la fraude soit éradiquée. Notre réflexion sur la question avance alors que ce raisonnement

³⁵ Jones (1990) a pourtant mis en évidence que plus de la moitié des britanniques sont favorables à un contrôle et une répression stricts du stationnement. Environ 30 % des personnes enquêtées sont même demandeuses d'une réglementation et d'une répression plus renforcée que celle qu'elles connaissent.

se base sur des hypothèses inadaptées pour prétendre apporter une réponse efficace aux questions posées par l'existence de la fraude au stationnement payant. En suivant un raisonnement relevant des principes de l'économie publique, il apparaît dans un deuxième point que la politique menée doit s'inspirer du comportement de fraude au stationnement.

2.2.1 : L'augmentation du niveau de la répression comme réponse à la fraude : une fausse bonne réponse

Le raisonnement classique questionnant la fraude au stationnement est de considérer le comportement frauduleux comme une déviance comportementale par rapport aux règles instituées qui remet en question la politique du stationnement. En fraudant, l'agent exprime une demande de stationnement sans en assumer l'intégralité des coûts. De plus, le véhicule stationné frauduleusement consomme un espace de stationnement, c'est-à-dire une partie de l'offre de stationnement. Or, le principe de la régulation de la demande de stationnement par la tarification est d'amener la demande à s'exprimer à un niveau qui permet de réaliser un état optimal sur le marché du stationnement d'une part, un optimum de second rang sur le marché des déplacements urbains d'autre part. Relativement à ces règles considérées alors comme fixées, le fraudeur est un agent dont le comportement est déviant. Il convient donc de le contraindre de telle sorte que son comportement soit compatible avec les règles posées dans le cadre de la politique du stationnement.

Les propos du CETUR (1992, p. 4) résument clairement ce point de vue. Les « comportements pour échapper à la réglementation, mettent en péril des politiques de stationnement qui, il est vrai, viennent à l'encontre des habitudes de gratuité et du principe d'égalité de l'accès à l'espace public ». Les pratiques illégales relèvent « d'une attitude individualiste » qui s'extrait des pratiques sociales. Dans cette logique, celui qui fraude s'écarte des pratiques comportementales considérées comme 'normales' d'un point de vue social sur lesquelles se fonde la réussite de la politique du stationnement. Dès lors, la réponse *a priori* logique du décideur public est de se donner comme objectif de lutter contre la tendance des agents à frauder. Il doit donc mettre en oeuvre les outils permettant de modifier le comportement des agents de sorte à ce que ces derniers soient contraints de respecter les instruments de régulation de la demande de stationnement.

Un argument de poids, relatif au manque à gagner que génère la fraude pour le gestionnaire de l'offre de stationnement, contribue à asseoir, *a priori* de manière incontestable, la volonté de lutter contre le comportement des individus qui ne s'acquittent pas du paiement du tarif de stationnement. Une enquête (DRAST, 1998) effectuée en 1996 sur 131 villes françaises donne un taux moyen de paiement du stationnement de l'ordre de 200 à 900 heures par place et par an. Or, d'après les auteurs du rapport, un stationnement payant bien respecté devrait générer 1 200 heures payées par place et par an. Le critère d'efficacité sur lequel repose cette conclusion est que le taux de remplissage de l'offre de stationnement viaire approche les 90 %. Pour Carles (2000), ce constat suffit pour conclure **que « la France [est] malade de son stationnement payant sur voirie »**. De ce point de vue, c'est donc la baisse de la surveillance du stationnement qui ferait perdre son rendement au stationnement payant (Carles, 1998). Le résultat est

qu'environ 50 % seulement des places de stationnement sont jugées rentables (Bernard, Carles, 1999). Ce constat est d'ailleurs corroboré par les résultats théoriques du modèle formulé par Elliott et Wright (1982) qui montre en effet l'existence d'une dynamique d'effondrement du respect du stationnement payant si la force de contrôle s'infléchit. La seule solution pour sortir de cette situation est donc d'augmenter le niveau de répression.

Plusieurs remarques viennent cependant remettre en question la pertinence globale de ce raisonnement. Tout d'abord, il n'y a pas de raison de penser que le critère de rentabilité de la production du stationnement puisse être un argument suffisant pour justifier que la lutte contre la fraude soit un instrument efficace de la politique du stationnement et de la politique des déplacements urbains. Certes, il est raisonnable d'avancer que le gestionnaire chargé du stationnement a un avantage à ce que la production du stationnement soit rentable. Mais du point de vue de la régulation de la mobilité urbaine, la recherche de la rentabilité maximale du stationnement payant ne constitue pas un argument suffisant pour avancer que la lutte contre la fraude puisse avoir un impact positif sur la modération de l'usage de la voiture particulière. Ceci est d'autant plus contestable que l'hypothèse d'efficacité retenue pose que le taux de remplissage de l'offre de stationnement est de 90 %. En termes économiques, une telle hypothèse est discutable. La question sur la mesure de la congestion a en effet montré que l'offre en infrastructures, lorsqu'elle est sous-utilisée, rend compte d'une mauvaise allocation des ressources. Dès lors, un raisonnement sur l'efficacité du stationnement, d'un point de vue économique, ne peut pas faire l'hypothèse d'une sous-utilisation de l'offre de stationnement. Partant, ce raisonnement qui conduit à rechercher l'unique maximisation de la rentabilité de la production du stationnement pour lutter contre la fraude ne tient pas.

La deuxième remarque vient du parallélisme qui peut être fait entre les effets de l'augmentation du tarif de stationnement et l'augmentation de la répression. Les résultats théoriques du modèle de Glazer et Niskanen (1992) ont en effet montré que l'augmentation du tarif de stationnement peut être une cause d'accroissement de la congestion de la circulation. Ce résultat provient du simple fait que l'augmentation du tarif de stationnement induit une plus grande rotation de l'usage de l'offre ce qui contribue à créer de l'offre supplémentaire, donc à révéler une demande supplémentaire. De même, rien ne permet de prétendre, en première approche, que l'augmentation du niveau de répression conduit automatiquement à la réduction du niveau de fraude. Rien ne permet non plus de prétendre qu'elle entraîne systématiquement la réalisation d'un optimum. Dès lors, si l'argument de renforcer la répression se tient du point de vue strict de la gestion de l'offre de stationnement, il ne constitue nullement un alibi pour prétendre réguler efficacement la demande de stationnement d'un point de vue collectif.

Néanmoins, en partant toujours de cette hypothèse, Perrière (1998, p. 185) affirme que le non-respect du stationnement payant s'explique par « l'érosion de la fonction dissuasive de la répression ». La conclusion est donc que le niveau de répression n'est pas dissuasif. Notamment, le montant de l'amende pour non-paiement du tarif de stationnement n'est pas suffisamment incitatif pour que les agents respectent la tarification du stationnement.

D'après l'auteur, pour atteindre les objectifs fixés par la politique du stationnement, l'action possible est de réévaluer le montant de l'amende forfaitaire. Cette proposition

repose sur l'hypothèse que le niveau de risque d'être sanctionné est relativement faible compte tenu des variables que sont le montant du tarif de stationnement et le montant de l'amende. Pour asseoir son raisonnement, Perrière (1997) note que l'amende équivaut à 10 heures de stationnement en 1995 alors qu'elle était équivalente à 20 heures de stationnement en 1985. En se référant au mécanisme qui permet de fixer le niveau de l'amende dans les transports publics parisiens, par arrêté ministériel, à 24 fois le prix moyen du ticket sur le réseau parisien, Perrière suggère que la même logique préside au calcul de l'amende pour non-paiement du tarif de stationnement. De 75 francs, l'amende passerait donc à 200 francs, soit 24 fois le prix d'une heure de stationnement. Dans le même ordre d'idée, Vivier (1999) parle d'un taux multiplicatif de 20 appliqué au prix de la première heure de stationnement.

En dépit donc d'arguments peu recevables pour justifier le fondement de ce raisonnement, le consensus consiste à affirmer que la fraude doit être combattue en renforçant le niveau de répression de telle sorte que l'agent ne soit plus incité à frauder. Il doit en découler alors une réduction du niveau de fraude conduisant à retrouver l'efficacité de la tarification du stationnement comme outil de régulation de la demande de stationnement. Cette logique ne semble cependant pas tenir si la question de la fraude au stationnement est abordée du point de vue de l'économie publique. La conclusion ne permet alors plus d'attribuer de manière automatique à l'augmentation du niveau de répression les vertus qui lui sont traditionnellement prêtées.

2.2.2 : Le renouvellement de l'analyse de la fraude au stationnement au regard de l'économie publique

Le raisonnement traditionnellement mené pour traiter de la question de la fraude au stationnement urbain sur voirie prescrit une politique publique qui consiste à augmenter de manière quasi automatique le niveau de répression, notamment le montant de l'amende. Or, les hypothèses sur lesquelles repose ce raisonnement n'ont pas de fondement économique. L'intégration du traitement de la fraude dans la politique du stationnement nécessite tout d'abord de relever un certain nombre de critiques relatives au raisonnement traditionnel. Elles permettent d'avancer un argumentaire sur la nécessité d'aborder la question de la fraude au stationnement par le biais d'une analyse du comportement individuel.

2.2.2.1 : Critiques économiques sur le raisonnement traditionnel

Pour plusieurs raisons, la conclusion qui consiste à penser qu'une forte augmentation du niveau de répression permet d'éradiquer la fraude n'est pas pertinente dans le cadre de la politique de régulation de la demande de stationnement et de la politique des déplacements urbains. Tout d'abord, en reprenant Perrière, il doit être opposé à la proposition de se fonder sur une analogie avec le niveau de répression pratiqué sur le réseau de transports publics parisiens qu'il n'existe *a priori* aucune raison permettant de confondre ainsi le marché du stationnement urbain sur voirie avec le marché des transports collectifs parisiens. En aucune manière les conditions d'offre et de demande ne peuvent être ainsi comparées. Rien ne peut laisser conclure par exemple que l'élasticité

de la fraude au niveau de la répression soit identique sur les deux marchés. Dès lors, il n'est pas pertinent de tirer des outils de régulation de la demande dans les transports publics parisiens traitant de la fraude quelques enseignements pour la régulation de la demande de stationnement et du traitement de la fraude au non-paiement du tarif de stationnement.

Ensuite, cette proposition ne peut pas tenir tant que ne sont pas connues les réactions comportementales des agents à une telle modification du niveau de la répression et les effets de ces réactions sur la mobilité. En effet, il n'est pas certain, loin s'en faut, qu'un accroissement du niveau de l'amende entraîne les effets positifs avancés sur le comportement de fraude des agents. Si tant est qu'une augmentation de l'amende puisse effectivement provoquer ces effets, il n'est pas certain non plus que l'effet soit négatif sur le niveau d'usage de la voiture particulière en milieu urbain. Rien ne permet de dire que l'augmentation de l'amende est dissuasive si l'avantage que procure le stationnement frauduleux aux agents n'est pas mis en parallèle. Pour preuve, une étude de la fraude à Lyon (LPA, 1994) montre que le nombre d'infractions, pour un niveau de répression constant, est moindre en zone de stationnement de longue durée (environ 40 %) qu'il ne l'est en zone de courte durée (environ 60 %). En revanche, le taux de respect du stationnement résidentiel est de l'ordre de 70 %. Cet exemple montre que le niveau de fraude, toutes choses égales par ailleurs, n'est pas uniquement fonction du niveau de répression, mais s'exprime également, entre autres, en fonction du motif de stationnement.

Dès lors, *si rien ne permet de dire que l'augmentation de la répression produit un effet négatif sur le niveau de fraude au stationnement, rien ne conduit à penser qu'elle puisse avoir un effet contraire.* En outre, *si rien n'amène à conclure que l'augmentation de la répression a un impact sur la mobilité urbaine, en l'état des connaissances sur le comportement de fraude des agents, rien ne permet, d'une part, d'affirmer le contraire, d'autre part, de prévoir le sens de cet impact.*

L'erreur de raisonnement qui conduit à une impasse quant à la prévision des issues d'une décision sur le niveau de répression à adopter est de ne pas considérer le comportement de fraude comme *le résultat d'un calcul rationnel des agents*. En effet, à l'hypothèse qui conduit à considérer le comportement du fraudeur comme le résultat d'une déviance comportementale par rapport aux outils de régulation mis en oeuvre, il est préférable, d'un point de vue économique, de considérer que le comportement économique qui mène à la fraude est le produit d'un *calcul rationnel* sur lequel la politique publique du stationnement doit prendre appui. Face au risque de répression, l'agent effectue en effet un calcul coûts - avantages qui le conduit à choisir de frauder ou de ne pas frauder. Ce calcul est mené en tenant compte des variables qui caractérisent l'offre de stationnement, c'est-à-dire le prix du stationnement et le niveau de répression. Il tient compte par ailleurs des variables propres au déplacement qui génère le stationnement.

Enfin, un commentaire sur le raisonnement traditionnellement adopté concerne la question du risque. En considérant comme faible le risque d'être sanctionné, la proposition fait implicitement l'hypothèse que le risque est appréhendé de manière homogène parmi les agents. Dès lors, la conclusion d'augmenter le niveau de répression paraît évidente. C'est faire cependant l'impasse sur, d'une part, la question de la

perception subjective du risque, d'autre part, sur l'hétérogénéité des comportements des agents face au risque. L'augmentation du niveau de répression n'a pas le même impact selon le comportement de l'agent face au risque. Si l'hypothèse que l'augmentation du niveau de répression a un effet positif sur le niveau de fraude des agents neutres par rapport au risque est montrée, elle ne permet pas d'émettre la même conclusion pour les agents ayant une propension au risque. Si cet effet est positif sur les agents neutres au risque, aucune conclusion ne peut être tirée sur le niveau d'impact concernant la réaction des agents averses au risque. Cette remarque conduit donc également à relier le comportement individuel de fraude au comportement de l'agent face au risque d'être sanctionné.

Partant, en tant que produit d'un calcul économique rationnel, le comportement individuel de fraude doit servir de base à l'élaboration de la politique traitant de la question de la fraude au stationnement payant sur voirie urbaine. Par conséquent, la décision publique qui fonde la politique du stationnement au regard de l'existence de la fraude doit relever de l'économie publique. Les principes de base du calcul économique public qui vont être à présent rappelés montrent en quoi le comportement individuel de fraude au stationnement doit servir de fondement pour la politique du stationnement traitant de la question de la fraude.

2.2.2.2 : La question de la fraude au stationnement à la lumière de l'économie publique

Dans la *théorie du bien-être*, l'agent qui représente la collectivité, c'est-à-dire celui qui élabore la politique publique, est capable d'établir un préordre sur un ensemble fini d'états économiques en comparant les niveaux de satisfaction de chaque agent dans chaque état. En se fondant donc sur les préférences individuelles des agents. Il est donc en mesure de pouvoir choisir l'intervention qui maximise la satisfaction collective.

En partant de cette hypothèse qui fonde la logique du calcul économique public (Lesourne, 1972), une *fonction de satisfaction collective*, ou de *rendement social* (Abraham, Thomas, 1966), peut être construite. Elle permet de déterminer l'état économique qui maximise la somme des satisfactions individuelles. Cette fonction de bien-être collectif est une émanation des satisfactions individuelles.

En théorie, la maximisation de cette fonction de satisfaction collective permet la réalisation d'un état socialement optimal de l'économie. Ce raisonnement repose cependant sur l'hypothèse que le *no-bridge* entre les préférences individuelles et le choix collectif, mis en évidence par Condorcet et formalisé par le théorème d'impossibilité d'Arrow (1951), est comblé. En effet, dans ce cas, l'incapacité pour le décideur public de choisir entre deux états de l'économie optimaux ou, en cas d'absence d'état optimal, de choisir un état économique réalisable, est levée.

Initialement, la non-agrégation des préférences ordinales des agents telle qu'elle est supposée par Pareto (1907) entraîne que les propriétés qui instaurent le choix social sont mutuellement incompatibles. Il n'existe alors pas de passage des préférences individuelles au choix collectif lorsque le choix public est opéré au regard des comparaisons interpersonnelles sur les préférences. En revanche, le recours aux

préférences cardinales offre la possibilité de construire une fonction de satisfaction collective de type Bergson-Samuelson (Bergson, 1938 ; Samuelson, 1947), c'est-à-dire une règle d'agrégation des niveaux de bien-être individuels résumant les choix interpersonnels implicites de la société. Cette fonction de satisfaction collective, à la base du calcul économique public initialement développé par Dupuit (1844), permet, d'une part, de comparer le niveau de bien-être social entre chaque état possible de l'économie, et d'autre part, de trouver une correspondance au critère d'optimalité de Pareto (Lesourne, 1972 ; Pearce, 1983 ; Laffont, 1988).

Ainsi, la pertinence du recours au calcul économique public tient dans la mesure où la fonction de satisfaction sociale repose sur les préférences individuelles des agents, et non sur l'utilité propre de l'Etat ou de tout autre agent décideur agissant pour le compte de la collectivité (Benard, 1985). Elle représente, pour paraphraser Abraham et Thomas (1966), la fonction objectif d'un « *leader* » qui décide pour la collectivité au regard des préférences individuelles. Son objectif est d'assurer la meilleure allocation des ressources possibles et de réguler le marché en présence de défaillances comme des externalités (Musgrave, 1959). Si le critère de Pareto est bien respecté, alors la satisfaction générale est accrue *si et seulement si* l'utilité d'au moins un agent s'accroît sans que celle des autres agents ne soit modifiée. La fonction de satisfaction sociale est dite alors *bienveillante* et *omnisciente*. En ce sens, elle connaît l'ensemble des ressources disponibles dans l'économie et l'ensemble des fonctions objectifs des agents qui composent l'économie.

Ainsi, lorsque le rendement social n'est pas maximum, il est possible de modifier l'organisation économique de sorte qu'une partie des agents voit sa satisfaction s'améliorer sans que celle des autres agents soit dégradée (Allais, 1952). De la théorie fondée sur la recherche de l'optimum paretien, Abraham et Thomas (1966) consacrent ainsi le passage au calcul économique public comme un besoin de théorie cohérente et opérationnelle face aux insuffisances de la théorie de l'optimum collectif, notamment quand il s'agit de comparer des états non optimaux (Lesourne, 1972).

Pour Zerbe et Dively (1994), c'est la présence d'une divergence entre coût privé et coût social qui fonde l'analyse coûts – avantages. Sans défaillances sur le marché, le coût marginal privé et le coût marginal social se confondent. Dès lors, en se référant aux théorèmes de l'économie du bien-être (Laffont, 1988), l'égalisation des taux marginaux privés conduit à la réalisation d'un optimum paretien. En revanche, en présence d'externalités, la nécessité d'une intervention publique justifie le recours au calcul économique public. Il a pour mission d'évaluer le rendement social des outils de l'intervention publique et de faire émerger l'intervention maximisant la variation de surplus collectif.

Dès lors, concernant la question de la décision publique relative à la fraude au stationnement, le recours au calcul économique public s'impose. Il correspond aux prescriptions du rapport Boiteux (CGP, 1994) qui recommande d'utiliser l'analyse coûts - avantages pour l'évaluation des projets de transport dans un cadre d'aide à la décision publique (Zerbe, Dively, 1994). Tout d'abord, il repose sur l'hypothèse que la décision publique relève de l'agrégation des comportements individuels. Ce premier point contredit donc l'argument proposé par le CERTU qui justifie l'éradication de la fraude sur le principe

que l'existence de tels comportements individualistes remet en cause la politique tarifaire du stationnement. En consacrant la politique du stationnement comme une émanation des comportements individuels, cet argument est affaibli. En outre, la tarification du stationnement a pour objectif de réguler la demande de stationnement dans le but d'atteindre un optimum social sur le marché du stationnement, voire d'atteindre un optimum second sur le marché des déplacements urbains. Dans ce contexte, la fraude est la manifestation d'un comportement de type passager clandestin. En fraudant, les usagers consomment une partie de l'offre de stationnement sans en assumer le coût, alors que le paiement du tarif, lorsque l'usager ne fraude pas, permet de couvrir ce coût. Une intervention publique répressive s'impose donc de sorte que l'agent assume le coût de son stationnement, notamment le coût lié à la congestion du stationnement. Alors, en présence de fraude au non-paiement du tarif de stationnement, le recours au calcul économique public permet d'évaluer le niveau optimal de fraude et le niveau optimal de répression.

Par conséquent, la politique de régulation de la demande de stationnement confrontée à l'existence de comportements frauduleux, qui consiste à proposer une éradication systématique de la fraude, n'a pas de crédibilité théorique. S'il existe une déviance, elle résulte de la présence de défaillances sur le marché du stationnement qui impose une régulation par la puissance publique. Concernant la régulation par les prix, les agents se comportent de manière rationnelle et optent pour le paiement du stationnement ou pour la fraude. La politique relative à la fraude doit donc s'inspirer du comportement des agents et proposer une intervention dont l'unique objet est trouver un optimum.

De même, la politique dont l'objectif est de maximiser la rentabilité de l'offre de stationnement, dans la mesure où elle conduit à maximiser la fonction objectif du seul gestionnaire, est définitivement évacuée. Elle rend en effet compte d'une politique publique ne remplissant pas sa fonction qui est de maximiser la satisfaction collective. En revanche, une politique fondée sur la connaissance des comportements individuels de stationnement, notamment des comportements de fraude, conduit à une décision collective conforme aux prescriptions théoriques.

En conclusion sur ce dernier point, dans une perspective de régulation de la demande de déplacements urbains, il est proposé de formuler une nouvelle manière d'aborder la question de la fraude au stationnement d'un point de vue économique. Partant de cette analyse, la représentation du comportement de fraude au stationnement devient le socle sur lequel est élaborée la politique du stationnement traitant de la fraude. Il s'agit d'élaborer une politique qui tient compte de l'ensemble des préférences individuelles, y compris des préférences pour la fraude, et d'évaluer l'intervention publique qui fera basculer la décision des agents. Pour Vivet (1998, p. 328), « **la nature humaine étant ce qu'elle est, les règles ne sont respectées que lorsque la contrainte est suffisamment puissante** ». La politique publique relative à la fraude au stationnement tient dans le 'suffisamment'. En effet, le niveau de répression comme outil d'intervention doit être tel qu'il permet de réaliser un optimum, sans pour autant présumer l'éradication de la fraude. Par conséquent, il prétend donc qu'un niveau de fraude optimal est socialement acceptable. Il est possible dès lors de déterminer un niveau de répression socialement optimal permettant d'atteindre un optimum sur le marché du stationnement,

et un optimum de second rang sur le marché des déplacements.

En se fondant sur les principes de l'économie publique, cette formulation nouvelle de la politique du stationnement s'intéressant à la question de la fraude impose que le comportement individuel de fraude au stationnement soit connu. Dès lors, il convient d'analyser en termes économiques le comportement individuel de fraude au stationnement payant urbain sur voirie.

L'importance de l'existence de la fraude au stationnement payant viaire urbain permet donc de conclure qu'il existe un intérêt à s'intéresser à la question de la fraude au stationnement dans une perspective plus large mettant en relation la fraude au stationnement et l'état de la mobilité urbaine. En outre, la fraude au stationnement remet en cause l'efficacité des moyens mis en oeuvre pour réguler, d'une part, la demande de stationnement, d'autre part, la demande de déplacements. Par ailleurs, l'interdépendance entre le niveau de tarification, le niveau de fraude et le niveau de répression confère au couple constitué du niveau de tarification et du niveau de répression le statut véritable d'instrument de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. Dès lors, à l'occasion de la mise en oeuvre de la politique de régulation du stationnement, une analyse de la fraude et de l'intervention publique sur la fraude doit être proposée.

Le manque de connaissances concernant les déterminants de la demande de fraude au stationnement payant urbain sur voirie implique une réflexion sur la cohérence de la politique traditionnellement prescrite qui vise l'éradication de la fraude. Fondée sur des hypothèses et un raisonnement erronés, elle ne permet pas d'apporter des conclusions opérationnelles quant à l'intervention sur la fraude dans une perspective globale de régulation de la demande de déplacements urbains.

Un tout autre raisonnement établi sur les principes de l'économie publique montre qu'à l'inverse de la politique traditionnelle qui tend à supprimer la fraude, il convient au contraire de fonder l'intervention publique sur la connaissance du comportement de fraude. Une étude normative du comportement de fraude doit alors nécessairement être menée de sorte à distinguer la meilleure manière, d'un point de vue collectif, d'aborder la question.

3 : Conclusion de la section

En tant qu'élément de la politique des déplacements urbains, la politique du stationnement est un instrument de la politique de régulation de la demande de déplacements. En s'articulant aux objectifs de la politique des déplacements, la politique du stationnement s'oriente vers une logique de régulation de la demande. L'analyse de la demande de stationnement réclame que la politique du stationnement soit différenciée en fonction des motifs de déplacements. Les instruments économiques alors mobilisés sont la réglementation du stationnement et la tarification du stationnement. En absence de mesures reposant directement sur la réalisation des déplacements, l'application de la politique du stationnement conduit en définitive à réaliser un optimum sur le marché du stationnement, participant de fait à la réalisation d'un optimum second du marché des déplacements.

La mise en évidence de l'existence de comportements frauduleux a permis de mettre

en relief que la politique du stationnement souffre de l'insuffisance de connaissances sur les comportements individuels. L'exemple de la fraude montre que cette carence mène à l'échec de la politique de régulation de la demande de stationnement, donc à l'échec de la politique des déplacements urbains. En présence de comportements frauduleux, il apparaît clairement que la politique traditionnellement proposée ne considère pas les comportements individuels de fraude. En absence d'éléments de compréhension des comportements, rien ne permet d'avancer que l'augmentation du niveau de répression a un impact positif sur la mobilité, relativement aux objectifs posés par la politique des déplacements. Fondée sur la recherche d'un optimum social, une analyse des comportements s'impose donc, d'autant plus que les résultats théoriques sur le tarif de stationnement montrent qu'une augmentation du tarif peut être un facteur d'accroissement de la congestion des déplacements. La question est donc de savoir dans quelle mesure l'augmentation de la répression peut éventuellement avoir les mêmes effets sur la mobilité.

Le manque de conclusions normatives quant au comportement de fraude conduit ainsi à prescrire des outils publics d'intervention dont l'efficacité n'est pas démontrée. Dès lors, il est proposé maintenant de formuler la question du traitement de la fraude au stationnement d'un point de vue économique en se fondant sur une représentation du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie.

Conclusion du Chapitre 2

Le stationnement est un élément du déplacement. Une approche ainsi conceptualisée du stationnement conduit à caractériser l'offre et la demande de stationnement urbain en fonction des motifs de déplacements. Dans le cadre de la politique des déplacements urbains, la définition des objectifs de la politique du stationnement remet en cause l'intervention publique qui consiste à développer l'offre de stationnement. En revanche, elle justifie que la politique du stationnement s'oriente vers une régulation de la demande. A cet égard, la politique du stationnement est un élément essentiel de la politique des déplacements urbains. Sa légitimité tient dans le fait qu'elle contribue à modérer l'usage de la voiture particulière dans la mobilité urbaine. Elle y parvient en intervenant sur l'organisation de l'offre afin de modifier les déterminants de la demande de déplacements, notamment ceux du choix modal.

La mise en oeuvre des outils de régulation de la demande de stationnement, soit par la réglementation, soit par la tarification, permet d'atteindre un état socialement optimal du marché du stationnement en présence d'effets externes sur le marché du stationnement, comme la congestion du stationnement. En revanche, le stationnement étant situé en fin du déplacement, la régulation de la demande ne parvient qu'à contribuer à réaliser un optimum de second rang sur le marché des déplacements urbains.

L'existence de comportements frauduleux, qui contournent les mesures de régulation de la demande de stationnement, remet en cause la possibilité d'atteindre un optimum. Dès lors, l'intervention publique portant sur le stationnement est amenée à appliquer des mesures répressives contre la fraude. La justification vient du fait que les fraudeurs se comportent en passagers clandestins en consommant une partie du stationnement s'en

en assumer l'intégralité du coût. Pour les amener à assumer le coût de leur consommation, le décideur public peut mettre en place une politique répressive. L'approche traditionnelle du traitement de la fraude propose alors d'augmenter le niveau de répression dans le but d'éradiquer les comportements frauduleux. Cette approche repose sur des hypothèses qui n'autorisent pas à conclure que l'augmentation du niveau de la fraude entraîne une réduction de la fraude. De plus, dans le cadre de la politique de modération de l'usage de la voiture particulière, la proposition d'intensifier le niveau de répression ne permet pas de prétendre directement qu'elle conduit à dissuader la fraude et qu'elle laisse la tarification du stationnement jouer son rôle de régulateur de la demande de déplacements urbains. Dans une perspective d'économie publique, le constat est alors fait que l'approche traditionnelle pêche par un manque de connaissances du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie.

Dès lors, en mettant en évidence le rôle déterminant de la fraude au stationnement dans la politique des déplacements urbains, ce chapitre a permis de montrer que la politique publique chargée de mettre en application une intervention sur la fraude réclame une analyse économique du comportement de fraude.

L'importance d'une analyse du comportement de fraude ayant été démontrée, il convient à présent de l'aborder de façon théorique et d'apporter des résultats quant à la politique à mener. L'analyse qui suit se dote d'un certain nombre d'outils théoriques qui relèvent de l'analyse économique de la fraude reposant sur la théorie de la décision économique dans un environnement risqué. L'objectif de la partie suivante est alors de proposer une représentation théorique du comportement individuel de fraude au stationnement payant urbain sur voirie. Cette représentation s'appuie sur une formalisation théorique du comportement de stationnement en milieu urbain. De cette modélisation du comportement de fraude, des simulations sont menées reproduisant le contexte du stationnement urbain en France. A partir de ces simulations, des résultats théoriques sont avancés pour prescrire un équilibre répressif qui assure le meilleur rendement social.

Conclusion de la Partie 1

Le sentiment communément répandu dans la population citadine consiste à penser que le problème du stationnement urbain figure la manifestation principale des problèmes de déplacements en ville. Le raisonnement va cependant plus loin puisque, de manière générale, ces difficultés de stationnement sont appréhendées comme la source essentielle des problèmes de déplacements urbains que les citoyens expérimentent au quotidien. L'intuition généralement partagée est alors de prétendre que la résolution des problèmes de déplacements en ville devrait largement bénéficier de toute action ayant pour but d'améliorer les conditions de stationnement en ville.

La pertinence de ce raisonnement vient du fait que le stationnement est un élément du déplacement. En effet, d'une part, le stationnement n'a de sens que parce qu'il s'inscrit

dans le cadre de la réalisation du déplacement, lui-même motivé par la réalisation d'une activité. D'autre part, de manière réciproque, le déplacement effectué pour réaliser une activité n'est permis que dans la mesure où la possibilité de stationner existe. Dès lors, l'idée usuellement avancée qu'une action sur le stationnement a un impact sur les conditions de réalisation du déplacement semble parfaitement logique.

Face aux problèmes liés à la réalisation des déplacements en ville, notamment l'existence d'effets externes négatifs, le planificateur, chargé d'assurer les conditions socialement les meilleures sur le marché des déplacements urbains, propose alors d'intervenir. Or, eu égard à l'hypothèse que le stationnement est un élément du déplacement, une facette de cette intervention porte directement sur le stationnement.

Le caractère indivisible de l'offre de stationnement entraîne que le succès de l'intervention publique suppose que l'ensemble des usagers respectent les mesures de régulation du marché. Or, certains usagers se comportent délibérément en *passagers clandestins* et décident de consommer une partie de l'offre de stationnement sans respecter les mesures de régulation mises en oeuvre. Partant, dans une première approche, la présence de comportements frauduleux va à l'encontre de la réussite de l'intervention publique. Cette dernière étant appliquée dans l'objectif d'améliorer les conditions de déplacement, le non-respect des mesures remet *a priori* en question la réalisation de cet objectif.

Le propos de cette première partie du raisonnement était de montrer de manière empirique en quoi, dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements urbains, la politique du stationnement réclame de recourir à une analyse économique du comportement de fraude au stationnement. En se fondant sur la validité de l'hypothèse que le stationnement est un élément du déplacement, l'enjeu était de prouver que, relativement à l'état de la structure modale de la mobilité urbaine, la politique du stationnement, inscrite dans une politique des déplacements urbains, ne peut se passer de la prise en compte de l'existence de comportements de fraude au stationnement. En effet, les usagers qui fraudent au stationnement refusent d'assumer le coût social de leur stationnement. Ils tendent par conséquent à consommer une quantité de stationnement excessive par rapport à un niveau de demande socialement optimal. Le décideur public doit dès lors intervenir sur la fraude pour rétablir les conditions de réalisation d'un optimum. Or, en toute logique économique, l'intervention publique résume les comportements individuels. Dès lors, sur cette base, l'issue de cette première partie du raisonnement a montré que la politique du stationnement nécessite de mener une analyse économique du comportement de stationnement, en particulier, du comportement de fraude au stationnement.

Le premier chapitre permet de stipuler que l'état de la mobilité urbaine implique que la politique des déplacements urbains s'oriente vers une logique de régulation de la demande. L'étude de l'évolution de la mobilité urbaine montre que l'évolution du contexte urbain stimule l'usage prépondérant de la voiture particulière. Cet usage dominant de l'automobile dans la mobilité quotidienne a des conséquences nuisibles et coûteuses pour la collectivité. Elles se manifestent à la fois sur la qualité de l'environnement des citoyens et sur la qualité de l'écoulement des flux de transports. En outre, la congestion, qui perturbe la fluidité des transports en milieu urbain, relève d'une dynamique auto

cumulative. Dès lors, si le marché des déplacements n'est pas régulé, l'évolution du contexte urbain ne peut se concrétiser que par un accroissement de l'usage de la voiture particulière, donc une croissance des effets nuisibles de la mobilité urbaine coûteux pour la collectivité. Ainsi, dans une perspective de modération de l'usage de la voiture particulière en ville, le premier chapitre a permis d'établir que l'intervention publique appropriée est la régulation de la demande de déplacements urbains. L'intervention publique doit permettre de retrouver un état socialement efficace du marché des transports urbains.

La régulation de la demande de déplacements se matérialise, soit par l'application de mesures réglementaires, soit par l'application de mesures tarifaires. A l'issue de l'étude de ces deux outils économiques d'intervention, il a été mis en évidence que lorsque leur application sur l'usage circulaire des infrastructures de transport pose des problèmes quant à son acceptation en termes politiques, l'application sur le stationnement peut se révéler pertinente pour une politique des déplacements urbains.

A partir d'une conceptualisation du stationnement en tant qu'élément du déplacement, le deuxième chapitre a permis de montrer que la politique du stationnement, dans le cadre de la politique des déplacements, s'oriente à son tour vers une régulation de la demande. A ce titre, le premier point de ce chapitre était de justifier que la politique de régulation de la demande de stationnement, lorsque son objectif est de modifier les déterminants de la demande de stationnement par motif, contribue à modérer l'usage de la voiture particulière dans la mobilité urbaine. Ainsi, la régulation de la demande de stationnement, soit par la réglementation, soit par la tarification, permet d'atteindre un état socialement optimal du marché du stationnement. Elle internalise efficacement la congestion sur le marché du stationnement. En revanche, en internalisant la congestion du stationnement, elle ne parvient qu'à contribuer à réaliser un optimum de second rang sur le marché des déplacements urbains.

Dans un deuxième temps, ce chapitre a montré que la présence de comportements frauduleux amène le responsable chargé de l'élaboration de la politique du stationnement à réfléchir sur l'application de mesures répressives. Lorsque le niveau de répression n'est pas optimal ou qu'il ne dissuade pas la fraude, une proposition traditionnelle est d'augmenter le niveau de répression dans le but de dissuader les comportements frauduleux. Or, reposant sur des hypothèses inadaptées en termes économiques, dans le cadre de la politique de modération de l'usage de la voiture particulière, cette proposition de politique ne permet pas de penser, d'une part, qu'elle conduise nécessairement à dissuader la fraude, d'autre part, qu'elle contribue à participer à la résorption de la congestion des déplacements. Dans une perspective d'économie publique, il est alors montré que le manque de connaissances sur le comportement individuel n'autorise pas à conclure que cette proposition est efficace.

Ainsi, ce deuxième chapitre apporte la justification de la nécessité pour la politique du stationnement de se doter d'une analyse économique du comportement de fraude au stationnement. Cette analyse convient d'être abordée d'un point de vue théorique afin d'apporter des résultats normatifs quant à la politique à mettre en oeuvre. L'objectif de la partie suivante est donc de proposer une représentation théorique du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie. Elle se fonde, d'une part, sur une

représentation économique de l'espace urbain. Elle repose ensuite sur l'analyse économique du crime, effectuée à l'aide des outils de la théorie de la décision dans un environnement risqué. Le comportement de fraude au stationnement est bien, en effet, un comportement relevant de l'analyse économique des comportements criminels, c'est-à-dire d'un comportement de choix entre une décision respectueuse des règles et une décision non respectueuse des règles, face au risque d'être sanctionné. Cette représentation s'appuie sur un modèle de comportement de stationnement en milieu urbain. Une série de simulations théoriques est alors menée. Elle apporte des pistes de résultats théoriques sur la politique à appliquer dans un contexte français.

Partie 2 : Une analyse économique du comportement de fraude au stationnement

A l'issue de la première partie du raisonnement, la mise en évidence de l'existence de la fraude au stationnement payant urbain sur voirie a conduit à recommander la nécessité de munir la politique des déplacements urbains d'un outil d'analyse du comportement de fraude au stationnement. Les raisons qui justifient cette conclusion sont relativement simples. Premièrement, l'état de la mobilité urbaine, dominée par l'usage de la voiture particulière, et, le poids des conséquences néfastes que cet état fait peser sur la qualité de l'environnement et sur la fluidité des transports en ville, impliquent que la politique des déplacements urbains mette en oeuvre les moyens nécessaires pour réaliser un état de la mobilité qui permette de satisfaire les besoins de transport aux moindres coûts économiques et sociaux. Pour réaliser cet état, la politique des déplacements doit s'orienter vers une logique de régulation de la demande dont l'un des principaux objectifs est d'amener à la modération de l'usage de la voiture particulière en ville. Elle utilise alors la tarification des déplacements comme un des outils économiques de régulation. Or, le stationnement étant un élément du déplacement, la tarification de la mobilité urbaine réalisée en voiture particulière peut porter sur l'usage du stationnement. Deuxièmement, la réussite de la régulation de la demande de déplacements urbains par la tarification du stationnement risque d'être remise en cause par la présence de comportements

frauduleux qui consistent au non-paiement du tarif de stationnement. Par conséquent, la politique du stationnement doit prendre en compte l'existence de tels comportements dans la définition de l'application des outils de régulation qu'elle met en oeuvre.

Traditionnellement, les experts, chargés d'apporter une réponse à la question de savoir comment prendre en compte la fraude au stationnement dans la politique des déplacements urbains, avancent que seule l'augmentation des outils de répression, en particulier, l'augmentation de l'amende, est susceptible de dissuader quasi mécaniquement la fraude et de permettre à la tarification du stationnement de jouer pleinement son rôle d'outil régulateur de la demande de déplacements en voiture particulière. Si rien ne conduit *a priori* à remettre en cause cette proposition, rien ne permet cependant de conclure positivement sur son efficacité. A l'occasion d'une discussion sur la pertinence économique de cette proposition, un certain nombre de doutes a pu être émis sur la crédibilité des hypothèses sur lesquelles elle repose. Dès lors, l'urgence se fait sentir de proposer une discussion économique rigoureuse sur la question du comportement de fraude au stationnement. Notamment, la question de savoir comment manipuler les outils de répression de manière pertinente par rapport aux objectifs poursuivis par la politique des déplacements réclame l'élaboration d'une représentation simplifiée du comportement de fraude au stationnement urbain payant sur voirie.

L'ambition de la deuxième partie du raisonnement est de montrer *dans quelle mesure une analyse économique rigoureuse du comportement de fraude au stationnement procure des résultats précieux en termes de choix d'une politique répressive du stationnement frauduleux intégrée dans une politique plus globale de régulation de la demande de déplacements urbains*. Il n'est toutefois pas le but de cette thèse de fournir au décideur public chargé des déplacements urbains des prescriptions sur le traitement de la fraude au stationnement directement applicables. Plus modestement, l'enjeu de ce développement est de mettre en évidence le fait que la question de la fraude au stationnement relève bien d'une analyse économique. De cette analyse, des résultats récuser la proposition traditionnelle qui affirme que l'augmentation du niveau de l'amende a un impact quasi mécanique, positif pour l'objectif de réguler la demande de déplacements. De plus, le développement propose de montrer que cette analyse offre des arguments solides pour permettre d'avancer la conclusion que la manipulation des outils de répression doit, en fait, être en partie fondée sur une représentation du comportement de fraude.

Tout d'abord, un troisième chapitre propose d'aborder la question de la représentation économique du comportement de fraude au stationnement. L'idée est de construire un modèle suffisamment rigoureux pour qu'il puisse effectivement rendre compte du phénomène. Cette représentation doit cependant être suffisamment simplifiée pour pouvoir avantageusement permettre de comprendre les relations entre le comportement de fraude, la politique répressive du stationnement frauduleux et la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. Elle doit également permettre de mettre en évidence les impacts de la politique répressive du stationnement sur la politique des déplacements. La formalisation s'inscrit dans le cadre d'une modélisation microéconomique. Elle repose tout d'abord sur une représentation

économique de l'espace urbain. Elle se nourrit ensuite des enseignements théoriques de l'analyse économique du crime fondée sur la théorie de la décision en avenir risqué. Le premier socle théorique semble logiquement mobilisé ici dans la mesure où le comportement de fraude au stationnement urbain est un phénomène économique inscrit dans l'espace urbain. Le deuxième cadre théorique semble également parfaitement approprié pour l'analyse du comportement de fraude au stationnement puisque ce dernier relate un problème de décision relatif à un choix consistant à respecter ou à ne pas respecter une règle instituée, face au risque d'être détecté et verbalisé. Enfin, la formalisation du comportement de fraude au stationnement urbain proposée est insérée dans un modèle de comportement individuel de stationnement. Ce modèle intègre la tarification du stationnement comme outil de régulation de la demande de stationnement en cas de congestion. Dès lors, fondée sur cette représentation, l'intégration de la question du comportement de fraude apparaît opportune tant le développement de la première partie a pu montrer le rôle que jouent dans la politique de régulation des déplacements, d'une part, la tarification du stationnement, d'autre part, la fraude au non-paiement du tarif de stationnement.

La représentation théorique du comportement de fraude étant posée, un quatrième chapitre soulève la question de sa pertinence. En effet, le modèle ne peut avoir de sens, pour la prise en compte de ses résultats dans le cadre d'une politique du stationnement, que s'il est confronté au réel. L'objectif du quatrième chapitre est de voir dans quelle mesure la modélisation du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie, tout d'abord, propose des résultats de simulations théoriques pertinents, ensuite, affiche une véritable robustesse au regard des données issues du réel. Dans un premier temps, deux séries de simulations théoriques, rendant compte chacune d'un contexte urbain précis, permettent d'afficher des résultats théoriques consistants quant à la politique répressive du stationnement frauduleux inscrite dans une politique plus large de régulation de la demande de déplacements. Dans un deuxième temps, à la suite de l'énoncé de propositions de développements théoriques du modèle, un argumentaire, portant sur le choix d'une méthode de production de données permettant de tester la résistance du modèle, montre que les méthodes traditionnelles ne sont pas ici satisfaisantes, ce qui incite à se tourner vers la méthode de l'expérimentation économique contrôlée.

Chapitre 3 : Une formalisation économique du comportement de fraude au stationnement

« Il vaut mieux se laisser guider par l'utilité que par la vérité ; l'utilité, si elle est moins noble, est plus docile. S'il fallait toujours, avant d'agir, nous mettre en possession de la vérité, l'action serait impossible. » (Rémy de Gourmont, Promenades philosophiques)

A l'issue de la première partie du raisonnement, la nécessité d'aborder en termes

économiques le comportement individuel de fraude au stationnement payant urbain sur voirie s'est faite jour. Dans un souci de compréhension du phénomène, dans un premier temps, puis d'action sur le phénomène, dans un deuxième temps, la portée de ce troisième chapitre est de montrer dans quelle mesure une analyse de la fraude au stationnement peut reposer sur une représentation formalisée du comportement de fraude.

Les raisons du recours à une représentation simplifiée du comportement de fraude au stationnement viennent de la complexité du phénomène qu'il faut décrire. Seul un effort d'abstraction permet, sous la forme d'un modèle, d'aborder rigoureusement la question et d'extraire de l'analyse quelques perspectives, d'une part, de compréhension du phénomène, et d'autre part, d'action sur ce phénomène. Bonnafous (1989) rapporte une définition de la notion de modèle empruntée à Guitton (1964). Un modèle est une « représentation simplifiée de la réalité, destinée à mieux comprendre la réalité ou à agir sur elle ». Autrement dit, le modèle ambitionne de représenter les traits les plus marquants d'une réalité. C'est un instrument d'intelligibilité, à ce titre, « délibérément approximatif » (Walliser, 1995a). L'enjeu de la modélisation est de réduire le phénomène réel étudié et de produire un outil d'analyse simplificateur. La simplification et l'abstraction de la réalité fournissent alors des bases fondatrices pour la compréhension et l'action. La construction du modèle permet d'élaborer une approximation du phénomène afin d'éviter de tomber dans le piège qui consisterait à prétendre aborder la réalité, voire de prétendre toucher la vérité, en se jouant des apparences, notamment des apparences premières issues de l'appréhension subjective de l'objet d'étude par l'observateur. La réduction s'impose alors tant les dimensions du phénomène peuvent être complexes et trompeuses au premier abord (Bonnafous, 1989). Par-là, il faut comprendre que la logique de la formalisation se nourrit du principe de base posé par Bachelard (1934, p. 143) qui suppose que « le simple est toujours le simplifié ». Dès lors, la réduction permet de « substituer à la clarté en soi une sorte de clarté opératoire » (Bachelard, 1934, p. 148).

Concrètement, un modèle est l'expression de relations causales. Ainsi, un modèle renvoie, selon Walliser (1994, p. 66), à « toute représentation schématique d'un système concret [...] exprimé sous forme logique ou analytique », véhiculé par un apport rigoureux que constitue en particulier le raisonnement mathématique (Bienaymé, 1995). En ce sens, la modélisation procède de la logique hypothético-déductive dans le respect du principe que « la réalisation du mathématique » va du rationnel au réel (Bachelard, 1934, p. 8). La compréhension des phénomènes procède donc de l'analyse logique, sous forme mathématique, d'une représentation simplifiée du phénomène³⁶. Le modèle permet ainsi de « déduire d'un ensemble d'hypothèses un ensemble de conséquences, et d'étudier la sensibilité des résultats obtenus aux postulats de départ » (Walliser, 1994, p. 74).

Cette représentation formelle du phénomène réel s'exprime par le biais, d'une part, d'un ensemble d'hypothèses portant sur la structure du phénomène et, d'autre part, des

³⁶ Tout en ayant bien conscience toutefois que le recours à l'outil mathématique n'est qu'un moyen au service du raisonnement analytique (Bonnafous, 1989, 1995). Il n'est nullement le recours nécessaire et suffisant pour assurer sa pertinence au modèle (Walliser, 1995b). L'usage des mathématiques en économie (Huriot, 1994, p. 21) reste cependant un langage scientifique présentant « un certain avantage d'exposition » du fait qu'il est un langage précis, universel, sans double sens, rapide et ramassé.

lois qui le régissent, traduites sous forme d'un système mathématique (Malinvaud, 1958). Dans le champ de l'économie, le *modèle microéconomique* est l'outil scientifique sur lequel se fonde la représentation des phénomènes, et notamment, la compréhension des comportements économiques des individus. En outre, comme l'a montré Henry (1984), la microéconomie possède la vertu de permettre d'avancer concernant la question de la prise de décision publique. Dès lors, la représentation économique du phénomène de comportement de fraude au stationnement proposée ici recourt au modèle microéconomique. Enfin, il a déjà été mentionné en quoi l'analyse de la demande de stationnement effectuée dans le cadre de l'analyse de la demande de déplacements repose sur une analyse microéconomique. Dès lors, le choix de formaliser la question de la fraude au stationnement s'inscrit naturellement dans le cadre d'une modélisation microéconomique.

L'analyse microéconomique, dans sa formulation première par Arrow et Debreu (1954), est a-spatiale. Or, le phénomène analysé s'inscrivant particulièrement dans un milieu urbain dense, tout d'abord, la formalisation du phénomène repose sur un socle théorique abordant l'espace du point de vue de l'analyse microéconomique, et notamment, l'espace urbain. En outre, la question du comportement de fraude au stationnement relate un problème de décision individuelle face à une incertitude quant à la possibilité d'être sanctionné. Le phénomène se référant donc à un problème de comportement économique de choix individuel dans un univers risqué, la représentation proposée ici est abordée à l'aide de la théorie économique de la décision individuelle en environnement risqué. Enfin, le problème de la fraude faisant clairement référence à un problème économique de délinquance, le modèle élaboré ici repose sur les enseignements de l'analyse économique du crime. Au demeurant, la théorie économique du crime s'intéressant au comportement des agents économiques dans un univers risqué quant à la possibilité d'être sanctionné, elle se fonde elle-même sur la question de la représentation de la décision individuelle dans un univers risqué.

Ainsi, le propos de ce chapitre est de voir *dans quelle mesure il est pertinent, dans le cadre de l'aide à la décision d'une politique publique du stationnement tenant compte de la fraude, d'élaborer une représentation simplifiée du comportement individuel de fraude au stationnement payant urbain sur voirie*. Autrement dit, l'issue du chapitre est de montrer en quoi cette représentation permet d'apporter des pistes de réponses normatives quant à l'application d'une politique de régulation de la demande de stationnement tenant compte de l'existence de la fraude.

Deux points sont successivement abordés. Tout d'abord, une première section a pour objectif de décliner les outils théoriques mobilisés pour élaborer la représentation du phénomène de comportement de fraude au stationnement urbain. Premièrement, le stationnement urbain étant un élément du déplacement urbain, la représentation doit nécessairement avoir pour socle théorique les outils de formalisation microéconomique abordant l'urbain. Ainsi, une première présentation concerne *l'analyse économique spatiale urbaine*. Elle permet de fournir, pour la formalisation du comportement de fraude au stationnement, une représentation économique de l'espace. Deuxièmement, le phénomène formalisé considérant la question de la fraude au stationnement, c'est-à-dire un comportement de choix entre une décision respectueuse d'une règle instituée dans le

cadre de la politique du stationnement et le non-respect de cette règle, les outils théoriques de *l'analyse économique du crime* sont présentés (Becker, 1968). Reposant sur une conceptualisation du comportement rationnel de l'agent économique, l'analyse économique du crime mobilise *la théorie de la décision* individuelle dans un univers risqué dont les principes de base sont rappelés. Ce socle théorique permet alors d'aborder le comportement de fraude au stationnement comme le résultat d'une décision rationnelle effectuée dans un environnement risqué quant à la conséquence d'être verbalisé.

Ensuite, dans une deuxième section, munie des outils théoriques nécessaires, la représentation du comportement de fraude peut être construite. Dans un premier temps, *un modèle de comportement de stationnement* est décliné (Arnott, Rowse, 1999). Il constitue le modèle de base sur lequel la représentation du comportement de fraude peut être élaborée dans la mesure où il considère l'impact de la tarification de la congestion du stationnement sur le niveau de mobilité et le choix modal. Dès lors, en introduisant dans ce modèle, à l'aide des outils fournis par l'économie du crime, la possibilité pour l'agent de choisir entre payer le tarif de stationnement et ne pas payer ce tarif en regard du risque d'être verbalisé, la formalisation du comportement de fraude au stationnement proposée dans cette deuxième section permet d'aborder la question du poids de la fraude et du rôle d'un niveau de répression de la fraude dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements urbains.

Section 1 : Les outils théoriques

Le passage à la phase de formalisation du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie exige, dans un premier temps, de se doter des outils théoriques nécessaires à l'élaboration de l'analyse.

Tout d'abord, si la demande de déplacements urbains est le cadre de référence de l'analyse de la demande de stationnement urbain et, de fait, de celle de l'analyse du comportement individuel de fraude au stationnement urbain, il paraît alors légitime que soit parfaitement délimité le support théorique sur lequel repose l'analyse de la mobilité urbaine, à savoir, l'économie urbaine.

Pour camper ce socle théorique, le choix d'une conceptualisation de l'espace urbain est nécessaire. Néanmoins, le seul recours au concept d'espace urbain n'est pas suffisant pour fournir les bases de l'analyse des éléments constituant la mobilité urbaine. En effet, l'analyse du comportement de fraude au stationnement est abordée ici d'un point de vue économique. Dès lors, l'espace urbain doit être conceptualisé en termes économiques. Pour cette raison, dans cette section, dans un premier temps, les principes de l'analyse économique spatiale urbaine sont sollicités.

Ensuite, le comportement de fraude au stationnement caractérise un cas d'application précis de comportements délictueux. Dès lors, l'analyse économique du comportement de fraude au stationnement se réfère à l'analyse économique traitant de ce type de comportement. L'économie du crime constitue le cadre de référence théorique de l'analyse économique des comportements délictueux. Elle utilise la théorie de la décision en environnement risqué. Ainsi, dans cette section, dans un second temps, les principes

de base de l'économie du crime en tant qu'analyse des comportements individuels délictueux dans un environnement risqué sont présentés.

1 : Une étude relevant de l'économie urbaine

L'analyse économique du comportement de fraude au stationnement urbain s'inscrit dans une analyse économique de la mobilité urbaine. Or, l'analyse économique de la mobilité urbaine, en termes théoriques, repose sur une représentation formelle de l'espace, en particulier, de l'espace urbain. Dès lors, à ce stade du raisonnement, il convient, dans le but de disposer des outils théoriques nécessaires, d'aborder la question de l'analyse économique de l'espace urbain.

Dans un premier temps, les principes de base de l'analyse économique spatiale sont rappelés, avant d'avoir recours, dans un deuxième temps, à la présentation de l'économie spatiale urbaine. Il est alors montré en quoi l'analyse économique urbaine constitue le cadre théorique d'analyse sur lequel repose l'étude de la mobilité urbaine, donc le cadre théorique de l'analyse du comportement individuel de fraude au stationnement urbain.

1.1 : L'analyse économique spatiale comme support théorique de l'analyse de la mobilité urbaine

Le propos de la thèse n'est pas de mener une analyse théorique approfondie de la notion d'espace en économie. Néanmoins, le comportement individuel de fraude au stationnement urbain est un élément constitutif de la mobilité urbaine. Or, la mobilité urbaine a comme toile de fond l'espace urbain. L'analyse économique d'un phénomène inscrit dans la mobilité urbaine réclame alors la mobilisation des outils théoriques fournis par l'analyse économique de l'espace urbain.

Il convient, tout d'abord, de rappeler les principes de l'analyse économique spatiale et de se donner, ensuite, une représentation théorique de l'espace. Cette représentation est l'outil formel qui permet de décrire et d'expliquer les phénomènes ayant une dimension spatiale pour l'analyse économique. C'est munie de cet outil que prend corps l'analyse économique de la mobilité urbaine et qu'elle peut prétendre constituer le cadre d'analyse du phénomène de comportement de fraude au stationnement.

1.1.1 : Un rappel sur la notion d'espace en économie et sur l'économie spatiale

Avant de présenter plus en détail les principes de l'analyse économique spatiale urbaine, tout d'abord, le statut de l'espace dans l'analyse microéconomique est rappelé. Les principes de base de l'analyse économique spatiale sont ensuite présentés.

1.1.1.1 : L'espace dans l'analyse économique néo-classique

L'analyse économique standard considère un espace que Ponsard (1955) qualifie de « ponctiforme ». Ainsi, dans le modèle de concurrence pure et parfaite proposé par Arrow et Debreu (1954) et définitivement rédigé par Debreu (1959), *tout se passe, à l'équilibre, comme si toute activité économique se déroulait en un seul et même point.* Par

conséquent, en retenant cette hypothèse, dans la théorie du consommateur, les agents *non localisés* expriment leurs choix, sous une contrainte budgétaire ne présentant *aucune dimension relative à l'espace*, pour des biens n'ayant *pas de localisation*. De même, toujours sous cette hypothèse, dans la théorie du producteur, les agents produisent, *sans être localisés*, des produits n'ayant *pas de consistance spatiale*.

Dès lors, si l'intérêt de l'économiste se porte, à un moment donné de sa réflexion, sur la question du choix de la localisation des activités, celui-ci se résume en fait à un seul choix de marchandises. Cela signifie que le choix de localisation d'une activité revient à être considéré comme la consommation d'un bien rendu unique par son lieu de disposition et un prix donné par sa localisation. Au global, à l'équilibre, deux biens parfaitement identiques, mais considérés en deux localisations distinctes, sont appréhendés comme deux biens différents. Pour faire court, le modèle d'équilibre général est ainsi privé de toute dimension spatiale (Ponsard, 1988). En d'autres termes, l'espace est économiquement neutre pour l'équilibre de concurrence pure et parfaite. Il reste donc à savoir ce qu'il en est lorsque l'espace n'est plus neutre pour l'analyse économique.

1.1.1.2 : L'analyse économique spatiale

L'objectif de l'analyse économique spatiale, qui fait suite aux travaux séminaux de Von Thünen (1826) sur la localisation des activités agricoles autour d'un marché et l'étude d'une fonction d'enchères foncières, est d'introduire l'espace dans l'analyse économique traditionnelle. Précisément, le propos de l'analyse économique spatiale est de s'intéresser à la localisation des agents économiques et à l'impact de leur choix de localisation sur l'équilibre.

Le raisonnement est simple. Un bien produit et disponible en un lieu précis peut être identique à un bien produit et disponible en un autre lieu. Mais, deux hypothèses expliquent que ces deux biens, pourtant identiques, affichent des prix différents. Tout d'abord, l'espace étant le lieu de la localisation des activités économiques, il devient une ressource rare. Il est alors logique qu'il existe un prix pour l'usage du sol. De plus, la pénibilité de se délocaliser implique un coût au franchissement des distances. Conçu de cette manière, l'espace n'est plus qu'un simple contenant neutre pour l'analyse des faits économiques. Il est une dimension de l'analyse économique. Par conséquent, un même bien peut être disponible en deux lieux différents. Ce bien est simplement différencié par les caractéristiques que lui confère sa localisation. L'hypothèse que chaque point de l'espace possède ses caractéristiques propres justifie alors le choix de localisation des agents en un point plutôt qu'en un autre.

Il est par conséquent permis de conclure que l'analyse économique standard dénuée de toute dimension spatiale traite finalement d'un cas particulier dont l'hypothèse principale est de considérer une économie réduite en un seul point de l'espace. Cette hypothèse relâchée, les ajustements du marché, *lorsque les agents sont localisés*, ne peuvent plus être considérés comme gratuits et immédiats. Tout d'abord, l'usage du sol ayant un prix, l'espace devient un bien de consommation. Il entre également dans la fonction de production des activités. En outre, la pénibilité de franchissement de l'espace remet en cause l'hypothèse de parfaite mobilité des activités (Huriot, 1978). L'équilibre de concurrence pure et parfaite cesse *a priori* d'être valide (sur ce point, voir les discussions

de Scotchmer et Thisse, 1993, ou de Fujita et Thisse, 1997). Ainsi, lorsqu'une analyse économique pour laquelle l'espace n'est plus neutre est considérée, l'analyse économique de *concurrence imparfaite* doit être la référence.

La première raison de l'échec du marché quand l'espace est introduit est que ce dernier implique l'existence de préférences non convexes (Malinvaud, 1982 ; Fujita, 1989). En effet, si le principe, assez réaliste semble-t-il, est de dire que les agents ne sont pas dotés du don d'ubiquité (Zoller, 1988 ; Thisse, 1996), alors, lorsqu'ils effectuent leur choix de localisation, ils n'en choisissent qu'une seule (éventuellement un très petit nombre). Ils ne respectent donc pas l'hypothèse de convexité des préférences qui prédit à l'inverse qu'un agent devrait choisir de résider dans un grand nombre de localisations sous le principe qu'un agent préfère toujours une petite quantité d'un grand nombre de biens à tout autre assortiment de biens.

La deuxième raison qui remet en cause l'équilibre du modèle standard lorsque l'espace est introduit porte sur l'existence de rendements d'échelle croissants (Lösch, 1940 ; Koopmans, 1957). L'équilibre du modèle standard privé de dimension spatiale suppose des rendements d'échelle décroissants. En conservant cette hypothèse, l'introduction de l'espace implique alors que l'économie se résume à l'existence de petits producteurs répartis de façon continue sur l'espace et produisant chacun leur seule consommation. Or, à l'évidence, force est de constater l'existence du regroupement dans l'espace de la production, ce qui vient corroborer l'intuition qu'il existe des rendements d'échelle croissants. L'introduction de l'espace dans l'analyse économique justifie donc la présence d'*économies d'agglomération*.

Le propos n'est pas ici d'aller plus loin sur les tentatives d'introduction de l'espace dans le modèle standard (pour une analyse historique du développement de l'analyse économique spatiale, voir Ponsard, 1983 et Aydalot, 1985). Il faut néanmoins retenir pour le raisonnement qui suit une conclusion générale. Elle consiste à penser que *toute analyse économique spatialisée dépend de la conception qui est faite de l'espace* (Rouget, 1988). Cette conception permet alors d'utiliser une représentation adaptée aux questions posées. Néanmoins, que ce soit à l'occasion du développement de modèles de localisation ou d'interactions spatiales (Hotelling, 1929) ou que ce soit à l'occasion de l'élaboration d'une théorie de l'équilibre général spatial de l'économie (Lösch, 1940), cette représentation est toujours une spécification d'un même cadre axiomatique précis (Beguin, Thisse, 1979). Ce cadre axiomatique sur lequel reposent l'analyse de la mobilité urbaine et l'étude de la demande de stationnement et du comportement de fraude au stationnement doit être à présent défini.

1.1.2 : choix d'une représentation de l'espace économique

D'une manière générale, et c'est ce qui doit être retenu pour le développement qui suit, l'espace est défini par, d'une part, un ensemble de lieux reposant chacun sur un pré-lieu vide de tout contenu et, d'autre part, des distances. Chaque lieu est obtenu en définissant sur un pré-lieu des attributs quantitatifs ou qualitatifs (un stock de population, un flux migratoire, un prix du sol, etc.). Ainsi, *l'espace économique est muni d'une distance, d'une forme et de propriétés économiques attribuées aux lieux*. Sur la base de cette axiomatique, une représentation dessine alors une structure économique spécifique quant

à sa forme, sa dimension, sa position ou sa distance. Elle produit de ce fait une mesure spécifique de l'analyse des comportements spatialisés des agents économiques. Par conséquent, l'espace peut être un ensemble de lieux structurés par la distance ou bien il peut être une droite, un segment ou une bande de type rectangulaire ou circulaire. C'est, pour lors, la conception de la distance qui fonde la représentation choisie (Aydalot, 1985 ; Huriot, Smith, Thisse, 1989 ; Huriot, Perreur, 1990, 1994).

Si l'analyse opte pour un système métrique euclidien (voir Encadré 7), chaque point du plan est une localisation possible sur une droite. Les déplacements s'effectuent en ligne droite le long du segment joignant deux points. Dans cette représentation, l'espace est homogène ce qui signifie qu'un attribut économique affecté en un point est identique en tous les autres points du plan. En outre, l'espace est isotrope, à savoir que la valeur de l'attribut en un point donné a la même valeur à une distance donnée dans toutes les directions. Ainsi, le coût de transport à partir d'un lieu affiche la même valeur quelle que soit la direction choisie. L'espace est alors représenté par une distance qui différencie deux lieux différents. Pour résumer, la distance séparant les lieux dans le cadre de cette représentation est caractérisée en termes mathématiques par un système métrique linéaire. En termes d'analyse économique spatiale, elle est spécifiée par l'effort nécessaire exprimé en termes de temps, ou de valeurs monétaires, pour franchir cette distance. Par conséquent, ceci permet d'introduire pour l'analyse économique l'existence d'un réseau de transport (Bailly *et al.*, 1995) dans la mesure où une localisation est *in fine* caractérisée par son accessibilité (Aydalot, 1985).

Par souci de simplification, cette conception théorique de l'espace est conservée pour le propos qui suit, bien qu'elle tende à déformer la réalité (voir sur ce point une discussion de Huriot *et al.*, 1983). Cette représentation de l'espace pose une ébauche de la forme du support théorique sur lequel l'analyse de la mobilité urbaine est appréhendée, donc sur lequel le phénomène économique de fraude au stationnement urbain peut être abordé. Pour l'heure cependant, la représentation théorique de l'espace choisie ne constitue qu'un support théorique général. Elle ne dit rien sur le fait que la question de la mobilité urbaine et du stationnement urbain prend place dans un espace particulier, à savoir l'espace urbain. Or le fait de s'intéresser spécialement à la question du stationnement urbain suppose de faire l'hypothèse que l'espace urbain possède des caractéristiques propres qu'il convient de prendre en compte. Dès lors, il est nécessaire d'avoir recours à une conception théorique de l'espace urbain et de mobiliser une analyse économique spatiale traitant spécifiquement de l'espace urbain.

Soit un ensemble E et d une application de E^2 dans \mathbb{R}^+ . Un espace métrique est le couple (E, d) dans lequel d vérifie les axiomes suivants

$$A_1 \quad \forall (x, y) \in E^2, d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$$

$$A_2 \quad \forall (x, y) \in E^2, d(x, y) = d(y, x)$$

$$A_3 \quad \forall x, y \text{ et } z \in E, d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$$

Ainsi, d est la distance (ou métrique) sur E , et le nombre $d(x, y)$ est la distance entre x et y (voir Auray *et al.*, 1997).

La distance euclidienne est l'application d de E^2 dans \mathbb{R}^+ telle que :

$$d(x, y) = \|xy\|$$

Encadré 7 : Espace métrique euclidien

1.2 : L'analyse économique spatiale urbaine

Le concept d'espace économique à présent défini, celui d'espace économique urbain nécessite maintenant d'être parfaitement délimité. C'est en effet sur cet espace précis que doit être analysée la mobilité urbaine. C'est donc sur cet espace que se produit le phénomène de fraude au stationnement urbain. Or, à la suite de Huriot et Perreux (1990), il semble bon de rappeler que le choix d'une représentation formelle de l'espace oriente la nature des résultats de l'analyse que cette représentation permet d'instaurer. Donc, une représentation de l'espace *lato sensu* ayant été choisie, il reste à en retenir une pour l'espace urbain. Du choix de la représentation de l'espace découle celui du cadre analytique de la mobilité urbaine.

Dans un premier temps, la conception de l'espace urbain retenue pour le raisonnement est exposée. Dans un second temps, l'économie urbaine, qui constitue le cadre théorique d'analyse de la mobilité urbaine, est présentée.

1.2.1 : Une conception de l'espace urbain et les raisons d'une analyse économique urbaine

L'espace urbain en termes économiques est une spécification de l'espace économique. Dès lors, la représentation simplifiée du comportement de fraude au stationnement urbain reposant sur l'espace urbain, elle est orientée par la conception de cette spécification de l'espace urbain. Rien cependant ne justifie *a priori* qu'il soit ainsi nécessaire de spécifier l'espace urbain. Il existe pourtant des raisons économiques véritables qui expliquent que l'analyse des phénomènes économiques inscrits dans l'urbain réclame d'être considérée sur la base d'un socle théorique spatial spécifique. Ainsi, après avoir explicité la conception de l'espace urbain retenue pour la suite du raisonnement, les raisons qui expliquent la nécessité de passer par une telle spécification sont rappelées.

1.2.1.1 : Le choix d'une représentation de l'espace urbain

Il n'existe pas de réel consensus pour définir la ville dans l'analyse économique (Bailly *et al.*, 1995). Plusieurs représentations font référence (voir Derycke, 1983). Toutefois, une

représentation clé peut être retenue. En partant de la conception de l'espace économique tel qu'il a été défini en amont, *la ville est résumée par l'octroi d'attributs typiques à certains lieux de l'espace*. L'espace constitué par ces lieux forme un espace spécifique, c'est-à-dire l'espace urbain. Ces attributs permettent de définir la ville comme un « espace où s'agglomèrent, se concentrent et s'organisent un nombre important et diversifié d'agents et d'activités » (Bailly *et al.*, 1995, p. 29). Cette spécificité donne à la ville un statut particulier pour l'analyse économique. Pour dire la même chose de manière plus formelle, la ville est un sous-ensemble des lieux du plan euclidien qui forment l'espace. Mais ces lieux sont cette fois singularisés par des attributs caractéristiques de l'urbain. C'est donc de nouveau un *continuum* de points, où chaque point est une localisation possible. Ce sous-ensemble est continu si, pour tout couple de lieux, il existe un itinéraire continu caractérisé par une surface, une distance, un ensemble de lignes et un ensemble de points. Dans cette représentation de la ville, l'espace est *homogène* pour chaque attribut qui le caractérise si, pour chaque attribut, celui-ci a la même valeur quel que soit le lieu considéré. L'homogénéité permet ainsi de supprimer toute variation spatiale entre les points. De plus, un espace urbain est *isotrope* si, en tout lieu, et pour chaque attribut, celui-ci a la même valeur à une distance donnée de celui-là et ce dans toutes les directions. Ainsi, par exemple, le coût du transport, à partir d'un lieu donné, est indépendant de la direction empruntée.

Si l'espace urbain est maintenant théoriquement délimité, rien cependant ne permet, à cet instant du raisonnement, de justifier le recours à une analyse économique spatiale spécifiquement orientée sur l'urbain.

1.2.1.2 : Les raisons d'une analyse économique urbaine

Le prétexte qui déclenche le recours à une analyse économique spatiale spécifiquement orientée sur l'urbain est la réponse à la question de savoir pourquoi la ville est un lieu particulier. Sa particularité vient du fait que la ville est un lieu où les agents économiques éprouvent un intérêt à se rencontrer. La raison principale vient de la présence en ce lieu particulier d'indivisibilités associées à l'organisation des marchés, et notamment, étant donné le poids de l'attribut représentant la densité d'agents économiques, à l'échelle de production qui s'y réalise. Cette organisation implique en ce lieu l'existence de *rendements croissants* (Koopmans, 1957 ; Thisse, 1996). Ainsi, les coûts fixes de production au lieu constitutif de la ville favorisent naturellement la concentration. Ils contribuent à doter ce lieu d'attributs particuliers qui représentent l'agglomération des agents et des activités. Cette explication rappelle le principe de Vidal de la Blache (1921) affirmant que dans toute société, les individus veulent se regrouper pour bénéficier des avantages de la division du travail.

En outre, une force centripète majeure réside dans la présence en ce lieu précis d'*externalités* de type marshallien. Ces externalités naissent de la densité d'agents et d'activités caractérisant l'espace urbain. La ville devient alors l'institution idéale pour le développement des relations sociales. En d'autres termes, pour Aydalot (1985, p. 292), « la ville est l'usage de la proximité entre agents », profitant de la présence de rendements d'échelle et d'externalités. Elle se caractérise notamment par la réduction de distances entre les points de l'espace ce qui permet de minimiser les coûts de transports

et d'exploiter les avantages de la concentration.

Lorsque cette conception de la ville est confrontée au modèle standard, elle confirme la conclusion que l'équilibre de concurrence pure et parfaite ne résiste pas à l'introduction de l'espace. La ville, caractérisée par ses attributs spécifiques, illustre de nouveau le fait que l'introduction de l'espace dans le modèle standard génère des imperfections au marché. Ainsi, la présence de rendements d'échelle et d'externalités, en un point précis de l'espace, c'est-à-dire la ville, confère à l'analyse économique spatiale urbaine la qualité d'être analysée par le prisme de l'économie de la concurrence imparfaite (Gabszewicz, Thisse, 1992 ; Gabszewicz, 1994).

Dès lors, chargé de ces propres attributs, l'espace urbain peut-être appréhendé comme un élément ayant un sens véritable d'un point de vue économique. La spécification de l'espace urbain pour l'analyse économique ne doit cependant pas en rester là. En effet, il n'a été question, jusqu'à présent, que de caractériser l'espace urbain comme une dimension ne pouvant rester neutre d'un point de vue de l'analyse économique. Or, eu égard aux motifs justifiant l'existence de la ville, l'espace urbain ne peut prétendre ne faire l'objet que d'une simple caractérisation en tant que dimension économique. Il doit être également le mobile pour le développement d'un cadre théorique d'analyse rompart, comme il vient d'être évoqué, avec le modèle économique standard.

1.2.2 : La nouvelle économie urbaine : cadre d'analyse de la mobilité urbaine

La raison pour laquelle l'économie urbaine, ou Nouvelle Economie Urbaine (NEU), est mobilisée pour l'étude du comportement de fraude au stationnement urbain est évidente. La fraude au stationnement urbain est un élément de la mobilité urbaine. Or, la mobilité urbaine s'inscrit naturellement sur l'espace urbain. Donc, l'analyse économique de la fraude au stationnement urbain, dont le cadre d'analyse est la mobilité urbaine, se réfère nécessairement au cadre théorique de l'analyse économique urbaine. En effet, faire une analyse de la mobilité urbaine nécessite que soient considérés les attributs de l'espace propres à l'urbain. Donc, il est logique de choisir l'économie urbaine comme cadre d'analyse de la mobilité urbaine et par voie de conséquences, comme cadre d'analyse du comportement de fraude au stationnement. Partant, sans qu'il s'avère pertinent de reprendre ici l'intégralité des développements de l'économie urbaine, il paraît utile de signaler la portée et les limites de la NEU.

Les principes généraux de l'économie urbaine sont tout d'abord présentés avant qu'un certain nombre de remarques soient soulevées permettant de juger de la pertinence du choix de l'économie urbaine comme cadre théorique d'analyse de la mobilité urbaine.

1.2.2.1 : Les principes généraux

Le corpus théorique de l'analyse économique centrée sur l'espace urbain s'élabore depuis les années 50, époque où, aux Etats-Unis, la croissance urbaine a réellement commencé à poser des problèmes de gestion de la ville. Il est alors devenu urgent de produire des outils et un cadre d'analyse théorique des phénomènes économiques pris dans un contexte spatial urbain. La *Nouvelle Economie Urbaine* s'est ainsi développée. Elle s'est donnée comme objectif d'élaborer les outils d'analyse économique des

phénomènes caractéristiques de l'espace urbain.

La NEU naît de la transposition, dans le cadre de l'analyse néo-classique, de l'analyse de la fonction d'enchères foncières de Von Thünen (1826) à l'espace urbain, par Alonso (1964), Muth (1969) et Solow (1973). La version la plus achevée du modèle est présentée par Fujita (1989) et Papageorgiou (1990). Le principe de base de la NEU est de considérer l'espace urbain comme un élément non neutre pour le choix économique de localisation des agents. Pour y parvenir, une valeur est affectée au sol urbain en dessinant une courbe de rente foncière urbaine fonction de la distance au centre urbain. Les agents effectuent alors leur choix économique de consommation d'espace, c'est-à-dire de localisation, en prenant en compte de manière simultanée leur localisation par rapport au centre et la surface consommée. Pour résumer, Richardson (1977) qualifie le corpus théorique de la NEU comme « les théories économiques urbaines basées sur la recherche d'un équilibre à partir d'un principe de maximisation de l'utilité dans une ville dimensionnelle ». A la différence des modèles de choix résidentiel, la portée de la NEU est plus large puisqu'elle recherche les conditions de l'équilibre statique urbain, c'est-à-dire de configuration optimale de la ville en tenant compte de la forme du réseau de transport ou des externalités. C'est une analyse statique dans la mesure où elle présente une vue instantanée où toutes les variables constituant la ville sont définies en même temps.

La NEU repose sur un certain nombre d'hypothèses formant le socle du modèle de base (pour une présentation synthétique, voir Derycke, 1996). Elle suppose une ville fermée, circulaire, unidimensionnelle, réduite à un segment de droite entre le centre et la périphérie, et monocentrique, dont le centre est sans épaisseur. Le centre regroupe tous les emplois affectés à des activités autres que la production de logements ou de services résidentiels. L'espace est supposé isotrope et radial. C'est un *continuum* sans ruptures dont les distances sont certaines et précises. Le modèle ne considère qu'un seul mode de transport et pas de congestion. Le coût de transport est fonction de la distance au centre. Il n'existe qu'un seul type d'agents, le ménage, réduit à un seul actif qui consomme de l'espace. Sa fonction d'utilité possède deux arguments : la quantité d'espace au sol et la quantité d'autres biens dont le prix n'a pas de réalité spatiale (en général, on parle de bien composite). Les goûts des ménages et leurs revenus sont supposés homogènes. L'utilité d'un agent est relative à l'intensité de ses relations sociales affectée négativement par la distance moyenne le séparant des autres agents et négativement par l'encombrement du sol (Beckmann, 1976 ; Papageorgiou, Smith, 1983). La délocalisation des agents est instantanée et sans coûts. Pour Zoller (1988), le modèle suppose une « métropole instantanée ». Il n'existe pas, dans la version initiale du modèle, d'externalités ni d'interactions entre agents. Il existe trois facteurs de production : le sol, le travail et le capital. Il existe trois types de biens : les logements et les services résidentiels dont les prix varient avec la distance au centre, les biens courants (ou bien composites) dont les prix ne sont pas affectés par l'espace et les services de transport. Par hypothèse, les marchés sont concurrentiels. L'information est gratuite et parfaite.

Le cadre formel de l'économie urbaine étant posé, quelques remarques peuvent être faites sur le modèle qui justifie, dans un premier temps, le recours à une analyse de la mobilité urbaine, et dans un deuxième temps, le choix de conserver la logique globale de

ce cadre théorique comme le socle théorique sur lequel repose l'analyse de la mobilité urbaine, donc de la fraude au stationnement.

1.2.2.2 : Quelques remarques sur le choix de la nouvelle économie urbaine comme cadre d'analyse de la fraude au stationnement

Quatre remarques sur ces hypothèses légitiment de considérer la NEU comme le cadre d'analyse de la mobilité urbaine, et dans ce cadre, d'analyse de la question de la fraude au stationnement.

Une première remarque porte sur la pertinence de négliger ainsi la congestion. Solow (1972) montre par exemple qu'il existe un réel lien entre la congestion du réseau de transport et la modification du système d'enchères foncières. En effet, s'il y a congestion, l'allocation de l'espace urbain réservé à la voirie pour absorber la congestion modifie la quantité d'espace disponible pour la localisation des agents. Cette conclusion va dans le sens d'appréhender la congestion dans le modèle de base en considérant, par exemple, des fonctions de coûts de transport intégrant la congestion (Vickrey, 1969).

Donc, si un développement du modèle de base est de considérer la possibilité d'une congestion sur le réseau de transport, alors, pour qualifier la congestion, il est tout naturel de recourir à l'analyse de la demande de déplacements urbains. L'analyse de la mobilité urbaine est ainsi justifiée dans le cadre de l'économie urbaine. De surcroît, s'il est naturel de recourir à l'analyse de la demande de déplacements urbains, il semble donc normal que la question du stationnement soit également abordée. Pour illustrer, il peut être supposé que la congestion portant sur l'espace affecté au stationnement a des conséquences sur l'espace alloué au transport, tant, bien entendu, en termes d'espace alloué au stationnement, que d'espace affecté au déplacement. Par contrecoup, la congestion de l'espace de stationnement se répercute sur l'espace disponible pour la localisation des agents. La congestion sur le stationnement doit donc être prise en considération dans la fonction de coût de transport.

Partant, la question de la prise en compte de la congestion étant impérieuse pour l'analyse économique urbaine, il y a tout lieu de penser que l'intérêt porté à la mobilité urbaine soit justifié dans le cadre de l'économie urbaine. En outre, si cette dernière conclusion se révèle évidente, alors l'analyse de la congestion du stationnement se révèle tout autant cruciale pour l'analyse économique urbaine.

Une deuxième remarque vient de l'hypothèse de ne considérer qu'un seul mode de transport dans le modèle de base. Certains développements proposent d'introduire une concurrence modale (Capozza, 1973). Ce type de modélisation pêche cependant par la complexité d'aborder plusieurs modes de transport avec des niveaux de congestion différents. En revanche, il permet de souligner que, s'il semble préférable pour l'instant d'en rester à l'hypothèse d'un seul mode de transport, il est intéressant cependant de décrire plusieurs types de congestion. Par-là, il permet donc de soulever la question de l'étude des politiques de régulation de la congestion (Derycke, Gannon, 1990). De nouveau, l'enjeu d'une bonne connaissance de la demande de déplacements urbains, comprenant bien entendu l'étude du stationnement, dans le cadre de l'analyse économique urbaine, est mise en évidence.

Une troisième remarque concerne la présence d'externalités. Dans les développements du modèle de base de l'économie urbaine, l'hypothèse niant l'existence d'externalités est très vite levée. En effet, en écartant la présence d'externalités, c'est l'existence même de la ville qui est remise en cause. C'est pourquoi, qu'elles soient positives et permettent de justifier la force d'agglomération qui caractérise l'espace urbain, ou qu'elles soient négatives et accèdent la force centrifuge qui peut expliquer le développement de la périurbanisation, les externalités doivent être introduites dans l'analyse économique spatiale urbaine. Leur existence justifie une discussion sur la régulation de la demande de transport dans le cadre de l'économie urbaine puisque, par externalités négatives, il convient entre autres d'entendre les effets externes générés par les déplacements, tant d'un point de vue environnemental que d'un point de vue d'écoulement de la demande de transport.

Enfin, une dernière remarque intéresse la nature de l'information. En effet, l'hypothèse d'une information imparfaite, c'est-à-dire de l'existence d'une incertitude portant sur les choix des agents, a été introduite dans le modèle de base par Webber (1972), Andrulis (1982), Salvo et Eekhoudt (1982), Alperovitch et Katz (1985) ou encore Gannon (1992). L'idée est de considérer une incertitude sur les prix et les coûts tout d'abord, sur les revenus ensuite, et d'étudier l'impact de l'incertitude et du comportement face au risque sur les coûts ou sur le revenu des agents sur le choix de localisation. L'introduction de l'incertitude amène à reconsidérer les modèles de localisation sur l'espace urbain à l'aide, notamment, des modèles de choix discret (de Palma, Thisse, 1989). Sans aller plus loin, il peut être souligné que la possibilité de lever l'hypothèse d'information parfaite du modèle de base de l'économie urbaine légitime de nouveau l'analyse de la demande de déplacements urbains dans le cadre de l'économie urbaine. En effet, l'incertitude portant sur les temps de transport modifie la structure des fonctions de coût de transport. Elle a donc un impact sur le choix modal, donc sur la congestion. Il est alors bien évident que l'analyse de la demande de déplacements urbains dans un contexte d'incertitude s'avère nécessaire pour enrichir l'analyse économique urbaine traditionnelle. Notamment, pour illustrer directement sur la question de la fraude au stationnement, en considérant la fraude comme le résultat d'un comportement de choix face à l'incertitude d'être sanctionné, il paraît légitime de penser que l'incertitude a évidemment des répercussions sur le choix de frauder, mais également, sur le choix modal, donc sur la congestion et au global, sur le choix de localisation des agents.

Ces remarques portant sur le modèle de base ne remettent pas en cause la portée de l'économie urbaine. Au contraire, elles ambitionnent de lui donner une vertu plus explicative des phénomènes économiques marqués par l'espace urbain. En revanche, elles justifient la nécessité d'analyser la mobilité urbaine dans le cadre de l'analyse économique urbaine. Or, eu égard au concept de stationnement comme élément constitutif du déplacement, donc de la mobilité urbaine, elles accèdent de mener une analyse du stationnement, en particulier, de la fraude au stationnement. Dès lors, elles autorisent à considérer le modèle de base de l'économie urbaine comme le cadre théorique d'analyse de la mobilité urbaine.

La fraude au stationnement s'inscrit dans le cadre de la mobilité urbaine. Par conséquent, l'analyse du comportement de fraude au stationnement relève de l'analyse

de la mobilité urbaine. Or, en termes économiques, l'analyse des phénomènes urbains, tels que la mobilité urbaine, recourt, dans le cadre des développements du modèle standard, à l'économie urbaine. L'économie urbaine, en se dotant d'une conception de l'espace, se donne une représentation de l'espace urbain qui constitue le socle théorique de l'analyse économique urbaine. Dès lors, le stationnement étant un élément du déplacement, donc de la mobilité urbaine, l'analyse de la fraude au stationnement urbain procède en toute logique de l'économie urbaine. Ainsi, l'analyse de la fraude au stationnement repose sur une définition de la représentation de l'espace urbain compatible avec l'économie urbaine. Elle prend place dans le cadre des développements récents de l'économie urbaine qui introduisent les phénomènes de congestion, les externalités et l'incertitude. Les développements du Chapitre 2 ont montré en quoi la fraude au stationnement a un impact sur le niveau de congestion urbaine et participe à la production d'externalités négatives. En outre, le comportement de fraude au stationnement est un comportement de mobilité marqué par l'incertitude d'être sanctionné. Par conséquent, en rapport avec la congestion, la présence d'externalités et de l'incertitude, la fraude au stationnement, en tant que phénomène inscrit dans l'urbain, ressort des développements de l'analyse économique urbaine.

Le dernier point sur l'incertitude nécessite un outil d'analyse économique spécifique. En réalité, en termes économiques, la fraude au stationnement urbain relève d'un comportement de type criminel, dans le sens où il se matérialise par le non-respect d'une règle. Nécessairement, le comportement qui consiste à ne pas respecter certaines règles édictées par la loi encourt le risque d'être sanctionné. Fondée sur l'analyse de la décision individuelle en univers risqué, l'analyse économique des comportements criminels constitue le deuxième outil théorique mobilisé dans l'analyse.

2. L'économie des comportements criminels

L'analyse économique du comportement de fraude au stationnement repose sur un socle théorique abordant l'espace urbain en termes économiques. A cet égard, elle s'insère dans les développements récents de l'économie urbaine, en particulier, lorsque ces développements abordent l'introduction de l'incertitude dans le modèle de base de la nouvelle économie urbaine. Or, le comportement de fraude au stationnement retrace une situation de choix économique dans un environnement risqué quant à la possibilité pour de décideur d'être détecté et sanctionné. Dès lors, la présentation des principes théoriques de l'introduction du risque dans l'analyse économique standard est nécessaire.

L'économie est la science qui étudie les comportements des individus dans leur utilisation des ressources rares. Dans un environnement risqué, l'étude des comportements devient l'analyse de la décision dans un univers pour lequel l'information à disposition des agents est imparfaite. L'hypothèse fondamentale qui permet d'étudier ces comportements reste la rationalité. Ainsi, en considérant le comportement de fraude comme le résultat d'une décision rationnelle dans un environnement risqué, il est pertinent d'approcher la question de la fraude au stationnement par l'analyse économique de la criminalité. En effet, l'analyse économique du crime représente la décision pour un acte délictueux comme le résultat d'un calcul coûts - avantages dans un environnement risqué.

Dans un premier temps, les principes théoriques de l'analyse de la décision dans un environnement risqué sont rappelés. L'objet de la théorie, les hypothèses et les outils d'analyse sont alors présentés. Dans un deuxième temps, l'analyse économique du crime est abordée. Le modèle de base et les principales conclusions théoriques nécessaires à l'analyse du comportement de fraude au stationnement sont déclinés.

2.1 : Quelques enseignements de la théorie économique de la décision individuelle face au risque

L'approche analytique du comportement de fraude au stationnement repose ici sur les développements théoriques de l'économie du crime. L'analyse économique du crime considère que l'agent se comporte de manière rationnelle. Il décide de commettre ou de ne pas commettre de forfait dans le seul but de tirer de son action la meilleure satisfaction au regard des contraintes de son environnement, sans considérer *a priori* de dimension morale dans son choix. L'hypothèse d'information parfaite est levée par rapport au cadre du modèle Arrow - Debreu. L'information imparfaite caractérise l'issue de sa décision de commettre le délit. Dès lors, l'analyse économique du crime est construite sur les principes théoriques fondant l'analyse de la décision individuelle dans un environnement risqué.

Dans un premier temps, un rappel sur le concept de rationalité dans le modèle microéconomique est proposé. Dans ce cadre théorique, il est discuté du rôle des sentiments moraux. Dans un deuxième temps, les outils théoriques fournis par l'analyse du choix individuel dans un environnement risqué sont exposés.

2.1.1 : L'hypothèse de rationalité et les sentiments moraux

« Si tout sur terre était rationnel rien ne se passerait ». (Fedor M. Dostoïevski)
« - Croyez-vous, dit Candide, que les hommes se soient toujours mutuellement massacrés comme ils font aujourd'hui ? qu'ils aient toujours été menteurs, fourbes, perfides, ingrats, faibles, volages, lâches, envieux, gourmands, ivrognes, avarés, ambitieux, sanguinaires, calomnieux, débauchés, fanatiques, hypocrites et sots ? – Croyez-vous, dit Martin, que les éperviers aient toujours mangé des pigeons quand ils en ont trouvé ? – Oui, sans doute, dit Candide. – Eh bien ! dit Martin, si les éperviers ont toujours eu le même caractère, pourquoi voulez-vous que les hommes aient changé le leur ? – Oh ! dit Candide, il y a bien de la différence, car le libre arbitre... » (Voltaire, *Candide ou l'Optimisme*)
« Il n'y a qu'une réponse possible. De deux plaisirs, s'il en est un auquel tous ceux ou presque tous ceux qui ont l'expérience de l'un ou de l'autre accordent une préférence bien arrêtée, sans y être poussés par un sentiment d'obligation morale, c'est ce plaisir là qui est le plus désirable. » (J.S. Mill, *L'utilitarisme*)

L'objet de la science économique est d'étudier le comportement d'utilisation des ressources rares, sous contraintes, par des agents poursuivant des objectifs (Malinvaud, 1982). D'un point de vue scientifique, l'étude n'est possible qu'à la condition de réduire l'économique et de poser un certain nombre d'hypothèses. Dans l'approche microéconomique, l'hypothèse de base qui fonde le comportement de l'agent économique, l'*homo oeconomicus*, est la *rationalité* (voir Encadré 8). L'agent rationnel est

dit optimisateur, c'est-à-dire qu'il maximise une fonction objectif sous contrainte. Caractérisé par un ensemble de préférences, il choisit les actions qui lui permettent de maximiser sa fonction objectif tout en respectant les contraintes qui limitent son champ des possibles.

La rationalité du comportement du consommateur suppose que l'agent est capable d'évaluer ses préférences sur les paniers de biens constituant un échantillon des consommations possibles rationnellement structurées. Les préférences sont représentées par un préordre complet total sur les relations binaires entre les paniers de biens à disposition de l'agent.

Sur une relation binaire 'préférè ou indifférent à' portant sur un ensemble de trois paniers de biens $\{x, y, z\}$ disponibles pour le consommateur, la relation vérifie un préordre complet total et seulement si sont satisfaites les trois hypothèses suivantes :

- hypothèse de complétude (l'agent est capable de classer tous les paniers de biens deux à deux) :

- x est préférè ou indifférent à y ou y est préférè ou indifférent à x ;
- x est préférè ou indifférent à z ou z est préférè ou indifférent à x ;
- y est préférè ou indifférent à z ou z est préférè ou indifférent à y ;

- hypothèse de réflexivité (un panier de biens est indifférent à lui-même)

$$x \text{ est préférè ou indifférent à } x$$

- hypothèse de transitivité (le classement deux à deux des paniers de biens est cohérent) :

$$x \text{ est préférè ou indifférent à } y \text{ et } y \text{ est préférè ou indifférent à } z \text{ alors } x \text{ est préférè ou indifférent à } z$$

Sur cette hypothèse, qui définit un préordre complet total sur la relation binaire de préférence sur les paniers de biens, l'ensemble des consommations possibles est un ensemble ordonné.

La relation de préférence est alors représentée par une fonction d'utilité U , continue, croissante, deux fois différentiable, mesurant analytiquement la mesure du degré de préférence des agents, et seulement si

$$x \text{ est préférè ou indifférent à } y \Leftrightarrow U(x) \geq U(y)$$

Il est possible de représenter, en montrant en relation le niveau de consommation du bien y en fonction du niveau de consommation du bien x , une courbe d'indifférence constituée de tous les paniers procurant à l'agent un même niveau d'utilité. Pour un niveau d'utilité donné, il est donné deux paniers de biens justes équivalents ou préférés à un panier de biens situé sur la courbe d'indifférence, tout panier de biens composé à partir de ces deux paniers par des biens est également jugé préférè ou équivalent au panier situé sur la courbe d'indifférence. Autrement dit, l'ensemble de consommations contenant les paniers préférés ou équivalents au panier situé sur la courbe d'indifférence est convexe, ce qui signifie qu'à niveau d'utilité équivalent, les hypothèses de rationalité du comportement du consommateur entraînent que les préférences sont convexes.

Encadré 8 : Le concept de rationalité du consommateur

Pour reprendre Frydman (1992), le concept de rationalité est ainsi le « fil conducteur » de l'économie. Il a notamment un rôle central pour l'économie normative, en particulier en ce qu'il assure l'existence d'un optimum. Néanmoins, dans le cadre de l'analyse microéconomique, le but n'est pas de savoir comment sont forgés les objectifs que se fixent les agents, mais il est d'analyser comment les agents mettent en oeuvre une procédure pour atteindre le mieux possible avant de réaliser la relation marchande (Benetti, Cartelier, 1994).

Le raisonnement standard admet qu'il est légitime de penser que les individus n'agissent pas dans la réalité comme des agents maximisateurs. L'hypothèse principale

de l'analyse microéconomique est cependant de poser que les individus agissent *comme si* ils maximisaient leur fonction objectif. Sur cette base, le concept de rationalité permet d'établir les conditions d'équilibre du marché³⁷. L'hypothèse de rationalité procure ainsi à la théorie microéconomique du comportement des agents une portée normative en ce qu'elle prétend prescrire aux agents ce qu'ils doivent faire pour atteindre leur but de la manière la plus efficace ou de la manière la moins coûteuse (Elster, 1986).

Le principe de maximisation qui fonde la rationalité s'inscrit dans la droite ligne de l'*utilitarisme* de Bentham (1815) ou J.S. Mill (1848). L'utilitarisme repose sur trois grands principes (Berthoud, 1994). Le premier principe est le *calcul de la décision* ou « intelligence technique ». Il pose que toute action humaine est tout d'abord précédée d'un choix, puis d'une délibération, et enfin, d'une relation claire et cohérente du décideur à ses préférences. Il est aisé de repérer ici en quoi le concept de rationalité relève bien de l'utilitarisme, notamment dans la définition d'un préordre complet total sur les préférences de l'agent qui le conduit à opérer ses choix économiques. Le deuxième principe est la *morale du bonheur*. Il avance que tout bonheur se définit en termes de bonheur individuel comme la réalisation du désir. Dans cette logique du bonheur, la morale ne juge que la compatibilité de l'action mise en oeuvre par l'acteur pour atteindre le bonheur. Dans cette conception de la morale, la notion de bon ou de mauvais n'a d'équivalent que celle d'utile ou d'inutile. Le troisième principe est l'*éducation morale par la discussion*. Il pose que la discussion et la justification des décisions sont le fondement de la correction des objectifs et des moyens mis en oeuvre pour atteindre ces objectifs. Autrement dit, une mauvaise décision ou une décision injuste ne tient pas lorsqu'il s'agit d'en apporter une argumentation raisonnable. Dans la doctrine utilitariste, pour atteindre le classement des composantes du bonheur, le décideur individuel use d'un outil commun à l'ensemble des individus : *la rationalité instrumentale*. Cet outil est le concept de base de l'analyse des comportements dans la théorie microéconomique. C'est sur cette définition de la rationalité instrumentale que se fonde l'analyse économique du crime. S'agissant des comportements criminels, la question reste de savoir comment appréhender une dimension relative à la morale.

L'utilitarisme contient une notion de morale de responsabilité et de la conséquence. Elle diffère diamétralement d'une morale « conservatrice du devoir » (Berthoud, 1994, p. 106) fondée sur des codes de conscience naturels. La morale dans l'utilitarisme vient de la définition du bonheur qui diffère de la perfection mais qui, par le calcul et l'évaluation des fins et des moyens, s'entend comme un mouvement, c'est-à-dire un passage d'un état à un autre. Ainsi, l'« utilitarisme est une morale de la maximisation du bonheur dans

³⁷ Néanmoins, l'évidente limitation des capacités cognitives des agents économiques conduit à passer d'une rationalité totale, rationalité substantielle, ou encore rationalité instrumentale, pour laquelle l'agent dispose de la connaissance du tout et maximise une fonction d'utilité sous contrainte, les conditions du choix étant données, à une rationalité limitée, ou rationalité procédurale (Simon, 1982). Le concept de rationalité limitée prend acte du caractère incomplet des capacités cognitives des agents. Il repose sur le postulat que l'agent ne peut avoir une connaissance absolue de l'environnement économique. L'hypothèse est alors que l'agent recherche les conditions du choix économique, donc élabore une construction du domaine du choix (Frydman, 1992). La rationalité de procédure suppose que le comportement de l'agent est le résultat d'un processus de décision approprié, qui conduit à prendre une bonne décision plutôt que de gaspiller des ressources à chercher la bonne décision. L'introduction du concept de rationalité procédurale explique le foisonnement de modèles de rationalité limitée en économie (Laville, 1998).

l'exercice commun de la rationalité instrumentale » (Berthoud, 1994, p. 106). Cette conception est retrouvée chez Boudon (1996) qui montre que les croyances morales peuvent être fondées sur des raisons solides reposant sur une théorie rationaliste. La responsabilité du bonheur pour tous relève de l'Etat chez Bentham, ou de la décision individuelle chez Mill.

A la suite des réflexions de Shaftesbury en 1699 dans *Inquiry Concerning Vertue* (Jaffro, 2000), il ne convient plus d'adjoindre au *sens moral* une connotation sentimentale, mais d'y inclure une opinion rationnelle. La moralité est alors rapportée à la notion de goût. C'est en outre un principe pratique. En d'autres termes, la morale devient un « goût pratique » (Jaffro, 2000, p. 24). Le sens moral est doté par Hutcheson en 1725 dans *Inquiry into the Original of our Ideas of Beauty and Vertue* d'une dimension analytique, l'*utilité*, qui est une règle du choix préférentiel. C'est alors la notion d'avantage qui définit le bien. Cette conception est vivement remise en cause par Bentham (1815) qui récuse le recours au concept de sens moral dans la mesure où la moralité n'a pour objet, dans cette philosophie, que de rationaliser la dimension morale de l'action dans l'unique objectif de justifier l'action. Pour Bentham, l'action doit être réduite, d'un point de vue utilitariste, en un seul calcul de plaisir et de douleur (Cléro, 2000). En se réclamant du sens moral, l'agent se dispense ainsi du calcul de la quantité de bonheur que procure l'action et justifie néanmoins cette action. L'utilité seule suffit alors à contenir la morale. Bentham, ainsi que Hume (1741), affirment qu'en aucune manière, le sentiment de justice ou d'injustice, de bien ou de mal, ne peut supplanter le calcul du plaisir et du déplaisir. Ainsi, à sens moral, Hume (1741) puis Smith (1759), dans une perspective utilitariste, substituent le concept de *sympathie* comme une conception symbolique de la moralité, fondement véritable du sens moral³⁸.

Dès lors, l'analyse économique du crime fondée sur la théorie microéconomique suppose qu'à toute connotation morale, l'agent étant supposé rationnel, il convient de substituer les règles de calcul utilitariste comme fondement de la décision de l'agent commettant un forfait. Sur cette base, il reste à décrire l'outil théorique abordant la question de la décision individuelle.

2.1.2 : Les outils économiques d'analyse d'un problème de décision individuelle dans un environnement risqué

L'objectif de ce point est uniquement de présenter les grands traits de la théorie de la décision de sorte à doter l'analyse du comportement de fraude des outils théoriques nécessaires dans une perspective d'analyse économique du crime. Dans un premier

³⁸ Il ne faut cependant pas conclure que la réduction des sentiments moraux dans la doctrine utilitariste ôte toute dimension éthique à l'analyse économique. Sen (1987) montre en effet que le comportement égoïste des agents, leur intérêt personnel, que Smith (1776) présente comme le comportement des individus dans une relation d'échange qui permet d'accroître la richesse globale, ne peut en aucun cas être confondu avec la notion de « maîtrise de soi » selon laquelle l'homme appartient à une communauté dans l'intérêt de laquelle « il devrait à tout instant être disposé à sacrifier son propre intérêt » (Smith, 1759). Le sentiment moral est alors, pour Smith, « un homme intérieur », un spectateur impartial en chacun des individus qui juge ce que l'individu fait selon le point de vue d'autrui. La rationalité instrumentale n'exclut donc pas que la recherche de l'intérêt personnel puisse coïncider avec la considération d'autrui (Vergara, 1995).

temps, il est présenté le principe général de la théorie de la décision en avenir risqué. Dans un deuxième temps, il est proposé de décrire, à l'aide des concepts théoriques appropriés, la démarche de résolution d'un problème de décision.

2.1.2.1 : Une présentation de la théorie de la décision

La théorie de la décision se propose de forger les outils analytiques permettant d'expliquer le comportement d'un décideur économique. Dans le modèle Arrow - Debreu, le consommateur détient toute l'information relative à l'environnement de son choix de consommation. Dès lors, il exprime une décision de consommation cohérente avec l'hypothèse de rationalité qui le caractérise et relativement aux contraintes qui composent son environnement. *A priori* donc, les conséquences de son choix sont clairement identifiées. L'agent évolue dans un environnement certain. Cependant, dans la réalité, les situations pour lesquelles les conséquences des choix des agents économiques sont connues sans aucune ambiguïté sont rares. Dès lors, l'analyse économique se doit de s'élargir à l'analyse des situations économiques pour lesquelles l'environnement est chargé d'incertitude. Elle aborde ainsi l'analyse de la décision économique des agents lorsque l'issue des choix qu'ils opèrent n'est pas parfaitement connue. La théorie de la décision offre donc un énoncé des principes théoriques qui permettent d'aborder la question de la décision des agents dans un environnement risqué.

Les premières réflexions portant sur les problèmes de compréhension de la décision des individus datent du xvii^e siècle lorsque Pascal s'interroge sur les motivations de l'entrée en religion chrétienne ou que le chevalier de Méré explore les questions des jeux de hasard. Cette entrée par la résolution des jeux de hasard pour comprendre les problèmes de décision en présence de risque se développe au xviii^e siècle avec notamment la contribution de D. Bernoulli (1738) sur l'exemple du Paradoxe de Saint-Petersbourg (voir Kast, 1993 et Munier, 1995a).

L'intérêt pour la question de l'analyse de la décision en économie s'affirme à partir des années 50 où le nombre de contributions se multiplie. Si la référence en la matière reste l'ouvrage de Luce et Raiffa (1957), les développements de la théorie de la décision doivent grandement à *la théorie de l'utilité espérée* proposée par Von Neumann et Morgenstern (1944), ainsi qu'aux travaux de Wald (1950) et Savage (1954) qui font le lien entre les fondements de la statistique et des probabilités et la décision. De sorte que la théorie de la décision devient le socle théorique des outils d'aide à la décision des individus et des organisations (voir Nadeau, Landry, 1986)

L'objet de la théorie de la décision peut se décliner selon deux perspectives (Munier, 1995a). Dans une première perspective, la théorie de la décision possède une finalité normative en ce qu'elle a pour objectif d'aider les agents à former leur choix économiques. Il s'agit alors de déterminer la conduite optimale de l'agent au regard de ses objectifs, de ses moyens et de son environnement. Elle se fonde alors sur une axiomatique sur la base de laquelle il est possible d'élaborer un raisonnement hypothético-déductif et de fournir au décideur, toutes choses égales par ailleurs, les orientations à prendre au regard de ses objectifs. Dans une seconde perspective, la théorie de la décision a une visée descriptive. Son ambition est de représenter les

comportements des agents dans les systèmes dans lesquelles ils sont amenés à prendre des décisions. Elle décrit la façon dont les individus agissent de sorte à identifier les caractères de leur rationalité et de pouvoir prévoir leur décision rationnelle dans un environnement donné. Sur la base de cette analyse dichotomique des objectifs de la théorie de la décision, il demeure possible d'apporter une définition. « La théorie de la décision se fonde sur un ensemble de descriptions des problèmes de décision à partir desquelles des analyses cohérentes peuvent être menées ; elle propose des principes sur lesquels des critères de sélection sont construits et des solutions sont proposées » (Kast, 1993, p 7). Cette définition permet d'avancer une synthèse sur la portée de la théorie de la décision, mais elle ne lève pas l'ambiguïté soulevée par Munier (1995a) sur la difficulté, voire le danger, de faire se rejoindre les deux perspectives (voir sur ce point un développement de Boursin, 1996).

Avant d'aborder concrètement le formalisme de la théorie de la décision, il convient d'évacuer la distinction qui peut être faite entre risque et incertitude. La distinction est introduite par Knight (1921) selon que, au moment de prendre sa décision, les probabilités d'apparition d'un état de l'environnement sont données à l'agent ou lui restent inconnues. Lorsque les probabilités sont connues par l'agent quand il prend sa décision, l'environnement de l'agent est dit risqué ou avenir aléatoire. L'agent est alors dans un environnement où l'aléa est *mesurable*, ou probabilisable, ce qui ne pose pas de problème quant à l'analyse. Les probabilités sont *objectives* ce qui signifie que la distribution de probabilité est inhérente à la description du problème de décision. Lorsque les probabilités ne sont pas connues au moment où l'agent prend sa décision, alors le problème de la décision est dit incertain, ou avenir *non mesurable*. L'analyse devient complexe tant le nombre d'hypothèses qui peuvent être faites sur les croyances subjectives des individus quant aux probabilités d'apparition de l'événement est redoutable pour l'analyse. Pour sortir de cette impasse, la *théorie des probabilités subjectives* récuse la distinction entre risque et incertitude. Elle propose une axiomatique sur les préférences qui permet d'aborder tout problème de décision économique dans une perspective mesurable (Savage, 1954 ; Anscombe, Aumann, 1963). Cette théorie est au demeurant très pratique puisqu'elle offre la possibilité d'analyser nombre de problèmes réels pour lesquels les probabilités sont rarement données. Elle propose ainsi de réduire toute incertitude en un risque en utilisant les croyances exprimées par les agents quant aux événements à venir comme des probabilités. L'idée est de poser que les croyances sur les probabilités sont révélées par le comportement de choix des agents. Ainsi, elle suppose que les agents font des jugements quant aux chances qu'un événement se réalise. Elle fait donc l'hypothèse que les choix sont opérés *comme si* les individus avaient des croyances probabilistes. Même si les probabilités d'occurrence des événements ne sont pas connues, il suffit de faire des restrictions pertinentes sur les préférences qui permettent de dire que les agents se comportent *comme si* des utilités étaient affectées aux conséquences, des probabilités étaient attachées aux événements incertains, et les décisions étaient prises au regard des utilités espérées. Alors, il peut être défini une distribution de probabilité subjective inhérente aux états de la nature. Les probabilités subjectives sont alors des éléments de la représentation des préférences des agents. Or, le problème lié à l'incertain n'existe plus puisqu'en économie, d'après la Doctrine d'Harsanyi, deux individus qui ont accès à la même information forment nécessairement

les mêmes probabilités subjectives (voir Kreps, 1990).

Dès lors, tout problème de choix dans un environnement incertain pouvant être ramené à un problème de choix risqué, les principes de résolution analytique d'un problème de décision sont à présent abordés.

2.1.2.2 : L'analyse d'un problème de décision en avenir risqué

2.1.2.2.1 : La modélisation d'un problème de décision

L'énoncé d'un problème de décision recouvre les caractéristiques suivantes (Martel, Nadeau, Gbodossou, 1986) :

le décideur désigne un agent économique individuel dont le problème et l'ensemble des actions possibles sont bien identifiés ;

le problème est décomposable en problèmes de décisions élémentaires qui peuvent être recomposés pour donner le problème de départ ;

le décideur est capable et doit évaluer les conséquences de ses actions et leur assigner des probabilités ;

le décideur est un agent économique rationnel et doit à ce titre choisir l'action optimale. Pour opérer son choix, il se donne une règle de décision.

Un problème de décision doit donc poser clairement la nature et ses états qui rendent compte du risque, les actions à disposition de l'agent, les conséquences ou résultats issus de chaque décision dans chaque état de la nature, et une règle de décision suivant la définition d'un critère de choix³⁹.

Soit $Z = \{\zeta_1, \dots, \zeta_j, \dots, \zeta_n\}$ l'ensemble fini des états de la nature ;

Soit $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_m\}$ l'ensemble fini des actions possibles ;

Soit $C = \{C_{1,1}, \dots, C_{i,j}, \dots, C_{m,n}\}$ l'ensemble fini des conséquences.

Soit (Z, Θ, η) un espace probabilisé qui représente l'espace des états de la nature. $\zeta \in Z$ est une description complète des variables exogènes du modèle. L'ensemble Θ est l'ensemble des parties mutuellement exclusives de Z . Un événement est un sous-ensemble E de Z . η est une mesure de probabilité sur les événements de Θ .

Une action a est une application de (Z, Θ, η) dans l'espace des conséquences C , équivalent à 3 pour représenter les conséquences sous forme monétaire. Chaque action induit une mesure de probabilité p sur les conséquences. Si chaque action est définie

³⁹ La présentation s'inspire ici largement des contributions de Kreps (1990), Laffont (1991), Mas-Colell, Whinston, Green, (1995), Varian (1995) et Jokung-Nguéna (1998).

comme un billet de loterie, une loterie est alors la distribution de probabilité sur 3 induite par le billet de loterie.

L'ensemble des informations relatives à ce problème de décision est représenté dans une matrice d'information :

Événement de la nature	C_1	·	C_j	...	C_n
actione					
a_1	$C_{1,1}$	·	$C_{1,j}$...	$C_{1,n}$
...	..	·
a_2	$C_{2,1}$	·	$C_{2,j}$...	$C_{2,n}$
...	..	·
a_m	$C_{m,1}$	·	$C_{m,j}$...	$C_{m,n}$

Le problème de décision de l'agent revient à la détermination dans cette matrice de la meilleure action possible conformément au critère de choix que l'agent se donne. L'application d'un critère de choix sur les conséquences conduit à classer les conséquences de la meilleure à la moins bonne, relativement au critère de choix. En remontant du classement des conséquences à l'ensemble des actions possibles, l'agent détermine l'action optimale qui lui procure la meilleure conséquence au regard du critère de choix.

2.1.2.2.2 : Le critère de l'espérance d'utilité

La question reste celle de la détermination d'un critère de choix. Le premier critère proposé en situation d'avenir mesurable est celui de l'espérance du gain ou critère de Pascal. Il consiste à calculer l'espérance de gain de chaque action. La règle de décision est alors de choisir l'action qui maximise l'espérance de gain.

Formellement, pour chaque action, l'agent évalue l'espérance :

$$\forall i = 1, \dots, m \quad E(a_i) = \sum_{j=1}^n p_j C_{i,j} \quad (1)$$

La solution optimale correspond à la plus forte espérance :

$$\text{Max } E(a)$$

La généralisation de ce critère de choix est remise en cause par le Paradoxe de Saint-Petersbourg (voir Encadré 9) présenté par Bernouilli (1738). Pour lever le paradoxe, Bernouilli avance que les agents ont une utilité marginale décroissante pour la monnaie. L'utilité croît, mais de moins en moins vite au fur et à mesure que la richesse augmente. Les agents évaluent donc, non pas l'espérance du gain, mais l'espérance de l'utilité sur les conséquences. Il ne s'agit donc plus de représenter le comportement de l'agent rationnel comme la maximisation de l'espérance de gain, mais comme la maximisation de l'espérance d'utilité du gain.

Formellement, pour chaque action, étant donné la fonction d'utilité U, l'agent évalue l'espérance d'utilité :

$$\forall i = 1, \dots, m \quad EU(a_i) = \sum_{j=1}^{\infty} p_j U(c_{ij}) \quad (2)$$

La solution optimale correspond à la plus forte espérance d'utilité :

Max $EU(a)$.

Soit le jeu de Lasard suivant :

une pièce de monnaie est jetée autant de fois qu'il faut jusqu'à ce que face apparaisse. Lorsque face apparaît au nième jet, le parieur gagne 2^n francs. Donc, la probabilité que face apparaisse au nième jet est $1/2^n$. La question est de savoir combien un agent est prêt à miser pour jouer ce jeu.

Suivant le critère de Pascal, le gain espéré de ce jeu est égal à :

$$E(\text{gain}) = \left(\frac{1}{2} \times 2\right) + \left(\frac{1}{2^2} \times 2^2\right) + \dots + \left(\frac{1}{2^n} \times 2^n\right) = 1 + 1 + \dots + 1 = +\infty.$$

Le gain espéré est donc infini. Tout joueur devrait donc participer à ce jeu et devrait être prêt à miser toute sa fortune. Or, tout laisse penser que personne n'est prêt à jouer ainsi ce jeu. D'où le paradoxe qu'aucun joueur n'est prêt à miser toute sa fortune dans un jeu, même si le gain espéré de ce jeu est infini.

Pour lever ce paradoxe, il suffit de supposer que si l'agent est prêt à miser une somme fixe sur ce jeu, c'est que cette somme ne correspond pas au gain espéré du jeu, mais à l'espérance d'une fonction de ce gain.

La fonction proposée par Bernoulli est la fonction logarithme népérien, c'est-à-dire :

$$EU(\text{gain}) = \left(\frac{1}{2} \times \ln 2\right) + \left(\frac{1}{2^2} \times \ln 2^2\right) + \dots + \left(\frac{1}{2^n} \times \ln 2^n\right) = \ln(4) = s(4) < +\infty$$

Dans ce cas, le jeu procure donc la même utilité que l'utilité procurée par la détention de 4 francs.

Encadré 9. Le Paradoxe de Saint-Petersbourg

Le critère de l'espérance d'utilité est généralisé et axiomatisé par Von Neumann et Morgenstern (1944).

Soit une fonction d'utilité de Von-Neumann - Morgenstern (VNM) appelée $U(.)$ associant un nombre à tout niveau du revenu de l'individu. L'utilité ici est un indice traduisant la manière dont l'agent perçoit les diverses conséquences possibles ce qui lui donne une toute autre signification que celle de l'utilité représentant les préférences des consommateurs sur différents paniers de bien (Garello, 1992). La rationalité d'un agent

est définie par les trois axiomes suivants :

Soit l'ensemble des loteries Λ sur le support fini $\{x_1, \dots, x_s\}$. Δ est identifiable au simplexe de 3^s .

(3)

$$\lambda \in \Lambda \Leftrightarrow [x_1, \dots, x_s; p_1, \dots, p_s], \sum_{s=1}^s p_s = 1$$

Axiome de préordre total

L'agent a un préordre total défini sur l'espace Δ des loteries sur les conséquences ce qui signifie que l'agent est indifférent à la façon dont les conséquences sont obtenues. Toutes les loteries peuvent donc être comparées et classées.

Axiome de continuité

$$\forall \lambda^1, \lambda^2, \lambda^3 \in \Lambda, \lambda^1 \succ \lambda^2, \lambda^2 \succ \lambda^3, \exists \alpha \in]0, 1[\text{ tel que } \alpha \lambda^1 + (1-\alpha)\lambda^3 \succ \lambda^2$$

L'axiome de continuité signifie qu'une loterie classée entre deux loteries pourra toujours être dominée (respectivement dominer) par une autre loterie ayant pour résultat les deux dernières.

Axiome d'indépendance

$$\forall \lambda^1, \lambda^2, \lambda^3 \in \Lambda, \forall \alpha \in]0, 1[, \text{ si } \lambda^1 \succ \lambda^2, \text{ alors } \alpha \lambda^1 + (1-\alpha)\lambda^3 \succ \alpha \lambda^2 + (1-\alpha)\lambda^3$$

L'attitude de l'agent face aux deux dernières loteries composées ne dépend que de son attitude face à ces deux loteries λ^1 et λ^2 et non de la manière d'obtenir l'une et l'autre des deux loteries composées.

Alors, pour une relation de préférence \succ sur l'ensemble Λ des loteries, si ces trois axiomes sont respectés, il existe une fonction d'utilité continue croissante telle que :

$$\lambda^1 \text{ est préférée à } \lambda^2 \Leftrightarrow \sum_{s=1}^s p_s^1 U(x_s) > \sum_{s=1}^s p_s^2 U(x_s) \quad (4)$$

Il n'est pas ici le lieu de traiter des faiblesses de cette axiomatique. Tout au plus, le lecteur doit savoir que la remise en cause de la théorie de la maximisation de l'espérance d'utilité se fonde principalement sur la violation de l'axiome d'indépendance mise en évidence par Allais (1953) et Ellsberg (1961). Les principales critiques portent tout d'abord sur la remise en cause de l'hypothèse que les croyances des agents puissent être neutres, notamment au regard de l'évaluation des issues certaines par rapport aux issues probables (*effet de certitude* de Kahneman, Tversky, 1979 ; Hagen, 1979 ; McCrimmon, Larsson, 1979). Elles portent ensuite sur l'hypothèse que les agents sont neutres quant à la perte d'une opportunité ou le gain d'une opportunité (*effet de conséquence commune*

de Slovic, Tversky, 1974 ; McCrimmon, Larsson, 1979) qui interroge la question des *effets de présentation* d'un problème de décision (Shoemaker, Kunreuther, 1979 ; Tversky, Kahneman, 1986). Enfin, elles portent sur l'ambiguïté de la définition des probabilités subjectives des agents (Ellsberg, 1961). Il se développe donc un certain nombre de théories essayant de dépasser les limites de la théorie de l'espérance d'utilité en tentant d'apporter une révision de l'axiomatique permettant d'inclure des comportements jugés irrationnels au regard de l'axiomatique VNM (voir sur ce point Willinger, 1990 ; Fericelli, 1995 ; Munier, 1995b).

2.1.2.2.3 : Le comportement de l'agent face au risque

Le dernier point à évoquer concernant une présentation de la théorie de la décision face au risque est la manière d'aborder l'attitude des agents vis à vis du risque. Lorsque Bernouilli propose de résoudre le Paradoxe de Saint-Petersbourg, il affecte à l'agent une fonction d'utilité en faisant l'hypothèse que l'agent a une utilité marginale décroissante pour la monnaie. Dès lors, la fonction d'utilité de l'agent est concave. Cette hypothèse sur la forme de la fonction d'utilité (ici, la fonction logarithme népérien) consacre l'idée selon laquelle l'agent préfère une loterie dont les gains sont certains à une loterie dont les gains sont risqués. Dans ce cas, l'agent présente une aversion pour le risque.

Pour s'en convaincre, il suffit de considérer le comportement de choix de l'agent entre l'espérance d'utilité d'une loterie λ et l'utilité de la valeur espérée de la loterie λ pour une fonction d'utilité concave (voir Figure 14). Dans ce cas précis, étant donné l'inégalité de Jensen⁴⁰, l'utilité de l'espérance de la loterie (*UE*) est supérieure à l'espérance d'utilité de la loterie (*EU*). L'agent préfère donc détenir un revenu certain équivalent à l'utilité de l'espérance de la loterie plutôt que de jouer la loterie. L'agent éprouve donc de l'*aversion pour le risque*⁴¹. Il peut être défini un *équivalent certain* qui correspond à la valeur certaine procurant la même utilité que la loterie. Il permet de calculer la *prime de risque* qui est le montant que l'agent est prêt à payer pour détenir un revenu certain égal à l'espérance de la loterie, soit pour se débarrasser du risque. Elle résulte de la différence entre l'espérance de la loterie et l'équivalent certain. Naturellement, ici, pour un agent averse au risque, la prime de risque est positive. Une approximation de la prime de risque proposée par Pratt (1964) et Arrow (1965) considère le degré d'aversion au risque. En substance, elle se compose d'un coefficient d'aversion absolue au risque lié au niveau de richesse de l'agent qui s'écrit :

$$\gamma_a = - \frac{U''(\bar{x})}{U'(\bar{x})},$$

⁴⁰ Inégalité de Jensen : l'espérance mathématique d'une fonction est plus petite que l'image de l'espérance mathématique par la même fonction si et seulement si cette dernière est concave.

⁴¹ A noter que le développement des modèles d'utilité dépendant du rang (RDEU – *Rank Dependant Expected Model*) (voir Munier, 1995b) remettent en question la pertinence de la décroissance de l'utilité marginale, soit de la concavité de la fonction d'utilité comme preuve absolue d'un comportement d'aversion au risque (voir Gayant, 1997).

et d'un coefficient d'aversion relative au risque qui mesure la quantité de risque intrinsèque à la loterie qui s'écrit :

$$\gamma_r = \frac{\sigma_1^2}{2}$$

Pour un agent averse au risque, le coefficient γ_a est positif. Plus il est élevé, plus l'agent est averse au risque. En outre, en faisant varier ce coefficient en fonction de la richesse, trois types de fonctions d'utilité peuvent être définis. Si γ_a est décroissant avec la richesse, l'agent éprouve un degré d'aversion au risque décroissant avec la richesse (fonctions DARA – *Decreasing Absolute Risk Aversion*). Inversement, γ_a est croissant avec la richesse, l'agent éprouve un degré d'aversion au risque croissant avec la richesse (fonctions IARA – *Increasing Absolute Risk Aversion*). Enfin, Si γ_a est constant avec la richesse, l'agent éprouve un degré d'aversion au risque constant avec la richesse (fonctions CARA – *Constant Absolute Risk Aversion*).

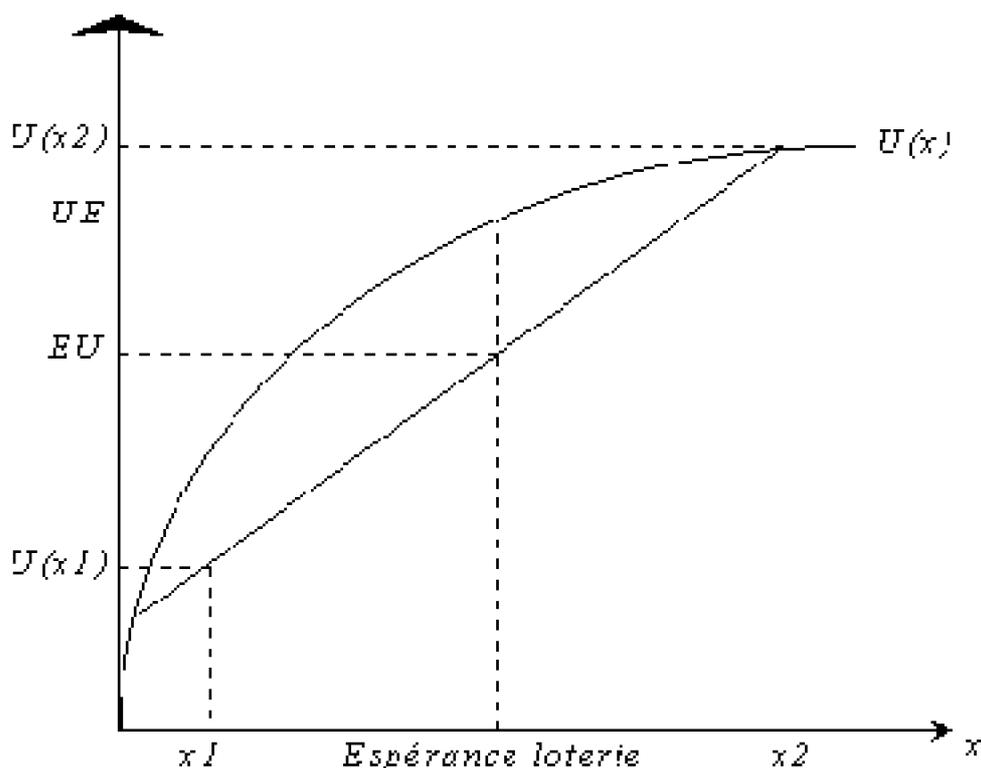


Figure 14 . Comportement d'aversion au risque

Si à présent la fonction de l'utilité de l'agent est de forme convexe, alors, inversement, l'utilité de l'espérance de la loterie (UE) est inférieure à l'espérance d'utilité de la loterie (EU). L'agent préfère donc jouer la loterie plutôt que de détenir un revenu

certain équivalent à la valeur de l'espérance de la loterie. L'agent éprouve alors un *goût pour le risque*. La prime de risque est négative.

Enfin, si l'agent est doté d'une fonction linéaire ($U(x)$ par exemple), il est indifférent entre jouer la loterie et détenir une valeur équivalente à l'espérance de la loterie. L'utilité de l'espérance de la loterie est égale à l'espérance d'utilité de la loterie. L'agent est dans ce cas *neutre vis à vis du risque*. La prime de risque est nulle.

Les principes généraux de la théorie de la décision dans un environnement risqué étant à présent donnés, il reste à aborder l'analyse économique du crime.

2.2 : L'analyse économique du crime

Le comportement de fraude au stationnement figure une décision dans un environnement risqué. En effet, l'agent décide de payer ou de ne pas payer le tarif de stationnement en fonction de la probabilité d'être contrôlé et verbalisé. Il s'agit bien là d'une décision en avenir risqué quant à l'issue de sa décision de frauder. La décision est relative au respect d'une règle qui institue le paiement d'un tarif de stationnement dont l'objectif est de contribuer à la régulation de la demande de déplacements urbains. Dès lors, la question du comportement de fraude au stationnement relève d'une analyse économique plus large s'intéressant plus généralement aux problèmes de décision face à des lois ou des règles et au risque encouru de ne pas respecter ces lois et ces règles. L'analyse économique du crime fournit les outils d'analyse théorique de ce type de comportements. La formalisation du comportement délictueux repose sur la théorie de la décision en avenir risqué.

Un premier point fait un bilan sur la définition du champ de l'analyse de l'économie du crime. Un deuxième point présente la formalisation générale relative à l'économie du crime. La problématique de la thèse étant centrée sur le comportement individuel de fraude, la présentation du modèle d'économie du crime se focalise sur le comportement de choix individuel pour un acte délictueux.

2.2.1 : La définition du champ d'analyse

L'analyse économique du crime contient, dans son appellation générique d'économie souterraine⁴², l'analyse de toutes les activités irrégulières présentes dans une économie. Une typologie (Pestieau, 1989) montre l'étendue du champ que recouvre l'analyse économique du crime. Une première entrée est constituée des *activités délictueuses*, c'est-à-dire, des activités en contradiction avec les termes de la loi (il s'agit, d'une part, des activités dites de transfert comme le vol, la fraude aux assurances, *etc.*, d'autre part, des activités de production et de distribution de biens et de services illégaux comme les trafics divers, la prostitution, *etc.*). Une deuxième entrée aborde les *activités frauduleuses* (fraude fiscale, travail au noir, *etc.*). Une troisième entrée comprend les *activités non*

⁴² Le terme d'économie souterraine est parfois substitué dans la littérature par les termes d'économie occulte, économie cachée, économie parallèle, économie seconde, économie immergée, économie irrégulière, économie invisible, économie de l'ombre, économie non officielle, économie informelle, *etc.* Les termes 'activités criminelles' et 'comportements criminels' font toutefois référence dans la littérature.

marchandes (il s'agit d'activités non illégales mais qui ne sont pas prises en compte dans la comptabilité nationale telles que le bénévolat, le travail domestique, etc.). Dans leur ensemble, les activités souterraines représentent *grosso modo* entre 2 et 10 % du PIB (Cowell, 1990). O'Higgins (1989) avance un chiffre de 5 % en Grande-Bretagne. Une évaluation réalisée au Québec (Fortin *et al.*, 1996) donne, pour les années 1993 et 1995, un pourcentage du PIB situé entre 1,97 % et 2,55 %. Ces chiffres donnent une idée de l'importance des activités souterraines dans une économie et justifient par conséquent une analyse économique du phénomène.

Archambault et Greffe (1984) donnent trois types d'explication à l'existence de l'économie souterraine. Elle peut provenir d'un *ajustement individuel*, c'est-à-dire d'une réponse des agents économiques aux variations du système de prix et des revenus. Elle peut également résulter d'un *blocage du fonctionnement des marchés* comme, par exemple, un déséquilibre chronique entre l'augmentation de la demande de biens et services et l'augmentation de la demande d'emplois. Elle peut enfin émerger d'un *décalage entre différents modes de production* dans une formation sociale. Le premier type d'explication intéresse en particulier la logique du raisonnement suivi dans cette thèse. En effet, l'ajustement individuel aux variations du système de prix et des revenus ressort de l'adaptation des comportements individuels aux modifications de leur environnement économique. Ainsi, l'analyse des activités criminelles, qui prend comme entrée le comportement des agents, s'inscrit dans la logique d'analyse économique des comportements individuels. Elle relève dès lors de l'analyse microéconomique, en particulier de l'analyse de la décision économique individuelle.

Dans ce cadre, le comportement criminel consiste à se soustraire au contrôle de l'Etat, incarné par la loi, les règlements, le fisc ou les statistiques officielles. L'agent agit en se dissimulant délibérément, soit pour échapper à la sanction de la loi, soit pour réaliser un gain monétaire, soit les deux à la fois (Pestieau, 1989).

Une première remarque issue de cette définition est de constater que sans intervention de l'Etat, il n'y a pas de loi à transgresser, pas de taxe à payer, donc pas de comportement délictueux. Ainsi, pour Fortin *et al.* (1996, p. 3), « l'économie souterraine est une réaction naturelle du marché face aux interventions de l'Etat limitant les règles mutuellement avantageuses ». De fait, l'agent prend une décision criminelle en regard d'une action de la puissance publique qui modifie son environnement économique et qui contraint sa décision. Pour le raisonnement qui concerne cette thèse, cette définition rend bien compte de la question du comportement de fraude au stationnement urbain. En effet, le comportement de fraude au stationnement consiste à ne pas s'acquitter du tarif de stationnement mis en place par la puissance publique pour réguler la demande de stationnement et la demande de déplacements urbains. Il s'agit là d'une décision frauduleuse de l'agent dans un environnement contraint par la puissance publique qui instaure un tarif de stationnement à l'occasion d'une politique de régulation de la demande de déplacements. Cette première remarque constitue une justification d'aborder la question de la fraude au stationnement payant urbain par l'analyse économique du crime.

Une deuxième remarque consiste à souligner que pour l'économiste, ce qui importe, ce ne sont pas les justifications que donne le fraudeur à son action criminelle, mais

l'incidence que la décision peut avoir sur l'affectation des ressources et sur la distribution des revenus. Pestieau (1989, p. 39) précise à cet égard que l'Etat, tout au plus, doit **« tenir compte de l'effet qu'un certain type de morale sociale et un ensemble de lois et de règlements peuvent avoir sur les comportements économiques »**. Concernant la fraude au stationnement, la question est bien de savoir quelles sont les conséquences du comportement de fraude en termes de mobilité urbaine, et, par delà, quelles sont les impacts sur la mobilité urbaine d'une politique du stationnement prenant en compte la fraude au stationnement payant. Ainsi, pour Pestieau (1989, p. 139), **« la réalité sociale d'une norme dépend non seulement de sa lettre et de son esprit mais aussi de l'efficacité de son application »** qui implique des coûts importants de prévention, de répression, et de protection. Donc, ce qu'il convient d'étudier, c'est l'impact économique de la norme qui institue la criminalité et non pas la criminalité elle-même. Dès lors, d'un point de vue économique, la question qui motive l'analyse des activités criminelles est de savoir s'il faut *in fine* combattre les activités criminelles. Heertje et Barthelemy (1984) montrent la pertinence de cette interrogation en prenant comme exemple le problème des transactions d'argent sale. Certes, elles sont contraires à la loi, mais les combattre définitivement pourrait dans une certaine mesure se révéler dommageable pour la production et l'emploi dans une économie. Partant, la réponse de l'économiste au discours moral et éthique est d'avancer qu'il est socialement pertinent de regarder les lois du point de vue de leur efficacité économique. Cette seconde remarque est une deuxième justification de l'analyse économique de la fraude au stationnement urbain par le prisme théorique de l'économie du crime. Elle souligne, en termes économiques, l'importance de comprendre, dans un premier temps, le comportement individuel de fraude au stationnement pour apporter, dans un deuxième temps, une réponse répressive socialement efficace.

L'utilité de fonder l'analyse économique du comportement de fraude au stationnement sur l'analyse économique du crime étant ainsi démontrée, il convient à présent de présenter les outils théoriques de l'analyse économique du crime.

2.2.2 : La modélisation économique du crime

2.2.2.1 : Principe général du modèle

Le modèle de base de l'analyse économique du crime est posé par Becker (1968). L'objectif du modèle est, d'une part, d'expliquer le crime en des termes économiques, en se fondant sur l'hypothèse de rationalité substantielle du comportement économique, d'autre part, de formuler les règles de répression optimale. Le modèle repose sur deux hypothèses fondamentales.

Tout d'abord, l'analyse de Becker suppose que les agents répondent à des incitations qui motivent leur choix quant à la décision économique de frauder. Les agents évaluent donc les coûts et les avantages de l'action criminelle et élaborent leur choix face au bilan économique du choix de cette action. Dans une perspective utilitariste, Becker exclut de l'analyse toute prédisposition biologique au comportement de criminalité. Certes, la nature, l'importance des crimes et la réaction à la répression varient d'une personne à

l'autre, mais le recours à l'hypothèse de comportements criminels guidés par l'unique rationalité permet de dresser, en termes économiques, un processus de décision type qui conduit les agents à commettre des actes délictueux.

La deuxième hypothèse repose sur la distinction entre l'analyse économique du crime et l'analyse économique du droit. En substance, l'économie du droit se focalise sur le comportement de l'agent (en général, un coupable et une victime) dans une relation contractuelle entre deux parties (Coase, 1960 ; Posner, 1992). Elle est largement abordée sous l'angle des interactions stratégiques (Baird, Gertner, Picker, 1994) puisqu'elle consiste à déterminer un contrat d'équilibre conduisant à internaliser les externalités entre les deux parties. Les actes criminels réclament une analyse différente dans la mesure où ils ne concernent pas seulement une interaction entre deux agents mais ils considèrent des comportements qui dérogent aux règles sociales. Ces comportements ont des répercussions sur les décisions de l'ensemble des agents constituant l'économie sans qu'il soit possible d'identifier précisément un agent victime (Dnes, 1996). Dit autrement, le crime produit une externalité sur le marché qui modifie l'environnement de décision économique de l'ensemble des agents présents sur le marché. Dès lors, l'analyse économique du crime suppose une analyse du niveau et de la forme de l'intervention publique optimale nécessaire pour permettre l'internalisation de l'externalité *via* le marché. En ce sens, le modèle présume donc que le volume de délits dans une population est influencé par l'allocation des ressources publiques et privées issue de la mise en application de la loi et de tout autre moyen d'intervention visant à prévenir contre le crime.

La fraude au stationnement urbain peut être appréhendée, en termes économiques, comme un crime. Elle concerne en effet un comportement qui déroge à la règle instituée consistant à payer un tarif de stationnement de manière à ce que chaque agent qui stationne assume l'intégralité du coût de son stationnement. Le tarif de stationnement ayant pour but d'internaliser l'externalité de congestion sur le marché du stationnement, le non-paiement du tarif de stationnement conduit à ne pas participer à la procédure d'internalisation de cette externalité de congestion, donc à créer une externalité pour l'ensemble des usagers du stationnement. L'intervention publique conduit à déterminer le niveau de répression optimal nécessaire pour permettre l'internalisation de l'externalité de congestion sur le marché du stationnement, à savoir ici, nécessaire pour que l'agent, soit assume le coût de congestion du stationnement en payant une amende, soit ne soit pas incité à frauder.

Depuis l'article séminal de Becker, l'analyse s'est enrichie de nombreux développements théoriques d'ordre général (Cameron, 1988 ; Andreoni, 1991 ; Polinsky, Shavell, 1992 ; Kaplow, Shavell, 1994 ; Rasmusen, 1995 ; Garoupa, 1997 ; Saha, Poole, 2000), ou plus spécifiques, comme la comparaison de l'efficacité des différents types de peines (Chu, Jiang, 1993) ou l'analyse du comportement des agents face au risque (Bebchuk, Kaplow, 1993). En outre, plusieurs champs d'application sont investis par l'analyse économique du crime. Elle est notamment mobilisée sur la question du choix de l'agent entre un travail légal et une activité criminelle (Fender, 1999), en particulier, sur la question du travail au noir (Lacroix, Fortin, 1992 ; Lemieux, Fortin, Fréchette, 1994 ; Pagán, 1998). La fraude fiscale fait également l'objet de nombreuses analyses (Allingham, Sandmo, 1972 ; Benjamin, Maital, 1985 ; Alm, 1988 ; Bernasconi, 1998). Elle

aborde aussi la question de la fraude à l'assurance (Picard, 1996 ; Abadie, 1998). Dans le domaine de l'économie des transports, quelques travaux approchent la question des choix de transport sous l'angle de l'analyse économique du crime, notamment en ce qui concerne le respect des limitations de vitesse (Gander, 1986), la conduite en état d'ivresse (Evans, Neville, Graham, 1991 ; Kenkel, 1993 ; Benson, Rasmussen, Mast, 1999) ou l'insécurité routière en général (Pierson, Skinner, Vickermann, 1998 ; Carnis, 1999).

Le modèle de base suppose qu'il existe un volume d'équilibre de crimes produit par l'interaction entre les criminels et l'autorité de répression. Le volume d'équilibre de crimes résulte de la confrontation entre le coût et l'avantage que procure le nombre de crimes pour le criminel. Le coût marginal du crime est croissant avec le nombre de crimes et l'avantage marginal du crime est décroissant avec le nombre de crimes. Le coût marginal de l'activité criminelle donne la fonction d'offre de crimes. De même, l'avantage marginal donne la fonction de demande de crimes. L'intersection entre la courbe de coût marginal de l'activité criminelle et la courbe d'avantage marginal de l'activité criminelle donne un volume d'équilibre de crimes.

Pour la puissance publique, le crime est une déséconomie externe puisque l'action du criminel modifie le résultat de l'activité des autres agents économiques sans faire l'objet d'une compensation monétaire. L'intervention de la puissance publique est alors, soit de taxer le crime en le rendant illégal, soit de le réguler, c'est-à-dire de proposer un niveau optimal de répression correspondant à un volume d'équilibre de crimes optimal. Pour définir l'optimum, Becker utilise un critère de mesure de perte sociale issue des délits. Il propose donc de retenir le niveau de répression qui assure un volume d'équilibre de crimes qui minimise ces pertes. D'après Stigler (1970) et Tullock (1969), la recherche d'un niveau de fraude nul différent du volume d'équilibre de crimes se heurterait à la production de gains sociaux sans doute loin de compenser la dépense initiale de répression nécessaire pour atteindre un niveau nul de crimes. Donc, le niveau de répression optimal dépend du coût de répression, de la nature de la répression et de la réponse des fraudeurs aux variations de la répression. Il en découle qu'il existe un volume optimal de délits qui correspond au niveau pour lequel le coût marginal de chaque mesure de répression est égal à son avantage marginal.

Dans ce cadre analytique, le point qui intéresse la question de la fraude au stationnement est précisément celui de formaliser le comportement de fraude, c'est-à-dire la décision de frauder. Il convient donc de retenir de l'analyse économique du crime, l'analyse du comportement de choix des contrevenants entre la réalisation d'une décision légale et la réalisation d'une décision illégale.

2.2.2.2 : La formalisation du comportement de fraude

Dans le modèle de Becker, le choix entre activité criminelle et activité non criminelle revient à faire l'arbitrage sur l'allocation du temps entre le temps affecté à la réalisation d'une activité légale et le temps affecté à la réalisation d'une activité illégale ce qui permet d'évaluer alors l'offre d'activités illégales pour un niveau de répression donné. De manière générale, l'analyse consiste à poser que l'agent rationnel commet une activité criminelle si

l'espérance d'utilité qu'il en retire est supérieure à l'espérance d'utilité qu'il retire de consacrer son temps et ses ressources à réaliser une activité non criminelle. D'un point de vue utilitariste, un individu commet alors un délit non pas parce que ses caractéristiques personnelles divergent de celles des autres individus, mais parce que le bilan coûts – avantages qu'il retire de l'arbitrage activité criminelle – autre activité non criminelle, au regard de son revenu dans chacune de ces activités, le conduit à commettre un délit alors que le bilan coûts - avantages pour les autres agents peut les conduire à ne pas commettre de forfait, au regard de leur revenu dans chacune de ces activités (Smigel, 1965, Ehrlich, 1967).

Dans le modèle, il existe un lien entre le nombre de délits commis par un agent et la probabilité qu'il a d'être sanctionné et les autres variables, notamment son revenu issu des activités légales et illégales :

$$O = O(q, F, u), \quad (5)$$

où O est le nombre de forfaits commis sur une période, q est la probabilité d'être sanctionné pour chaque délit, F est la punition pour chaque délit et u est une variable composite représentant toutes les autres influences du choix.

Pour un délit, l'espérance d'utilité s'écrit :

$$EU = qU(Y - F) + (1 - q)U(Y),$$

où Y est le revenu de l'agent, directement issu du délit, U est la fonction d'utilité de l'agent, F est un équivalent monétaire de la peine infligée si le délit est découvert et l'agent condamné ($F > 0$), et p est la probabilité objective d'être sanctionné en tant que contrevenant (respectivement, $(1-p)$ est la probabilité de ne pas être sanctionné).

Dès lors, l'espérance d'utilité marginale du délit décroît avec la probabilité de sanction, ce qui s'écrit :

$$\frac{\partial EU}{\partial p} = U(Y - F) - U(Y) < 0. \quad (7)$$

En outre, l'espérance d'utilité marginale du délit décroît avec le montant de la peine infligée, soit :

$$\frac{\partial EU}{\partial F} = -pU'(Y - F) < 0 \text{ tant que } U'(Y - F) > 0. \quad (8)$$

Dès lors, le volume de crimes décroît avec la probabilité de sanction et le niveau de l'amende, c'est-à-dire :

$$\frac{\partial O}{\partial q} < 0, \quad (9)$$

et

$$\frac{\partial O}{\partial F} < 0. \quad (10)$$

Ce qui intéresse Becker sur ce point, c'est la réaction des agents à la variation des outils de répression. Il montre qu'une augmentation de la probabilité de sanction « compensée » par un pourcentage équivalent de réduction du montant de l'amende ne change pas le revenu espéré du délit pour l'agent mais peut changer l'espérance d'utilité parce que le montant du risque change.

Ainsi, une augmentation de la probabilité de sanction réduit l'espérance d'utilité du délit et donc le nombre de délits, plus que ne le permet une augmentation équivalente de la punition si l'agent aime le risque.

Pour montrer l'impact du comportement face au risque de l'agent sur l'efficacité relative du montant de l'amende et de la probabilité de sanction, il convient d'évaluer la position relative de l'élasticité de la satisfaction espérée de l'agent au niveau de probabilité de sanction par rapport à l'élasticité de la satisfaction espérée de l'agent au niveau de l'amende, soit :

$$\frac{\frac{\partial EU}{\partial q} / \frac{q}{U} - [U(Y) - U(Y - F)] \frac{q}{U}}{<} > \frac{\frac{\partial EU}{\partial F} / \frac{F}{U} - q \cdot [U(Y) - U(Y - F)] \frac{F}{U}}{<}, \quad (11)$$

ce qui est équivalent à :

$$\frac{[U(Y) - U(Y - F)]}{F} > U'(Y - F). \quad (12)$$

Le sens de l'inégalité dépend de la dérivée seconde de U. Ainsi, si la fonction d'utilité est convexe, soit si $U'' > 0$, c'est-à-dire si l'agent préfère le risque, alors une

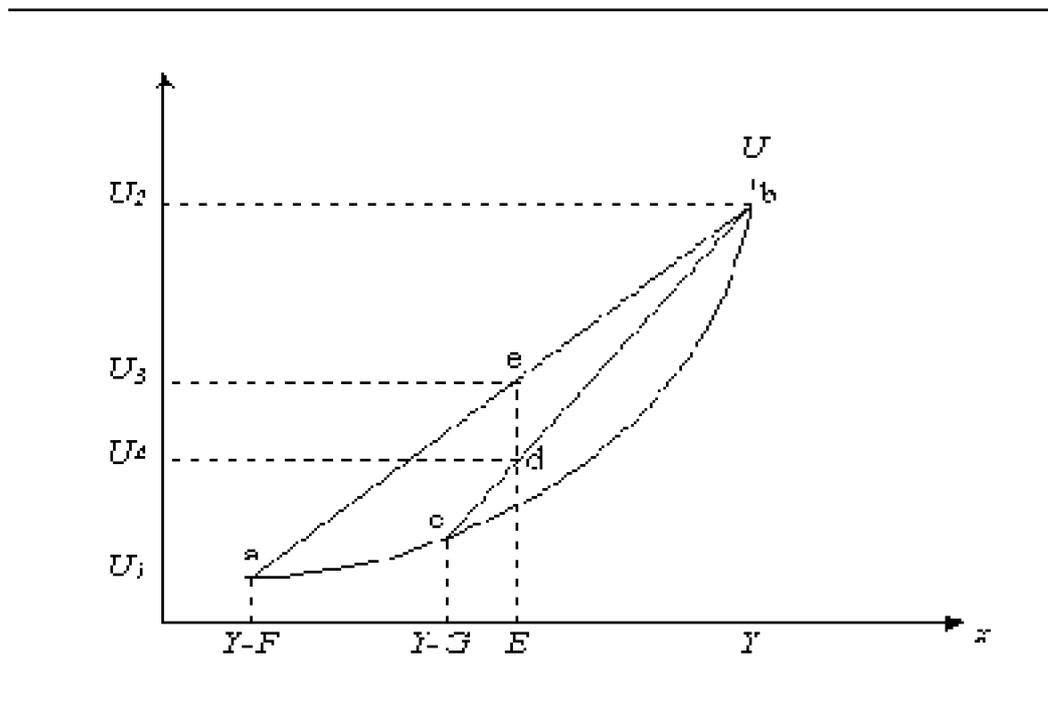
augmentation de la probabilité de sanction a plus d'impact sur la réduction de l'espérance d'utilité de la décision de frauder qu'une augmentation équivalente de l'amende.

Dans la Figure 15, le revenu de l'agent s'il fraude et qu'il n'est pas pris est Y. Pour une amende F, s'il fraude et qu'il est pris, le niveau de revenu est (Y-F). Au point e,

c'est-à-dire pour une probabilité de sanction $q=0,5$, le revenu espéré de la décision est E et l'espérance d'utilité de la décision est U_3 . Si le point e se rapproche du point a , la probabilité de sanction s'accroît. Le point d , en dessous du point e , donne le même revenu espéré que la situation avec une amende au niveau de F , mais pour une amende plus faible G . Le point d n'est pas équidistant des points c et b mais plus proche du point c . La signification est que le point d représente une amende moins élevée mais une probabilité de sanction plus forte qu'au point e . Puisque, pour un même revenu espéré, l'agent préfère la situation pour le niveau d'amende F à la situation pour le niveau d'amende G (puisque $U_3 > U_4$), alors, il peut être déduit dans ce cas qu'une faible amende couplée avec un fort taux de sanction est plus dissuasif qu'une forte amende avec une faible probabilité de sanction lorsque les deux situations procurent à l'agent le même revenu espéré. La conclusion est que pour un agent préférant le risque, l'augmentation de la probabilité de sanction est plus dissuasive que l'augmentation équivalente de l'amende.

De même, le raisonnement peut être tenu pour un agent averse au risque pour lequel l'augmentation de l'amende est plus dissuasive qu'une augmentation équivalente de la probabilité de sanction. Enfin, pour un agent neutre au risque, l'augmentation de l'amende ou de la probabilité de sanction ont le même effet sur le comportement de l'agent.

La conclusion de Becker est d'avancer que la variation du niveau et de la nature de la répression a des conséquences variables selon le comportement de l'agent face au risque. Notamment, la réponse de l'agent à une variation de la probabilité de sanction diffère, selon son comportement, de sa réponse à une variation équivalente du niveau de l'amende.



Source : d'après *Criss, A.W. 1996. The Economics of Law. London, Boston. International Thomson Business Press, 145.*

Figure 15 : Dissuasion et comportement de préférence pour le risque

La première conclusion de l'analyse du comportement criminel est que le choix de la décision frauduleuse est fonction du niveau de répression, quel que soit le comportement de l'agent face au risque. La deuxième conclusion est que, suivant le comportement de l'agent face au risque, la manipulation de la probabilité de sanction ou du montant de la peine ne produit pas les mêmes effets sur la décision de commettre un délit.

L'analyse économique du crime fournit donc un cadre d'analyse rigoureux sur lequel il reste à présent à appliquer le problème de la fraude au stationnement. Notamment, la question étant celle de la formalisation du comportement individuel de fraude au stationnement, l'analyse qui suit ne s'occupe que de la question de la décision de frauder pour un niveau de répression donné. En revanche, l'originalité de l'analyse est d'intégrer cette analyse dans un cadre plus large de représentation du comportement de stationnement dans une perspective de demande de mobilité urbaine et de régulation de la demande de déplacements.

3. : Conclusion de la section

La formalisation du comportement de fraude au stationnement réclame la mobilisation d'outils théoriques. En effet, l'effort de réduction du phénomène réclame des bases analytiques rigoureuses et cohérentes. Une première cohérence repose sur le recours à l'économie urbaine comme socle théorique sur lequel l'analyse du comportement de fraude au stationnement peut être campée. Une deuxième cohérence est de mobiliser la

référence à l'économie du crime pour utiliser la théorie de la décision en univers risqué.

L'économie urbaine constitue le cadre théorique d'analyse de la mobilité urbaine. Par conséquent, l'analyse d'un phénomène lié au stationnement urbain, en tant qu'élément du déplacement, repose naturellement sur les principes théoriques de l'économie urbaine. Tout d'abord, le recours à l'économie urbaine conduit à se donner une représentation de l'espace urbain, certes réductrice, mais qui permet de définir un contenant spatial ayant un sens économique pour l'analyse d'un phénomène tel que la fraude au stationnement se déroulant dans un milieu dense et constitutif des déplacements urbains. Ensuite, les développements de l'économie urbaine permettant d'introduire la question de la congestion et l'existence de l'incertitude dans les choix de transport, ils autorisent à s'intéresser à la question du stationnement comme élément ayant un impact sur la localisation des agents dans l'espace urbain. En effet, le stationnement et l'existence de la fraude au stationnement payant sur voirie jouent un rôle évident dans la problématique des déplacements, notamment en ce qu'ils participent à la présence d'états congestionnés sur le marché des transports urbains. Aussi la fraude au stationnement affecte-t-elle le choix modal de déplacement, donc le niveau de congestion, donc les conditions de localisation des agents. L'analyse du comportement de fraude au stationnement urbain est donc nécessaire dans une perspective d'économie urbaine. Il convient donc d'aborder la formalisation du comportement de fraude au stationnement dans le cadre analytique de l'économie urbaine.

Un deuxième développement de l'économie urbaine permet d'aborder la question du choix individuel de transport en présence d'incertitude. Toute incertitude portant sur le choix de transport des agents pèse ainsi sur leur choix de localisation puisqu'elle influe sur leur choix modal, donc sur la congestion et l'espace affecté respectivement aux transports et à la localisation des agents et des activités. Or, la fraude au stationnement résulte d'un choix individuel de transport pris dans un environnement risqué, c'est-à-dire au regard d'un aléa lié au contrôle déterminant l'issue des conséquences de ce choix. L'analyse du comportement de fraude au stationnement repose donc sur le cadre analytique de la décision économique individuelle dans un environnement risqué. De plus, la question de la fraude au stationnement caractérise un cas d'application précis de comportements économiques délictueux. Dès lors, l'analyse économique de la fraude au stationnement constitue un champ d'application de l'économie du crime qui utilise la théorie de la décision en environnement risqué pour formaliser le comportement délictueux. Dans une perspective d'intégration de l'incertitude dans l'économie urbaine, le recours à l'analyse économique des comportements criminels pour aborder la question de la fraude au stationnement se trouve ainsi légitimé.

L'analyse économique du crime fournit les outils permettant d'évaluer un niveau de répression optimal. Dans le cadre du raisonnement suivi, la question n'est pas directement de mettre en évidence les conditions de mise en oeuvre d'un tel niveau de répression, mais de proposer, dans un premier temps, une représentation du comportement de fraude au stationnement. Il ne s'agit pas, en effet, d'apporter des prescriptions pour une politique répressive du stationnement *stricto sensu*. Il s'agit de proposer des éléments d'orientation sur l'usage de la répression du stationnement frauduleux dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements en

tenant compte du processus individuel de décision conduisant à la fraude au stationnement. Par conséquent, le recours à l'économie du crime se concentre sur l'application du modèle de comportement individuel qui représente le comportement économique de décision pour un acte délictueux.

Les outils théoriques sur lesquels repose l'analyse du comportement de fraude au stationnement urbain payant sur voirie étant désormais présentés, il convient dès lors de construire cette analyse. La démarche comprend deux temps. Tout d'abord, un modèle de comportement de stationnement en milieu dense est présenté. Il constitue le modèle de base résultant d'une représentation spécifique de l'espace. Par la suite, la représentation du comportement de fraude est proposée en introduisant le cadre analytique de l'économie du crime.

Section 2 : L'analyse microéconomique du comportement de fraude au stationnement

La modélisation du stationnement aborde très rarement la question du phénomène de la fraude. Dans une revue de la littérature, Young, Thompson et Taylor (1991) identifient trois groupes de modèles de stationnement. Les modèles de choix de stationnement dont l'objectif est d'explorer les déterminants du choix de stationnement. Les modèles d'affectation du stationnement qui cherchent à optimiser la demande de stationnement sur une offre de stationnement. Les modèles d'interaction dont l'objectif est d'analyser l'impact de la réponse comportementale des agents sur la confrontation entre l'offre et la demande suite à la mise en oeuvre d'une politique de stationnement. La question de la fraude n'est pratiquement jamais abordée dans ces modèles. Seuls les articles d'Elliott et Wright (1982) et Adiv et Wang (1987) proposent une analyse de la question qui montre que le niveau de fraude, lorsque la fraude est abordée comme un choix économique dans l'incertain, est croissant en fonction de la baisse du niveau de répression. Ces résultats confortent les résultats théoriques de l'analyse économique du crime. La confrontation des modèles proposés par Elliott et Wright d'une part, et Adiv et Wang d'autre part, aux données britanniques et américaines, respectivement produites sur Londres et Ann Arbor, montrent qu'en effet, la baisse du niveau de fraude entraîne de manière significative une recrudescence automatique de la fraude. Néanmoins, aucune des deux analyses n'envisage de relier le niveau de répression au niveau de fraude dans une perspective plus large de demande de déplacements et de tirer des conclusions sur la politique répressive du stationnement dans le cadre d'une politique de déplacements urbains. Jannet (1996) aborde également la question de la fraude comme le choix d'agents dans un environnement risqué. Son analyse théorique a pour objectif de montrer que le problème du stationnement en France vient de la non-prise en compte de la fraude dans les politiques du stationnement. Il justifie ainsi la création d'un service public spécifiquement voué à la gestion du stationnement dans le but de réduire le trop grand nombre d'intervenants compétents sur le stationnement et d'améliorer la politique du stationnement. Il ne fait en revanche aucun lien solide avec la politique des déplacements urbains.

Bien qu'il ne fasse pas référence à la question de la fraude, seul le modèle d'Arnott et

Rowse (1999) envisage un lien entre les conditions de stationnement et la demande de déplacements sur la base d'une représentation du comportement de stationnement. De sorte que l'application d'une tarification sur le stationnement modifie la structure de la demande de déplacements. Cette formalisation constitue, alors, un support théorique cohérent avec la conceptualisation faite du stationnement dans le cadre de cette thèse, sur lequel la question du comportement de fraude peut être intégrée.

Dès lors, il apparaît nécessaire, au regard du rôle du stationnement et de celui de la fraude au stationnement mis en évidence dans le cadre de la première partie, d'apporter une lecture analytique du lien entre fraude au stationnement et politique des déplacements urbains. Ainsi, à l'aide des outils théoriques présentés, le propos de cette section est de proposer une représentation formalisée du comportement de fraude au stationnement. Cette formalisation a pour objectif de comprendre le comportement individuel de fraude au stationnement afin de donner quelques pistes de réflexion sur la politique répressive à adopter dans le cadre d'une politique des déplacements urbains. Le lecteur doit cependant noter que le propos qui suit n'a, en aucune manière, comme ambition d'apporter des réponses normatives quant au niveau optimal de répression à appliquer. En effet, la démarche ne consiste ici qu'à donner des éléments de compréhension du comportement de fraude au stationnement, pour un niveau de répression donné, et de tirer des conclusions sur l'impact de ce comportement dans une perspective plus large de régulation de la demande de déplacements. Certes, des pistes de réflexion sont apportées sur le calcul d'un niveau de répression d'équilibre. Elles ne doivent cependant être comprises que comme des éléments d'orientation sur la politique répressive du stationnement du point de vue de l'individu qui stationne.

Dans un premier temps, le modèle de comportement de stationnement (Arnott, Rowse, 1999) est exposé. Sur la base de ce modèle, la mise en forme analytique du comportement de fraude est ensuite élaborée. Ce modèle de comportement de stationnement fournit quelques conclusions sur la pertinence d'une tarification efficace du stationnement. Il met ensuite en évidence un certain nombre de liens entre la régulation de la demande de stationnement et la demande de déplacements urbains.

Dans un deuxième temps, un développement du modèle de base intégrant la fraude au stationnement est envisagé. La modélisation du comportement de fraude est fondée sur les outils théoriques fournis par l'analyse économique du crime. En substance, dans ce modèle, l'agent neutre au risque a le choix de frauder ou de ne pas frauder. S'il fraude, il rencontre un aléa sur la survenance d'un contrôle, donc l'application d'une sanction qui, si elle survient, dégrade la satisfaction que lui procure le stationnement. S'il ne fraude pas, son utilité est celle que lui procure la satisfaction de stationner. L'issue de cette démarche de formalisation est de calculer un niveau de répression d'équilibre du point de vue de la demande de stationnement.

1 : Un modèle de comportement de stationnement

Le modèle d'Arnott et Rowse (1999) a pour ambition de proposer une formalisation du comportement de stationnement dans un espace urbain dense. Fondé sur une représentation spécifique de l'espace urbain, il permet de mettre en relation la demande

de stationnement sur un espace limité d'offre de stationnement. Les conditions de l'équilibre du marché du stationnement ont un impact à la fois sur le niveau de la demande de déplacements et sur la structure modale de cette demande. Il résulte de cette confrontation entre l'offre et la demande de stationnement l'existence d'*une externalité de congestion du stationnement*. Celle-ci modifie le niveau de demande de déplacements et le niveau d'usage de la voiture particulière. L'introduction d'une tarification permettant d'internaliser cette externalité décentralise un optimum social sur le marché du stationnement et influence par conséquent le niveau de mobilité et le partage modal.

Les hypothèses du modèle sont d'abord déclinées. Les conditions d'équilibre du marché du stationnement, puis les conditions de réalisation d'un optimum social sont présentées. Elles conduisent à démontrer l'existence d'une externalité de congestion du stationnement. Enfin, l'effet sur l'optimum de l'introduction d'une tarification du stationnement élaborée sur la base du niveau de l'externalité de stationnement est abordé.

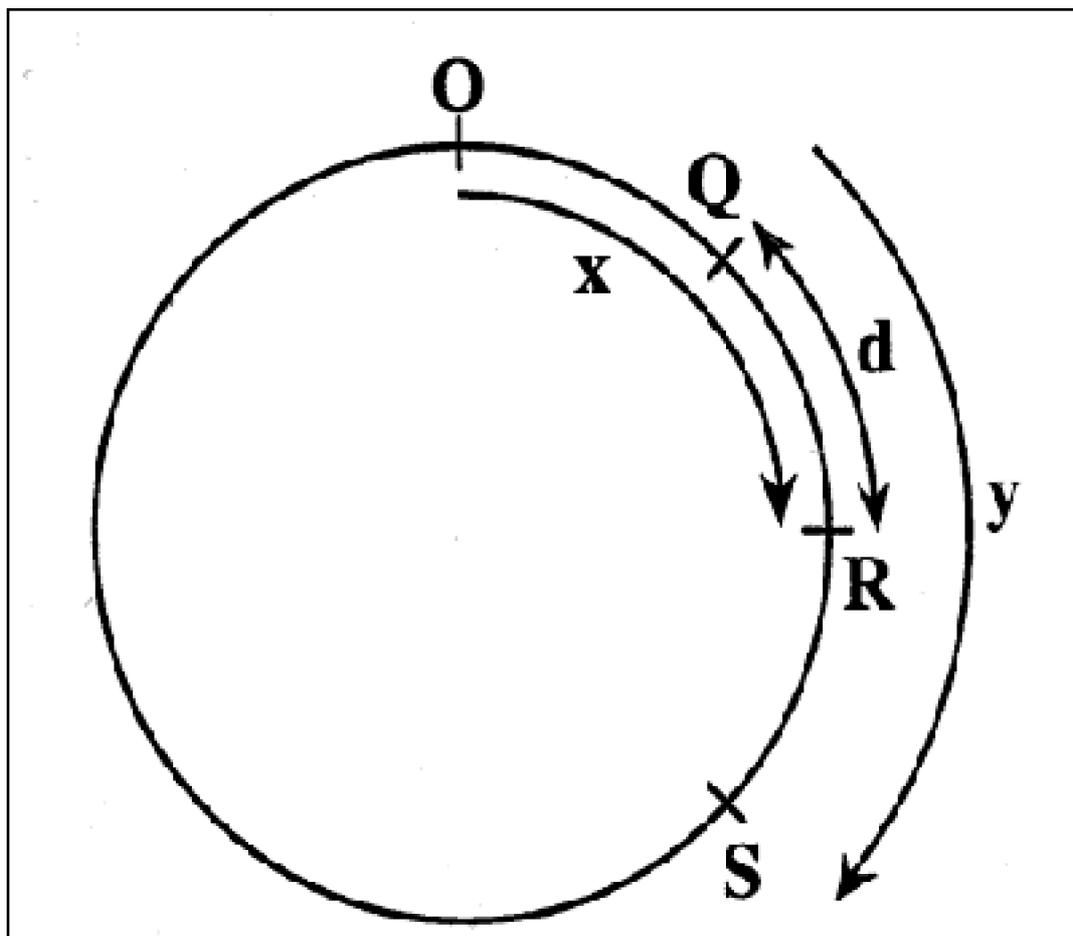
1.1 : Les fondements du modèle

La structure du modèle d'Arnott et Rowse se décline sous la forme de 4 modules qui présentent respectivement la structure spatiale du modèle, la génération du trafic, le stationnement et les conditions d'un équilibre statique.

1.1.1 : La structure spatiale

Le modèle suppose que les déplacements s'inscrivent dans le cadre d'une représentation simplifiée de la ville. Ainsi, le support sur lequel se réalisent les déplacements est, par hypothèse, tout d'abord, pour s'extraire des difficultés potentielles d'hétérogénéité spatiale, et ensuite, par souci de simplification des calculs, *une ville spatialement symétrique*. Elle est représentée par la circonférence d'un cercle. Le rayon au centre est .

La structure de l'espace est identique en tout point. Autrement dit, le support de réalisation des déplacements et du stationnement est supposé être *un espace homogène et isotrope*. La densité de population par unité de distance, notée ρ , est donc un attribut de l'espace considéré identique en tout point du cercle. De même, la densité de places de stationnement par unité de distance, notée μ , est un attribut de l'espace formalisé identique en tout point.



Source : Arnott, R., Bowse, J. 1999. « Modeling Parking », *Journal of Urban Economics*, 45, 100.

Figure 16 : Géométrie du modèle

1.1.2 : La génération de trafic

L'agent attend à son domicile, fixé au point O , une opportunité de déplacement, pour un motif unique, vers une destination, fixée au point R , localisée sur la périphérie du cercle. L'hypothèse que le déplacement concerne un motif unique exclut donc un déplacement pour lequel l'agent réalise plusieurs activités. Cette hypothèse est forcément réductrice, mais elle facilite dans un premier temps les calculs. Dans le modèle, les points de destination sont uniformément distribués le long de la circonférence du cercle. La Figure 16 fournit un exemple de déplacement.

L'agent ne peut recevoir d'opportunité de se déplacer que lorsqu'il est à son domicile O . De nouveau, le modèle ne considère donc pas de chaînes de déplacements. Un déplacement est limité à la liaison aller et retour entre le domicile O et le lieu de destination R . En outre, durant le déplacement, l'agent ne peut pas avoir une nouvelle

opportunité de se déplacer⁴³.

Le rythme d'arrivée des opportunités de se déplacer pour un agent est classiquement réglé, indépendamment du temps, selon une loi de Poisson de paramètre μ . Il représente en fait le nombre moyen d'opportunités de déplacement pour un agent en une journée.

Dans le modèle, l'agent accepte un déplacement pour obtenir un avantage β , fixé de manière exogène et exprimé en termes monétaires. Si l'avantage qu'il peut obtenir du déplacement ne le satisfait pas, il renonce au déplacement. Il accepte donc tout déplacement dont la distance est inférieure ou égale à une distance maximale de déplacement, notée \bar{x} , qui lui est propre et qui rend compte de son degré d'acceptabilité de se déplacer, eu égard à l'avantage monétaire qu'il obtient du déplacement.

Par hypothèse, il n'y a pas d'interaction dans la réalisation des déplacements entre agents. Dit autrement, toujours dans un souci de simplification, il est ici fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de congestion sur les déplacements. Il est bien évident qu'un développement du modèle serait d'introduire une congestion possible sur les déplacements ce qui permettrait de gagner en réalisme sur la question de la régulation de la demande de déplacements mais coûterait en complexité pour la représentation du comportement individuel de stationnement.

Lorsque l'agent reçoit une opportunité de se déplacer, s'il l'accepte, donc si la distance du déplacement entre le domicile et la destination ne dépasse pas \bar{x} , il quitte

immédiatement son domicile pour rejoindre sa destination. Il reste à cette destination une période l de temps, fixée de manière exogène, afin de réaliser son activité. Lorsque l'agent accepte l'opportunité de déplacement, il se déplace, dès réception de l'opportunité, le long de la circonférence du cercle en empruntant le sens permettant le déplacement le plus court. Le déplacement ne peut donc excéder une distance équivalente à πr , soit la moitié de la circonférence du cercle. La distance maximale de déplacement acceptée par l'agent ne peut donc pas excéder une distance équivalente à la moitié de la circonférence du cercle, soit $\bar{x} \leq \pi r$. Dans l'exemple, la localisation de la destination étant placée du

côté droit du cercle, l'agent emprunte ce côté-là pour rejoindre sa destination depuis son domicile.

1.1.3 : Le stationnement

La demande de stationnement est directement issue de la demande de déplacement. Pour simplifier, dans le modèle, il n'existe que *deux modes de déplacement possibles*, la marche à pied ou la voiture particulière (notés respectivement $i=1,2$). Cette hypothèse réductrice ne modifie en rien le comportement de choix de stationnement. Elle permet de simplifier le modèle et notamment les conséquences de la congestion du stationnement sur l'arbitrage modal. L'introduction d'un mode supplémentaire compliquerait la formalisation, mais rien n'empêche *a priori* de considérer un mode collectif ayant ses

⁴³ Les auteurs du modèle excluent donc la possibilité que l'agent puisse être sollicité pour un déplacement par le biais d'un téléphone cellulaire.

caractéristiques propres dans le modèle.

La plus courte distance pour rallier le point de destination R du point de départ situé au domicile O est notée x . Le temps espéré de déplacement sur la distance x depuis le domicile jusqu'à la destination R et de retour au domicile est défini par $T_1(x)$.

Ainsi, pour une vitesse moyenne de marche à pied notée w , fixée de manière exogène, le temps de déplacement à pied entre le domicile O et la destination finale R, aller et retour, est équivalente à deux fois la distance séparant le domicile de la destination ramenée à la vitesse de marche à pied, soit :

$$T_1(x) = \frac{2x}{w} \quad (13)$$

Le temps de déplacement en voiture particulière comprend deux modalités : d'une part, le temps passé effectivement en voiture depuis le domicile O jusqu'au lieu de stationnement noté S et, d'autre part, le temps de marche à pied depuis le lieu de stationnement S à la destination finale R. L'hypothèse est faite qu'il n'y a pas de marche à pied au domicile pour prendre son véhicule. En outre, le temps de déplacement passé dans la voiture particulière, c'est-à-dire hors temps de marche à pied du lieu de stationnement à la destination finale, se décompose entre, d'une part, le temps de recherche d'une place de stationnement vacante et, d'autre part, le temps de déplacement proprement dit, c'est-à-dire hors temps de recherche d'une place de stationnement. La vitesse en voiture particulière, notée v , fixée de manière exogène, est, par hypothèse, constante et identique pour le déplacement et pour la recherche d'une place de stationnement, quelle que soit la densité du trafic.

L'agent connaît la probabilité de trouver une place de stationnement libre. Cette hypothèse tient dans la mesure où le modèle suppose un état stochastique du trafic stationnaire. L'agent est donc parfaitement informé de la probabilité Pdx de trouver une place sur l'intervalle x et $x+dx$. La densité moyenne de places de stationnement libres est P . Nécessairement, il ne peut exister plus de places libres que de places disponibles,

$$P \leq D$$

Pour des distances de déplacement courtes, l'agent commence à chercher une place dès qu'il quitte son domicile. En revanche, pour les distances plus longues, l'agent commence à chercher une place de stationnement à partir d'un point Q, qu'il choisit éloigné d'une distance d du lieu de destination. d est la distance au point de destination finale que l'agent se donne, à partir de laquelle il cherche une place de stationnement. Autrement dit, la valeur de d signifie que l'agent est prêt à marcher au moins une distance d de son lieu de stationnement à sa destination finale puisque s'il trouve tout de suite une place au point Q, il marche sur une distance équivalente à d .

Ainsi, pour les déplacements les plus courts, l'agent choisit le mode pédestre à concurrence d'une distance maximale de marche à pied qui lui est propre FORM23, c'est-à-dire lorsque $\bar{x} \geq d$. Pour les déplacements plus longs, l'agent choisit la voiture

particulière.

La distance réelle de recherche d'une place de stationnement est y . Il s'agit de la distance entre le point Q et le point S, lieu où l'agent trouve effectivement une place de stationnement vacante. La probabilité de trouver une place de stationnement libre sur l'intervalle y et $y+dy$ est égale à $P e^{-Py} dy$. Plus la distance de recherche effective

d'une place de stationnement vacante croît, plus la probabilité de trouver une place libre se réduit, puisque l'augmentation de y indique que la densité de places libres s'affaiblit.

Ainsi, le temps de conduite espéré en voiture particulière est la somme de deux composantes. Le premier terme est le temps de déplacement proprement dit en voiture particulière, c'est-à-dire la différence entre la distance totale de déplacement et la distance de recherche d'une place libre que se donne l'agent. Le deuxième terme est l'espérance de temps de recherche d'une place de stationnement libre. Donc, *le temps de conduite espéré, aller et retour*, s'écrit :

$$R(x, P, d) = \frac{2(x-d)}{v} + \frac{2}{vP}, \quad \text{pour tout } x \geq d. \quad (14)$$

Le temps de marche à pied espéré lors d'un déplacement en voiture particulière est en fait le temps pour rallier la destination finale depuis le lieu de stationnement. C'est la somme de deux configurations possibles. Tout d'abord, si l'agent trouve une place avant d'atteindre son point de destination finale R, soit $y < d$, la distance de marche est $d - y$. S'il ne trouve pas de place avant son lieu de destination R, soit $y > d$, alors la distance de marche est $y - d$. Dans le cas d'un déplacement en voiture particulière, *le temps de marche à pied espéré, aller et retour* s'écrit alors :

$$\begin{aligned} W(P, d) &= 2 \int_0^d \frac{d-y}{w} P e^{-Py} dy + 2 \int_d^{+\infty} \frac{y-d}{w} P e^{-Py} dy \\ &= \frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right). \end{aligned} \quad (15)$$

Le temps de déplacement espéré, aller et retour, lorsque le mode choisi est la voiture particulière, s'écrit de la manière suivante (voir Annexe 1) :

$$\begin{aligned} T_2(x, P, d) &= R(x, P, d) + W(P, d) \\ &= \frac{2x}{v} + \frac{4e^{-Pd}}{wP} + 2 \left(d - \frac{1}{P} \right) \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v} \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Dans le cas d'espèce représenté dans l'exemple de la Figure 16, l'agent cherche une

place libre à partir du point Q à une distance d du point de destination R. Il ne trouve cependant pas de place avant le point de destination, c'est-à-dire sur la distance $x - d$. Il continue alors sa recherche au-delà du point de destination finale jusqu'à trouver une place de stationnement libre au point S, éloignée d'une distance y du point à partir duquel il a commencé sa recherche. La distance de recherche d'une place effectivement réalisée par l'agent dans cet exemple étant supérieure à la distance de recherche qu'il s'est fixée initialement, la distance de marche à pied de son lieu effectif de stationnement à sa destination finale est équivalente à $y - d$.

1.1.4 : Les conditions d'un équilibre statique

Le temps généralisé de déplacement, noté L, est composé du temps de transport espéré, de la durée de l'activité à destination du déplacement et du temps d'attente espéré à domicile d'une nouvelle opportunité de déplacement.

Le temps de transport espéré est de la forme :

$$\int_0^{\infty} T(x)g(x)dx$$

où $g(x)$ est une fonction de probabilité d'acceptation d'une opportunité de déplacement d'une distance x. La localisation des destinations des déplacements étant répartie de manière uniforme sur la circonférence du cercle, il peut être écrit que :

$$g(x) = \frac{1}{\bar{x}} \quad (17)$$

sachant que tout déplacement dont la distance ne dépasse pas \bar{x} est accepté. $T(x)$ est le temps de déplacement jusqu'à x. $T(x) = T_1(x)$ pour tout $x \leq \tilde{x}$ et $T(x) = T_2(x, P, d)$ pour tout x compris entre \tilde{x} et \bar{x} .

La proportion d'opportunités de déplacement acceptées par un agent s'écrit $\frac{2\bar{x}}{2\pi r}$ ce qui signifie que l'agent accepte tous les déplacements à concurrence d'une distance égale à la distance maximale qu'il se choisit d'accepter \bar{x} sur la distance totale possible, quel que soit l'itinéraire choisi, c'est-à-dire le sens de rotation. Ainsi, le rythme d'arrivée d'opportunités étant égal à μ , le rythme d'arrivée d'opportunités acceptées par l'agent est égal à $\mu\left(\frac{\bar{x}}{\pi r}\right)$. Naturellement, il vient que le temps d'attente espéré à

domicile d'une nouvelle opportunité de déplacement s'écrit $\frac{\pi r}{\mu \bar{x}}$. Dès lors, le temps

généralisé de déplacement peut s'écrire de la manière suivante (voir développement dans l'Annexe 2) :

$$L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d) = \frac{1}{\bar{x}} \left[\int_0^{\tilde{x}} T_1(x) dx + \int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx \right] + l + \frac{\pi P}{\mu \bar{x}}, \quad (18)$$

et la condition d'un équilibre prend la forme :

$$D - P = \frac{\Gamma(W(P, d) + l)(\bar{x} - \tilde{x})}{L\bar{x}}. \quad (19)$$

L'expression (19) vient du raisonnement suivant. A l'équilibre, la vitesse à laquelle les places de stationnement deviennent occupées est égale à la vitesse à laquelle les places se libèrent. Autrement dit, la vitesse à laquelle les places de stationnement deviennent occupées est égale à la vitesse de génération des déplacements. Cette dernière est égale à la vitesse à laquelle chaque agent génère un déplacement, soit Γ , multipliée par la densité de population, Γ , multipliée par la proportion de déplacements effectués en voiture particulière, soit $(\bar{x} - \tilde{x})/\bar{x}$. En outre, la vitesse à laquelle les places de stationnement se libèrent est égale au nombre de places libres, c'est-à-dire à $D - P$, multiplié par le taux de vacation des places occupées, soit la réciproque du temps espéré de stationnement, qui est la somme du temps de marche à pied jusqu'à la destination et de la durée de l'activité, ou encore $W(P, d) + l$.

1.2 : L'équilibre de stationnement sans tarification

Les variables de décision sont au nombre de trois, à savoir \bar{x} , \tilde{x} et d . La première

concerne l'acceptation du déplacement. L'agent n'accepte pas les déplacements dont la distance excède une valeur de \bar{x} . La seconde variable de décision renvoie au choix

modal. L'agent choisit la marche à pied pour les déplacements dont la distance n'excède pas une valeur de \tilde{x} . Il choisit la voiture particulière pour les autres déplacements. La

troisième variable de décision traite de la distance de recherche d'une place de stationnement. L'agent cherche une place à partir d'une valeur de la distance d du point de destination.

L'agent choisit donc \bar{x} , \tilde{x} et d de sorte à maximiser l'avantage β que lui procure

le déplacement. Cet avantage étant fixé par ailleurs, le programme de l'agent s'écrit alors comme la minimisation de son temps généralisé de transport :

$$\min_{\bar{x}, \tilde{x}, d} \frac{1}{\bar{x}} \left[\int_0^{\tilde{x}} T_1(x) dx + \int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx \right] + l + \frac{\pi P}{\mu \bar{x}}. \quad (20)$$

Comme il est fait l'hypothèse qu'il n'y a pas d'interaction sur les déplacements entre les décisions des agents, dans un premier temps, la densité de places libres P est supposée fixe. Néanmoins, il est évident que cette densité P est fonction de \bar{x} , \tilde{x} et d puisque les décisions des agents de se déplacer et de choisir la voiture

particulière influent bien sur la densité de places de stationnement libres. Il existe là une externalité portant sur le stationnement non internalisée puisque l'occupation d'une place de stationnement par un agent réduit la chance pour les autres agents d'obtenir une place libre. L'occupation de cette place par un agent modifie le temps de recherche d'une place des autres agents donc leur temps généralisé de déplacement. A ce stade du modèle, cette externalité négative pour les agents cherchant une place libre n'est pas compensée par l'agent occupant une place de stationnement. Ce point est traité par la suite.

Les conditions de premier ordre sont :

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d)}{\partial \tilde{x}} = \frac{1}{\tilde{x}} [T_1(\tilde{x}) - T_2(\tilde{x}, P, d)] = 0, \quad (21a)$$

autrement dit, l'agent choisit \tilde{x} de sorte à opter pour le mode lui occasionnant le temps de déplacement le plus faible ;

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d)}{\partial \bar{x}} = -\frac{1}{\bar{x}^2} \left[\int_0^{\tilde{x}} T_1(x) dx + \int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx - \frac{\tilde{x}^2}{\bar{x}} \right] + \frac{1}{\bar{x}} T_2(\tilde{x}, P, d) = 0, \quad (21b)$$

qui s'écrit plus simplement :

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d)}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} [-L(\tilde{x}, \bar{x}, P, d) + l + T_2(\tilde{x}, P, d)] = 0, \quad (21b')$$

ce qui signifie que l'agent choisit \bar{x} de sorte à ce que l'avantage qu'il retire du déplacement qu'il accepte couvre le coût d'opportunité du temps espéré de déplacement qui s'écrit $\beta(T_2(\tilde{x}, P, d) + l)/L$:

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d)}{\partial d} = \frac{1}{\bar{x}} \left[\int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} \frac{\partial T_2(x, P, d)}{\partial d} dx \right] = 0, \quad (21c)$$

ce qui signifie enfin que l'agent choisit une distance d de recherche d'une place de stationnement qui lui permet de minimiser son temps de déplacement en voiture. Comme $T_2(x, P, d) = R(x, P, d) + W(P, d)$, une variation de d implique une baisse du

temps espéré de conduite en voiture particulière. Donc, l'agent choisit d de sorte à ce que la baisse du temps de conduite soit compensée par une augmentation du temps espéré de marche à pied jusqu'à destination.

En utilisant l'équation (16) dans l'équation (21c) (voir Annexe 4), alors :

$$d = \frac{\theta}{P}, \text{ avec } \theta = -\ln \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{w}{v} \right) \right], \quad (21c')$$

ce qui permet d'écrire comme solution de (21a) :

$$\tilde{x} = d = \frac{\theta}{P}. \quad (21a')$$

Ainsi, à l'équilibre, pour une distance d au lieu final de destination, l'agent est indifférent entre stationner ou poursuivre en voiture particulière la recherche d'une place libre.

L'équilibre sans tarification est caractérisé par le système des équations (21a), (21b'), (21c'), (18), (19) et (15) avec comme inconnues \bar{x} , \tilde{x} , d , L , P et W . Il est possible de réduire le système à deux équations (voir Annexe 3) :

$$H(\bar{x}, \tilde{x}) = \frac{\bar{x}^2}{v} + \tilde{x}^2 \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v} \right) - \frac{w}{v} - 1, \quad (22)$$

$$G(\bar{x}, \tilde{x}) = \left(D - \frac{\theta}{P} \right) \bar{x} \left(2 \left(\frac{\bar{x}}{v} + \tilde{x}^2 \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v} \right) \right) + 1 \right) - \tilde{x} \left(\frac{2\tilde{x}}{\theta} \left(\frac{\theta}{w} - \frac{1}{v} \right) + 1 \right) (\bar{x} - \tilde{x}) = 0. \quad (23)$$

1.3 : L'optimum social

Il a été traité dans un premier temps de la manière dont l'agent choisit son mode de déplacement et sa distance de recherche de stationnement. L'hypothèse a alors été faite qu'aucune interaction entre agents ne vient perturber les décisions individuelles. Lorsqu'il est question de l'efficacité du marché du stationnement, il faut en revanche tenir compte d'une dépendance du nombre de places disponibles aux variables de décision

\bar{x} , \tilde{x} et d .

Dès lors, c'est le problème de décision du gestionnaire du stationnement qui importe ici. En faisant l'hypothèse que la fonction objectif du planificateur est l'émanation des comportements individuels, le programme du décideur public est alors celui qui consiste à minimiser le temps moyen de déplacement. Le programme s'écrit alors :

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} \lambda \text{ telle que } \lambda = \frac{1}{\bar{x}} \left[\int_0^{\bar{x}} r_1(x) dx - \int_{\bar{x}}^D r_2(x, P, d) dx \right] - l + \frac{\sigma}{\lambda \bar{x}}, \quad (i)$$

ou

$$\lambda = \frac{(W(P, d) + l)(D - \bar{x})}{D - P}. \quad (ii) \quad (21)$$

où (i) est simplement la définition de L alors que (ii) est la condition d'équilibre (19).

En posant λ comme multiplicateur lagrangien, les conditions de premier ordre s'écrivent :

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \bar{x}, P, d)}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \left[(1 - \lambda)(r_1(\bar{x}) - r_2(\bar{x}, P, d)) - \lambda \frac{\Gamma(W(P, d) + l)}{D - P} \right] = 0. \quad (25a)$$

qui donne un temps social espéré équivalent à $T_1(\bar{x})$ si l'agent choisit de marcher

jusqu'à \bar{x} , ou alors, équivalent, lorsque l'agent conduit jusqu'à \bar{x} , à la somme du temps espéré de déplacement de l'agent et de l'externalité de congestion de stationnement espérée imposée par l'agent aux autres agents. L'externalité vient de la réduction du nombre de places disponibles et de l'augmentation consécutive du temps de déplacement des autres agents occasionnées par le fait que l'agent occupe une place. Dans la mesure où il n'y a pas d'interaction sur la circulation des véhicules, il n'y a pas d'externalité de congestion à considérer. De même, l'hypothèse est faite dans le modèle que la circulation pour accéder au lieu de stationnement ne génère aucune externalité de type environnemental. De fait, l'internalisation de la seule externalité de congestion du stationnement suffit à la réalisation d'un optimum de premier rang.

D'où, la condition s'écrit :

$$T_1(\bar{x}) = T_2(\bar{x}, P, d) + E(W(P, d) + l), \quad (25a')$$

où E est le temps perdu par les autres agents par unité de temps stationné par l'agent. L'externalité de congestion est alors le temps perdu pour les autres agents par unité de temps, multiplié par le temps de stationnement, c'est-à-dire la somme du temps de marche à pied du lieu de stationnement jusqu'à la destination finale et de la durée de l'activité. En comparant (25a) et (25a'), il est possible d'écrire une première expression de l'externalité espérée de congestion du stationnement :

$$E = \frac{\lambda}{1 - \lambda} \left(\frac{\Gamma}{D - P} \right). \quad (25a)$$

L'acceptation d'un déplacement en voiture particulière par l'agent ne vaut que si le

$T_2(\bar{x}, P, d) + l + E(W(P, d) + l)$ n'est pas plus important que le temps de

déplacement social espéré du déplacement accepté suivant, ce qui s'écrit :

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d)}{\partial \bar{x}} = \frac{l}{\bar{x}} \left[-(1-\lambda)(L(\tilde{x}, \bar{x}, P, d) - l - \tau_2(x, P, d)) + \lambda \frac{L(W(P, d) + l) \tilde{x}}{D - P \tilde{x}} \right] = 0. \quad (25b)$$

Dans le cas où l'opportunité de déplacement est déclinée, le temps de déplacement social espéré du déplacement suivant accepté est L, le temps généralisé de déplacement, plus l'externalité espérée de congestion de stationnement. La condition peut donc s'écrire :

$$T_2(\bar{x}, P, d) - l + E(W(P, d) - l) = L(\tilde{x}, \bar{x}, P, d) + E(W(P, d) + l) \left(\frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\bar{x}} \right). \quad (25b')$$

sachant que la proportion de déplacements entraînant un stationnement est $(\bar{x} - \tilde{x})/\bar{x}$;

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d)}{\partial d} = \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\bar{x}} \left[(1-\lambda) \frac{\partial T_2(x, P, d)}{\partial d} + \lambda \frac{\Gamma}{D - P} \frac{\partial W(P, d)}{\partial d} \right] = \Gamma. \quad (25c)$$

ce qui donne que la distance de recherche d'une place de stationnement choisie minimise le coût social espéré du déplacement en voiture particulière comprenant l'externalité de congestion de stationnement ;

$$\frac{\partial L(\bar{x}, \tilde{x}, P, d)}{\partial P} = \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\bar{x}} \left[(1-\lambda) \frac{\partial T_2(x, P, d)}{\partial P} - \lambda \frac{\Gamma}{D - P} \left(\frac{\partial W(P, d)}{\partial P} + \frac{W(P, d) + l}{D - P} \right) \right] = 0, \quad (25d)$$

qui donne la valeur de λ .

En remplaçant λ dans (26a) par sa valeur tirée de (25d), il est facile d'obtenir l'expression de l'externalité espérée de congestion du stationnement :

$$E = \frac{-\partial T_2(x, P, d) / \partial P}{((W(P, d) + l) / (D - P)) + (\partial W(P, d) / \partial P)}. \quad (26b)$$

1.4 : L'équilibre de stationnement avec tarification

Le tarif de stationnement par unité de temps exprimé en termes monétaires est noté p . Dans le cas d'un stationnement payant, l'agent cherche à maximiser son avantage procuré par le déplacement net du coût de stationnement. L'avantage net moyen par déplacement est

$$\beta - p((\bar{x} - \tilde{x})/\bar{x})(W(P, d) + l)$$

Le terme β correspond à ce que reçoit l'agent pour s'être déplacé à destination (il correspond par exemple à la rémunération de l'activité réalisée à destination). L'expression $W(P, d) + l$ représente le temps de stationnement, autrement dit, le temps de marche à pied du lieu de stationnement à la destination finale augmenté du temps de réalisation de l'activité à destination. L'expression $(\bar{x} - \tilde{x})/\bar{x}$ qualifie la part de déplacements acceptés réalisés

en voiture particulière, donc générant un stationnement, soit un coût de stationnement.

Le programme de l'agent s'exprime donc ainsi :

$$\max_{\tilde{x}, \bar{x}, d} V(\tilde{x}, \bar{x}, d, p, P) = \frac{\beta - p((\bar{x} - \tilde{x})/\bar{x})(W(P, d) + l)}{\bar{x}} \left[\int_0^{\tilde{x}} \gamma_1(x) dx + \int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} \gamma_2(x, P, d) dx \right] + l + \frac{w}{L\bar{x}} \quad (27)$$

L'expression $V(\tilde{x}, \bar{x}, d, p, P)$ correspond à la valeur individuelle du temps de

déplacement.

Les variables individuelles de décision restent \bar{x} , \tilde{x} et d sachant que P et p sont fixés. On pose $\Delta \equiv L\bar{x}$. Les conditions du premier ordre s'écrivent alors :

$$\frac{\partial V(\bar{x}, \tilde{x}, d, p, P)}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{\Delta} [p(W(P, d) + l) - V(\gamma_1(\tilde{x}) - \gamma_2(\tilde{x}, P, d))] = 0 \quad (28a)$$

exprimant le fait que l'agent choisit \tilde{x} de sorte à opter pour le mode le moins coûteux en termes monétaires ;

$$\frac{\partial V(\bar{x}, \tilde{x}, d, p, P)}{\partial \tilde{x}} = \frac{1}{\Delta} [p(W(P, d) + l) - V(\gamma_2(\tilde{x}, P, d) + l)] = 0 \quad (28b)$$

qui signifie qu'un déplacement n'est accepté par l'agent que dans la mesure où le coût d'opportunité du temps de transport n'excède pas l'avantage net procuré par le déplacement pour la valeur de \bar{x} choisie ;

$$\frac{\partial V(\bar{x}, \tilde{x}, d, p, P)}{\partial d} = \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\Delta} \left[-p \frac{\partial W(P, d)}{\partial d} - V \frac{\partial T_2(\bar{x}, P, d)}{\partial d} \right] = 0, \quad (28c)$$

qui signifie que la distance de recherche d'une place de stationnement d choisie correspond au fait que la valeur du temps de marche à pied jusqu'à la destination n'excède pas le coût d'opportunité du temps de transport.

1.5 : La décentralisation de l'optimum social

L'idée est de déterminer un niveau de tarif du stationnement qui conduit les agents à assumer financièrement le coût social total généré par leur stationnement. Il est bon de noter que le coût social permettant de calculer le niveau de tarification ne considère que l'externalité de congestion du stationnement. Dans le modèle, les autres effets externes produits par le stationnement ne sont pas abordés. En outre, dans le modèle de base, le produit de la tarification n'est pas redistribué aux agents.

Le montant du stationnement approprié vient de la comparaison des deux systèmes (25a)-(25c) et (28a)-(28c) (voir Annexe 5), ce qui donne :

$$\frac{p^*}{V^*} = \frac{\lambda^* \Gamma}{(1 - \lambda^*)(D - P^*)} \text{ soit } p^* = V^* E^*, \quad (29)$$

où * marque la valeur à l'optimum social relatif à la fonction objectif que se donne le planificateur.

Ainsi, le tarif est égal à l'externalité de stationnement par unité de temps multipliée par la valeur privée du temps. Comme V est fonction de p , il peut être écrit (29) avec (27) ce qui permet d'obtenir :

$$p^* = \frac{E^* \beta}{L^* + E^* \left(\frac{\bar{x}^* - \tilde{x}^*}{\bar{x}^*} \right) \left(W^*(P^*, d^*) + l \right)}. \quad (29')$$

Le modèle d'Arnott et Rowse donne une représentation du comportement individuel de stationnement. Il permet de mettre en évidence l'existence d'un équilibre socialement optimal du stationnement. Quelques points importants avancés dans le modèle conviennent d'être retenus pour la suite du raisonnement.

Tout d'abord, le modèle propose une formalisation de l'externalité de congestion du stationnement. Il ignore l'existence potentielle d'autres effets externes produits par le stationnement. La procédure d'internalisation repose sur l'application d'un tarif optimal de stationnement qui conduit à réaliser, sans redistribution du revenu de la tarification, un optimum social de manière décentralisée. L'optimum social résulte de *la fonction objectif du planificateur qui résume le comportement des usagers des transports, à savoir, minimiser le temps généralisé de déplacement*. Ensuite, le modèle considère qu'il existe

un impact des conditions de stationnement, notamment du niveau de congestion du stationnement et du tarif du stationnement permettant d'internaliser cette externalité, sur le partage modal d'une part, et sur la décision de se déplacer d'autre part, c'est-à-dire sur la mobilité, quel que soit le mode de déplacement.

Une première série de conclusions rapprochant la portée du modèle de la problématique de la politique des déplacements urbains doit être notée. La congestion du stationnement a un impact sur le niveau de mobilité et sur le niveau d'usage de la voiture particulière. La consommation du stationnement génère une externalité de congestion qui accroît le temps de déplacement des usagers de transport. L'externalité de congestion joue donc sur le niveau de mobilité et sur le partage modal. L'introduction de la tarification permet d'internaliser cette externalité, donc de réduire la congestion. Elle a par conséquent une influence sur le niveau de mobilité et le niveau d'usage de la voiture particulière.

L'enjeu à présent, sur la base de ce modèle, est d'introduire une formalisation du comportement de fraude au stationnement qui consiste ici au non-acquittement du tarif optimal de stationnement.

2 : Un développement du modèle de comportement de stationnement : l'introduction du comportement de fraude

Sur la base du modèle proposé par Arnott et Rowse, l'objectif, à présent, est d'introduire une dimension relative au comportement de fraude. Les outils théoriques mobilisés sont relatifs à l'économie du crime, fondés sur la théorie de la décision dans un univers risqué.

Dans un premier temps, le principe du modèle est présenté, accompagné des hypothèses qui sous-tendent le raisonnement. Dans un deuxième temps, la représentation du comportement de fraude au stationnement urbain est proposée.

2.1 : Principe général et hypothèses

Pour poser simplement le problème, au moment de stationner, l'agent a un choix à effectuer parmi deux actions possibles, à savoir '**ne pas frauder, c'est-à-dire payer le tarif de stationnement**' et '**frauder, c'est-à-dire ne pas payer le tarif de stationnement**'. Dès lors, l'agent qui décide de frauder ou de ne pas frauder opère un choix en fonction de la probabilité d'être contrôlé et de devoir payer une amende s'il est détecté comme fraudeur, et son complémentaire, la probabilité de ne pas être contrôlé, c'est-à-dire de ne pas être contraint de payer une amende s'il n'a pas payé son stationnement. Cette hypothèse a déjà été posée dans le modèle d'Elliott et Wright (1982) dont l'objectif était d'évaluer la réaction des agents à une variation du niveau de répression. Du point de vue de l'agent, elle traduit le fait que le stationnement frauduleux est une opportunité de choix au même titre que le stationnement non frauduleux. *Un classique calcul coûts-avantages entre le paiement du tarif de stationnement et la fraude au paiement du tarif de stationnement commande le choix de l'agent.* L'agent choisit de manière rationnelle l'option qui lui procure le maximum de satisfaction, relativement à l'avantage de l'issue espérée que lui procure la fraude par rapport à l'avantage de l'issue certaine que lui procure le respect du tarif de stationnement. En outre, il choisit l'option qui

lui permet de minimiser l'ensemble des coûts liés au stationnement et au déplacement. En ce sens, il évalue, dans chaque situation, le gain que lui procure sa décision en termes de temps de transport et de temps de marche à pied.

Par hypothèse, et par souci de simplification, la fraude ici ne considère que le non-paiement du tarif de stationnement. Les comportements délictueux du type stationnement interdit relevant plutôt d'un stationnement illégal, ils ne sont pas abordés. Ici, le stationnement est légal, mais la fraude de l'agent porte sur le paiement du stationnement. Le choix de ne s'intéresser qu'au non-paiement du tarif de stationnement vient de la conclusion tirée de l'analyse de la fraude portant sur le stationnement abordée dans le cadre du Chapitre 2. En effet, le non-paiement du stationnement remet directement en cause la capacité de la politique de régulation de la demande de stationnement par les prix d'atteindre ses objectifs de modération de la mobilité en voiture particulière. En outre, bien que le modèle de base d'Arnott et Rowse fasse l'hypothèse de non-congestion sur les déplacements, il montre que la tarification du stationnement, quand elle a pour objectif d'internaliser la congestion du stationnement, a un impact sur le partage modal d'une part, sur la mobilité d'autre part. Dès lors, il semble intéressant de voir dans quelle mesure la fraude portant précisément sur le non-paiement du tarif de stationnement perturbe également le partage modal et le niveau de mobilité. En ce sens donc, l'amende que doit acquitter le fraudeur s'il est détecté doit jouer le même rôle que le tarif de stationnement s'il ne fraude pas. Enfin, le modèle de base introduisant une tarification du stationnement comme moyen d'internaliser l'externalité de congestion du stationnement, il paraît judicieux de se focaliser sur un comportement de fraude compatible et cohérent avec le modèle de base. *La fraude considérée dans le modèle est donc strictement relative au paiement du tarif de stationnement.*

Les états de la nature portant sur le risque d'être contrôlé et d'être verbalisé, l'hypothèse retenue ici est que la détection en tant que fraudeur par les forces de contrôle implique automatiquement la verbalisation. Il pourrait être évidemment considéré le cas où l'agent peut être contrôlé, mais pas forcément automatiquement verbalisé. Il pourrait être simplement averti que son comportement a été constaté. Il pourrait être éventuellement verbalisé à l'issue d'un certain nombre de passages des forces de contrôle ayant constaté la fraude. Par souci de simplification donc, dans le modèle proposé, la détection implique automatiquement la sanction donc, *la probabilité d'être contrôlé en tant que fraudeur et la probabilité d'être sanctionné et de devoir acquitter une amende se confondent.*

En posant l'hypothèse que le temps de stationnement frauduleux est précisément identique au temps de stationnement nécessaire pour réaliser l'activité à destination, *les situations pour lesquelles la fraude porte sur un temps de stationnement qui diffère du temps de stationnement nécessaire pour réaliser l'activité à destination sont exclues.* Elle s'avère faire l'objet d'une deuxième séquence de décision. Le dépassement du temps de stationnement effectivement payé n'est donc pas considéré. Cette hypothèse rend compte de la conclusion déjà mise en évidence que la fraude au stationnement est en majeure partie la fraude au non-paiement du tarif de stationnement. Le dépassement du temps de stationnement reste un type de fraude relativement marginal ce qui permet de l'exclure de l'analyse.

Partant, lorsque l'agent se propose de stationner, il n'envisage qu'un temps de stationnement fini et limité au temps nécessaire pour réaliser son activité à destination. *A priori* donc, du point de vue de l'agent, le choix entre la fraude et le paiement du stationnement s'effectue au regard d'une probabilité d'être contrôlé et sanctionné uniquement relative au temps de stationnement requis pour effectuer son activité. Si, effectivement, l'agent peut être amené à dépasser ce temps, la probabilité d'être contrôlé et sanctionné, sur l'intervalle de temps allant du terme de la durée de stationnement pour laquelle l'agent stationne jusqu'au moment réel où l'agent quitte son emplacement de stationnement, n'est pas considérée dans le modèle. Cette hypothèse permet de simplifier l'analyse d'une part, et de conserver un certain réalisme quant au processus de décision de l'agent. Pourtant, en termes théoriques, pour rester cohérent avec les principes de l'analyse économique de la décision dans l'incertain, le raisonnement à rebours devrait conduire à considérer une densité de probabilité portant sur le temps espéré de stationnement dépassant la durée de stationnement nécessaire pour réaliser l'activité. L'agent serait alors capable d'évaluer le temps espéré réel de stationnement en fonction du niveau de congestion espéré. Néanmoins, pour être conforme avec l'analyse du comportement de stationnement menée dans le modèle de base, par hypothèse, *le temps de stationnement considéré par l'agent au moment de faire son choix est fixé à hauteur du temps nécessaire pour réaliser l'activité à destination*. La probabilité de détection ne porte donc que sur cet intervalle de temps. De plus, il est convenable d'envisager que le dépassement du temps nécessaire pour réaliser l'activité peut être considéré comme une deuxième phase de décision individuelle venant à la suite d'une première phase décisionnelle concernant le paiement du tarif ou la fraude sur l'intervalle de temps nécessaire pour réaliser l'activité. En effet, dans ce cas de figure, l'agent a le choix de revenir à son véhicule au bout du temps nécessaire pour réaliser son activité et, en cas de dépassement, effectuer un nouveau calcul coûts-avantages lui permettant de choisir entre le paiement du tarif de stationnement ou la fraude pour le temps de dépassement espéré. Donc, dans le modèle proposé, la décision porte uniquement sur l'intervalle de temps nécessaire pour réaliser l'activité qui est certain. Le dépassement fait l'objet d'une deuxième décision qui n'est pas analysée ici. L'intégration de cette question du dépassement pourrait en revanche faire l'objet d'une analyse de la décision en termes séquentiels ce qui permettrait par ailleurs d'intégrer le rôle d'une information entre les deux séquences de décision. Cette éventualité d'analyser la question de la décision individuelle de fraude en termes séquentiels n'est pas envisagée dans le modèle.

Sur l'intervalle de temps nécessaire pour réaliser l'activité à destination, la probabilité d'être détecté et sanctionné est fixe. Elle ne varie pas en fonction du temps de stationnement dans la mesure où l'agent stationne sur l'intégralité de cet intervalle et uniquement sur cet intervalle. Lorsqu'il stationne et effectue son choix entre frauder et payer le tarif de stationnement, l'agent effectue donc son calcul en fonction du temps de stationnement nécessaire pour réaliser son activité. La probabilité de détection est donc traitée de manière discrète sur ce temps. Elle est supposée parfaitement connue par l'agent au moment d'effectuer son choix.

Par souci évident de réalisme, *l'amende que l'agent doit acquitter s'il est détecté est de type forfaitaire*. Le cas d'une amende fonction du temps de stationnement frauduleux

est exclu. Il aurait pourtant l'avantage d'être cohérent avec le modèle de base qui considère un paiement du stationnement fonction du temps de stationnement. Néanmoins, cette hypothèse qui pose une amende forfaitaire permet de simplifier grandement les calculs. Elle retrace de plus la réalité puisque de manière générale, le montant de l'amende est défini de manière forfaitaire. Pourtant, il a été supposé plus haut que l'amende joue dans l'analyse le même rôle que celui joué par le tarif de stationnement, à savoir, réguler la demande de stationnement. Il paraît alors évident en première approche que l'amende forfaitaire, qui n'est pas fonction du temps de stationnement, c'est-à-dire, qui ne tient pas compte des externalités de congestion du stationnement liées au temps de marche à pied pour effectuer la liaison entre la destination finale et le lieu de stationnement, ne peut correspondre avec l'optimum. Partant de cette intuition, l'analyse a alors pour objectif de montrer en quoi l'amende forfaitaire n'est pas un outil efficace de régulation de la demande en cas de présence de comportement frauduleux. L'issue probable de l'analyse sera de recommander un niveau d'amende variable en fonction du niveau de fraude, c'est-à-dire en fonction des effets sur la congestion que génère chaque minute de stationnement frauduleux.

Le coût du contrôle n'est pas considéré dans le modèle. Il est bien évident qu'une analyse exhaustive portant sur la question de la fraude au stationnement devrait en toute logique appréhender le coût du contrôle nécessaire pour détecter la fraude. Cette analyse serait en outre cohérente avec l'analyse économique du crime telle qu'elle est formalisée dans le modèle de Becker (1968). Elle permettrait dès lors de calculer un niveau socialement optimal de répression. Néanmoins, l'objet du modèle n'est pas de mener une telle analyse sur la question de la fraude bien que des développements futurs dans ce sens seront nécessaires. Il s'agit ici plus modestement de se contraindre uniquement à comprendre le comportement du fraudeur. L'intérêt d'aborder cette manière quelque peu restreinte de considérer la question de la fraude au stationnement se justifie cependant dans la mesure où la littérature n'a pas encore proposé d'analyse sur la question. Donc, s'il est naturel de penser que le comportement individuel de fraude au stationnement est fonction du niveau de répression, lui-même relatif au coût de contrôle, en restreignant l'analyse au comportement de l'agent qui stationne, il n'est abordé ici qu'un pan de l'analyse. Ainsi, dans le modèle, l'agent effectue son calcul entre frauder et payer le tarif de stationnement sans que soit considéré un quelconque coût de contrôle. En dépit de cette hypothèse, il peut être néanmoins noté que la question de l'introduction du coût du contrôle réclame nécessairement d'analyser la question de la fraude au stationnement du point de vue des interactions stratégiques. Le raisonnement suivi ne s'intéresse cependant qu'au comportement de l'agent face à un contrôle donné, toutes choses égales par ailleurs, c'est-à-dire sans envisager de réactions de la part de l'agent chargé d'élaborer le niveau de contrôle relativement au comportement du fraudeur. Ce choix peut se justifier en considérant que l'agent qui stationne, au moment de prendre sa décision de frauder ou de payer, considère la verbalisation comme un état de la nature et non comme le résultat d'un comportement stratégique de l'agent qui contrôle. Du reste, cette hypothèse tient aisément lorsque l'analyse est conduite en termes statiques ce qui est conforme au modèle de base d'Arnott et Rowse. En revanche, si le modèle considère la question de la fraude en termes dynamiques, considérant plusieurs périodes de stationnement, donc plusieurs phases de choix entre frauder ou payer le tarif de

stationnement, une analyse en termes d'interactions stratégiques deviendrait pertinente.

Ainsi, en faisant l'hypothèse que le coût du contrôle est nul, l'objectif de l'analyse est de comprendre le comportement économique de l'individu qui le conduit à frauder ou à respecter le paiement du tarif de stationnement. En termes de choix collectif, l'issue de cette analyse est d'évaluer le niveau d'équilibre de répression du point de vue de l'agent qui stationne.

Dans l'analyse, la question de la redistribution du revenu de l'amende n'est pas considérée. Par hypothèse, le montant de l'amende est neutre du point de vue de la redistribution du produit de la répression aux agents. L'impact d'une éventuelle redistribution du produit de la politique du stationnement aurait pour conséquence de modifier le système de prix d'équilibre ce qui impliquerait d'analyser la question du choix de fraude en termes dynamiques. L'analyse proposée n'étant centrée que sur la question du processus de décision de l'agent, il est supposé ici que le produit de l'amende n'est pas redistribué aux agents.

Avant de passer à la phase de formalisation, il doit être noté que traditionnellement, la question du choix individuel en transport mobilise la théorie des modèles de choix discrets. Il importe ici de bien distinguer cette dernière approche de la logique présidant à la démarche modélisatrice qui suit.

Le principe qui sous-tend les modèles de choix discrets (McFadden, 1974b) est d'admettre que les consommateurs sont influencés par différents facteurs au moment de leur choix (Thisse, 1991). L'importance relative de ces facteurs peut varier. Ainsi, un choix peut être rationnel au moment où il est effectué mais peut ne pas être reproductible lors de situations de choix similaires en raison des fluctuations qui affectent l'individu dans son processus d'évaluation. Pour l'observateur cependant, le choix ne semble plus rationnel. La raison essentielle est que l'observateur est incapable de faire l'inventaire complet des facteurs de choix et d'en évaluer l'importance relative. L'observateur peut quand même décrire le comportement de l'agent de manière probabiliste. L'individu se comporte alors comme s'il effectuait ses choix selon une loterie. Un terme aléatoire résume alors les variations de choix intra et interindividuelles (de Palma, Thisse, 1989).

En réalité, il convient bien de noter que le problème analysé n'est pas abordé par un modèle de choix discrets. Ces derniers concernent en effet la dimension probabiliste portant sur le choix de telle ou telle variable. En ce sens, la question qui serait posée, si elle était appliquée à la question de la fraude au stationnement, serait de savoir quelle est la probabilité que l'agent fraude ou celle que l'agent ne fraude pas. L'analyse proposée est fondamentalement différente. Elle est de savoir dans quelle mesure l'agent fraude avec certitude ou ne fraude pas avec certitude, toutes choses égales par ailleurs. Il n'est pas question d'ajouter une dimension traitant de l'incertitude sur une partie de la fonction d'utilité. Seule l'issue du choix est aléatoire. La fonction d'utilité est déterministe et l'agent est capable par hypothèse de classer les options de manière cohérente et non ambiguë (respect de l'axiomatique VNM).

En résumé, la logique empruntée pour aborder le problème de la fraude dans l'analyse qui suit s'écarte de la démarche traditionnellement mobilisée en économie des transports qui use des modèles de choix discrets de sorte à déterminer de manière

économétrique une demande agrégée. L'analyse de la fraude proposée ici suppose que l'agent opère son choix de manière déterministe, toutes choses égales par ailleurs. En décrivant ainsi le processus de choix, un certain nombre d'hypothèses ont été posées qui permettent à présent d'aborder une formalisation du problème.

2.2 : Le modèle

Sur la base du modèle d'Arnott et Rowse formalisant le comportement de stationnement, la représentation du comportement de choix de fraude au stationnement payant est à présent exposée. Elle est élaborée en tenant compte des hypothèses qui viennent d'être énumérées.

Tout d'abord, le programme de l'agent fraudeur est envisagé, en limitant l'analyse au comportement d'un agent neutre au risque. Le choix de se restreindre au comportement d'un agent neutre au risque vient du besoin de réduire autant que faire se peut l'analyse. Il est bien évident qu'une analyse d'un comportement individuel dans un environnement incertain réclame de prendre en considération l'hétérogénéité du comportement des agents face au risque. Dans le raisonnement qui suit, il est fait le choix de restreindre l'analyse au comportement de l'agent neutre au risque. L'enjeu est de fournir une représentation suffisamment pertinente sur ce comportement précis qui permette dans les développements futurs d'étendre l'analyse aux comportements d'aversion ou de préférence pour le risque. Ces développements seront d'autant plus importants qu'ils permettront de comparer les résultats théoriques concernant l'impact de la répression, et notamment du niveau de l'amende et de celui de la probabilité de détection, sur le comportement de l'agent averse au risque ou ayant un goût pour le risque, aux résultats avancés par le modèle de l'économie du crime.

Ensuite, le programme de l'agent non-fraudeur est abordé. Puis, le programme de décision individuelle est présenté. Enfin, la détermination du niveau d'équilibre de la répression du point de vue du comportement de l'agent est déclinée.

2.2.1 : Le programme de l'agent fraudeur neutre au risque

La décision 'frauder' est notée A. Pour cette action, l'agent est placé face un risque d'être contrôlé et verbalisé. Les états de la nature sont donc, d'un côté, 'contrôle et sanction', de l'autre, 'pas de contrôle'. Les conséquences attachées aux états de la nature sont respectivement 'obtenir la satisfaction liée stationnement sans paiement du tarif de stationnement nette du l'amende' et 'obtenir la satisfaction liée au stationnement sans paiement du tarif de stationnement'.

Formellement, eu égard aux hypothèses posées sur la probabilité de détection, une variable aléatoire discrète Q_i est définie associant deux événements aléatoires, à savoir Q_1 'être détecté et sanctionné d'une amende forfaitaire' et Q_2 'ne pas être détecté'. Elle associe une distribution de probabilité de détection $q_{j,j=1,2}$ telle que $q_j \geq 0$ avec

$$\sum_j q_j = 1. \quad (30)$$

La distribution de probabilité est donnée à l'agent. Tous les agents ont la même information avant de prendre leur décision. Dès lors, en appliquant la Doctrine d'Harsanyi, les agents sont dotés d'une distribution de probabilité subjective identique pour tous les agents. Le problème peut-être abordé avec les outils théoriques de la prise de décision en avenir risqué.

Dans l'hypothèse où l'amende est de type forfaitaire, notée F , strictement positive quel que soit le temps de stationnement frauduleux, si l'agent fraude, l'espérance mathématique de l'avantage monétaire procuré par un déplacement s'écrit

$$q(\beta - F((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A)) + (1 - q)\beta, \quad \text{où } \bar{x}_A \text{ est la distance maximale}$$

moyenne de déplacements acceptée des agents fraudeurs et \tilde{x}_A est la distance

maximale moyenne de marche à pied acceptée des agents fraudeurs. Le premier terme formalise l'issue du choix de frauder si l'agent est détecté. Dans ce cas, sa satisfaction est à hauteur du gain que lui procure la réalisation de son activité à destination net de l'amende payée. Le niveau d'amende est pondéré par la part de déplacements en voiture particulière acceptés et générant un stationnement frauduleux, donc un coût de stationnement, c'est-à-dire l'expression $((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A)$. L'issue du choix du fraudeur

$$((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A)$$

détecté est pondérée par la probabilité d'être verbalisé, soit q . Le deuxième terme formalise l'issue du choix de frauder si l'agent n'est pas détecté. C'est le niveau de satisfaction du fraudeur impuni, c'est-à-dire le gain brut généré par le déplacement. L'issue du choix du fraudeur non détecté est pondérée par la probabilité de ne pas être verbalisé, soit $(1-q)$.

Le temps de stationnement n'apparaît pas dans l'expression dans la mesure où l'amende est par hypothèse forfaitaire, c'est-à-dire qu'elle est fixe quel que soit le temps de fraude, donc quel que soit le temps de stationnement.

L'agent ne perçoit pas de satisfaction supplémentaire due au plaisir de frauder. L'avantage du fraudeur impuni reste donc l'avantage brut procuré par le déplacement.

Dans l'analyse, l'hypothèse est faite que le revenu issu du paiement de l'amende par le fraudeur détecté ne lui est pas redistribué par ailleurs.

L'expression de l'avantage procuré par le déplacement tel qu'il est entendu dans le modèle de base d'Arnott et Rowse est transformé en une expression de l'utilité de cet avantage. Cette transformation s'impose dans la mesure où la forme de la fonction d'utilité résume le comportement subjectif de l'agent par rapport aux gains d'une loterie. Elle permettra ultérieurement de tester l'impact de la forme de la fonction d'utilité représentant le comportement de fraude au paiement du stationnement sur le choix de frauder ou de respecter le tarif de stationnement. Il faudra alors distinguer le comportement d'un agent

neutre au risque de celui d'un agent averse au risque et enfin, de celui d'un agent éprouvant du goût pour le risque. Seule une fonction d'utilité représentant le comportement d'un agent neutre au risque est abordée dans ce développement. Ce dernier pose ainsi les bases d'une analyse ultérieure plus avancée qui, moyennant un certain nombre de modification dans le modèle, pourrait envisager différentes fonctions d'utilité représentant l'attitude face au risque.

Ainsi, en faisant ici l'hypothèse que l'avantage monétaire horaire tiré du déplacement procure à l'agent un certain niveau d'utilité exprimé par le biais d'une transformation de cet avantage U , le programme du fraudeur qui consiste à maximiser son espérance d'utilité peut être écrit. Une fonction d'utilité linéaire et croissante du type $U(x)=x$ est utilisée comme représentant le comportement de neutralité face au risque. Le programme du fraudeur est la maximisation de l'espérance d'utilité horaire du déplacement avec fraude au stationnement s'écrit :

$$\max_{\bar{x}_A, \tilde{x}_A, d, l} EU_A = q \left(\frac{\beta - F((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A)}{L_A} \right) + (1-q) \left(\frac{\beta}{L_A} \right), \text{ où } F > 0, \quad (31)$$

avec :

$$L_A = \frac{1}{\bar{x}_A} \left[\int_0^{\tilde{x}_A} T_1(x) dx + \int_{\tilde{x}_A}^{\bar{x}_A} T_2(x, P, d) dx \right] + l + \frac{\pi}{\mu \bar{x}_A} \quad (32)$$

le temps de déplacement des agents fraudeurs.

En posant $\Delta \equiv L \bar{x}_A$ et $X_A = \beta - F((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A)$, les conditions

de premier ordre s'écrivent :

$$\frac{\partial EU_A}{\partial \Delta} = \frac{1}{\Delta} \left[q \left(\beta - \frac{X_A}{L_A} (T_1(\bar{x}_A) - T_2(\tilde{x}_A, P, d)) \right) + (1-q) \left(\frac{\beta}{L_A} (T_1(\bar{x}_A) - T_2(\tilde{x}_A, P, d)) \right) \right] = 0 \quad (33a)$$

La condition signifie que l'agent fraudeur choisit \tilde{x}_A de sorte à opter pour le mode de transport qui minimise le temps espéré de déplacement.

$$\frac{\partial EU_A}{\partial \tilde{x}_A} = \frac{1}{\Delta} \left[q \left(\beta - F - \frac{X_A}{L_A} (T_2(\tilde{x}_A, P, d) + l) \right) + (1-q) \left(\beta - \frac{\beta}{L_A} (T_2(\tilde{x}_A, P, d) - l) \right) \right] = 0 \quad (33b)$$

\tilde{x}_A de sorte que l'acceptation de se déplacer en voiture particulière lui procure un avantage espéré qui couvre le coût d'opportunité de se déplacer en voiture particulière.

$$\frac{\partial EU_A}{\partial d_A} = -\frac{1}{\Delta} \left[q \frac{X_A}{L_A} \left(\frac{\partial T_1(x, p, d)}{\partial d} \right) - (1-q) \frac{B}{L_A} \left(\frac{\partial T_2(x, p, d)}{\partial d} \right) \right] = 1 \quad (33c)$$

L'agent fraudeur choisit la distance de recherche d'une place de sorte que la valeur du temps de marche à pied jusqu'à destination n'excède pas le coût d'opportunité de se déplacer en voiture particulière.

De plus :

$$\frac{\partial EU_A}{\partial q} = -\frac{F \left((\bar{x}_A - \tilde{x}_A) / \bar{x}_A \right)}{L_A} < 0, \quad (34)$$

et

$$\frac{\partial EU_A}{\partial F} = -\frac{q \left((\bar{x}_A - \tilde{x}_A) / \bar{x}_A \right)}{L_A} < 0 \quad (35)$$

tant que l'utilité marginale du gain net procuré par l'activité à destination est positive. La signification est que l'augmentation de la peine, soit par le biais de l'augmentation du montant de l'amende, soit par celui de l'augmentation de la probabilité de détection, réduit l'espérance d'utilité de la fraude.

Il n'y a *a priori* aucune raison qui permette de justifier que l'augmentation de la probabilité de détection soit systématiquement compensée par une baisse équivalente du montant de l'amende. Cela dépend de la forme de la fonction d'utilité de l'agent. Concrètement, sur la base des travaux de Becker (1968), il s'agit de comparer, d'une part, la sensibilité à la probabilité de détection, E_q , en évaluant l'élasticité de l'espérance d'utilité à la probabilité de détection, d'autre part, la sensibilité au montant de l'amende, E_F , en évaluant l'élasticité de l'espérance d'utilité au montant de l'amende, soit :

$$E_q = \frac{\partial EU_A}{U} \bigg/ \frac{\partial q}{q} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \frac{\partial EU_A}{U} \bigg/ \frac{\partial F}{F} = E_F, \quad (36)$$

Il y a évidemment égalité entre E_q et E_F pour une fonction linéaire. L'effet sur l'espérance d'utilité d'une augmentation de la probabilité de détection est donc équivalent ici à l'effet sur l'espérance d'utilité du montant de l'amende. Néanmoins, la conclusion de Becker (1968) qui consiste à dire que la probabilité de détection est plus dissuasive que le montant de l'amende lorsque les agents ont un goût pour le risque (inversement pour les

agents ayant une aversion pour le risque) doit être gardée en tête pour des développements futurs. Il serait alors pertinent de montrer que les situations de fraude pour lesquelles, en reprenant la formule de Becker, « le crime paie », c'est-à-dire que la fraude paie, sont en fait la conséquence d'un comportement des agents face au risque et non une conséquence directement liée à l'efficacité des forces de contrôle et de répression. Néanmoins, l'intervention publique peut avoir une influence sur les situations où « le crime paie » en effectuant des choix adaptés de probabilité de détection et de niveau des peines relativement au comportement des agents face au risque. Il va de soi que la question du rôle du traitement de la fraude au stationnement dans une politique du stationnement, et plus largement, dans une politique de régulation de la demande de déplacements devra s'arrêter sur ce point.

Néanmoins, il est *a priori* possible de déterminer des situations pour lesquelles l'augmentation de l'amende avantage la fraude dans le cas d'un agent neutre au risque. Ces situations soulignent le lien qu'il convient de faire dans cette analyse entre le niveau de répression, le comportement de fraude et l'usage de la voiture. Ces situations relèvent de cas précis où le gain espéré en temps total de déplacement issu de l'augmentation de l'amende compense la perte espérée issue de l'augmentation de l'amende. Plus précisément, il s'agit des situations pour lesquelles l'accroissement de satisfaction procuré par la réduction du temps de stationnement issue de l'augmentation de l'amende est plus forte que la baisse de satisfaction issue de l'augmentation de l'amende. Tout d'abord, il suffit pour cela que la désutilité marginale du temps de stationnement soit supérieure à la désutilité marginale de l'amende, c'est-à-dire que :

$$0 < TMS_{W/F} < 1. \quad (37)$$

Si, de plus, l'effet de la variation du temps de stationnement sur la variation d'utilité est plus fort que l'effet de la variation de l'amende sur la variation d'utilité, c'est-à-dire si :

$$E_W = \frac{\partial EU_A}{U} \Big/ \frac{\partial W}{W} > \frac{\partial EU_A}{U} \Big/ \frac{\partial F}{F} = E_F, \quad (38)$$

alors une baisse du temps de stationnement issue de l'augmentation de l'amende, à tarif de stationnement constant, procure une augmentation de l'avantage de l'agent plus forte que la baisse de satisfaction issue de l'augmentation de l'amende.

Si ces conditions sont remplies, le résultat est que la variation de l'amende a un impact sur le temps de stationnement, donc sur le temps de déplacement, tel que la fraude devient avantageuse, en dépit de l'augmentation du niveau de répression. En théorie donc, des situations pour lesquelles l'augmentation de l'amende a un impact contraire sur le comportement de fraude aux effets attendus sont possibles ce qui remet en question l'idée commune que l'augmentation de la répression a nécessairement un effet dissuasif sur la fraude au stationnement. L'erreur de jugement vient du fait qu'elle élude la possibilité que le niveau de l'amende puisse avoir un impact sur le taux

d'occupation de l'offre de stationnement, donc sur le temps de stationnement. Dès lors, elle nie que l'augmentation de l'amende puisse favoriser le temps de stationnement, donc, dans certaines configurations, pour un agent neutre au risque, toutes choses égales par ailleurs, peut entraîner un avantage à frauder.

2.2.2 : Le programme de l'agent non-fraudeur

La décision 'ne pas frauder et payer le tarif de stationnement' est notée \bar{A} . Il n'existe

qu'une conséquence certaine à l'issue de cette décision à savoir, 'obtenir la satisfaction liée au stationnement nette du tarif de stationnement'.

L'agent qui ne fraude pas paie le tarif de stationnement. L'avantage monétaire procuré par le déplacement s'écrit $(\beta - p((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A))(W_A(P_A, d_A) + l)$ où

\bar{x}_A est la distance maximale moyenne de déplacements acceptée des agents ne fraudant pas,

\tilde{x}_A est la distance maximale moyenne de marche à pied acceptée des agents ne

fraudant pas, et $(W_A(P_A, d_A) + l)$ le temps de stationnement moyen des agents ne

fraudant pas.

Le programme de l'agent ne fraudant pas est la maximisation de son *espérance d'utilité* horaire qui est certaine :

$$\max_{\bar{x}_A, \tilde{x}_A, d_A} EU_A = \frac{\beta - p((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A)(W_A(P_A, d_A) + l)}{L_A}. \quad (39)$$

avec :

$$L_A = \frac{1}{\bar{x}_A} \left[\int_0^{\tilde{x}_A} T_1(x) dx + \int_{\tilde{x}_A}^{\bar{x}_A} T_2(x, P, d) dx \right] + l + \frac{\pi r}{\mu \bar{x}_A}, \quad (40)$$

le temps de déplacement des agents ne fraudant pas.

En

posant

$$\bar{\Delta}_A \equiv L_A \bar{x}_A, \quad \bar{X}_A \equiv \beta - p((\bar{x}_A - \tilde{x}_A)/\bar{x}_A)(W_A(P_A, d_A) + l), \quad \text{les}$$

conditions de premier ordre s'écrivent :

$$\frac{\partial EU_A}{\partial \bar{x}_A} = \frac{1}{\Delta_A} \left[p(W_A(P_A, d_A) + l) - \frac{X_A}{L_A} (T_1(\bar{x}_A) - T_2(\bar{x}_A, P_A, d_A)) \right] = 0. \quad (41a)$$

exprimant le fait que l'agent qui ne fraude pas choisit \bar{x}_A de sorte à opter pour le mode le moins coûteux en termes monétaires ;

$$\frac{\partial EU_A}{\partial \bar{x}_A} = \frac{1}{\Delta_A} \left[p - p(W_A(P_A, d_A) + l) - \frac{X_A}{L_A} (T_2(\bar{x}_A, P_A, d_A) + l) \right] = 0. \quad (41b)$$

qui signifie qu'un déplacement n'est accepté par l'agent ne fraudant pas que dans la mesure où le coût d'opportunité du temps de transport n'excède pas l'avantage net procuré par le déplacement pour la valeur de \bar{x}_A choisie ;

$$\frac{\partial EU_A}{\partial d_A} = \frac{(x_A - \bar{x}_A)}{\Delta_A} \left[-p \frac{\partial (W_A(P_A, d_A))}{\partial d_A} - \frac{X_A}{L_A} \frac{\partial T_2(x_A, P_A, d_A)}{\partial d_A} \right] = 0. \quad (41c)$$

qui signifie que la distance de recherche d'une place de stationnement d_A choisie correspond au fait que la valeur du temps de marche à pied jusqu'à la destination n'excède pas le coût d'opportunité du temps de transport.

En outre :

$$\frac{\partial EU_A}{\partial p} = - \frac{((\bar{x}_A - \bar{x}_A) / \bar{x}_A) (W_A(P_A, d_A) + l)}{L_A} < 0. \quad (42)$$

tant que l'utilité marginale du gain net procuré par l'activité à destination est positive. L'augmentation du prix du stationnement dégrade l'utilité procurée par le stationnement non frauduleux.

2.2.3 :Le programme de décision individuelle

La décision de l'agent porte sur le choix d'une des deux options suivantes : A 'frauder' ou \bar{A} 'ne pas frauder'. Le choix est guidé par l'arbitrage entre l'avantage que procure la

décision de frauder et l'avantage que procure la décision de ne pas frauder. Ainsi, en utilisant le critère de maximisation d'espérance d'utilité VNM, le choix optimal de l'agent neutre au risque, noté I, s'écrit :

$$EU(i) = \max_{\bar{x}_i, \bar{x}_i, \bar{x}_i, \bar{x}_i, \bar{x}_i, \bar{x}_i} \{ EU(A); EU(\bar{A}) \}. \quad (43)$$

L'agent retire une utilité espérée supérieure en fraudant plutôt qu'en payant le tarif de stationnement si l'espérance d'utilité en fraudant est supérieure à l'espérance d'utilité en ne fraudant pas. Inversement, l'agent retire une utilité espérée supérieure en payant le tarif de stationnement plutôt qu'en fraudant si l'espérance d'utilité en ne fraudant pas est supérieure à l'espérance d'utilité en fraudant. L'agent peut rester, le cas échéant, indifférent entre frauder et payer le stationnement si l'espérance d'utilité en fraudant et l'espérance d'utilité en ne fraudant pas sont équivalentes.

2.2.4 : La détermination du niveau de répression d'équilibre

Sans coût de contrôle ni utilité d'ordre moral procurée par un quelconque avantage autre que celui occasionné par le stationnement pour réaliser son activité à destination, le calcul du niveau de répression d'équilibre est à présent envisagé, en conservant la logique utilisée pour évaluer le prix optimal. L'hypothèse qui régit l'évaluation du niveau de répression est que la sanction a pour but de faire assumer financièrement à l'agent fraudeur, lorsqu'il est sanctionné, l'externalité de congestion qu'il génère en stationnant, mais qu'il refuse d'assumer en fraudant, c'est-à-dire en ne payant pas le tarif optimal. Dans le modèle de base d'Arnott et Rowse, le tarif de stationnement est évalué de sorte à internaliser l'externalité de congestion de stationnement. Le paiement du tarif de stationnement décentralise alors l'optimum social en cas de congestion.

L'agent a deux options, soit il paie le prix optimal de stationnement et participe au processus d'internalisation de l'externalité de stationnement, soit il fraude et ne concourt pas, s'il n'est pas sanctionné, à ce processus. La détermination du niveau de répression d'équilibre suit la même logique. Lorsque l'agent est détecté comme fraudeur, il doit acquitter une amende dont le niveau permet d'internaliser l'externalité de congestion qu'il génère en stationnant. Intuitivement, l'agent doit, en s'acquittant de l'amende de stationnement, assumer l'ensemble des coûts externes qu'il génère en stationnant, proportionnellement à la probabilité qu'il a d'être détecté. Ce calcul de l'amende tient donc compte des coûts sociaux produits et non couverts par le fraudeur lorsqu'il n'est pas découvert. *A priori* donc, l'expression mathématique du niveau d'amende d'équilibre ne doit pas être très éloignée de l'expression mathématique du tarif optimal de stationnement. La seule raison qui doit l'en faire s'éloigner est le fait que l'amende est ici forfaitaire. Dès lors, elle ne permet pas d'internaliser la totalité de l'externalité de congestion puisqu'elle ne tient pas compte du temps de stationnement.

Ainsi, pour déterminer le montant de l'amende d'équilibre F^e , à l'instar du calcul effectué pour déterminer le prix optimal de stationnement, le système des conditions d'équilibre de l'optimum social (25a)-(25c) est comparé au système (33a)-(33c) comprenant les conditions d'équilibre du comportement du fraudeur.

Ainsi, l'amende d'équilibre s'écrit, pour une probabilité de détection fixée de manière exogène :

$$F^e = \frac{\beta E^*(W^*(P^*, d^*) + l)}{q [L^* + E^*((\bar{x}^* - \tilde{x}^*)/\bar{x}^*)(W^*(P^*, d^*) + l)]}, \quad (44)$$

d'où, en substituant (29') dans (44), le montant de l'amende forfaitaire d'équilibre s'écrit :

$$F^e = \frac{P^*(W^*(P^*, d^*) + l)}{q}. \quad (44')$$

Comme il a été intuitivement pressenti, le montant de l'amende forfaitaire d'équilibre est bien relativement proche du prix optimal de stationnement pondéré par l'inverse de la probabilité de payer effectivement cette amende. Néanmoins, il en diffère du fait que le tarif optimal est un tarif par unité de temps alors que le montant de l'amende est forfaitaire, c'est-à-dire fixe quel que soit le temps effectif de stationnement. La conclusion est que, sans redistribution du produit de la répression, l'amende forfaitaire d'équilibre ne coïncide pas avec l'optimum de premier rang que permet d'atteindre sur le marché du stationnement le tarif optimal de stationnement. Nécessairement, de ce modèle, il peut être conclu que l'amende forfaitaire ne permet éventuellement d'atteindre qu'un optimum de second rang. Dans le cas de la taxation du fraudeur par le biais d'une amende forfaitaire, l'externalité de congestion est partiellement recouverte. L'agent n'assume pas l'externalité de congestion due à chaque minute de stationnement puisque l'amende étant forfaitaire, elle ne considère pas de variation du temps de stationnement. De fait, l'agent fraudeur a tendance à stationner plus longtemps que le temps socialement optimal et réduit son temps de marche à pied jusqu'à destination. L'amende forfaitaire entraîne que le comportement de fraude au stationnement, du point de vue de la problématique de la régulation des déplacements urbains, reste en partie impuni, même si l'agent est détecté comme fraudeur et verbalisé.

Dans le cadre d'une politique de stationnement compatible avec une politique des déplacements urbains, l'inefficacité de l'amende forfaitaire amène donc à se poser la question du niveau d'une amende de second rang du point de vue de l'agent. Or, le modèle permet de montrer qu'il existe des situations théoriques pour lesquelles l'augmentation de l'amende peut avoir comme effet de rendre la fraude avantageuse tant l'augmentation de satisfaction en temps de déplacement générée par l'augmentation du niveau de répression peut dépasser la baisse de satisfaction issue de l'augmentation de ce même niveau de répression. Au-delà, si l'augmentation de l'amende peut entraîner une augmentation de satisfaction de la fraude, c'est parce que le temps de déplacement s'en trouve réduit. Donc, toutes choses égales par ailleurs, le temps de déplacement décroissant, l'usage de la voiture particulière devient plus avantageux ce qui au global, confère à l'augmentation de l'amende le rôle d'accroître la congestion. Dès lors, au regard de ces résultats contre-intuitifs, le modèle permet de justifier de mener une analyse du comportement de fraude en regard de la politique des déplacements.

En conclusion sur cette formalisation du comportement de fraude au stationnement payant urbain, il doit être tout d'abord avancé que l'introduction de la fraude dans le modèle de base permet d'en retrouver la logique globale. A tarif de stationnement fixé, pour un agent neutre au risque, l'introduction d'une sanction monétaire que doit payer le fraudeur détecté joue sur le niveau de mobilité et sur le partage modal. De même que la tarification du stationnement, l'application d'une amende reposant sur le fraudeur introduit un coût espéré du stationnement. *De fait, ce coût espéré conduit les agents, tout d'abord à évaluer leur décision au choix de payer le stationnement ou de frauder. Ensuite, pour le fraudeur, il influe, d'une part, sur son choix de mobilité, d'autre part, sur son choix modal.*

A la proposition d'augmenter le niveau de l'amende pour dissuader l'agent de frauder, le modèle montre que de manière théorique, il existe des situations pour lesquelles cette logique ne tient pas. Pour ces situations, le calcul fait par les agents rationnels, qui consiste à mettre en balance le coût espéré du stationnement au gain espéré de temps de déplacement issu de l'augmentation du coût espéré du stationnement, conduit à frauder lorsque le niveau de l'amende augmente. La formalisation du phénomène permet de sortir du piège de l'apparence selon laquelle l'augmentation du niveau de répression dissuade automatiquement la fraude. Partant, l'insertion de la question de la fraude dans un modèle de stationnement qui met en relation la congestion du stationnement et la demande de déplacement permet d'avancer de manière rigoureuse que le choix du niveau de répression a un impact sur la fraude relatif à l'effet que génère le niveau de répression sur la demande de stationnement et la demande de déplacements urbains.

Le deuxième résultat est que le calcul d'une amende d'équilibre de type forfaitaire ayant pour objectif de faire assumer au fraudeur une partie du coût du stationnement ne permet pas de décentraliser l'optimum. En effet, elle ne considère pas l'externalité de congestion relative au temps de stationnement, donc ne permet pas d'internaliser cette externalité lorsque l'agent est sanctionné. Dans ce cas, le planificateur peut modifier le niveau de l'amende dans l'objectif de réaliser un optimum de second rang. Il peut également appliquer une amende fonction du temps de stationnement frauduleux. Il peut être noté que si d'un point de vue théorique, cette solution ne pose *a priori* pas de problème, d'un point de vue pragmatique, cette option rencontre des problèmes techniques quant à son application, ce qui donne du crédit à l'analyse de l'amende forfaitaire précisément.

3. Conclusion de la section

L'objectif de cette section était de produire une représentation formalisée du comportement individuel de fraude au stationnement payant. Une rapide revue des modèles de stationnement montre en effet que ce type d'analyse est nécessaire. En effet, si la question de la fraude au stationnement a déjà été abordée par la littérature, cette dernière ne fournit en revanche pas d'analyse mettant en relation la fraude au stationnement et la politique de régulation de la demande de déplacements. Loin d'apporter une réponse exhaustive sur la question, l'analyse développée ici donne quelques indications intéressantes sur cette relation.

Munie des outils théoriques concernant l'analyse spatiale urbaine et l'analyse

économique du crime, cette section a permis de montrer en quoi une formalisation du comportement de fraude au stationnement apporte des pistes de réflexion sur la politique répressive de la fraude au stationnement payant inscrite dans une politique des déplacements urbains.

Ainsi, sur la base d'un modèle représentant le comportement de stationnement d'un agent neutre au risque, l'analyse du comportement de fraude au stationnement payant urbain montre que le niveau de répression a un impact sur le niveau de la demande de déplacements et sur le partage modal. Elle permet par ailleurs de conclure qu'une amende de type forfaitaire n'est pas socialement efficace. Dès lors, la recherche d'un optimum second conduit à se poser la question du rôle de la politique répressive du stationnement dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements urbains. En effet, dans certaines situations, l'augmentation du niveau de répression procure un avantage, d'une part, à frauder, d'autre part, à utiliser la voiture particulière. Dès lors, plus modestement, dans le cadre de la modération de l'usage de la voiture particulière en ville, la conclusion de cette section est de dire que l'argument qui propose d'augmenter l'amende, sous-couvert que l'augmentation de l'amende dissuade automatiquement la fraude, n'a pas de pertinence théorique. La remise en question de ce raisonnement vient du fait que la question de la fraude doit être abordée avec des outils économiques au regard des liens qui existent entre le comportement de stationnement, dont le comportement de fraude, et la demande de déplacements urbains. La pertinence de cette représentation, la portée du modèle et les conclusions théoriques doivent être à présent confrontées aux données.

Conclusion du Chapitre 3

Le souci d'apporter un raisonnement rigoureux à la question que doit se poser le décideur public sur la manière de prendre en compte la fraude au stationnement dans une politique globale de régulation de la demande de déplacements urbains conduit à proposer une analyse économique du phénomène.

En tant qu'élément du déplacement urbain, le stationnement est un objet d'étude qui s'inscrit dans l'urbain. Ainsi, proposer une analyse concernant le stationnement doit reposer sur l'existant théorique intégrant l'espace urbain en économie. De même, la fraude au stationnement décrit un comportement qui résulte de la décision individuelle de ne pas respecter une règle consistant à demander aux agents de s'acquitter d'un tarif pour assumer le coût de leur stationnement. Cette décision s'effectue au regard de l'éventualité d'être verbalisé, si la fraude est constatée, par la puissance publique. Ainsi, envisager une analyse économique de la fraude au stationnement nécessite de se référer au cadre d'analyse théorique abordant en termes économiques les comportements qui dévient par rapport à des règles instituées. Dès lors, un raisonnement économique sur le comportement de fraude au stationnement exige que, dans un effort d'abstraction indispensable à son intelligibilité, le phénomène soit réduit en une représentation qui tient compte, d'une part, de sa dimension spatiale et, d'autre part, de la dimension relative au type de comportement considéré, ici le comportement frauduleux.

Dans le but de produire un outil permettant, dans un premier temps, de comprendre

le phénomène et, dans un deuxième temps, d'agir sur le phénomène, ou de déterminer comment agir sur le phénomène dans le cadre de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains, le besoin de simplification de la réalité conduit à proposer un modèle. Cette représentation est certes une approximation du phénomène, mais elle s'impose si l'observateur désire échapper aux apparences premières issues de son appréhension subjective. La complexité du phénomène pouvant se révéler trompeuse au premier abord, seule une telle réduction permet au sujet d'avancer des éléments de compréhension du phénomène. Le modèle microéconomique apporte les outils de base sur lesquels se fonde la représentation des comportements économiques des individus. Dès lors, la représentation économique du phénomène de comportement de fraude au stationnement s'inscrit dans le cadre de l'analyse microéconomique.

Partant, le propos de ce troisième chapitre était de voir dans quelle mesure, dans le cadre d'une politique publique du stationnement tenant compte de la fraude, la construction d'une représentation simplifiée du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie est pertinente. L'objectif du chapitre était ainsi de voir en quoi une telle formalisation permet d'enrichir les réflexions quant à l'application, dans la cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements, d'une politique de régulation de la demande de stationnement tenant compte de l'existence de la fraude.

Une première section a permis de présenter les outils théoriques mobilisés pour élaborer cette représentation. La dimension urbaine du phénomène a conduit à poser les conditions sur les caractéristiques spatiales qui encadrent l'analyse du stationnement urbain. Le recours à l'économie urbaine a premièrement permis de montrer en quoi l'analyse proposée doit se donner une représentation de l'espace urbain. Deuxièmement, l'exposé des développements de l'économie urbaine, abordant la question de la congestion dans les choix de transport, a permis de souligner que la question de la fraude au stationnement joue un rôle dans la problématique des déplacements urbains, donc dans la problématique de la localisation des agents dans l'espace urbain. Il a permis d'apporter une première justification au passage par l'économie urbaine pour représenter le comportement de fraude au stationnement. Troisièmement, le poids de l'incertitude sur le choix de transport des agents pesant de la même manière sur leur choix de localisation, le recours à l'analyse économique du crime, fondée sur la théorie de la décision dans un environnement risqué, pour élaborer la représentation du comportement de fraude au stationnement, a montré l'importance d'intégrer la question de la fraude au stationnement dans le cadre de l'économie urbaine.

Cette première section a ainsi montré en quoi l'analyse du comportement de fraude au stationnement constitue un champ d'application de l'économie du crime. D'un point de vue théorique, l'analyse économique du crime montre que le niveau de fraude est inversement proportionnel à la variation du niveau de répression. Elle met également en évidence que la recherche d'un optimum ne conduit pas forcément à un niveau de répression permettant d'éradiquer la fraude. Elle souligne enfin que le niveau de fraude est relatif au comportement de l'agent face au risque. Toutefois, cette première section a permis de délimiter précisément le recours à l'analyse économique du crime à la modélisation économique du comportement criminel puisque la représentation proposée, dans le cadre du raisonnement suivi, ne considère que le comportement de fraude au

stationnement.

Une deuxième section avait pour but de produire une représentation formalisée du comportement individuel de fraude au stationnement payant. L'idée était de montrer que, dotée des outils théoriques concernant l'analyse économique urbaine et l'analyse économique du crime, la formalisation du comportement de fraude au stationnement permet de proposer des pistes de conclusions théoriques sur l'application d'une politique du stationnement, inscrite dans une politique des déplacements urbains, désirant traiter la question de la fraude au paiement du tarif de stationnement.

Les résultats théoriques du modèle montrent que le niveau de répression influence le niveau de la demande de déplacements et le partage modal. Ils soulignent à cet égard qu'une amende de type forfaitaire n'est pas efficace par rapport à l'objectif de minimiser le temps total de déplacement moyen. La recherche d'un optimum de second rang commande alors que soit posée la question du rôle de la politique répressive du stationnement dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements. Le modèle montre ainsi qu'il existe des situations théoriques pour lesquelles l'augmentation du niveau de répression procure un avantage, d'une part, à frauder, d'autre part, à utiliser la voiture particulière. Ce résultat, *a priori* contre-intuitif, amène à opposer, toutes choses égales par ailleurs, une fin de non-recevoir à l'argument qui consiste à avancer que, dans le cadre de la modération de l'usage de la voiture particulière en milieu urbain, l'augmentation de l'amende dissuade automatiquement la fraude au stationnement. Cette conclusion repose sur l'idée que la question de la fraude réclame d'être appréhendée, d'une part, à l'aide d'outils économiques rigoureux, d'autre part, au regard des relations entre le comportement de stationnement, le comportement de fraude au stationnement payant sur voirie, et la demande de déplacements.

Les conclusions théoriques étant désormais posées, il convient à présent de tester la pertinence de la représentation proposée. Le chapitre suivant développe tout d'abord une série de simulations théoriques. Ces simulations, élaborées sur la base de paramétrages reconstituant un contexte précis, permettent de donner une consistance aux conclusions avancées ici et de les présenter dans une perspective de régulation de la demande de déplacements urbains. Ensuite, ce chapitre aborde, dans un premier temps, les limites et perspectives de développement de la représentation, dans un deuxième temps, les pistes de production de données permettant de soumettre le modèle au test de la réfutation.

Chapitre 4 : Des simulations théoriques du modèle de comportement de fraude au stationnement à la question de sa validation

« ...l'économie est une science de l'action et, qu'en tant que telle, la contribution de la théorie économique à l'économie devrait être mesurée par les contributions que la théorie économique apporte à la compréhension et à la conduite d'une politique

économique. » (H.R. Varian, « A quoi sert la théorie économique ? »)

Muni des outils théoriques issus de l'analyse économique du crime fondée sur la théorie de la décision en environnement risqué, le chapitre précédent s'est clos sur une formalisation du comportement de fraude au stationnement urbain sur voirie. Sur la base d'un modèle de comportement de stationnement, la représentation proposée envisage la possibilité pour un agent de ne pas s'acquitter du paiement du tarif de stationnement. Dans le modèle de base, le tarif de stationnement internalise l'externalité de congestion du stationnement. Pour être cohérent, le tarif de stationnement est fonction de l'externalité de congestion, il varie donc en fonction du temps de stationnement. Il permet de décentraliser l'optimum social sur le marché du stationnement.

Par souci de réalisme, la représentation de la fraude considère en revanche une amende forfaitaire. Le principal résultat théorique est que le niveau d'équilibre de répression n'est pas socialement optimal du point de vue du critère du décideur public qui est de minimiser le temps moyen des déplacements. Ce résultat est logique puisqu'en fraudant, l'agent refuse de payer le stationnement, c'est-à-dire d'assumer le coût social issu de son stationnement. En payant l'amende forfaitaire d'équilibre s'il est détecté comme fraudeur, il n'assume qu'une partie du coût social. L'amende ne prend pas en compte le niveau d'externalité issu du temps de stationnement. Il convient alors de chercher un niveau de répression qui permette de réaliser un optimum de second rang sur le marché du stationnement.

De sorte à envisager des développements théoriques sur la représentation proposée, la pertinence du modèle doit être tout d'abord validée. En outre, une application des prescriptions théoriques du modèle n'aura de sens que si le modèle franchit l'épreuve de la confrontation aux faits. La question reste donc globalement de savoir *dans quelle mesure le modèle théorique de comportement de fraude au stationnement urbain sur voirie, tout d'abord, rend compte d'une certaine réalité, ensuite, peut être validé empiriquement de sorte que le développement de raffinements théoriques de la représentation théorique s'avère opportun.*

Dans un premier temps, le modèle est simulé sur la base, tout d'abord, de paramètres relatant un environnement urbain caractéristique des villes nord-américaines. L'idée est simplement de reprendre les simulations réalisées par Arnott et Rowse et, dans ce cadre, de proposer quelques résultats théoriques de l'introduction de la fraude. Ensuite, le modèle est simulé sur la base de paramètres rendant compte du contexte de la mobilité urbaine en France. L'objectif de cette deuxième série de simulations est d'apporter une réponse à la recommandations traditionnelles qui envisage l'augmentation du niveau de l'amende comme l'unique outil de dissuasion de la fraude compatible avec les objectifs de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains. Plusieurs scénarios sont ainsi testés. De l'ensemble de ces simulations, plusieurs conclusions peuvent être tirées. Tout d'abord, lorsque le niveau de congestion du stationnement est très faible, le tarif optimal décentralise l'optimum social sur le marché du stationnement. L'amende d'équilibre n'est pas socialement optimale, mais, elle est suffisamment forte pour que l'agent soit dissuadé de frauder. Donc, en situation de très faible congestion, le niveau de répression, aussi faible et inefficace soit-il, contribue à réaliser un optimum social du point de vue des agents qui stationnent. En revanche, dans

une situation de congestion très forte sur le marché du stationnement, le tarif optimal ne décentralise l'optimum social que dans certaines configurations du déplacement, en fonction de la durée d'activité à destination. De fait, le niveau d'équilibre de l'amende forfaitaire n'est pas optimal mais contribue, en dissuadant de frauder, à permettre à l'intervention publique de réaliser un état efficace du marché du stationnement. Dans le cas où il ne décentralise pas l'optimum, il convient de chercher un niveau de tarif du stationnement et un niveau de l'amende qui réalisent un optimum de second rang. La difficulté pour le décideur public vient du fait que l'augmentation du tarif de stationnement, d'une part, du niveau de la répression, d'autre part, favorisent, pour un agent neutre au risque, le partage modal au profit de la voiture particulière et renforcent la congestion. Quant à la répression précisément, les simulations montrent que l'augmentation de l'amende dans une situation de très forte congestion renforce l'attrait pour la voiture particulière de telle sorte que l'agent neutre au risque éprouve un avantage croissant pour la fraude. D'où la nécessité de bien choisir la contrainte de détermination de l'optimum de second rang.

Au global, les simulations menées sur un paramétrage rendant compte d'un contexte français montrent que la politique répressive du stationnement doit tout d'abord être différenciée en fonction de la demande de stationnement. Ensuite, elle doit s'adapter au niveau de congestion sur le marché du stationnement. Enfin, elle réclame une analyse rigoureuse du comportement de fraude au stationnement.

Dans un deuxième temps, sur la base des limites et perspectives du modèle, un certain nombre de développements théoriques est proposé. Les hypothèses qui fondent la représentation du comportement de fraude au stationnement sont en effet trop restrictives pour que les résultats théoriques puissent être considérés comme des éléments suffisamment solides, susceptibles d'être fournis directement au décideur public. Il devient alors nécessaire d'examiner les limites du modèle et de discuter de raffinements possibles.

En substance, le modèle ne considérant, à la fois, qu'un seul type de comportement face au risque et qu'un seul critère de décision dans un environnement risqué, conformément aux raffinements que propose la théorie de la décision, les développements avancés ici considèrent l'hétérogénéité du comportement des agents face au risque et envisagent d'appréhender des critères de choix alternatifs. En effet, il serait maladroit de laisser l'analyse du comportement de fraude au stationnement exclusivement fondée sur le comportement représentant la neutralité au risque. Il est bien évident que, pour tenir compte de la diversité des comportements dans un environnement risqué, il convient d'aborder, d'une part, la représentation du comportement d'aversion pour le risque et la représentation du comportement de préférence pour le risque, d'autre part, le degré d'aversion au risque relatif au niveau de richesse de l'agent. De même, le doute reposant sur la capacité réelle du critère de l'espérance d'utilité à représenter fidèlement le critère de choix des agents économiques dans l'incertain, des critères alternatifs sont proposés.

En outre, le modèle ne s'intéressant qu'au comportement de fraude, il est proposé d'étendre l'analyse à la question du coût de la répression ressenti par l'agent chargé du contrôle du stationnement. L'analyse économique du crime traditionnelle ne s'arrête en

effet pas à la représentation de la décision de commettre un fait délictueux. Elle propose d'évaluer un niveau de contrôle optimal, relatif au coût de contrôle et de répression, et justifie, d'un point de vue économique, l'existence d'un volume d'actes criminels optimal. Des pistes de réflexion en la matière sont abordées qui vont jusqu'à proposer une analyse de la question de la fraude au stationnement, non plus comme un unique comportement individuel, mais comme le résultat de comportements stratégiques.

Par ailleurs, le modèle proposé étant statique, l'examen des développements théoriques projette d'aborder une analyse dynamique de la question du comportement de fraude. Au global, toujours dans le souci de produire un modèle de comportement de fraude au stationnement qui soit riche d'enseignements pour la politique des déplacements urbains, les hypothèses sont discutées afin de proposer une intégration de la question de la fraude au stationnement dans l'analyse plus globale de la congestion routière urbaine.

Les développements théoriques n'ont cependant de sens que dans la mesure où le modèle est statistiquement validé dans sa confrontation aux données. Or, les perspectives de validation du modèle montrent que les méthodes traditionnelles ne sont pas toujours satisfaisantes eu égard à la spécificité de la question de la fraude. Pour cette raison, la convocation d'une méthode originale en économie des transports, qui consiste à produire des données par le biais d'expérimentation en laboratoire, est proposée.

Section 1 : Les enseignements des simulations théoriques

A partir du modèle théorique, une première phase d'utilisation de l'analyse de la fraude au stationnement consiste à proposer des prescriptions normatives de politique publique du stationnement sur la base de résultats théoriques. Une deuxième phase, qui n'est pas développée ici pour des raisons qui sont explicitées dans la section suivante, est de soumettre la robustesse du modèle à la confrontation statistique de données relatives au phénomène formalisé. Ici, la production des résultats théoriques est issue de simulations théoriques.

L'objectif de cette première section est de savoir si, à la lumière des simulations théoriques, le modèle permet d'avancer quelques réponses normatives à la question de la prise en compte dans la politique du stationnement de la fraude au stationnement payant urbain sur voirie.

La phase des simulations théoriques s'effectue en deux temps. Tout d'abord, les simulations sur le modèle de base effectuées par Arnott et Rowse sont reprises. Le paramétrage rend compte d'un contexte de mobilité urbaine nord-américain. A partir des données américaines, le paramétrage et les résultats sont convertis en des valeurs françaises de sorte à donner une idée de la portée des enseignements tirés de ces simulations.

Le deuxième temps de simulation propose de reconstruire le contexte de mobilité urbaine français par le biais d'un paramétrage spécifique. Les enseignements de l'analyse de la demande de stationnement (voir Chapitre 2) conduisent à simuler deux types de scénarios. Le premier type de scénarios envisage un stationnement soit de courte durée,

soit un stationnement de moyenne durée, ceci pour rendre compte d'une situation représentative de stationnement dans un contexte français. Le deuxième type de scénario aborde une configuration de stationnement de longue durée pour simuler le cas du stationnement pour motif travail.

1 : Les simulations à partir du modèle de base

De sorte à apporter des pistes de réflexion sur le type de politique à mener concernant la fraude au stationnement dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements, les simulations doivent donner une image d'un contexte transport pertinent. Sur la base des simulations pratiquées par Arnott et Rowse, les résultats théoriques issus du modèle de base sont présentés. Ils sont complétés des résultats des simulations lorsque le modèle de comportement de fraude est introduit.

1.1 : Choix des paramètres

Les paramètres choisis par Arnott et Rowse considèrent un contexte urbain nord-américain où les villes sont très étalées et la densité d'habitants au centre reste plus faible qu'en Europe. Les résultats présentés tiennent donc compte de ce contexte, mais pour donner un ordre d'idée des résultats, ils sont exprimés en convertissant les paramètres en des valeurs françaises.

r	Γ	μ	D	β	α	γ
0.93255	2533.3 personnes/mile (1574.2 personnes/km)	3.04510	124 places/mile (74 places/km)	1.14 (75 PPF)**	2.1 miles/ath (4.83 km/2)	12.0 miles/h (19.31 km/h)

Tableau 13. Paramètres de simulation du modèle de base

Le rayon r de la ville circulaire est choisi de sorte que, sans congestion du stationnement, le trajet aller le plus long n'excède pas 3,08 miles, soit 4,96 kilomètres. La valeur de Γ , la densité de population, vient de l'hypothèse que l'espace considéré

correspond à une route bordée de chaque côté d'immeubles de 6 étages. Chaque logement est supposé posséder un linéaire de 7,6 mètres donnant sur la rue. Il y a donc 1574,2 ménages au kilomètre. Par hypothèse, un ménage se compose d'une personne. La ville se répartissant sur la circonférence du cercle, on suppose que la ville ne se définit pas par une surface mais qu'elle se résume à un espace sans épaisseur. Donc, Γ

exprime une densité de population par kilomètre pour cet espace. Le paramètre μ correspond au nombre moyen de déplacements quotidiens pour un individu. Il est fixé de sorte que, sans congestion du stationnement, le trajet le plus long n'excède pas 4,96 kilomètres. La valeur de D , la densité de places de stationnement, vient de la nécessité de tenir compte à la fois de la longueur d'une place de stationnement, du fait qu'il existe des places de stationnement en continu de chaque côté de la route et de l'existence d'une partie du linéaire routier affecté aux divers aménagements urbains. En posant par hypothèse que la longueur d'une place de stationnement est équivalente à 8,05 mètres, on obtient 124 places de stationnement au kilomètre. De même, la ville n'ayant pas de

surface, D exprime une densité de places de stationnement au kilomètre. Les paramètres choisis, il reste à présenter les résultats des simulations théoriques du modèle de base menées par Arnott et Rowse. L'intérêt ici de décliner ces résultats est de donner une idée de la portée du modèle de base.

1.2 : Les résultats théoriques du modèle de base

Les simulations portent sur deux cas différents quant à la durée de réalisation de l'activité. D'une part, le cas d'une durée d'activité nulle est envisagé. Bien qu'il ne rende pas compte d'une réalité quant à la définition du concept de stationnement, ce premier cas de figure est intéressant dans la mesure où il présente des résultats particulièrement typiques quant au niveau de congestion du stationnement. D'autre part, le cas d'une durée de stationnement égale à 15 minutes est exploré.

Les simulations donnent tout d'abord les caractéristiques de l'optimum social qui sert ainsi de référence quant à l'efficacité de la politique du stationnement. Par suite, l'équilibre de stationnement est décrit. Il permet de voir dans quelle mesure la tarification décentralise l'optimum social.

1.2.1 : La durée d'activité à destination est nulle ($I=0$)

A l'optimum social (voir Tableau 14, voir Annexe 6), tous les déplacements sont acceptés puisque la distance maximale moyenne de déplacement acceptée (\bar{x}) au-delà de

laquelle l'agent refuse de se déplacer est égale à la distance maximale de déplacement possible, soit 4,96 km. Il est bien évident que l'optimum social rend compte d'une situation pour laquelle tous les agents de l'économie sont satisfaits. Ici, la satisfaction collective veut que tous les agents réalisent leur activité en ayant avantage d'accepter de se déplacer. Dès lors, il est normal que l'optimum suppose ici que l'ensemble des agents accepte les opportunités de déplacements proposées.

La distance maximale moyenne de marche à pied acceptée est de 9 mètres (\bar{x}).

Cette valeur donne une indication concernant le partage modal à l'optimum. En effet, plus la distance maximale de marche à pied acceptée est faible, plus l'agent tend à choisir la voiture particulière. Inversement, plus la distance maximale de marche à pied acceptée est élevée, plus l'agent a tendance à opter pour la marche à pied. Ici, à l'optimum, elle est relativement faible ce qui signifie que l'agent est plutôt enclin à prendre sa voiture. Ce résultat est logique dans la mesure où, il convient de le rappeler, l'optimum social vient du choix de la fonction objectif du planificateur qui est de minimiser le temps total de déplacement moyen dans l'économie. Or, sans congestion, la vitesse moyenne de la voiture étant plus élevée que celle de la marche à pied, le planificateur a intérêt à ce que les agents choisissent la voiture particulière. Bien entendu, d'autres fonctions objectif du planificateur peuvent être envisagées. Ici, le choix de minimiser le temps de déplacement vient du fait que la fonction du décideur public émane des comportements des seuls usagers des transports. Chacun désirant minimiser son temps total de déplacement, la fonction objectif du planificateur envisage de minimiser le temps total de déplacement moyen. Dans l'hypothèse où l'objectif du décideur public est de chercher à modérer

l'usage de la voiture particulière, alors, la fonction objectif peut être au contraire de maximiser le temps moyen de déplacement de sorte à désavantager l'automobile à un niveau tel que, soit les agents refusent tous de se déplacer, soit les agents se reportent tous sur un autre mode de transport.

La distance moyenne (d) à partir de laquelle l'agent cherche une place est de 8,2 mètres. Autrement dit, à l'optimum social, le temps de recherche d'une place est minime. C'est un résultat là aussi très logique puisque le taux de places disponibles est de 93,88 % (P/D) soit un niveau de congestion très faible.

Le temps moyen de stationnement $W(P,d)+I$ s'élève à 9,29 secondes (0,1548 minute). Enfin, le temps moyen de déplacement total, tous modes confondus, aller et retour, L est de 31 minutes (0,51595 heure).

	P	d (m)	I (min)	L (km)	L (h)	$W(P,d)$ (min)
Optimum social	0,9388	8,2	0,001	0,668321	0,51595	0,1548

Tableau 14. Optimum social (durée d'activité à destination nulle =0)

A l'optimum, l'externalité de congestion de stationnement est marginale ($E^* = 0,073456$). En effet, l'externalité de congestion représentant l'impact de la consommation d'une place de stationnement par un agent sur la réduction de l'offre en places de stationnement pour les autres agents, elle est équivalente à l'augmentation du temps de déplacement pour les autres agents induite par cette consommation. Elle résulte alors de la différence entre la variation du temps moyen de déplacement sur la distance maximale de marche à pied acceptée si le mode choisi est la marche à pied (résultant du basculement sur la marche à pied dû à la réduction d'offre), et la variation du temps moyen de recherche d'une place (résultant de la réduction de l'offre de stationnement). Or, à l'optimum social, la distance maximale de marche à pied acceptée et la distance à partir de laquelle l'agent cherche une place de stationnement (qui intervient dans le calcul du temps de déplacement en voiture particulière) sont relativement proches. Donc, l'externalité de congestion est plutôt faible. Par unité de temps de stationnement, chaque minute stationnée par un agent génère en moyenne une perte de temps pour les autres usagers de 4 minutes 24 (0,073456 minute). Le temps moyen de stationnement se montant à 9,29 secondes, le temps moyen de déplacement socialement perdu du fait du stationnement d'un agent est de 68 secondes.

Pour couvrir le coût social généré par l'externalité de congestion du stationnement, le tarif optimal de stationnement p s'élève à 10,67 francs l'heure de stationnement. Etant donné le temps de stationnement, à l'optimum, l'agent paie donc en moyenne 0,03 francs de stationnement.

Ce premier cas de figure volontairement caricatural permet néanmoins de dégager des états typiques de congestion du stationnement. Il conduit à mettre en évidence deux équilibres stables, l'équilibre 1 appelé équilibre de congestion et l'équilibre 3 appelé équilibre d'hypercongestion, et un équilibre instable, l'équilibre 2.

L'équilibre 1 :

Sans tarification, le taux de places de stationnement libres caractérise un état de très

faible congestion (93,83 % de places disponibles). A cet équilibre, l'agent accepte tous les déplacements en voiture particulière, la distance maximale moyenne de déplacement acceptée tendant vers la distance maximale possible, soit 4,96 kilomètres. Il choisit la voiture particulière comme mode de transport puisqu'en revanche, la distance maximale moyenne de marche à pied acceptée est très faible, de l'ordre de 8,4 mètres. A l'équilibre 1, il y a donc plus de demande de voiture particulière à niveau de demande de déplacements équivalent qu'à l'optimum social ce qui explique le niveau de congestion marginalement plus élevé. Le temps de recherche moyen d'une place est de 1,6 secondes. L'agent trouve donc une place de stationnement quasiment instantanément. Pour joindre la destination finale, l'agent marche en moyenne environ 6,3 mètres. Le temps moyen de stationnement est de 9,4 secondes. Le temps généralisé moyen de déplacement tend vers 31 minutes (Voir Annexe 7).

	ρ	\bar{x} (km)	\bar{x} (marche)	\bar{x} (voiture)	\bar{t} (s)	\bar{t} (marche)	\bar{t} (voiture)	\bar{t} (stationnement)	\bar{t} (généralisé)
Equilibre 1 p=0	0,0633	1,955	0,00043	0,00010	0,00063	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Equilibre 1 p'	0,0633	4,96	0,00043	0,00010	0,00063	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Tableau 15. Résultats théoriques, $l=0$, équilibre 1

L'application du tarif optimal de stationnement à 10,67 francs permet de réaliser l'optimum premier (voir Annexe 8). Elle régule la demande de stationnement notamment en réduisant le temps de stationnement et la distance de recherche d'une place. Elle conduit en revanche à dégrader la situation individuelle des agents. En appliquant une transformation⁴⁴ du gain perçu par l'agent par une fonction d'utilité linéaire de type $U(x) = x$, en faible congestion, la tarification est socialement efficace mais détériore, de façon très marginale, l'utilité du déplacement procurée à l'agent. La variation du surplus du consommateur est négative ($\Delta S = - 0,007$)⁴⁵.

L'équilibre 2 :

Sans tarification, le taux de places de stationnement vacantes est de 5,74 %. La distance moyenne de recherche d'une place de stationnement est de 137,8 mètres et la recherche dure en moyenne 25,7 secondes. L'agent marche en moyenne 102,7 mètres pour atteindre sa destination finale ce qui lui prend en moyenne un peu plus d'1 minute. L'agent opte systématiquement pour la voiture particulière pour les déplacements dont la distance moyenne dépasse 137,8 mètres, la distance maximale moyenne de déplacement acceptée tendant vers le maximum. Le temps généralisé moyen de déplacement est de 33 minutes⁴⁶ (voir Annexe 10).

⁴⁴ Pour rester cohérent avec la fonction d'utilité choisie dans le modèle.

⁴⁵ La variation du surplus ici est fondée sur l'hypothèse du demande marshallienne, l'utilité étant continue croissante (Kreps, 1990). Il ne s'agit donc pas d'une variation de surplus sur une demande compensée (Laffont, 1988). Les résultats à tirer du calcul du surplus sont donc à modérer quant à leur portée normative. Néanmoins, ils fournissent une idée du sens de variation de la satisfaction du consommateur.

	\bar{r}	\bar{x} (km)	\bar{y} (min)	\bar{z} (km)	Δ (h)	$\bar{r}'(\bar{r}, \bar{x}, \bar{z})$ (min)	$\bar{S}U^a$ (PP)	$\Delta S U^a / \bar{S}U^a$
Équilibre 2 p=0	0,13	1,9538	11,178	0,1378	0,00001	1,5518	133	
Équilibre 2 p=1	0,13	2,3407	11,137	0,1378	0,53808	2,5671	134,78	-0,074

Tableau 16. Résultats théoriques, $l=0$, équilibre 2

L'application du tarif de stationnement ne permet pas de réaliser un optimum premier. Néanmoins, si la question se pose de savoir selon quel critère d'efficacité la tarification optimale permet d'atteindre un optimum de second rang, il peut être avancé que la tarification permet de dégager de l'offre de stationnement par rapport à la situation sans tarification. En revanche, elle tend à dégrader la satisfaction moyenne des agents ($\Delta S = - 0,1233$) (voir Annexe 11).

L'équilibre 3 :

Le taux de places de stationnement libres est de 0,33 %. La distance moyenne de recherche d'une place est de 2,402 kilomètres et la recherche dure en moyenne environ 8 minutes. Le temps moyen de marche à pied jusqu'à la destination finale est d'environ 22,5 minutes pour une distance moyenne à parcourir de 1,7 kilomètres. La durée du stationnement est d'environ 45 minutes. Le temps généralisé moyen de déplacement est de plus d'1 heure. Cet équilibre rend compte d'une situation de très forte congestion sur le marché du stationnement. Ainsi, la distance maximale moyenne acceptée par un agent n'est que de 2,7 kilomètres, ce qui implique que le nombre moyen de déplacements en voiture particulière acceptés se réduit par rapport à ce qu'il est pour les autres équilibres (la distance maximale moyenne de marche à pied se réduit de l'ordre de 45,8 %). En revanche, l'agent est prêt à opter pour la marche à pied à concurrence de 2,4 kilomètres, c'est-à-dire qu'en moyenne, il est prêt à accepter approximativement 1 heure de marche à pied aller et retour pour réaliser son activité (voir Annexe 13).

Il est évident que cette distance de marche à pied n'est pas réaliste ce qui permet de souligner une limite du modèle qui est de ne considérer que deux modes alternatifs. En effet, pour une telle distance de marche à pied, il est aisé de faire l'hypothèse que l'introduction d'un mode collectif modifierait le niveau de mobilité dans cet équilibre. Ceci constitue un argument pour considérer plus de deux modes dans les développements du modèle.

	\bar{r}	\bar{x} (km)	\bar{y} (min)	\bar{z} (km)	Δ (h)	$\bar{r}'(\bar{r}, \bar{x}, \bar{z})$ (min)	$\bar{S}U^a$ (PP)	$\Delta S U^a / \bar{S}U^a$
Équilibre 3 p=0	0,11	2,6953	11,117	2,7007	1,02531	11,1823	75,13	
Équilibre 3 p=1	0,47	2,7305	2,3333	1,0005	1,01321	33,1547	69,18	-1,178

Tableau 17. Résultats théoriques, $l=0$, équilibre 3

Il convient enfin de noter sur les caractéristiques de cet équilibre d'hypercongestion que le niveau de tarification optimal est socialement inefficace (Annexe 14). Il induit une faible réduction de la congestion (de l'ordre de 13 % environ). Marginalement, il contribue

⁴⁶ Hormis le fait de conclure que cette configuration correspond à une situation de congestion importante, Arnott et Rowse passent sur l'interprétation de cet équilibre. Ils en démontrent le caractère d'instabilité ce qui soumet son interprétation économique à de très grandes réserves.

à augmenter la part relative de l'usage de la voiture particulière. Il entraîne une réduction conséquente à la fois du temps de stationnement et de la distance de recherche d'une place de stationnement. Il permet cette fois d'accroître en valeur absolue la satisfaction individuelle des agents ($\Delta S = + 0,0046$) alors que, paradoxalement, l'utilité marginale du stationnement payant à l'équilibre d'hypercongestion est négative.

En définitive, la mise en évidence de ces trois équilibres montre que, si dans un premier temps la possibilité de frauder n'est pas envisagée, dans le cas d'une très faible congestion, sans redistribution du revenu, l'application du tarif optimal est socialement efficace. Elle contribue à basculer de l'équilibre de congestion à l'optimum social. En revanche, le tarif socialement optimal est trop faible pour prétendre modifier réellement les autres équilibres, c'est-à-dire les équilibres en situation de forte congestion ou d'hypercongestion.

Toutefois, il est remarquable que la tarification optimale contribue à dégrader la situation individuelle des agents dans le cas d'une faible congestion alors que dans le cas d'une situation d'hypercongestion, elle permet d'accroître la satisfaction moyenne des agents. Pour Arnott et Rowse, ce dernier constat permet d'avancer que *si l'introduction de la tarification de stationnement permet de réduire l'intérêt d'un déplacement en voiture particulière, elle entraîne par ailleurs une réduction de la congestion du stationnement, ce qui paradoxalement, renforce l'attrait des déplacements en voiture particulière*. Ainsi, en cas d'hypercongestion, du point de vue de l'agent, l'augmentation du prix du stationnement est plus que compensée par la réduction du temps moyen de transport individuel.

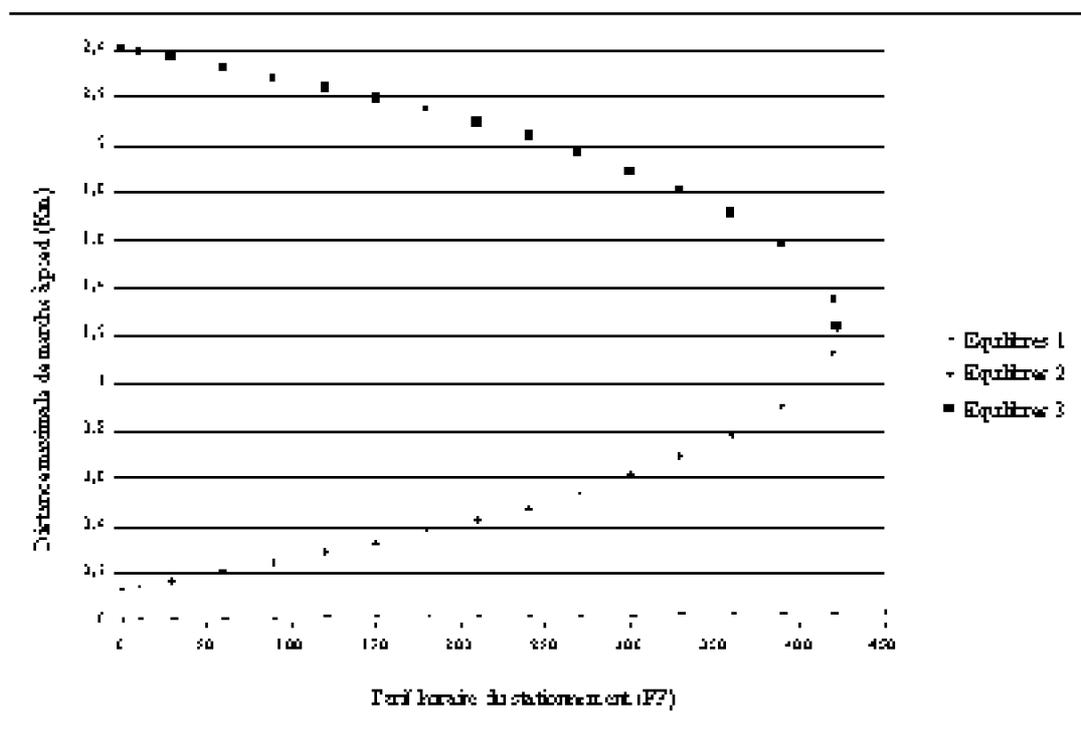
Le raisonnement suivant permet de comprendre ce phénomène. En exprimant \bar{x} , la distance maximale de marche à pied, en fonction de p , le prix du stationnement, Arnott et Rowse montrent que les équilibres 2 et 3 disparaissent pour $p > 423.38$ francs de l'heure (voir Figure 17 et Annexe 16). Au-delà, les équilibres de forte ou d'hypercongestion disparaissent puisque le prix devient tel que les agents renoncent au déplacement en voiture particulière. Pour ces deux équilibres, la réalisation d'un optimum premier étant impossible, le planificateur a donc la charge de définir une contrainte pour réaliser un optimum second, en décidant du tarif selon l'arbitrage qu'il fait entre le partage modal et le temps total de déplacement moyen.

Dans le cas d'un état de forte congestion (équilibre 2), l'augmentation du prix du stationnement a un effet sur l'équilibre qui conduit à favoriser la marche à pied (\bar{x} croît en fonction de p). Donc, plus le tarif de stationnement augmente, plus le partage modal est favorable pour la marche à pied. Inversement, dans le cas d'un état d'hypercongestion (équilibre 3), l'augmentation du tarif favorise la voiture particulière (\bar{x} décroît en fonction de p). En effet, dans ce dernier cas de figure, le tarif du stationnement s'accroît, mais l'effet de cette augmentation sur la satisfaction de l'agent est plus que compensé par l'effet sur sa satisfaction du gain en termes de temps moyen de déplacement. Notamment, comme l'indiquent les chiffres du Tableau 17, l'application du tarif de stationnement entraîne une forte réduction du temps moyen de stationnement. Il peut être ajouté aux résultats d'Arnott et Rowse le calcul du taux marginal de substitution du temps

de stationnement au tarif de stationnement. Il montre que la désutilité marginale du temps de stationnement est plus forte que la désutilité marginale du tarif de stationnement ($\frac{\partial TMS_{W/p}}{\partial p} = 0,005$). En outre, l'élasticité de l'espérance d'utilité au temps de

stationnement est négative et plus forte que l'élasticité de l'espérance d'utilité au tarif de stationnement ($e_{EUW} = -1.011 < -0.0114 = e_{EUp}$). L'effet de la variation du temps de stationnement sur la satisfaction de l'agent est plus fort que l'effet de la variation du tarif de stationnement. Or, dans le cadre de l'équilibre d'hypercongestion, l'augmentation du tarif de stationnement a pour conséquence une baisse du temps de stationnement. Dès lors, la baisse du temps de stationnement entraîne une augmentation de la satisfaction de l'agent. Le taux marginal de substitution montrant que, dans ce cas de figure, l'impact sur la satisfaction de l'agent d'une variation du temps de stationnement est plus fort que l'impact d'une variation du prix du stationnement, il peut être déduit que la réduction de satisfaction due à l'augmentation du tarif de stationnement est plus que compensée par l'augmentation de satisfaction due à la baisse du temps de transport.

Donc, toutes choses égales par ailleurs, si *a priori* l'augmentation du prix du stationnement désavantage la voiture particulière dans un état d'hypercongestion, elle contribue en fait à libérer une offre de stationnement, c'est-à-dire à réduire le niveau de congestion, donc à réduire la distance à partir de laquelle l'agent cherche une place ainsi que le temps moyen de marche à pied jusqu'à destination, et au global le temps de déplacement. L'attrait pour la voiture particulière est donc renforcé par l'augmentation du prix du stationnement. L'effet fonctionne jusqu'à un certain niveau du tarif de stationnement à partir duquel il n'y a plus d'intérêt pour l'agent à se déplacer en voiture particulière et l'équilibre d'hypercongestion disparaît.



Source : d'après Arnott, R., Bowse, J. 1999 « Parking Modeling », *Journal of Urban Economics*, 45, 117.

Figure 17. Distance maximale de marche à pied en fonction du tarif du stationnement ($l=0$)

Le premier type de simulation montre qu'il peut exister plusieurs niveaux de congestion. En cas de très faible congestion, la tarification du stationnement décentralise l'optimum social. En cas de forte congestion ou d'hypercongestion, la tarification du stationnement n'est pas efficace. Le cas le plus intéressant est celui qui traite de la situation d'hypercongestion. Dans ce cas, la recherche d'un niveau de tarif permettant un optimum second est délicat. Il dépend du choix de la contrainte que pose le décideur public. Si son objectif est de minimiser au mieux le temps total de déplacement moyen, alors le tarif de stationnement doit être augmenté. Mais, si l'objectif est de modérer l'usage de la voiture particulière, paradoxalement, l'augmentation du tarif de stationnement ne répond plus à l'objectif. En effet, en situation d'hypercongestion, l'augmentation du tarif contribue à réduire la congestion puisqu'en première instance, l'augmentation du tarif est désavantageuse pour les agents. Mais, la réduction de la congestion est telle que l'usage de la voiture en devient plus avantageux car la variation de satisfaction issue du gain en temps de déplacement est plus forte que la baisse de satisfaction issue de l'augmentation du tarif de stationnement. Ces premiers résultats posent clairement la question du choix du niveau de tarification lorsqu'elle n'est pas efficace, c'est-à-dire, dans les situations où le marché du stationnement est très congestionné. Ces résultats corroborent les résultats de Galzer et Niskanen (1992) qui montrent que l'augmentation du prix du stationnement accentue la congestion.

1.2.2 : La durée d'activité à destination n'est pas nulle ($l=0,25$)

Il ressort que, pour une durée d'activité fixée à un quart d'heure, les équilibres de faible congestion ou de forte congestion disparaissent. Seul demeure un équilibre d'hypercongestion.

A l'optimum social (voir Tableau 18), le taux de places de stationnement libres est de 10,5 %. La distance maximale moyenne d'acceptation d'un déplacement est de 3,1 kilomètres. A l'optimum social donc, une part importante des déplacements bascule sur la marche à pied. Par conséquent, la distance moyenne de recherche d'une place de stationnement est fortement réduite puisque la demande de stationnement diminue. Cette réduction contribue à abaisser le temps de stationnement puisque par contrecoup, la distance moyenne de marche à pied depuis le lieu de stationnement jusqu'à la destination finale se réduit. Donc, pour minimiser l'externalité de congestion du stationnement, le temps de stationnement directement lié la durée d'activité n'étant pas nul, l'optimum social réclame que la distance de recherche d'une place soit la plus faible possible. Ainsi, à l'optimum, la distance moyenne à partir de laquelle l'agent recherche une place est de 60 mètres. Le temps de recherche moyen d'une place est de 11 secondes. La distance moyenne de marche à pied du lieu de stationnement à la destination s'élève à 5,34 mètres. Le temps généralisé moyen de déplacement est d'1 heure (voir Annexe 18).

	P	\bar{x} (km)	\bar{y} (km)	\bar{z} (km)	\bar{L} (h)	$\bar{W}(P, \bar{x})$ (min)
Optimum social	17,62	3,1025	2,2228	3,2598	1,0772	1,2278

Tableau 18. Optimum social (durée d'activité à destination non nulle $l=0,25$)

L'externalité de congestion du stationnement ($E^* = 2,46115$) implique qu'une minute de stationnement d'un agent entraîne une perte de temps pour les autres agents de l'ordre de 2 minutes 28 secondes (2,46115 minutes). En moyenne, le temps de stationnement est de 16,33 minutes. L'externalité moyenne de congestion se monte donc à 40,2 minutes. A l'optimum social, le tarif horaire optimal s'élève à 145,94 francs l'heure de stationnement. Etant donné la durée de stationnement optimale, l'agent s'acquitte donc en moyenne d'un tarif de stationnement de 39,72 francs. En transformant de nouveau le gain procuré à l'agent par une fonction d'utilité linéaire de type $U(x) = x$, l'utilité horaire moyenne d'un déplacement se monte à 69,62 francs.

Pour une durée d'activité d'1/4 d'heure, l'équilibre de stationnement est très proche de l'équilibre d'hypercongestion 3 mis en évidence dans la simulation relative à une durée d'activité nulle. Il accentue les tendances à la congestion.

	P	\bar{x} (km)	\bar{y} (km)	\bar{z} (km)	\bar{L} (h)	$\bar{W}(P, \bar{x})$ (min)	\bar{RTT}_d (ET)	$\partial \bar{W} / \partial P$
$\mu=0$	0,117	2,0783	2,1178	2,1079	1,2155	17,2910	38,33	
μ^*	17,62	3,1025	2,2228	3,2598	1,0772	1,2278	39,72	1,17

Tableau 19. Résultats théoriques, $l=0,25$

Sans tarification (voir Tableau 19, voir Annexe 19), le taux de places disponibles étant très faible, la distance maximale de déplacement acceptée est relativement peu élevée, de l'ordre de 2,7 kilomètres, ce qui limite de fait le nombre moyen de déplacements acceptés effectués en voiture particulière. L'équilibre représentant un état d'hypercongestion, la distance moyenne à partir de laquelle l'agent recherche une place

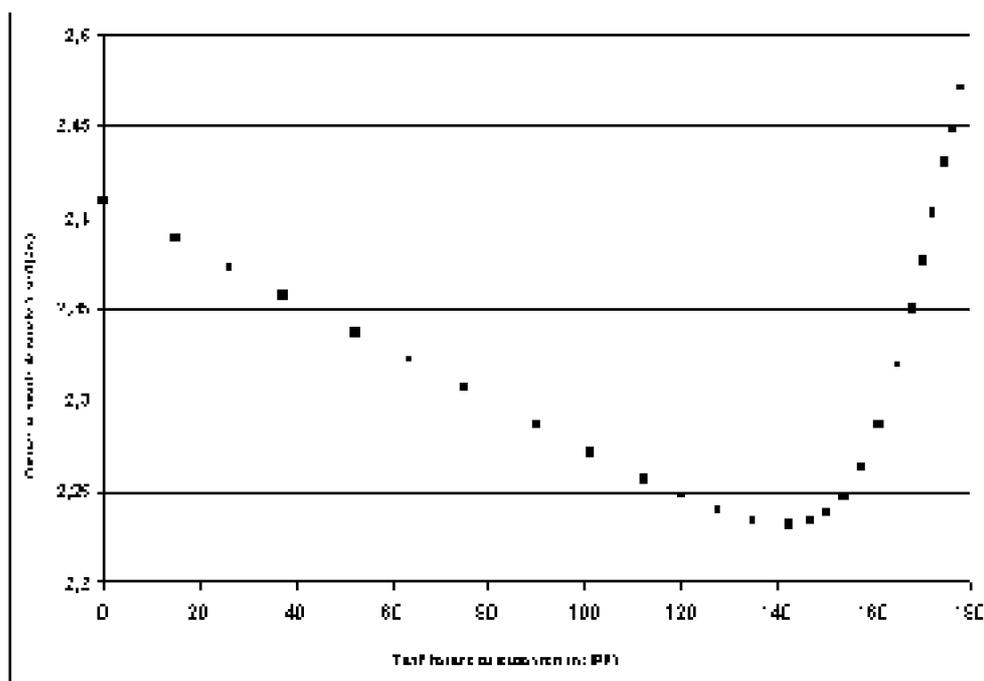
de stationnement est très élevée et s'établit à 2,4 km. Le temps généralisé moyen de déplacement se monte à 1 heure et 16 minutes (1,27 heures) et la durée moyenne de stationnement est d'1 heure pour une durée d'activité d'1/4 d'heure. L'agent marche donc en moyenne 3/4 d'heure aller et retour depuis son lieu de stationnement jusqu'à sa destination finale. L'avantage horaire procuré par le déplacement s'établit à 58,80 francs.

L'application du tarif de stationnement décentralise l'optimum premier. Elle permet d'augmenter l'espace disponible à hauteur du niveau d'offre optimal. En outre, elle permet la réalisation d'une quantité supérieure de déplacements puisque la distance maximale moyenne d'acceptation d'un déplacement augmente d'environ 14 %. La tarification améliore les conditions de stationnement dans la mesure où la distance moyenne de recherche d'une place libre est réduite de 97,5 % et que le temps moyen de stationnement est réduit de 97 % passant d'1 heure à 16 minutes 30. En comparaison, la réduction du temps de déplacement n'est que de 43 %. Le retour à un optimum de premier rang est donc bien un résultat de l'effet de la tarification sur les conditions de stationnement, qui se répercute sur l'avantage de l'usage de la voiture particulière. Cette distorsion vient du fait qu'à l'équilibre de congestion, la distance moyenne de déplacement acceptée s'accroît de 13,6 % et que la distance moyenne effectuée en voiture particulière augmente de 7,3 %. Lorsque le tarif optimal est appliqué, la réduction simultanée de la recherche d'une place de stationnement disponible et du temps de marche à pied du lieu de stationnement à la destination finale permet d'accepter des déplacements plus longs par rapport à la situation sans tarification. En outre, l'introduction de la tarification du stationnement favorise l'usage de la voiture particulière. Le temps moyen total de déplacement subit donc une réduction de plus faible ampleur que la réduction du temps de recherche d'une place et du temps d'accès terminal à pied de la place de stationnement à la destination. Par conséquent, au global, l'agent perçoit un avantage à l'introduction de la tarification dans cette configuration ($\Delta S = + 0,0664$) qui, en outre, permet de décentraliser l'optimum social (voir Annexe 20).

En exprimant \bar{x} , la distance maximale moyenne de marche à pied, en fonction de p , le prix du stationnement, l'équilibre disparaît pour $p > 178,13$ francs de l'heure (voir Figure 18 et Annexe 22). Au-delà de ce tarif, les agents renoncent au déplacement en voiture particulière ce qui fait disparaître l'équilibre d'hypercongestion. *A priori*, le décideur public n'a qu'à appliquer le tarif optimal pour contribuer à la réalisation de l'optimum social. S'il décide néanmoins d'un niveau de tarif supérieur au tarif optimal selon l'arbitrage qu'il fait entre le partage modal et le temps moyen de déplacement, le partage modal au profit de la marche à pied devient alors progressivement largement favorable. Mais cette politique tend à éloigner l'état du marché du stationnement de l'optimum social relativement à la fonction objectif du décideur public qui est de minimiser le temps moyen de déplacement.

Pour un prix inférieur à 141,75 francs, l'augmentation du tarif de stationnement rend la voiture plus attractive. La relation entre l'effet sur la satisfaction de l'augmentation du tarif et l'effet sur la satisfaction de la réduction du temps de transport fonctionne de façon identique pour l'équilibre d'hypercongestion. Pour illustrer, pour un prix fixé à 75 francs, le taux marginal de substitution du temps de stationnement au tarif de stationnement montre que la désutilité marginale du temps de stationnement est plus forte que la désutilité

marginale du tarif de stationnement ($TMS_{Wip} = 0,0038$). L'élasticité de l'espérance d'utilité au temps de stationnement est négative et plus forte que l'élasticité de l'espérance d'utilité au tarif de stationnement ($e_{EUW} = -0.446 < -0.1 = e_{EUp}$). L'effet de la variation du temps de stationnement sur la satisfaction de l'agent est donc plus fort que l'effet de la variation du tarif de stationnement. En outre, pour un tarif inférieur à 141,75, l'augmentation du tarif de stationnement a pour conséquence une baisse du temps de stationnement. La baisse du temps de stationnement entraîne alors une augmentation de la satisfaction de l'agent. Le taux marginal de substitution montrant que, dans ce cas de figure, l'impact sur la satisfaction de l'agent d'une variation du temps de stationnement est plus fort que l'impact d'une variation du prix du stationnement, alors la réduction de satisfaction issue de l'augmentation du tarif de stationnement est plus que compensée par l'augmentation de satisfaction issue de la baisse du temps de transport. Au-delà du tarif équivalent à 141,75 francs, la position relative des élasticité s'inverse. L'effet sur la satisfaction de la baisse du temps de transport ne compense plus l'effet sur la satisfaction de l'agent de l'augmentation du tarif de stationnement.



Sources : d'après Arnott, R., Rowse, J 1999 « Parking Modelling », Journal of Urban Economics, n° 5, 117.

Figure 18. Distance maximale de marche à pied en fonction du tarif du stationnement (l=0,25)

Donc, si le décideur public choisit d'appliquer un tarif inférieur au tarif optimal, alors, pour un tarif inférieur à 141,75 francs, il privilégie le temps de déplacement au profit de l'usage de la voiture particulière. Entre 141,75 francs et le tarif optimal, c'est-à-dire 145,94, le tarif de stationnement défavorise la voiture particulière, mais est sous-optimal.

Sans considérer de fraude possible, le modèle d'Arnott et Rowse montre là que, sans redistribution des revenus, l'application du tarif optimal de stationnement est efficace. La

satisfaction individuelle des agents est en outre plus élevée qu'à l'équilibre sans tarification. Ainsi, la tarification optimale améliore à la fois la situation sociale et la situation individuelle. Ce résultat contraste avec celui concernant l'équilibre 1 de faible congestion dans le cas de figure où la durée d'activité est nulle. En effet, l'efficacité de la tarification optimale entraînait alors une dégradation de la situation individuelle des agents. En revanche, à l'instar des résultats concernant l'équilibre d'hypercongestion lorsque la durée d'activité est nulle, l'application du tarif optimal améliore la situation individuelle des agents. Elle est en outre socialement efficace.

La conclusion de ces simulations est que, toutes choses égales par ailleurs, l'augmentation du tarif de stationnement peut avoir pour conséquence de favoriser la voiture particulière lorsque l'état du marché du stationnement est en très forte congestion. Partant, si elle favorise la voiture particulière, elle est alors un facteur de congestion supplémentaire. La question est maintenant de savoir quels sont les résultats sur ces simulations théoriques de l'introduction de la fraude.

1.3 : L'introduction de la fraude dans le modèle de base

Dans un premier temps, les simulations sur le modèle de base intégrant la fraude conservent le paramétrage posé par Arnott et Rowse. La probabilité de détection est fixée⁴⁷ à $q = 0,3$ et le montant de l'amende à $F = 75$ francs⁴⁸. Ces simulations ont pour seul objectif d'apprécier le rôle du niveau de répression lorsque la fraude est intégrée dans les simulations réalisées par Arnott et Rowse.

Seul le cas pour lequel la probabilité de détection est fixe est envisagé ici. Il en sort alors un niveau d'amende d'équilibre. Les conclusions peuvent alors en être tirées sur le calcul du niveau d'équilibre de détection pour un montant d'amende fixé. En revanche, il est bien évident que, à la suite des conclusions de Becker (1968), ce raccourci n'est possible que dans la mesure où n'est étudié ici que le cas où l'agent est neutre au risque. Pour une analyse de la fraude au stationnement avec un agent averse au risque ou avec un agent ayant une propension au risque, il serait fondamental de simuler les deux cas de figure qui permettraient d'évaluer la sensibilité du comportement de fraude au niveau relatif de l'amende et de la probabilité de détection. En termes d'application, l'enjeu d'aborder l'hétérogénéité du comportement des agents face au risque permettrait de bien répondre au rôle que joue le niveau de répression sur la décision de frauder et de son incidence sur le partage modal.

1.3.1 : La durée d'activité à destination est nulle ($I=0$)

A l'optimum social, le montant d'équilibre de l'amende forfaitaire pour une probabilité fixée de manière exogène se monte à 0,09 francs. Sa faiblesse par rapport au tarif optimal de stationnement est un résultat logique puisque le niveau de répression étant forfaitaire, il ne tient pas compte de l'externalité de congestion issue du temps de stationnement.

⁴⁷ Taux pour lequel le stationnement est jugé comme 'bon' en France (CERTU, 1997).

⁴⁸ Le montant correspond à l'amende forfaitaire de 1^{ère} classe en France applicable au non-affichage du ticket de stationnement.

L'équilibre 1 :

L'application de l'amende d'équilibre ne permet pas d'atteindre l'optimum social même si elle conduit à s'en rapprocher. Néanmoins, l'agent n'a aucunement intérêt à frauder puisque l'espérance d'utilité procurée par la décision de frauder est inférieure à l'espérance d'utilité si l'agent choisit de payer le stationnement. De fait, l'application d'un niveau de répression d'équilibre conduit à revenir à l'optimum social, simplement parce qu'elle est une menace suffisamment crédible sur le niveau de satisfaction de l'agent pour le dissuader de frauder. En ce sens, si le niveau de répression ne permet pas de réaliser directement un optimum premier, son application permet, au regard du comportement de l'agent neutre au risque, de réaliser un optimum premier par le biais du tarif optimal de stationnement (voir Annexe 9).

P	$\bar{E}(U_{\text{non}})$	$\bar{E}(U_{\text{fraude}})$	$\bar{E}(U_{\text{opt}})$	$\Delta(U)$	$W(P, \sigma)$	$E(U_{\text{opt}})$	$\Delta E(U)$	Decision
115,35€	4,5366€	0,00934€	0,00343€	0,51325€	0,1961€	45,3107€	40,78€	Non fraude

Tableau 20. Résultats théoriques avec fraude, $l=0$, équilibre 1

L'équilibre 2 :

Pour cet équilibre de forte congestion, le niveau d'équilibre de répression ne permet pas de réaliser l'optimum de second rang. En outre, l'agent a intérêt à frauder puisque sa satisfaction, s'il fraude, est plus importante que s'il s'acquitte du tarif de stationnement (voir Annexe 12).

P	$\bar{E}(U_{\text{non}})$	$\bar{E}(U_{\text{fraude}})$	$\bar{E}(U_{\text{opt}})$	$\Delta(U)$	$W(P, \sigma)$	$E(U_{\text{opt}})$	$\Delta E(U)$	Decision
7,2	4,0308	0,1373	0,1478	0,8825	0,3922	134,26	-0,32	Fraude

Tableau 21. Résultats théoriques avec fraude, $l=0$, équilibre 2

L'équilibre 3 :

Dans le cas d'un équilibre d'hypercongestion, l'agent n'a pas intérêt à frauder lorsque le montant de l'amende est à l'optimum en fonction du tarif optimal de stationnement. En effet, l'espérance d'utilité de la fraude est inférieure à l'utilité qu'il peut obtenir en ne fraudant pas. Le montant d'équilibre de répression est donc suffisant pour que les agents soient incités à ne pas frauder. Néanmoins, ne fraudant pas, ni la tarification ni la répression ne permettent de réaliser un optimum social (voir Annexe 15).

P	$\bar{E}(U_{\text{non}})$	$\bar{E}(U_{\text{fraude}})$	$\bar{E}(U_{\text{opt}})$	$\Delta(U)$	$W(P, \sigma)$	$E(U_{\text{opt}})$	$\Delta E(U)$	Decision
1,10€	4,0301	2,4017	2,7005	1,0284	0,176	13,15	0,025	Non fraude

Tableau 22. Résultats théoriques avec fraude, $l=0$, équilibre 3

Pour résumer, en considérant la fraude, le niveau d'équilibre de répression est toujours socialement inefficace. Il est en revanche suffisamment dissuasif pour que l'agent soit conduit à ne pas frauder dans un état de faible de congestion ou d'hypercongestion. Donc, en cas de faible congestion, l'application d'un niveau d'équilibre d'amende conduit indirectement à réaliser un optimum de premier rang sur le marché du stationnement puisque le tarif optimal est socialement efficace. Dans un état d'hypercongestion, le

niveau de répression d'équilibre ne permet pas de réaliser cet état socialement optimal. Mais, l'application du niveau d'équilibre est suffisant pour que l'agent ne soit pas incité à frauder. En conservant ce niveau d'équilibre de répression, la recherche d'un optimum de second rang porte donc sur la manipulation du niveau de tarification.

Quant à la question de savoir si l'augmentation du niveau de répression permet d'éradiquer la fraude, il convient de faire varier, toutes choses égales par ailleurs, la distance maximale de marche à pied en fonction du montant de l'amende (voir Figure 19 et Annexe 17). Le résultat est que les équilibres 2 et 3 disparaissent pour $F > 121.87$ francs.

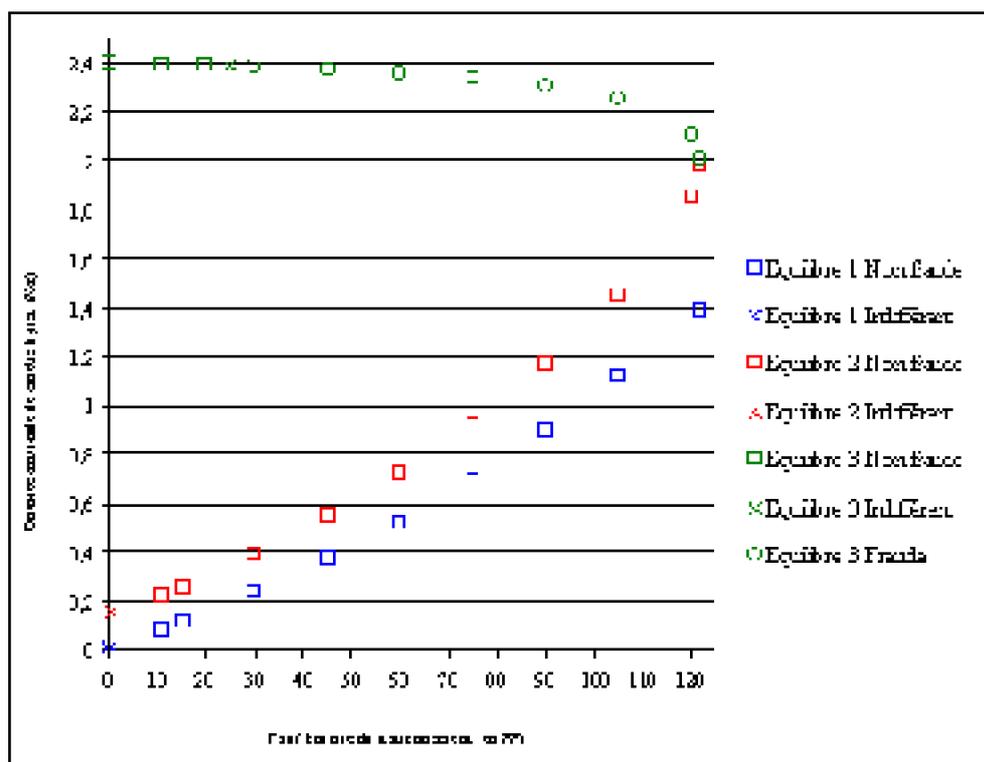


Figure 19. Distance maximale moyenne de marche à pied en fonction du montant de l'amende et décision individuelle de fraude ($l=0$)

Si l'objectif est de dissuader l'agent de frauder, les résultats des simulations portés sur la Figure 19 montrent que l'augmentation du niveau de l'amende n'est pas toujours efficace. En effet, d'une part, au-delà de 127,87 francs, ce n'est plus la fraude qui est dissuadée, mais le choix de se déplacer en voiture particulière. Au-delà de cette valeur, en situation de forte congestion ou d'hypercongestion, à tarif de stationnement optimal fixe, les agents ne se déplacent plus en voiture particulière tant le coût du stationnement devient contraignant, que l'agent fraude ou non. En outre, pour un prix du stationnement optimal, dans le cas d'un état d'hypercongestion, non seulement, comme le montrent déjà les résultats d'Arnott et Rowse sur la tarification, l'usage de la voiture particulière est favorisé par l'augmentation du niveau de répression, mais de plus, il devient avantageux pour l'agent de frauder pour un niveau d'amende supérieur à 25,08 francs (l'espérance

d'utilité de la fraude est supérieure à l'espérance d'utilité de la non fraude pour $F > 25.08$). Ainsi, dans un état d'hypercongestion, toutes choses égales par ailleurs, augmenter le montant de l'amende au-delà d'un certain seuil provoque l'effet inverse de ce que le planificateur ambitionne.

Le principe qui permet d'expliquer ce phénomène est le même que celui déjà mis en exergue par Arnott et Rowse concernant l'augmentation du tarif de stationnement. *A tarif optimal fixe, donc, à niveau de congestion fixe en cas de paiement du stationnement*, l'augmentation de l'amende décourage dans un premier temps le choix pour la voiture particulière si l'agent fraude. Mais, la voiture particulière devenant moins attractive, l'augmentation du niveau de l'amende contribuant à réduire le niveau de congestion, elle rend le choix modal pour la voiture particulière plus avantageux. La baisse de satisfaction issue de l'augmentation du montant de l'amende est largement compensée par l'augmentation de la satisfaction issue des gains individuels espérés en temps de déplacement. Ainsi, en état d'hypercongestion, plus le niveau de répression augmente, plus l'agent neutre au risque éprouve un avantage à frauder. A tarif optimal fixe, si le montant de l'amende est fixé à un niveau supérieur au montant pour lequel l'agent est indifférent entre frauder ou ne pas frauder, par exemple 75 francs, le taux marginal de substitution du temps de stationnement au montant de l'amende montre que la désutilité marginale du temps de stationnement est plus forte que la désutilité marginale de l'amende ($TMS_{WLF} = 0,0024$). De plus, l'élasticité de l'espérance d'utilité au temps de stationnement est négative et plus forte que l'élasticité de l'espérance d'utilité au tarif de stationnement ($e_{EUW} = -1 < -0,057 = e_{EUF}$). L'effet de la variation du temps de stationnement sur la satisfaction de l'agent est plus fort que l'effet de la variation du montant de l'amende. La baisse du temps de stationnement entraîne une augmentation de la satisfaction de l'agent. Dans cet exemple, le taux marginal de substitution montrant que l'effet sur la satisfaction de l'agent d'une variation du temps de stationnement est plus fort que l'effet d'une variation du montant de l'amende, alors la réduction de satisfaction due à l'augmentation du montant de l'amende est plus que compensée par l'augmentation de satisfaction due à la baisse du temps de transport.

1.3.2 : La durée d'activité à destination n'est pas nulle ($I=0,25$)

A l'optimum social, le montant d'équilibre de l'amende forfaitaire pour une probabilité fixée de manière exogène se monte à 132,38 francs.

	F	$\bar{E} (Euro)$	$\bar{E} (Euro)$	$\bar{E} (Euro)$	$F (€)$	$\bar{E}'(F, \bar{E})$ (Euro)	$\bar{E}'(F, \bar{E})$ (Euro)	$\partial \bar{E} / \partial F$	Dérivée
F^*	132,38	3,0024	3,0024	0,0024	1,0000	1,4407	132,38	-0,0024	Taux d'impact

Tableau 23. Résultats théoriques avec fraude, $I=0,25$

L'application de l'amende d'équilibre ne permet pas de réaliser un optimum social. En outre, l'agent neutre au risque n'éprouve pas d'avantage supérieur à frauder puisque l'espérance d'utilité procurée par la décision de frauder est inférieure à l'espérance d'utilité si l'agent choisit de payer le stationnement. Dans ce cas de figure, l'application d'un niveau de répression d'équilibre conduit indirectement à l'optimum social dans la mesure où elle constitue une menace suffisante sur le niveau de satisfaction de l'agent pour le

dissuader de frauder. En ce sens, si le niveau de répression ne permet pas de réaliser directement un optimum premier, son application permet, au regard du comportement de l'agent neutre au risque, de réaliser un optimum premier du fait que l'agent n'a pas intérêt à frauder, donc qu'il s'acquitte du tarif de stationnement qui est socialement efficace (voir Annexe 21).

Si le décideur public opte cependant pour une augmentation du montant de l'amende, l'agent n'éprouve cette fois jamais d'avantage à frauder. Lorsque, toutes choses égales par ailleurs, la distance maximale de marche à pied varie en fonction du montant de l'amende, la décision de l'agent neutre au risque est toujours de payer le tarif de stationnement (voir Annexe 23).

En conclusion sur cette première série de simulations réalisée sur la base des paramètres choisis par Arnott et Rowse, il peut être avancé, tout d'abord, que la tarification optimale conduit, lorsque la durée d'activité est nulle, d'un état de faible congestion vers un état du marché du stationnement socialement optimal, mais qu'elle est inefficace dans le cas d'un état de congestion plus forte voire d'hypercongestion. En revanche, l'optimum social est décentralisé par la tarification optimale dans le cas où la durée d'activité est égale à 1/4 d'heure.

Dans le cas de figure où l'optimum premier n'est pas réalisé, la question se pose d'un niveau de tarif de second rang. Le décideur public doit-il augmenter ou baisser le tarif de stationnement ? La réponse dépend de l'objectif que se pose le planificateur. En tout état de cause, la conclusion importante est que dans le cas de figure où la congestion est très forte, l'augmentation du tarif de stationnement réduit la congestion du stationnement de telle sorte que le temps de déplacement gagné favorise *in fine* l'usage de la voiture particulière.

Les simulations du modèle de base permettent donc de montrer que la tarification optimale du stationnement évaluée au niveau de l'externalité de congestion de stationnement peut-être socialement efficace. Elle ne garantit cependant pas toujours le retour à l'optimum car la situation peut rester bloquée dans certains cas en un équilibre d'hypercongestion. Une tarification de second rang peut être alors entrevue. Son choix dépend alors de l'arbitrage que fait le planificateur entre le temps moyen de déplacement individuel et le partage modal. En tout état de cause, la tarification du stationnement influence le choix de déplacement.

Concernant le niveau de répression, l'amende forfaitaire d'équilibre n'est jamais socialement efficace ce qui conforte les résultats théoriques. En revanche, en dépit de son inefficacité sociale, elle est suffisamment dissuasive pour que les agents ne fraudent pas en cas de faible congestion ou de très forte congestion. Dans le cas où le tarif de stationnement est efficace, les agents n'ayant pas intérêt à frauder, l'existence de l'amende permet la réalisation d'un état efficace de l'économie.

En situation d'hypercongestion, lorsque l'amende d'équilibre ne décentralise par l'optimum social, il convient de chercher un niveau de répression de second rang. La réduction de la congestion produite par l'augmentation du niveau de répression accroît la satisfaction individuelle du déplacement puisqu'elle diminue le temps de déplacement. Cet accroissement de satisfaction compense la baisse de satisfaction issue de

l'augmentation du niveau de répression. Par conséquent, l'augmentation du niveau de répression favorise la voiture particulière voire, favorise la fraude.

Le parallèle peut être fait avec les résultats de Glazer et Niskanen (1992). Le décideur public ne peut, s'il se donne comme fonction objectif de satisfaire les usagers de transport, c'est-à-dire s'il cherche à minimiser le temps moyen de déplacement, en cas d'état très fortement congestionné du marché du stationnement, augmenter soit le niveau de tarification soit le niveau de répression au risque de stimuler la congestion et la fraude.

Ce résultat tient uniquement dans la mesure où la fonction d'utilité relatant le comportement de l'agent considère un comportement de neutralité face au risque. La modification de cette fonction d'utilité permettrait de voir comment l'agent réagit face à la répression suivant qu'il rejette le risque ou qu'il éprouve un goût pour le risque.

Ainsi, de manière générale, dans le cadre des simulations posées par Arnott et Rowse, la conclusion, qui avance que l'augmentation du montant de l'amende incite les usagers à payer le stationnement de sorte que la régulation de la demande de déplacements urbains soit efficace, ne tient donc pas. A l'évidence, cette conclusion ne tient pas lorsque la congestion du stationnement est très faible. Dans ce cas, il n'est nul besoin d'augmenter le niveau de l'amende au-delà de son niveau d'équilibre, celui-ci étant suffisamment dissuasif pour que le tarif de stationnement joue pleinement son rôle. Cette conclusion ne fonctionne pas plus en présence d'état du marché du stationnement très congestionné. Dans ce cas, l'augmentation du niveau de répression favorise l'usage de la voiture particulière. En tout état de cause, ces simulations théoriques montrent que le problème du niveau de la politique répressive du stationnement doit se référer au type de congestion rencontré. Par conséquent, ces résultats de simulations théoriques abondent dans le sens de recommander une politique tarifaire et répressive du stationnement en fonction du niveau de congestion sur le marché du stationnement.

2 : Les simulations du modèle dans un contexte français

Pour aborder les simulations dans un cadre relatif à la mobilité urbaine en France, les paramètres sont à présent choisis de sorte à ce qu'ils coïncident avec ce contexte. De plus, rendre compte au mieux de la demande de stationnement urbain oblige à établir différents scénarios selon le type de demande.

L'énoncé des paramètres, puis celui des scénarios, sont donc à présent proposés. Ils précèdent les simulations reposant sur ce paramétrage et ces scénarios.

2.1 : Choix des paramètres et définition des scénarios

Le choix du paramétrage du modèle à la lumière du contexte urbain français s'impose pour deux raisons. Tout d'abord, il offre l'opportunité d'avancer quelques prescriptions théoriques en termes d'aide à la décision dans le cadre de la régulation de la mobilité urbaine en France. Il s'inscrit dans la logique des orientations de la politique des transports urbains abordées dans le cadre de la première partie du raisonnement. Ensuite, il propose de confronter la pertinence des recommandations traditionnelles au regard des résultats théoriques du modèle.

Le choix de valeurs spécifiques aux différents motifs de déplacements à l'origine du stationnement concernant, d'une part, la durée de l'activité à destination, d'autre part, l'avantage de l'activité à destination, permettent d'élaborer 3 scénarios de simulation.

r	ρ	μ	D	ν	ν'
1,437147	2678,26 personnes/km	3,4	0,35	5 km/h	13,4 km/h

Tableau 24. Paramètres de simulations du modèle de comportement de fraude dans un contexte urbain français

Le rayon r de la ville circulaire est choisi de sorte que, sans congestion sur le stationnement, le trajet aller le plus long n'excède pas 5,3 kilomètres, ce qui correspond à la distance moyenne par déplacement dans les villes-centres en France en 1994 (Madre, Maffre, 1995). Le choix d'introduire dans les simulations des données systématiquement relatives aux caractéristiques de la mobilité concernant les villes-centres vient de l'hypothèse d'isotropie de l'espace formalisé. Cette hypothèse impose que les paramètres retenus soient compatibles avec un espace homogène. La question du stationnement se posant de la manière la plus critique au centre des aires urbaines, il est naturel que les paramètres adoptés rendent compte de la mobilité quotidienne au centre. Ainsi, ce resserrement quant au champ de l'étude autorise à retenir des densités identiques en tout point de l'espace considéré dans le modèle.

La valeur choisie pour ρ , la densité de population, repose sur les données du Recensement de la Population française de 1999 (INSEE, 2000, Julien, 2000). Afin de rester cohérent avec la mise en évidence de l'importance de l'existence de la fraude au stationnement dans l'analyse de la mobilité en milieu urbain dense, la densité retenue est la densité moyenne des villes-centres des 10 aires urbaines françaises les plus peuplées hors Paris⁴⁹. Sur cette base, la densité moyenne est de 5356,51 habitants au km². A l'instar de l'hypothèse faite par Arnott et Rowse, chaque ménage est constitué d'une seule personne et possède un véhicule et un seul. En réalité, cette hypothèse est nécessaire pour que chaque agent considéré dans le modèle ait le choix modal entre la marche à pied et la voiture particulière. Il faut donc faire l'hypothèse que chaque ménage représente une seule unité de décision de transport et que cette unité, pour chaque opportunité de déplacement, peut opter, soit pour le mode pédestre, soit pour la voiture particulière. Or, dans les villes-centres des 10 premières aires urbaines, le nombre moyen d'occupants des résidences principales est de 2 personnes. L'hypothèse d'une personne par ménage permet de retenir une densité de l'ordre de 2678,26 habitants au km². Le modèle faisant l'hypothèse d'un espace sans surface, la densité considérée dans le modèle est de 2678,26 personnes au kilomètre.

Le paramètre μ correspond au nombre de déplacements proposés à chaque agent, soit 3,4 déplacements par jour. Le choix de la valeur de μ rend compte en fait du nombre

⁴⁹ L'exclusion de Paris du paramétrage du modèle concernant les scénarios retraçant un contexte urbain français paraît nécessaire tant le contexte de la région parisienne et l'organisation du système des transports urbains parisiens est atypique. De fait, en tenant compte de Paris, le calage des paramètres, notamment en termes de tarification du stationnement, aurait tendance à fausser une représentation moyenne de la mobilité urbaine en France.

moyen de déplacements quotidiens effectué dans les villes-centres en 1994 (Madre, Maffre, 1995).

La valeur retenue pour D , soit la densité de places de stationnement, vient de la norme fixant la longueur d'une place de stationnement parallèle au trottoir en France, soit 5 mètres (Lamure, 1995). Sur 1 kilomètre de trottoir, l'espace réservé pour le stationnement permet ainsi d'accueillir 100 véhicules. Par ailleurs, le CERTU (1997) évalue, pour les villes de plus de 50 000 habitants, une densité de places de stationnement située entre 20 et 50 places par hectare ce qui donne une réservation d'espace pour le stationnement d'un véhicule entre 7 à 11 mètres. En intégrant le fait que le stationnement se répartit sur les deux côtés de la chaussée et qu'il convient d'intégrer dans la détermination de la longueur d'une place une part réservée à d'autres usages urbains que le stationnement, il paraît raisonnable de fixer une longueur de 8 mètres par espace de stationnement. La densité de places de stationnement s'élève donc à 125 places au kilomètre. De nouveau, l'espace considéré n'ayant pas d'épaisseur, D exprime bien une densité de places de stationnement au kilomètre.

La vitesse de marche à pied w est fixée à 5 km/h. Cette valeur est gardée dans la mesure où elle revient de manière constante dans la littérature questionnant les vitesses de transport (Pisarski, 1992, Wigan, 1995). La vitesse en voiture particulière v est fixée à 13,4 km/h. Elle correspond à la vitesse moyenne relevée pour les déplacements internes aux villes-centres en France en 1994 (Madre, Maffre, 1995).

A la différence des variables exogènes dont la valeur reste fixée dans les simulations, la durée de l'activité l , l'avantage procuré par l'activité β et la probabilité de détection q sont trois variables exogènes qui varient en fonction des scénarios de simulation. Deux types de scénarios sont envisagés. Le premier scénario rend compte d'une situation moyenne de stationnement urbain en France. Elle correspond à un stationnement de courte durée. Le deuxième scénario considère un stationnement de longue durée. En réponse à l'analyse du stationnement abordée dans le Chapitre 2, la pertinence du choix de ces deux scénarios vient de la distinction de la demande de stationnement qu'il convient d'opérer en fonction du motif caractérisant le déplacement à l'origine du stationnement. D'un côté, il s'agit de considérer le stationnement de courte ou moyenne durée pour le motif achats - visites ou pour le motif professionnel. De l'autre, il s'agit d'aborder le stationnement de longue durée relatif au travail ou le stationnement résidentiel.

Le cas pour lequel la durée de l'activité est nulle n'est pas exploré ici. Certes, il a permis de mettre en évidence dans la première série de simulations le fait que l'existence de plusieurs équilibres de congestion du stationnement implique une politique tarifaire et répressive spécifique pour chacun. Néanmoins, retenir ce type de scénario ne serait pas en cohérence avec la définition de l'objet stationnement retenue dans le Chapitre 2. Le stationnement est relatif à la réalisation d'une activité et se distingue donc de l'arrêt. Dès lors, la durée d'activité nulle n'est pas conforme au choix de cette définition. Par ailleurs, les simulations menées sur ce cas d'espèce ont montré que les résultats théoriques restent identiques aux résultats théoriques mis en exergue lors de l'introduction de la fraude dans les simulations du modèle de base. Ils manquent en revanche d'un certain

réalisme pour pouvoir être adressés au décideur public, ou plus modestement, pour pouvoir accréditer le raisonnement sur lequel se fonde l'analyse, qui est de montrer que l'augmentation du niveau de l'amende ne constitue pas automatiquement un outil efficace en termes de régulation de la demande de stationnement et de régulation de la demande de déplacements.

Le premier scénario (*scénario 1*) caractérise une durée de stationnement de courte ou de moyenne durée. Il rend compte d'un stationnement réalisé dans le cadre d'un déplacement effectué pour un motif achats - visites ou pour un motif professionnel. En France, la durée moyenne de stationnement, dans le créneau horaire allant de 9 h à 19 h, dans une zone payante à forte rotation du stationnement fonctionnant convenablement, se monte entre 1 h 30 et 2 h 30 (CERTU, 1997). Dès lors, le *scénario 1* considère une durée de stationnement comprise dans cet intervalle de temps. En outre, Bays et Christe (1994) relèvent que la durée de stationnement pour un motif achats-visites est un stationnement de courte durée alors que le stationnement pour un motif professionnel est plutôt un stationnement de moyenne durée. Par conséquent, dans ce premier scénario, il convient de distinguer deux sous-scénarios. Le premier (*scénario 1a*) concerne le stationnement de courte durée pour motif achats - visites pour lequel la durée de stationnement est fixée à 1 h 30, soit la borne inférieure de la durée moyenne de stationnement d'une zone à forte rotation. Le deuxième (*scénario 1b*) concerne le stationnement de moyenne durée pour un motif professionnel. La durée de stationnement l est alors fixée à 3 h 30, soit la borne supérieure de la durée moyenne de stationnement d'une zone à forte rotation.

L'avantage procuré par le déplacement β correspond pour le *scénario 1* à la valeur du temps de chaque activité. En retenant les valeurs avancées par le rapport Boiteux⁵⁰ (CGP, 1994), la valeur horaire du temps en France pour motif personnel, qui correspond ici au motif achats-visites, est de 60 francs (en francs 1990). En tenant compte d'une évolution annuelle de l'indice des prix à la consommation de l'ordre de 1,6 % entre 1990 et 1999 (INSEE, 1999), la valeur du temps pour motif personnel se situe à 69,21 francs en francs 1999. Ainsi, pour le *scénario 1a*, l'avantage β est fixé à 103,82 francs puisque la durée de stationnement retenue est de 1 h 30. Pour le *scénario 1b* qui concerne le motif professionnel, le rapport Boiteux retient comme valeur horaire du temps 185 francs (en francs 1990). En tenant compte de l'évolution de l'indice des prix à la consommation, pour le *scénario 1b*, l'avantage β est fixé à 746,93 francs, étant donné que la durée de stationnement retenue est de 3 h 30.

La probabilité de détection q est fixée sur la base des résultats moyens français de l'activité de surveillance et de répression du stationnement payant (SARECO, 1998). Pour une heure de stationnement, la probabilité de recevoir un procès-verbal pour défaut de paiement du stationnement est de 2 %. Pour le *scénario 1a*, la probabilité q prend alors la valeur 3 %. Pour le *scénario 1b*, la probabilité prend la valeur 7 %.

Le *scénario 2* relate une situation de stationnement de longue durée. *A priori*, il devrait considérer, d'une part, le stationnement dans le cadre d'un déplacement domicile-travail, d'autre part, le stationnement résidentiel. Seul le cas du stationnement

⁵⁰ Données retenues par l'INRETS en 1998 pour le projet LASER d'autoroute souterraine urbaine à Paris.

sur le lieu de travail est abordé ici. Il a en effet été montré que c'est précisément sur le stationnement relatif à ce motif que la politique du stationnement doit porter son effort, notamment par le biais de la tarification, donc de l'analyse de la fraude. A l'inverse, le stationnement résidentiel de longue durée doit être favorisé par le biais de la tarification de sorte à ce qu'il occupe une quantité d'offre de stationnement suffisante pour dissuader le stationnement pour d'autres motifs. Dès lors, le cas de la fraude au stationnement résidentiel devrait faire l'objet d'une analyse particulière qui n'est pas envisagée ici. Par conséquent, dans le *scénario 2*, la durée de stationnement l est fixée à 5 h 30, pour le motif travail. Cette valeur correspond à la durée moyenne de stationnement de longue durée en France (CERTU, 1997). La valeur horaire du temps de travail avancée par le rapport Boiteux est de 70 francs (francs 1990) ce qui donne 80,75 francs en francs 1999. Pour le scénario 2, l'avantage β est donc fixé à 444,13 francs puisque la durée de stationnement retenue est de 5 h 30. La probabilité de détection q prend la valeur 0,11 %.

Tableau 25. Scénarios des simulations théoriques sur un contexte français

Variables	Scénario 1		Scénario 2
	Scénario 1a	Scénario 1b	
l	1,5	3,5	5,5
β	103,82	746,93	444,13
q	0,03	0,07	0,11

2.2 : Les résultats théoriques

Les paramètres qui représentent un contexte de mobilité urbaine français étant posés, les résultats des simulations peuvent être présentés sur la base des trois scénarios proposés.

2.2.1 : Le stationnement de courte ou moyenne durée (scénario 1)

2.2.1.1 : Le stationnement pour motif personnel (scénario 1a)

A l'optimum (voir Tableau 26 et Annexe 24), la quasi-totalité de l'offre est utilisée (93,1 %). L'externalité de congestion E^* s'établit à 0,421 ce qui signifie qu'une minute de stationnement d'un agent génère à peu près 25 secondes de temps perdu en moyenne pour les autres agents. Le temps de stationnement moyen s'élevant à 92 minutes, chaque agent qui stationne contribue à produire une perte sociale moyenne de temps de déplacement de l'ordre de 39 minutes. Le tarif horaire optimal de stationnement p^* est de 16,71 francs. A l'optimum, l'agent s'acquitte alors en moyenne de la somme de 25,63 francs étant donné le temps moyen de stationnement. Le montant d'équilibre de l'amende F^e s'élève à 854,26 francs.

	p^*	α^* (min)	\bar{x}^* (min)	\bar{c}^* (min)	Δ (h)	$FF^*(p, \alpha)$ (min)
Optimum social	16,71	0,421	92,06	39,13	2,563	854,26

Tableau 26. Optimum social (scénario 1a)

Sans tarification (voir Tableau 27 et Annexe 25), le marché du stationnement se trouve dans un état d'hypercongestion. La part de places libres est de 0,34 %. La congestion du stationnement a des effets sur la distance moyenne de recherche d'une place de stationnement qui se monte à 2,732 kilomètres et sur le temps moyen de marche à pied du lieu de stationnement à la destination finale qui s'élève à 22 minutes, soit environ 3/4 d'heure aller et retour. Sans tarification, le temps moyen de stationnement est donc de 2 h 1/4. Pour une durée d'activité d'1 h 1/2, l'agent prend en moyenne un peu plus d'1 h pour se déplacer, hors temps d'activité.

L'introduction de la tarification optimale décentralise l'optimum social. Le temps moyen de stationnement passe alors de 2 h 1/4 dans l'état sans tarification à un peu plus d'1 h 32 dans l'état avec tarification. De fait, le temps moyen de stationnement étant moins long après introduction de la tarification, cette dernière joue sur la distance moyenne de recherche d'une place de stationnement qui passe de près de 3 kilomètres à 115 mètres. Elle contribue en outre à réduire le temps de marche à pied du lieu de stationnement à la destination qui passe à 1 minute. Le tarif de stationnement permet donc d'internaliser l'externalité de congestion et entraîne au global une baisse du temps de déplacement moyen de l'ordre de 3 minutes. Le gain de temps de déplacement procuré par l'amélioration des conditions de stationnement est en partie compensé par des déplacements acceptés plus longs en moyenne (+ 1,17 %) et un recours favorisé à l'usage de la voiture particulière (issu d'une distance maximale moyenne de marche à pied acceptée réduite de 0,8 %) (voir Annexe 26).

Si la satisfaction marginale de l'agent est bien évidemment décroissante en fonction du prix du stationnement, au final, le gain en temps de déplacement, issu du passage de l'état sans tarification à l'optimum décentralisé par la tarification, est tel qu'il permet de dégager pour l'individu un surplus positif ($\Delta S = + 0,0052$ francs). Il provient cependant d'un état qui favorise l'usage de la voiture particulière.

Le niveau de répression d'équilibre contribue de la même manière à réduire la congestion du stationnement et à améliorer les conditions de stationnement. En revanche, il ne permet pas de décentraliser directement l'optimum. Ce résultat est logique puisque l'amende forfaitaire ne considère pas l'externalité de congestion du stationnement. Néanmoins, l'agent n'ayant pas ici d'avantage à tirer de la fraude par rapport au paiement du stationnement ($EU_A = 39,6872 > EU_A = 39,68713$), le niveau d'équilibre

de l'amende contribue indirectement, puisque la décision de l'agent neutre au risque est de ne pas frauder, à réaliser un état socialement efficace (voir Annexe 27).

	\bar{P}	\bar{x} (km)	\bar{t} (min)	\bar{d} (km)	\bar{L} (h)	$W(p, \alpha)$ (min)	\bar{S}_T (PF)	ΔS_T	Déplacement
$P=0$	3,4246	2,8821	2,7322	2,7322	2,6163	4,4838	32,6219	-0,0465	
P^*	8,6794	2,9099	2,9106	0,1136	1,0666	3,6826	32,4937	-0,0484	
P^*	25,115	2,9131	2,7106	0,1301	1,0641	3,6826	32,5871	0,0002	à la fraude

Tableau 27. Résultats théoriques (scénario 1a)

En termes de politique du stationnement, l'idée qui consiste à proposer une augmentation de l'amende est pertinente au regard des résultats. De 75 francs, montant

de l'amende forfaitaire en France, la Figure 20 et l'Annexe 28 montrent qu'il est possible d'aller jusqu'à un montant équivalent à 757,53 francs (montant pour lequel l'agent neutre au risque est indifférent entre frauder ou payer son stationnement) pour un tarif optimal fixé à 16,71 francs de l'heure. Pour ce tarif cependant, en cherchant à augmenter le niveau de l'amende, le risque est de choisir un montant d'amende compris entre 757,53 et 853,39 (autre montant pour lequel l'agent est indifférent entre frauder et payer son stationnement à tarif optimal fixe). Sur cet intervalle, l'agent éprouve en effet un avantage à frauder ($EU_A < EU_{A'}$). Pour un niveau d'amende inférieur à 757,53 francs,

l'augmentation de l'amende contribue à réduire la congestion de telle sorte que l'avantage espéré perdu dans l'augmentation de l'amende est plus que compensé par le gain espéré issu du temps gagné à la faveur de la réduction de la congestion. L'augmentation de l'amende reste suffisamment dissuasive pour que l'avantage espéré en fraudant reste inférieur à l'avantage perçu en payant le stationnement. Dès lors, l'agent ne fraude pas, mais l'augmentation de l'amende accroît l'avantage de l'usage de la voiture particulière. Au-delà d'un niveau d'amende équivalent à 757,53 francs, à tarif de stationnement fixé à 16,71 francs de l'heure, l'agent neutre au risque éprouve un avantage à ne pas payer le stationnement. Dans ce cas, l'avantage espéré provenant de la réduction de la congestion compense la baisse de satisfaction espérée issue de l'augmentation de la répression, de telle sorte que l'agent éprouve un avantage à frauder. Au-delà de 853,39 francs, l'avantage espéré issu de la décision de frauder n'est plus compensé par le gain de temps généré par la réduction de la congestion, l'agent préfère alors payer le stationnement.

Logiquement, le décideur public devrait choisir l'amende d'équilibre équivalente à 854,26 francs qui permet de minimiser le temps moyen de déplacement. Ce niveau est efficace quant à l'objectif de dissuader les agents de frauder. Un niveau d'amende inférieur ou supérieur réduit l'avantage pour la voiture particulière. S'il est inférieur, il doit alors être inférieur à 757,53 francs si l'objectif est de dissuader la fraude. En définitive, le niveau d'amende à 75 francs est dissuasif, mais il ne permet pas de minimiser le temps moyen total de déplacement, soit d'approcher l'optimum. L'application de l'amende d'équilibre dégage un surplus positif pour l'agent par rapport à une situation pour laquelle le montant de l'amende est de 75 francs ($\Delta S = + 0,0049$ francs). Si le décideur public choisit néanmoins d'augmenter le niveau de l'amende, s'il est rationnel, il doit fixer le niveau de l'amende au niveau qui maximise la fonction objectif dont il s'est doté, c'est-à-dire ici la minimisation du temps total de déplacement moyen, soit à 854,26 francs. En dessous de ce niveau, il ne maximise pas sa fonction objectif. Ensuite, pour un montant inférieur à 757,53 francs, il ne dissuade pas plus la fraude qu'elle n'est dissuadée à 75 francs. Enfin, entre 757,53 et 853,39 francs, il favorise la fraude. Dans cet intervalle, le gain espéré en temps de déplacement procure une satisfaction supérieure à la perte en satisfaction espérée issue de l'augmentation de l'amende⁵¹.

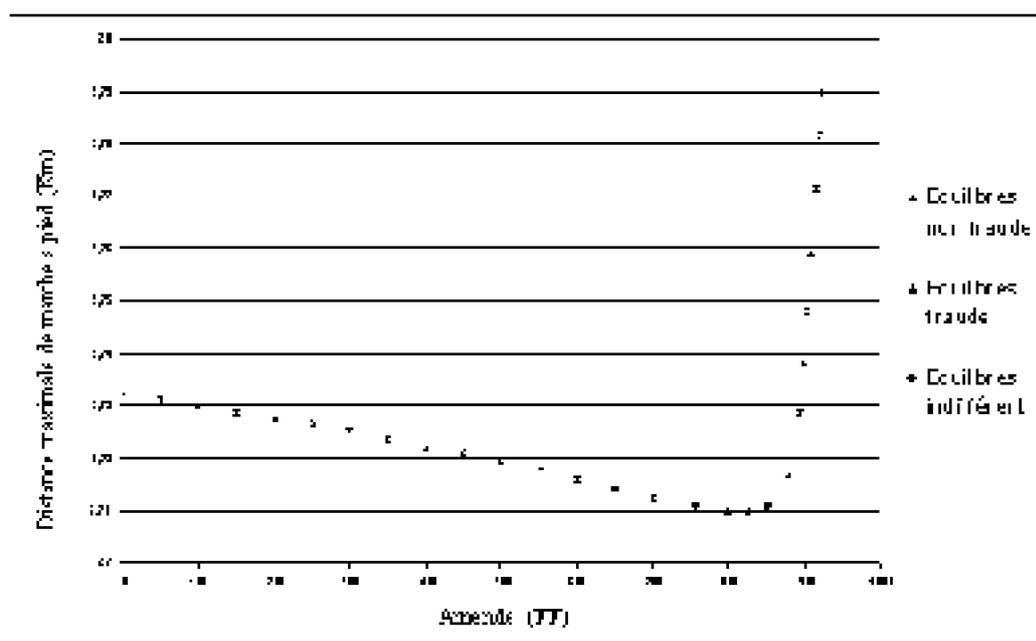


Figure 20. Distance maximale de marche à pied en fonction du niveau de l'amende (scénario 1a)

Concernant donc le stationnement de courte durée pour le motif personnel, il est montré que l'augmentation du niveau de l'amende ne permet pas de réduire la dépendance à la voiture particulière. Au contraire, elle aurait tendance à jouer en faveur de son usage et donc, en faveur de la congestion. En outre, l'augmentation de l'amende permet d'accroître la satisfaction de l'agent par le biais de la réduction du temps de déplacement, à tel point qu'à partir d'un certain niveau, l'amende devient permissive de la fraude. L'amende ne remplit son rôle de régulateur de la demande de stationnement, parce qu'elle dissuade la fraude, que lorsqu'elle est fixée à son niveau d'équilibre.

2.2.1.2 : Le stationnement pour motif professionnel (scénario 1b)

Les observations théoriques issues de ce scénario sont au global les mêmes que celle tirées des simulations du *scénario 1a*. Du fait de l'élévation de la durée d'activité et du niveau de l'avantage brut tiré de la réalisation de l'activité, l'impact sur le niveau de tarification et sur le niveau de répression est plus fort.

⁵¹ Cependant, pour mieux évaluer la portée des résultats des simulations sur ce scénario quant à la situation française, il convient de simuler un tarif de stationnement cohérent avec la situation française. En se fondant sur une moyenne relevée par le CERTU (1999) pour la première heure de stationnement (hors Paris), la valeur moyenne est de 8 francs. Il peut être noté que ce tarif de stationnement n'est pas optimal dans la perspective du scénario. Pour cette valeur du tarif de stationnement et pour une amende de 75 francs, l'agent n'a pas intérêt à frauder. Pour ce tarif, il devient intéressant de frauder pour une amende située entre 506,97 francs et 883,65 francs. Au-delà, l'agent n'a pas intérêt à frauder. Toutes choses égales par ailleurs, la politique française en la matière semble sous-optimale puisque l'application de la tarification optimale et de l'amende d'équilibre dégage un surplus positif (= + 0,0049) par rapport à la situation française. La simulation menée avec les paramètres de tarification et de répression rendant compte du contexte français montre en quoi il est délicat de penser que l'augmentation de l'amende a comme effet mécanique la dissuasion de la fraude.

A l'optimum (voir Tableau 28 et Annexe 29), le taux d'utilisation de l'offre est de 93,7 %. L'externalité de congestion E s'établit à 0,1830. Une minute de stationnement d'un agent génère environ 11 secondes de temps perdu pour les autres agents. Le temps de stationnement moyen s'élevant à 3 heures et 32 minutes, chaque agent qui stationne contribue à produire une perte sociale de temps de déplacement de l'ordre de 39 minutes. Le tarif horaire optimal de stationnement p est de 29,61 francs. A l'optimum, l'agent s'acquitte alors en moyenne de la somme de 104,77 francs étant donné le temps moyen de stationnement. Le montant de l'amende d'équilibre F^e s'élève à 1496,91 francs.

	F	\bar{t} (min)	\bar{t}^* (min)	e (min)	p (€)	$\bar{W}(F, p)$ (min)
Optimum social	1.5299	3.2533	3.7325	0.1832	29.61	3.9218

Tableau 28. Optimum social (scénario 1b)

Sans tarification (voir Tableau 29 et Annexe 30), l'équilibre du marché de stationnement est un équilibre d'hypercongestion. La part de places libres est de 0,34 %. De fait, les caractéristiques de cet équilibre sont peu ou prou les mêmes que les caractéristiques de l'équilibre d'hypercongestion sans tarification mises en évidence dans le scénario 1a. La distance moyenne de recherche d'une place de stationnement se monte à 2,737 kilomètres et le temps moyen de marche à pied du lieu de stationnement à la destination finale s'élève à 22 minutes, soit environ 3/4 d'heure aller et retour. Sans tarification, le temps moyen de stationnement est donc de 4 h 15. Pour une durée d'activité de 3 h 30, l'agent a un temps de déplacement total moyen, hors temps d'activité, d'un peu plus de 1 heure.

De nouveau, l'introduction de la tarification optimale décentralise l'optimum social. En dépit de l'introduction de la tarification, le gain en temps de déplacement issu du passage de l'état sans tarification à l'optimum social décentralisé permet de dégager pour l'individu un surplus positif ($= + 0,0032$ francs). La tarification favorise l'usage de la voiture particulière (voir Annexe 31).

Le niveau de répression contribue de la même manière à réduire la congestion du stationnement et à améliorer les conditions de stationnement. En revanche, il ne permet toujours pas de décentraliser directement l'optimum du fait du caractère forfaitaire de l'amende. Toutefois, l'agent n'ayant pas ici d'avantage à tirer de la fraude par rapport au paiement du stationnement, le niveau d'équilibre de l'amende contribue indirectement, puisque la décision de l'agent neutre au risque est de ne pas frauder, à réaliser un état socialement efficace (voir Annexe 32).

	F	p (€)	\bar{t} (min)	\bar{t}^* (min)	Δ (min)	$\bar{W}(F, p)$ (min)	$\partial \bar{W} / \partial F$	$\partial \bar{W} / \partial p$	Décision
$p=0$	1.5299	0.0000	3.2533	2.7300	-0.0001	11.5532	0.0000	0.0000	
p^*	1.5299	29.61	3.2533	3.7325	0.4792	3.9218	0.0032	-0.0000	
F^e	1496.91	29.61	3.2533	3.7325	0.4792	3.9218	0.0032	0.0000	fraude

Tableau 29. Résultats théoriques (scénario 1b)

En termes de politique du stationnement, les résultats avancés pour le scénario 1a sont reproductibles pour ce scénario. De 75 francs, la Figure 21 et l'Annexe 33 montrent qu'il est possible d'aller jusqu'à un montant équivalent à 1051,84 francs (montant pour

lequel l'agent neutre au risque est indifférent entre frauder ou payer son stationnement) pour un tarif optimal fixé à 29,61 francs de l'heure. Le risque est toutefois de choisir un montant d'amende compris entre 1051,84 et 1496,54 (autre montant pour lequel l'agent est indifférent entre frauder et payer le stationnement, à tarif optimal de 29,61 francs) pour lequel l'agent éprouve un avantage à frauder.

Relativement à la fonction objectif du décideur public, celui-ci devrait choisir le montant de l'amende d'équilibre équivalent à 1496,91 francs. Si le niveau d'amende fixé à 75 francs est dissuasif, il ne permet cependant pas de minimiser le temps moyen total de déplacement, soit d'approcher l'optimum social. L'application de l'amende d'équilibre permet de dégager un surplus positif pour l'agent par rapport à une situation pour laquelle le montant de l'amende est de 75 francs ($\Delta S = + 0,003$)⁵².

Concernant donc le stationnement de moyenne durée pour le motif professionnel, l'augmentation du niveau de l'amende ne permet pas de réduire la dépendance à la voiture particulière. Au contraire, elle joue de nouveau en faveur de son usage et favorise la congestion. En outre, l'augmentation de l'amende permet d'accroître la satisfaction de l'agent par le biais de la réduction du temps de déplacement, à tel point qu'à partir d'un certain niveau, l'amende devient permissive de la fraude.

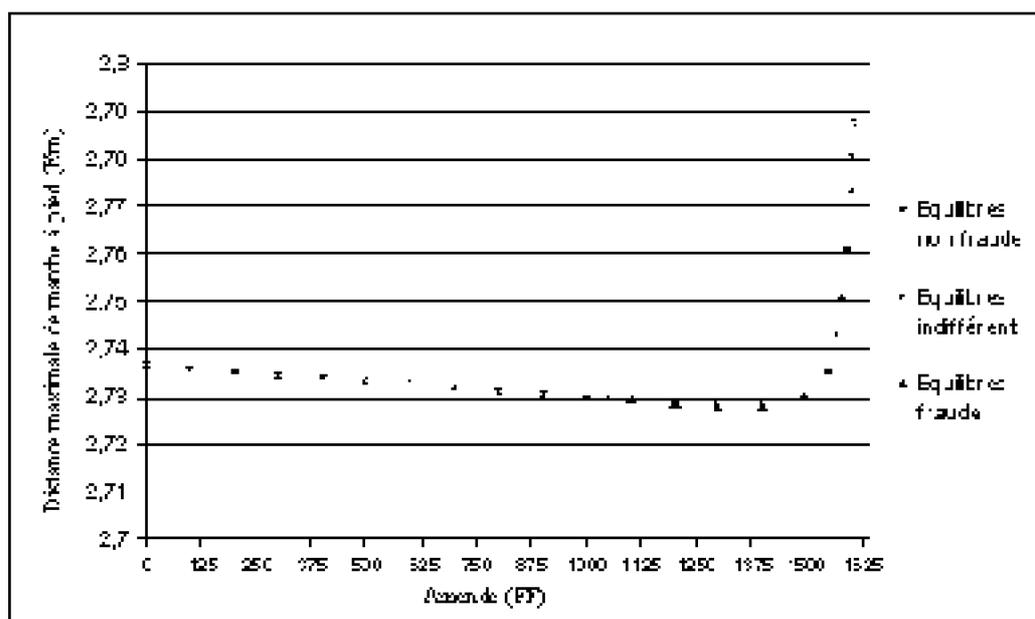


Figure 21. Distance maximale de marche à pied en fonction du niveau de l'amende

⁵² En se fondant sur un tarif moyen en France de 8 francs, pour une amende de 75 francs, l'agent n'a pas intérêt à frauder. Pour ce tarif, il devient intéressant de frauder pour une amende située entre 475,44 francs et 1540,80 francs. Au-delà, l'agent n'a pas intérêt à frauder. La simulation menée avec les paramètres de tarification et de répression rendant compte du contexte français, sous-optimal par rapport aux résultats théoriques, montre une nouvelle fois qu'il est délicat de penser que l'augmentation de l'amende a comme effet mécanique de dissuader la fraude. Au regard du modèle, la sous-optimalité de la politique française est de nouveau soulignée car l'application de la tarification optimale et de l'amende d'équilibre dégage un surplus positif pour l'agent ($= + 0,003$).

scénario 1b)

2.2.2 : Le stationnement longue durée pour motif domicile-travail (scénario 2)

A l'optimum (voir Tableau 30 et Annexe 34), la quasi-totalité de l'offre est utilisée (93,8 %). L'externalité de congestion E s'établit à 0,1169. Une minute de stationnement d'un agent génère 7 secondes de temps perdu pour les autres agents. Le temps de stationnement moyen s'élevant à 5 heures et 32 minutes, chaque agent qui stationne contribue à produire en moyenne une perte sociale de temps de déplacement de l'ordre de 39 minutes. Le tarif horaire optimal de stationnement p est de 7,85 francs. A l'optimum, l'agent s'acquitte alors en moyenne de la somme de 43,49 francs étant donné le temps moyen de stationnement. Le montant d'équilibre de l'amende F^e s'élève à 395,37 francs.

	p	s (%)	\bar{t} (min)	\bar{d} (km)	Δt (min)	$\bar{W}(F, d)$ (min)	\bar{E} (min)	\bar{E}^e	Déplacement
$p=0$	0,0000	0,0000	375,00	2,738	1,0000	11,5512	0,1169	0,0000	
$p=$	7,8537	93,8299	328,00	0,143	0,0968	0,0918	0,1169	-0,0007	
F^e	395,37	0,0000	328,00	0,143	0,0968	0,0918	0,1169	0,0000	à la hausse

Tableau 30. Optimum social (scénario 2)

Sans tarification (voir Tableau 31 et Annexe 35), l'économie du stationnement est en équilibre d'hypercongestion. La part de places libres est de 0,34 %. La congestion du stationnement a des effets sur la distance moyenne de recherche d'une place de stationnement qui se monte à 2,738 kilomètres et sur le temps moyen de marche à pied du lieu de stationnement à la destination finale qui s'élève à 22 minutes, soit environ 3/4 d'heure aller et retour. Sans tarification, le temps de stationnement est donc de 6 h 15. Pour une durée d'activité de 5 h 30, l'agent passe en moyenne un peu plus d'1 heure aller et retour en temps de déplacement, hors durée d'activité.

L'introduction de la tarification optimale décentralise l'optimum social. Le temps moyen de stationnement passe alors de 6 h 15 sans tarification à 5 h 32 avec tarification. De fait, le temps de stationnement moyen étant moins long, la tarification joue sur la distance moyenne de recherche d'une place de stationnement qui passe de près de 3 kilomètres à 143 mètres. Elle contribue en outre à réduire le temps de marche à pied du lieu de stationnement à la destination qui passe à 1 minute. Le tarif de stationnement permet donc d'internaliser l'externalité de congestion et entraîne au global une baisse du temps de déplacement moyen de l'ordre de 1 minute et demi. Le gain de temps de déplacement procuré par l'amélioration des conditions de stationnement (+ 0,4 %) est en partie compensé par des déplacements acceptés plus longs en moyenne (+ 0,2 %) et un recours favorisé à l'usage de la voiture particulière (issu d'une distance maximale moyenne de marche à pied réduite de 0,1 %).

Si la variation de satisfaction de l'agent est négative en fonction du prix du stationnement, au final, le gain en temps de déplacement issu du passage de l'état sans tarification à l'optimum décentralisé par la tarification est tel qu'il permet de dégager pour l'individu un surplus positif ($\Delta S = + 0,0012$ francs) (voir Annexe 36).

Le niveau de répression contribue à réduire la congestion du stationnement et à

améliorer les conditions de stationnement. Il ne permet pas de décentraliser directement l'optimum. Néanmoins, l'agent ne tirant pas d'avantage à frauder par rapport au paiement du tarif optimal de stationnement, le niveau optimal de l'amende contribue indirectement, puisque la décision de l'agent neutre au risque est de ne pas frauder, à réaliser un état socialement efficace (voir Annexe 37).

	P^*	\bar{x} (km)	\bar{t} (min)	α (km)	\bar{t} (h)	$\mathcal{W}(P^*, \alpha^*)$ (min)	$\partial \mathcal{W} / \partial P^*$ (h)	$\partial \mathcal{W} / \partial \alpha^*$	Décision
$p=0$	1,7537	228,197	1,73380	2,73380	0,0064	60,0713	0,12291	1,1700	
p^*	7,3907	2,28197	1,73380	1,73380	0,0064	60,0713	57,126233	1,1700	
P^*	7,6341	2,88166	1,731633	0,1310	6,3826	1,1781	57,126234	1,0009	Non fraudée

Tableau 31. Résultats théoriques (scénario 2)

Au regard du graphique de la Figure 22 et de l'Annexe 38, si le planificateur désire, conformément à la fonction objectif sociale, minimiser le temps total moyen de déplacement, il choisit alors le niveau d'équilibre de l'amende, soit 395,37 francs. Néanmoins, l'amende d'équilibre n'étant pas directement socialement optimale, il peut augmenter le niveau de l'amende. Il peut également la baisser, mais dans ce cas, en dessous de 205,06 (niveau pour lequel l'agent est indifférent entre frauder et payer le stationnement pour un tarif optimal de 7,85 francs). Le décideur public opte alors pour une politique restaurant l'avantage du mode pédestre par rapport à la voiture particulière puisque, dans les deux cas, la distance maximale de marche à pied augmente ce qui confère un avantage croissance à la marche à pied. En tout état de cause, en s'éloignant de l'amende d'équilibre, le décideur public choisit une politique ayant un impact sur le choix modal allant dans le sens de la politique de modération de l'usage de la voiture particulière.

Dans ce scénario, pour le tarif optimal, l'amende fixée à 75 francs en France est dissuasive de la fraude. Dès lors, l'unique argument plaidant en faveur de son augmentation est celui de fixer l'amende à son niveau d'équilibre, c'est-à-dire celui qui minimise le temps total de déplacement moyen, soit 395,37 francs. Dans le cas contraire, sous ce niveau d'équilibre, d'une part, le décideur applique une politique répressive favorable à l'usage de la voiture particulière. D'autre part, une augmentation mal considérée peut conduire à fixer l'amende à un niveau pour lequel l'agent neutre au risque retire un avantage à frauder. Une augmentation de l'amende passant de 75 francs à un niveau situé entre 205,06 francs et 395,33 francs (niveau pour lequel l'agent est indifférent entre frauder et payer le stationnement) incite en effet l'agent à frauder. La seule solution rationnelle pour le décideur public, au regard de sa fonction objectif de minimiser le temps total de déplacement moyen, s'il souhaite augmenter le niveau de l'amende, est de la fixer à 395,37 francs.

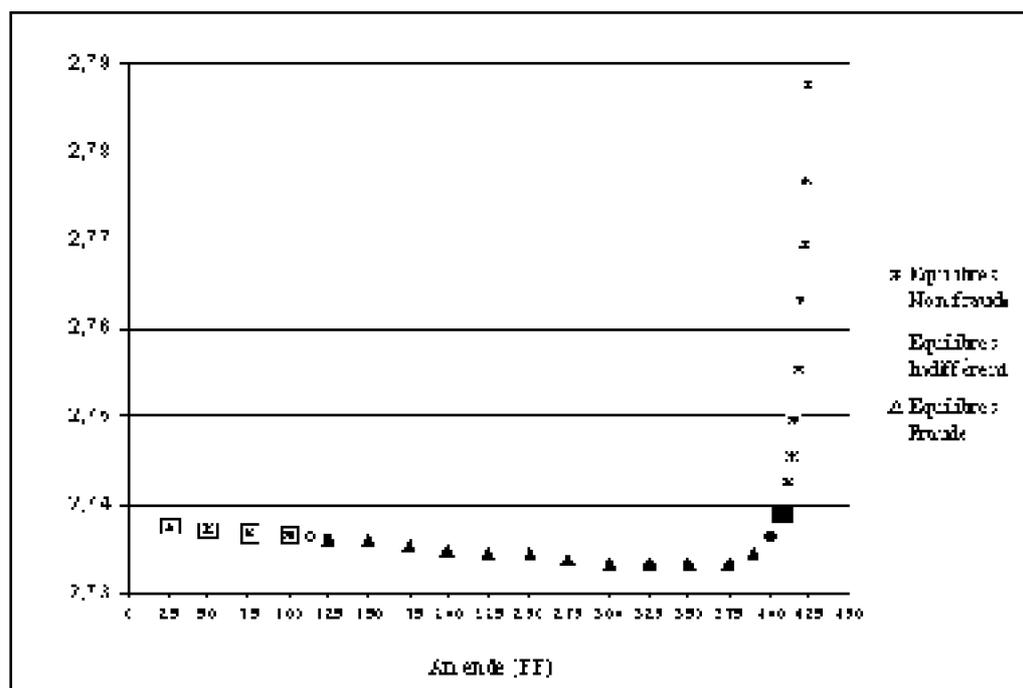


Figure 23. Distance maximale de marche à pied en fonction du niveau de l'amende (scénario 2, politique tarifaire et répressive en France)

Le Tableau 32 présente une synthèse des résultats pour chacun des scénarios. En substance, il permet de constater que le tarif optimal et le niveau de l'amende d'équilibre varient avec le type d'activité liée au stationnement. Dans tous les cas, l'amende d'équilibre est sous-optimale socialement, mais elle dissuade la fraude. Dès lors, l'application de l'amende forfaitaire d'équilibre conduit l'agent à s'acquitter du tarif du stationnement, qui est en revanche, socialement optimal. Dans chaque cas d'espèce, en dessous du niveau d'équilibre de l'amende, il existe un intervalle borné par deux valeurs de l'amende pour lesquelles l'agent est indifférent entre frauder ou payer son stationnement. A l'intérieur de cet intervalle, l'agent éprouve un avantage à frauder. Pour une amende de 75 francs, à tarif optimal, l'agent n'a jamais intérêt à frauder. De même, dans une situation sous-optimale telle que semble être celle du contexte tarifaire et répressif français, l'agent neutre au risque n'éprouve aucun intérêt à frauder, quel que soit son motif de stationnement.

En revanche, lorsqu'est simulée la proposition traditionnelle d'augmenter le niveau de l'amende et de le fixer à 200 francs de sorte à dissuader la fraude, dans le cas d'une demande de stationnement pour domicile-travail, l'agent a alors un avantage à frauder. Toutes choses égales par ailleurs, la proposition est dès lors invalidée par l'existence de ce scénario.

ρ^*	ρ^*	Décision Fraude	Niveau d'amende favorable à la fraude	Décision Fraude si $\rho^* = 75 \text{ FT}$	Décision Fraude si $\rho^* = 0 \text{ FT et } \rho^* = 75 \text{ FT}$	Décision Fraude si $\rho^* = 0 \text{ FT et } \rho^* = 200 \text{ FT}$
26	19.71	254.29	4000 Francs	757,53* $\rho^* < 352,25$	0 ou Fraude	0 ou Fraude
28	29.91	1429.91	4000 Francs	1051,84* $\rho^* < 1456,54$	0 ou Fraude	0 ou Fraude
30	1.25	325.31	4000 Francs	205,06* $\rho^* < 255,52$	0 ou Fraude	Fraude

Tableau 32. Synthèse des résultats théoriques des simulations sur un contexte français

En guise de synthèse sur ces simulations, il convient de noter que tous les scénarios présentent un état d'hypercongestion dans la situation sans tarification. A chaque fois, le tarif optimal décentralise l'optimum social.

L'effet de la tarification sur la congestion montre que plus la durée de l'activité s'allonge, plus le recours à la voiture particulière est favorisé, plus la congestion est forte. En effet, dans un premier temps, sans tarification, plus la durée d'activité s'allonge, moins le nombre de déplacements acceptés est important. Entre le scénario d'un stationnement de courte durée et le scénario d'un stationnement de longue durée, la distance maximale moyenne de déplacement acceptée baisse de 0,3 %. Ce constat est logique puisque sans tarification, le niveau de congestion s'accroît de 0,2 %. Dans le même temps, l'augmentation de la durée d'activité favorise la voiture particulière puisque la distance maximale moyenne de marche à pied croît de 0,2 % entre un stationnement de courte durée et un stationnement de longue durée. Après introduction de la tarification, le nombre de déplacements baisse de 1,6 %, mais le nombre de déplacements acceptés en voiture particulière augmente de 0,9 %. Donc, l'occupation de l'offre s'accroît de l'ordre de 11,3 %. Ainsi, plus la durée d'activité est longue, plus le recours à la voiture particulière est favorisé, plus la congestion du stationnement est forte. *L'introduction de la tarification augmente donc le niveau de congestion en fonction de l'augmentation de la durée de stationnement.* Ce premier résultat confirme donc, s'il en est besoin, le problème spécifique de l'enjeu de la gestion du stationnement de longue durée pour le travail par la tarification optimale, dans une perspective de régulation de la demande de déplacements urbains. Il confirme, plus généralement, l'idée que la politique du stationnement doit tenir compte d'une demande différenciée du stationnement.

Si, dans les simulations, le tarif optimal semble relativement élevé par rapport aux observations tirées de la réalité (voir CERTU, 1999), toutes proportions gardées, il indique que le stationnement en France, en milieu dense, est sous-tarifé. Si cette conclusion doit être appréhendée avec toutes les précautions qui s'imposent quant aux biais possibles issus des hypothèses du modèle et au paramétrage, elle permet tout de même de souligner l'écart sur le niveau de tarif entre le stationnement pour motif achats-visites et le motif professionnel. Cette conclusion va également dans le sens de recommander une tarification différenciée en fonction du type de demande de stationnement considérée.

Concernant le rôle de la politique répressive du stationnement frauduleux dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements urbains, la conclusion est qu'il n'est pas possible d'affirmer que la fixation du niveau de l'amende a un effet mécanique sur la fraude et la demande de stationnement.

Les résultats théoriques des simulations, sous hypothèse d'un comportement d'agent

neutre au risque, montrent que si le niveau d'équilibre de l'amende forfaitaire n'est pas socialement efficace, dans tous les cas, elle est suffisamment dissuasive pour qu'elle permette de réaliser un optimum premier. Néanmoins, le niveau d'équilibre de l'amende est bien supérieur au montant de l'amende en France. Certes donc, la proposition d'augmenter l'amende semble pertinente. Toutefois, s'il s'agit d'augmenter le montant de l'amende, alors le décideur public doit en toute logique choisir un niveau d'amende équivalent au niveau d'équilibre. En effet, étant donné l'avantage individuel relatif que procure l'augmentation de l'amende quant à la baisse du temps de déplacement issue de l'augmentation de l'amende, il existe un risque pour le décideur public de choisir un niveau d'amende qui tombe dans une sorte de 'trappe à la fraude'. Dans ce cas, si l'objectif est bien de dissuader la fraude, l'augmentation du montant de l'amende est un échec. Dès lors, la solution est d'opter directement pour le montant de l'amende d'équilibre.

Le cas échéant, la question peut se poser de savoir s'il n'est pas souhaitable de baisser l'amende à un niveau qui sort de la 'trappe à la fraude', soit un niveau inférieur à l'amende en vigueur. Cela pose la question de *l'amende de second rang*. Si l'objectif est de dégrader l'avantage de l'usage de la voiture particulière, autrement dit, de renforcer la congestion, alors le montant de l'amende peut être, soit augmenté, soit baissé. Le choix du montant de l'amende doit donc résulter d'un calcul rigoureux tenant compte de l'avantage que procure la fraude relativement au niveau de congestion du stationnement et de l'impact sur la demande de déplacement en voiture particulière. Le choix d'un niveau de répression doit donc provenir d'une analyse économique du comportement de fraude au stationnement.

En outre, l'amende forfaitaire, ici socialement sous-optimale, est naturellement moins favorable à la voiture particulière entre une durée courte de stationnement et une durée longue de stationnement puisqu'elle n'internalise pas l'externalité de congestion. De fait, elle permet de dégager moins d'espace de stationnement, donc, réduit d'autant moins le temps de déplacement. De fait, par rapport à la tarification, elle permet d'accroître l'avantage moyen de l'agent, mais dans une moindre mesure. Le paradoxe est donc que la tarification socialement optimale accroît la satisfaction moyenne des agents au profit de l'usage de la voiture particulière, alors que la répression tarifaire, socialement sous-optimale, joue moins en faveur du recours à la voiture particulière. La question est donc de savoir si, d'un point de vue collectif, l'amende forfaitaire est certes moins avantageuse qu'une amende en fonction du temps de stationnement qui tiendrait compte de l'intégralité de l'externalité de congestion, mais n'est pas au final plus avantageuse quant à l'effet sur le partage modal. Dans ce cas, c'est un argument pour reconsidérer la définition de la fonction d'utilité collective qui est ici de minimiser le temps total de déplacement moyen. Si l'objectif est de réduire la part de la voiture particulière dans le partage modal, il convient alors peut-être de poser une fonction objectif sociale différente, qui aurait par exemple comme objectif d'augmenter le temps de déplacement total moyen.

Enfin, les simulations montrent que la logique de la politique tarifaire et répressive doit varier en fonction de l'activité. Cette conclusion est un argument pour une différenciation de la politique du stationnement en fonction de la demande, y compris en termes de répression. Si l'hypothèse peut être faite que le type de demande varie en

fonction des quartiers urbains, alors, l'argument milite pour une politique du stationnement tarifaire et répressive différenciée selon le type de stationnement caractérisant chaque quartier. Néanmoins, cette dernière conclusion s'accompagne d'un bémol lié au fait que le modèle ne permet pas de considérer l'impact du stationnement lié à un type de motif sur un autre motif. Dès lors, l'argument pour la différenciation de la politique du stationnement par la demande justifie un développement de l'analyse prenant en charge l'impact du comportement de stationnement par motif sur le reste de la demande de stationnement.

3 : Conclusion de la section

Un premier usage du modèle de comportement de fraude au stationnement sur la base de la formalisation d'Arnott et Rowse (1999) consiste à produire des résultats théoriques afin de fournir des pistes de réflexion sur les orientations normatives que suscite le modèle. Les simulations sont menées en deux temps. Tout d'abord, elles suivent les simulations présentées par Arnott et Rowse dont le paramétrage relate un contexte de mobilité urbaine propre aux espaces urbains nord-américains. L'idée est simplement de donner une certaine cohérence au modèle de fraude lorsqu'il est confronté aux résultats du modèle de base. Ensuite, les simulations retracent un contexte français de mobilité urbaine dont l'enjeu est de voir dans quelle mesure le modèle peut donner des résultats pertinents quant à la politique répressive du stationnement en France, d'une part, quant aux propositions traditionnellement présentées dans la littérature, d'autre part.

Sur la base des enseignements de l'analyse de la demande de stationnement, pour les simulations sur le contexte urbain français, deux types de scénarios sont proposés. D'un côté, un stationnement de courte ou moyenne durée concernant des déplacements pour achats-visites ou les déplacements professionnels, de l'autre un stationnement de longue durée pour un déplacement domicile-travail. Le stationnement résidentiel n'est pas abordé tant il relève d'une politique de stationnement particulière.

Les simulations théoriques laissent envisager des conclusions normatives pour la prise en compte de la fraude dans la politique du stationnement, sous l'hypothèse que les agents sont neutres au risque.

Tout d'abord, la première série de simulations montre que l'introduction de la fraude s'insère relativement bien dans les résultats des simulations du modèle de base. Elles indiquent, de la même manière que l'indiquent les simulations portant sur la tarification du stationnement, que le rôle de l'amende dans le partage modal est différent selon le niveau de congestion. Globalement, l'amende forfaitaire n'est jamais efficace, mais dans le cas d'une congestion très faible ou d'une congestion très forte, elle est suffisante pour dissuader la fraude. La recherche d'un niveau d'amende de second rang amène à se poser la question de l'augmentation du niveau de l'amende. Dans ce cas, les simulations exhibent que, si dans le cas d'une très faible congestion, l'agent n'a jamais intérêt à frauder et l'accroissement de l'amende dégrade l'avantage pour la voiture particulière, dans le cas d'une très forte congestion, le résultat est très différent. En effet, l'augmentation de l'amende contribue à libérer de l'espace de stationnement de telle sorte qu'elle renforce l'attrait pour l'usage de la voiture particulière. L'effet est d'autant plus fort qu'à partir d'un certain seuil, il devient avantageux pour l'agent de frauder. Ce résultat

apparemment paradoxal s'explique par l'effet de substitution entre l'amende et le temps de déplacement, qui, pour un agent neutre au risque, joue largement en faveur du temps de déplacement en cas de très forte congestion du stationnement. La conclusion fondamentale est qu'en fonction du niveau de congestion du stationnement, la manipulation du niveau de répression doit s'effectuer avec toutes les précautions nécessaires sur l'impact qu'elle peut avoir sur le partage modal, donc sur la congestion, et par contrecoup, sur le niveau de fraude.

La deuxième série de simulations permet d'avancer les conclusions suivantes. Tout d'abord, les cas d'espèce envisagés décrivent tous un état de très forte congestion sur le marché du stationnement. Le niveau de tarif optimal décentralise l'optimum, alors que l'amende forfaitaire est inefficace. Elle est cependant efficace quant à la dissuasion de frauder, donc, indirectement, elle contribue à réaliser l'optimum social. Néanmoins, la recherche d'un optimum second pose de lourds problèmes. En effet, si l'objectif du décideur public est de minimiser le temps total de déplacement moyen, il doit alors augmenter le niveau de l'amende. Une partie des déplacements est supprimée, ce qui renforce en fait l'intérêt pour la voiture particulière et, *in fine*, contribue à renforcer la congestion. De plus, l'avantage pour la voiture particulière devient tel que l'augmentation du niveau de l'amende conduit à inciter à la fraude. Si l'objectif est de détériorer l'avantage de l'usage de la voiture particulière, alors l'amende doit être augmentée au-delà du niveau d'équilibre, ou baissée. Toutes choses égales par ailleurs, cette conclusion plaide une nouvelle fois en faveur d'une manipulation rigoureuse du niveau de répression sur la base de la compréhension du comportement individuel de la fraude et de son impact sur le partage modal. Elle récuse définitivement la proposition traditionnelle d'augmenter l'amende pour dissuader la fraude puisque son impact sur le choix de fraude et le choix modal n'est pas systématiquement identifié.

Ensuite, l'amende forfaitaire peut sembler à première vue inadaptée au problème de la fraude. Elle ne permet pas, en effet, de réaliser un optimum dans la mesure où elle ne considère pas l'intégralité de l'externalité de congestion. Mais, dans un état de très forte congestion, son inefficacité peut présenter l'avantage d'être moins avantageuse pour l'agent, en termes de gains en satisfaction issus de la réduction de la congestion qu'elle occasionne, qu'une amende fonction du temps de stationnement. En effet, l'augmentation de l'amende rendant l'usage de la voiture particulière progressivement plus avantageux, à tarif optimal fixé, l'amende forfaitaire sera logiquement plus faible qu'une amende relative au temps de stationnement. Donc, en cas de très forte congestion, l'augmentation de l'amende forfaitaire est relativement moins avantageuse pour l'agent que l'amende relative au temps de stationnement, donc éventuellement plus avantageuse collectivement dans le cadre d'une politique de modération de l'usage de la voiture particulière. Ce point milite, d'une part, pour l'introduction des effets externes liés au stationnement autres que la seule externalité de congestion, d'autre part, pour une révision de la fonction objectif du planificateur prise dans le cadre du modèle. En outre, les simulations montrent que l'amende forfaitaire d'équilibre, même si elle est inefficace socialement, permet de réaliser l'optimum social du fait qu'elle est suffisamment dissuasive de la fraude. L'agent éprouve donc un avantage plus grand à payer le tarif de stationnement qui est efficace.

Enfin, les simulations soulignent la richesse de la définition conceptuelle du stationnement comme élément du déplacement. Elles indiquent que la politique du stationnement doit s'inspirer des différents comportements de la demande de stationnement. Dès lors, le niveau de l'amende doit être variable selon le type de demande considéré. Ainsi, de même que la politique tarifaire du stationnement doit être différenciée en fonction des motifs de stationnement, la politique répressive du stationnement doit également être différenciée en fonction du type de demande de stationnement.

Au final, les simulations apportent des pistes de réflexions sur la politique répressive du stationnement payant urbain. Si toutes les précautions d'usage doivent accompagner ces réflexions, notamment eu égard aux hypothèses du modèle et aux paramétrages des simulations théoriques, l'exercice permet de mettre en évidence le soin particulier qu'il est nécessaire d'apporter à la prise en compte des comportements individuels de fraude dans le cadre d'une politique du stationnement. Cette rigueur du raisonnement est d'autant plus fondamentale que la politique du stationnement, et donc le traitement de la question de la fraude, participent de la politique de régulation de la demande de déplacements urbains.

Au regard des limites du modèle imposées par les hypothèses nécessaires à cette première approche formalisée sur la question, quelques perspectives de développements doivent être à présent proposées. Dans un but de réfutation du modèle, des pistes de confrontation aux données sont par ailleurs déclinées.

Section 2 : Des réflexions de développements théoriques au choix d'une méthode de production de données

« ... la solidité d'une science empirique est mieux mesurée par la force de ses applications au monde réel que par la quantité ou l'élégance de ses théorèmes » (R. Clower et P. Howitt. « Les fondements de l'économie »)

Sur la base d'un paramétrage choisi pour retracer le contexte de mobilité urbaine en France, les simulations du modèle conduisent à donner une consistance aux résultats théoriques en termes d'application d'une politique répressive du stationnement dans une perspective de régulation de la demande de déplacements urbains. Ainsi, ces simulations indiquent comment le rôle des outils de répression sur le partage modal varie selon le niveau de congestion. Dans un état d'hypercongestion du marché du stationnement, elles montrent que l'amende forfaitaire d'équilibre, quel que soit le motif, n'est jamais efficace du point de vue du critère de minimisation du temps moyen de déplacement. Elle dissuade cependant suffisamment la fraude pour contribuer à réaliser l'optimum social sur le marché du stationnement *via* les prix lorsque l'objectif du décideur public est de minimiser le temps total de déplacement moyen. La recherche d'un niveau d'amende de second rang conduit à poser la question de la pertinence de l'augmentation du niveau de l'amende. Elle permet de mettre en évidence le paradoxe suivant. Dans un état d'hypercongestion du marché du stationnement, l'augmentation de l'amende, d'une part, renforce l'avantage de l'usage de la voiture particulière pour un agent neutre au risque, d'autre part, incite à la fraude. La conclusion qu'il convient alors de tirer de ces résultats

des simulations théoriques est que si, dans une logique de modération de l'usage de la voiture particulière, l'objectif est de détériorer l'avantage de l'usage de l'automobile en milieu urbain et de dissuader la fraude, alors le niveau de répression doit être manipulé avec précaution. Il doit être déterminé, au moins dans un premier temps, au regard du comportement individuel de fraude dans le cadre plus large de la demande de déplacements.

Ces résultats théoriques sont issus d'une représentation simplifiée du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie. De la nécessité de réduire le phénomène pour construire cette formalisation théorique, un cortège d'hypothèses est posé qui limite le degré de réalisme du modèle. En outre, pour mener le raisonnement jusqu'à son terme, il est nécessaire de restreindre le champ d'analyse, notamment en ce qui concerne le comportement de l'agent face au risque.

Pour gagner en réalisme, il convient alors d'explorer les pistes d'amélioration de formalisation du phénomène, d'une part, en élargissant la portée représentative du modèle, et d'autre part, en relâchant les restrictions apportées par les hypothèses.

En outre, les conclusions de l'analyse résultent de la confrontation des résultats théoriques du modèle à des résultats de simulations théoriques reconstituant de manière restrictive un contexte précis. Ce n'est que par la confrontation des résultats théoriques du modèle aux données réelles qu'il est cependant possible de juger de la pertinence de la représentation du phénomène.

Dès lors, l'objectif de cette dernière section est d'évaluer dans quelle mesure la pertinence du modèle peut être validée, d'une part, par la précision des hypothèses, et d'autre part, par la confrontation au réel.

Dans un premier temps, il est proposé d'explorer le champ de restriction des hypothèses et de mener une investigation sur les pistes d'amélioration du pouvoir représentatif du modèle, relatif à la pertinence d'hypothèses plus réalistes quant à la représentation du réel. Depuis la révision des hypothèses comportementales, la discussion envisage d'enrichir progressivement les hypothèses pour aboutir à un emboîtement du modèle de comportement de fraude au stationnement dans un modèle traitant plus globalement de la congestion urbaine.

Dans un deuxième temps, une réflexion est menée sur le choix d'une méthode de production de données permettant de soumettre le modèle au test de la falsification.

1 : Les développements théoriques du modèle

La représentation proposée est limitée dans son pouvoir de compréhension du comportement de fraude au stationnement urbain payant sur voirie dans la mesure où les hypothèses sur lesquelles elle se fonde sont limitatives. Pour assurer un degré plus fin de pertinence du modèle à la réalité du phénomène, il convient de proposer une révision d'un certain nombre d'hypothèses. Tout d'abord, le premier type d'hypothèses discuté est relatif au comportement de l'agent face au risque. La discussion élargit ainsi le champ d'investigation portant sur la représentation du comportement de l'agent face au risque à l'hétérogénéité des agents et au choix du critère de décision. Ensuite, le deuxième type d'hypothèses abordé concerne l'introduction du coût de la répression. Le troisième type

s'intéresse alors au passage d'une analyse statique à une analyse dynamique. Enfin, la dernière discussion propose de revoir les hypothèses dans la perspective d'introduire le modèle de comportement de fraude au stationnement et l'ensemble des raffinements abordés dans un modèle de congestion des déplacements urbains. Ainsi, d'un modèle très rudimentaire strictement focalisé sur le comportement de fraude au stationnement et de ses conséquences sur la demande de déplacements urbains, il convient de voir comment l'enrichissement progressif des hypothèses conduit à produire une représentation du phénomène compatible avec l'ensemble des problématiques relatives à la régulation des déplacements en ville.

1.1 : Les hypothèses sur le comportement de l'agent face au risque

Dans le modèle proposé, seule la formalisation du comportement d'un agent neutre face au risque est abordée. Or, il est bien évident que dans la réalité, les individus ne présentent pas nécessairement un tel comportement. Dès lors, les développements du modèle doivent, à un moment donné de l'analyse, intégrer d'autres types de comportements dans un environnement risqué. En outre, le critère de décision utilisé dans le modèle est celui de la maximisation de l'espérance d'utilité VNM. Rien ne peut laisser penser *a priori* que ce choix retrace le mieux le comportement de décision des agents dans un univers risqué. Dès lors, il s'agit de d'avancer quelques orientations qu'il convient de considérer pour un développement de l'analyse, d'une part, concernant le comportement des agents face au risque, d'autre part, concernant, le critère de choix à retenir.

1.1.1 : L'hétérogénéité du comportement des agents face au risque

Les conclusions de l'analyse économique du crime proposée par Becker mettent en exergue la variation des effets de la manipulation des outils de répression selon le comportement de l'agent face au risque. En substance, l'agent neutre au risque réagit de la même manière à une modification du niveau de l'amende ou à une modification de la probabilité de détection. En revanche, l'agent ayant un goût pour le risque réagit plus fortement à une variation de la probabilité de détection qu'à une variation du niveau de l'amende. Inversement, l'agent averse au risque réagit plus fortement à une modification du niveau de l'amende qu'à une modification de la probabilité de détection. La raison de cette différence de degré de réaction aux outils de répression vient de la forme de la fonction d'utilité de l'agent qui retrace son comportement face au risque.

L'implication sur la politique répressive à mener doit nécessairement prendre acte de l'hétérogénéité des comportements face au risque. En effet, la manipulation de l'un ou de l'autre des outils de répression n'a pas le même effet sur la décision de frauder selon que l'agent désirant stationner est plutôt neutre au risque ou selon qu'il préfère ou ne préfère pas le risque. Les résultats des simulations montrent, de plus, que pour un agent neutre au risque, l'impact de l'augmentation de l'amende est relativement contre-intuitif, quoique logique au regard de l'effet de l'augmentation de l'amende sur la congestion. Pour cette raison, aucune conclusion sur l'intégration du comportement de non-neutralité au risque ne peut être *a priori* avancée sans avoir préalablement mené une analyse rigoureuse du

comportement de fraude de l'agent explorant soigneusement chaque caractère comportemental abordant le risque.

Les développements du modèle doivent donc proposer une formalisation modifiant la fonction d'utilité de l'agent. Si le choix théorique d'une fonction d'utilité représentant l'aversion ou la préférence pour risque ne semble pas poser de réels problèmes, l'intégration dans le modèle oblige à un certain nombre de modifications. En effet, la décision de l'agent de frauder est fonction d'un temps espéré de déplacement. La modélisation du comportement de l'agent neutre au risque est ici aisée puisqu'elle repose sur une fonction d'utilité linéaire. En revanche, le choix d'une fonction représentant de manière pertinente l'aversion pour le risque, ou le choix d'une fonction représentant la préférence pour le risque, est bien plus redoutable. En outre, l'aversion au risque, qui est représentée par une fonction d'utilité concave (par exemple, la fonction logarithme népérien), nécessite un raffinement plus complexe des calculs mathématiques. La remarque est identique pour une représentation du comportement de préférence pour le risque, qui est représentée par une fonction d'utilité convexe (par exemple, la fonction exponentielle négative).

Une fois posée, cette formalisation tenant compte du comportement face au risque permet d'évaluer le poids de la richesse initiale de l'agent sur son comportement de prise de risque. Pour illustrer, l'utilisation des fonctions IARA, CARA ou DARA permet, pour un agent averse au risque, d'étudier l'écart de comportement qu'il peut exister vis-à-vis de la fraude entre un comportement pour lequel le risque augmente avec la richesse, un comportement pour lequel le risque est constant avec la richesse, et un comportement pour lequel le risque décroît avec la richesse.

Donc, l'intégration dans l'analyse de l'hétérogénéité du comportement des agents face au risque peut apporter, moyennant un effort supplémentaire de formalisme mathématique, des conclusions plus fines quant au comportement de fraude au stationnement, donc sur la politique répressive du stationnement frauduleux à mener dans le cadre d'une politique de régulation des déplacements.

1.1.2 : Le critère de choix dans l'incertain

Dans le modèle proposé, le critère retenu pour formaliser la règle de décision pour le choix de payer ou de ne pas payer le tarif de stationnement est la maximisation de l'espérance d'utilité VNM. Or, il a déjà été évoqué dans quelle mesure ce critère ne satisfait pas parfaitement l'objectif de représenter le comportement de choix économique des agents dans un environnement risqué. Plusieurs expériences économiques effectuées en laboratoire mettent en effet en évidence la récurrence de comportements violant l'axiomatique sur les préférences de la théorie de l'espérance d'utilité (Allais, 1953 ; Ellsberg, 1961). De fait, il convient de prévoir, le cas échéant, de reconsidérer le critère de choix pour représenter le comportement de fraude au stationnement. Ce besoin se révèle d'autant plus important qu'*a priori*, le critère de choix retenu a bien évidemment un impact sur le choix du niveau de répression de la fraude au stationnement qu'il convient d'appliquer dans le cadre d'une politique de modération de la mobilité en voiture particulière.

Il n'est pas le lieu ici d'énumérer tous les critères possibles qui pourraient être employés au regard des théories nombreuses qui sont proposées pour considérer les comportements violant l'axiomatique VNM (voir, pour un *survey*, Willinger, 1990). Une première piste peut être cependant proposée. Elle consiste à considérer que les agents ont des croyances sur les probabilités de réalisation des états de la nature. Ils modifient donc de manière subjective les probabilités sur les états de la nature. Dans l'analyse, il s'agit alors de définir une fonction de transformation sur les probabilités qui rend compte des croyances des agents sur les probabilités (Allais, 1984). Dans le cadre de ce type de modélisation du comportement de l'agent dans un environnement risqué (modèles EURDP – *Expected Utility with Rank Dependent Probabilities*), deux théories peuvent être envisagées. D'une part, la *théorie de l'utilité anticipée* formulée, par Quiggin (1982), propose de définir une fonction de transformation des probabilités qui dépend de l'ensemble de la distribution de probabilité. Cette transformation donne un poids décisionnel subjectif à chaque probabilité ce qui conduit à distordre la distribution de probabilité. D'autre part, la *théorie duale du risque* (Yaari, 1987) envisage que la fonction que maximisent les agents est linéaire dans les paiements issus de la décision, et non linéaire dans les probabilités. Dès lors, en posant que les probabilités sont également transformées par une fonction dépendant de l'ensemble de la distribution des probabilités, la théorie duale du risque permet de distinguer l'attitude face au risque de l'agent de l'utilité du revenu pour l'agent. L'agent prend alors sa décision de frauder relativement à un degré de préférence pour le risque différent de son degré de préférence pour l'issue monétaire de sa décision. Cette modélisation permet ainsi de proposer une politique de répression du stationnement frauduleux qui tient compte d'un comportement de l'agent différent face au niveau de probabilité de détection et face au montant de l'amende qui détermine le revenu de l'agent à l'issue de sa décision de frauder ou de ne pas frauder.

Une deuxième piste peut être explorée du côté de la *théorie du regret* (Bell, 1982 ; Loomes, Sugden, 1982) Elle se fonde sur l'hypothèse que les agents ne respectent pas l'axiome de transitivité des préférences. L'idée est que l'agent prend une décision en tenant compte de la conséquence de cette décision, au regard d'une valeur de référence issue des conséquences qu'il pourrait obtenir en opérant un choix différent. Autrement dit, l'agent choisit ici de frauder ou de ne pas frauder au regard de l'écart de satisfaction issu de la comparaison entre la valeur de référence qu'il se donne et la valeur issue de sa décision de frauder ou de ne pas frauder.

D'autres pistes pourraient évidemment être explorées. Celles qui viennent d'être proposées semblent néanmoins particulièrement intéressantes pour la question de la fraude au stationnement payant urbain. Elles permettent en effet de faire un retour sur la pertinence du choix du niveau de probabilité de détection et du niveau de l'amende en fonction, d'une part, de la distinction que les agents opèrent entre leurs préférences pour le niveau de satisfaction issue de leur décision et leurs croyances sur la probabilité d'être verbalisés, d'autre part, du niveau de satisfaction de référence que l'agent peut se fixer avant de prendre sa décision de frauder. Quel que soit le type de critères de choix exploré, les développements du modèle sur ce point doivent apporter un enrichissement sur la compréhension du comportement de fraude au stationnement et un éclairage sur la politique répressive à mettre alors en oeuvre dans une perspective de régulation de la

demande de déplacements urbains.

1.2 : La prise en compte du coût de la répression

La formalisation proposée dans le cadre de cette thèse exclut l'existence d'un coût de répression pour la puissance publique chargée du contrôle du stationnement. Or, dans l'analyse économique du crime, l'issue du modèle est de proposer une conclusion normative sur le niveau de répression optimal. La détermination du niveau de répression se fonde sur l'offre et la demande de crimes et sur le bilan coûts – avantages de la répression. Le niveau de répression optimal est fixé au niveau qui égalise le coût marginal de la répression et l'avantage marginal de la répression au regard d'un critère de choix social. Donc, d'un côté, l'analyse économique du crime s'intéresse au comportement économique de l'agent qui commet un délit, et de l'autre côté, mène l'investigation sur l'efficacité sociale de la répression en fonction des coûts que génère la répression.

Le premier développement du modèle proposé ici est de déterminer une fonction de coût de répression, notamment en évaluant le coût de production du niveau de probabilité de détection, d'une part, et le coût de production du niveau de l'amende, d'autre part. Il faut, d'un côté, évaluer la fonction de coût des forces de contrôle et déterminer un taux de rotation de la surveillance optimal en fonction de la productivité marginale du contrôle. De l'autre, il convient d'évaluer la fonction de coût de traitement de l'amende et de déterminer le niveau de l'amende optimal en fonction de la productivité marginale de l'amende. Le niveau de répression optimal doit donc être fixé à partir de la confrontation du coût marginal et de l'avantage marginal de chacun des outils de répression, en fonction du critère d'efficacité sociale retenu par le décideur public. Si la détermination du niveau de contrôle optimal ne modifie en rien le processus de décision de fraude de l'agent, en revanche, elle permet d'évaluer le volume de fraude optimal. L'enrichissement provient alors de la possibilité de déterminer un volume optimal de fraude cohérent avec l'objectif poursuivi dans la politique de régulation de la demande de déplacements.

A l'occasion d'un développement plus poussé, l'introduction du coût de la répression permet d'envisager la question de la fraude au stationnement sous la forme d'interactions stratégiques. Il s'agit ici d'élargir la problématique de la thèse en passant d'un simple problème de décision individuelle, c'est-à-dire l'analyse du comportement de fraude de l'agent qui stationne face à un niveau de répression exogène, à un problème, formalisé par un jeu, relevant de l'interaction entre deux agents, le fraudeur et le contrôleur. La décision de frauder ou de ne pas frauder de l'agent qui stationne motive le choix du niveau de contrôle du décideur public, en fonction des objectifs fixés par la politique de modération de l'usage de la voiture particulière et de la nécessité de dissuader, dans une certaine mesure, la fraude. Ce choix d'un niveau de contrôle motive à son tour la décision de l'agent qui stationne de frauder ou de ne pas frauder, et ainsi de suite. Le résultat de cette formalisation ne semble pas évident puisqu'il a pu être montré que la manipulation des outils de répression peut conduire à des comportements paradoxaux vis-à-vis du choix de frauder. Le choix du niveau de répression, compatible avec les objectifs de la politique des déplacements urbains, relativement à la réaction de l'agent qui stationne, est sans aucun doute plus délicat qu'il n'y paraît.

L'intérêt de passer par ce type d'analyse est alors d'introduire un problème d'asymétrie informationnelle. Il peut être posé l'hypothèse que l'agent qui stationne détient une information sur son comportement de fraude, concernant par exemple son comportement face au risque, qu'il cherche à cacher au décideur public de sorte à ce que le niveau de contrôle choisi lui permette de maximiser sa satisfaction. Le décideur public a alors comme objectif de déterminer un niveau de contrôle qui conduit l'agent qui stationne à révéler l'information sur son degré de préférence pour le risque. Tout l'enjeu du modèle, décrit sous la forme d'un jeu à information incomplète (l'un des agents, la puissance publique, ne connaît pas le type de l'agent qu'il a en face de lui - risquophile, neutre au risque ou risquophobe), est de déterminer un niveau de contrôle qui incite l'agent qui stationne à révéler son information sur son comportement face au risque, permettant d'atteindre un niveau de fraude socialement optimal compatible avec les objectifs de la politique de régulation de la demande de déplacements.

1.3 : Le passage d'une analyse statique à une analyse dynamique

L'analyse proposée dans cette thèse est une analyse statique du comportement de fraude au stationnement. Le modèle ne permet d'aborder qu'une partie du phénomène du comportement de fraude au stationnement. Il n'y a pas de retour sur le processus de décision à l'issue d'une première phase de décision. Il semble pertinent d'aborder la question de la fraude au stationnement d'un point de vue dynamique.

Dans le modèle de base, Arnott et Rowse soulèvent le problème de la difficulté de déterminer le passage d'un équilibre de congestion à un autre équilibre de congestion. Notamment lorsque l'état de la congestion se situe entre un état de forte congestion et un état d'hypercongestion, l'analyse en dynamique permet de déterminer un processus de passage de l'état de la congestion vers un état de forte congestion ou vers un état d'hypercongestion. Sans en donner ici plus de détails, il peut être noté que Cullinane (1993) montre dans quelle mesure le degré de réalisme de la formalisation du comportement de choix de stationnement s'améliore en introduisant une analyse en dynamique.

Si l'hypothèse de non-redistribution du revenu du tarif de stationnement ou de la répression du stationnement frauduleux est levée, une analyse dynamique s'impose puisque la redistribution du revenu modifie le système de prix qui s'impose à l'agent dans son processus de décision. L'idée peut être alors de doter chaque agent d'un niveau de richesse initiale et de modifier ce niveau de richesse à l'issue d'une première période de décision en fonction de la forme de redistribution du revenu issue de l'application des outils de régulation de la demande de stationnement. Il peut sembler évident que le comportement de fraude varie alors en fonction du revenu distribué, notamment lorsqu'il est considéré un comportement face au risque fonction du niveau de richesse. L'impact sur le partage modal et le niveau de mobilité ne peut qu'en être modifié, ce qui motive d'autant plus le besoin d'appréhender le phénomène en dynamique.

Par ailleurs, à terme, le modèle doit être modifié de sorte à faire apparaître une incertitude sur la durée d'activité à destination. Dans ce cas, le risque de frauder n'est plus uniquement fonction de l'univers stochastique de la répression, mais est également

fonction d'une incertitude sur le temps de stationnement. Dès lors, l'analyse du comportement de fraude ne s'exprime plus sous la forme d'une seule période de décision, mais sous la forme d'une décision séquentielle de frauder ou de ne pas frauder. Dans un premier temps, pour une durée non réductible du temps de stationnement équivalente à la durée initiale de l'activité, l'agent décide de frauder ou de ne pas frauder. Dans un deuxième temps, si la durée d'activité réelle dépasse la durée initialement fixée, l'agent évalue une durée espérée de dépassement de temps de stationnement et décide de frauder de nouveau ou de ne pas frauder, sachant qu'il a été ou qu'il n'a pas été verbalisé dans la première période. Ce type de formalisation de la décision de frauder sous forme séquentielle permet d'introduire la question du rôle de l'information que peut détenir l'agent sur le temps de stationnement dans sa décision de frauder ou de ne pas frauder. L'agent peut également tirer une information sur le niveau de probabilité de détection qui peut le conduire à réviser, par le biais d'un processus bayésien, ses croyances sur la distribution de probabilité et se donner une nouvelle distribution de probabilité subjective pour la deuxième période. L'introduction d'une analyse séquentielle de la décision de frauder offre également la possibilité d'évaluer une valeur de l'information pour l'agent qui peut être prise en compte dans la détermination du niveau de l'amende.

1.4 : L'introduction du modèle de comportement de fraude dans un modèle de congestion

Dans le modèle énoncé, un certain nombre d'hypothèses sur le contexte de mobilité urbaine limite le degré de réalisme de la formalisation proposée. Si les résultats théoriques du modèle montrent déjà que la question du comportement de fraude a un impact sur la demande de déplacements, en modifiant ces hypothèses, il devient évident que l'analyse du comportement de fraude au stationnement doit être intégrée dans un modèle plus global de congestion des déplacements urbains. Cela paraît d'autant plus important que le but ultime de l'intervention est de participer à l'objectif de modération de l'usage de la voiture en ville. Les hypothèses sont rappelées et discutées succinctement.

Premièrement, il n'existe que deux modes alternatifs pour réaliser le déplacement. Or, les résultats des simulations montrent que lorsque la congestion sur le stationnement dissuade le recours à la voiture particulière, les agents se reportent sur la marche à pied pour des distances de déplacements qui peuvent devenir, le cas échéant, conséquentes. Dès lors, il paraît pertinent ici d'introduire les transports en commun comme troisième mode alternatif. Il possède ses caractéristiques propres de vitesse et de capacité en offre de transport. Tout d'abord, l'introduction d'une offre de transport en commun donne plus de crédit au modèle quant à ses résultats concernant l'impact de la congestion du stationnement sur le partage modal et sur le niveau de mobilité. *A priori*, toutes choses égales par ailleurs, une offre de transport public, dans une situation d'hypercongestion du marché du stationnement, devrait conduire au même constat qui consiste à conclure que l'augmentation du coût du stationnement, soit par le tarif de stationnement, soit par le niveau de répression, favorise l'usage de la voiture particulière et contribue à rendre la fraude plus intéressante pour l'agent que le paiement du tarif de stationnement. Il convient bien entendu de vérifier ce type de conclusions en introduisant dans le modèle un mode de transport collectif. En outre, considérer les transports publics dans le modèle permet

d'évaluer l'impact de la régulation de la demande de stationnement sur le partage modal, donc sur l'objectif de desserrer le système des transports urbains de la contrainte de l'encombrement croissant et de la contrainte de financement. Notamment si la redistribution du revenu de la tarification et de la répression est, par exemple, affectée à l'augmentation, en quantité ou en qualité, de l'offre de transports publics.

Secondement, dans le modèle, l'opportunité de déplacement proposée à l'agent suppose la réalisation d'une seule activité. Il n'est pas tenu compte de la possibilité d'une chaîne de déplacements qui, nécessairement, pèse sur le choix modal, donc sur le choix de stationnement. Un certain nombre de travaux montrent que la prise en compte du schéma d'activités quotidien (Lenntorp, 1978, Raux, 1990) de l'agent influe fortement sur le choix modal. De fait, il convient alors, si l'hypothèse d'une activité unique par déplacement est levée, d'analyser la question de la fraude au stationnement et de son influence sur le choix modal en fonction des contraintes pesant sur la réalisation du schéma d'activité. Il s'agit alors d'aborder le comportement de fraude au stationnement en fonction de chacun des motifs de stationnement dictés par le schéma d'activité, et en fonction du résultat sur le niveau de richesse de l'agent issue du stationnement ayant permis de réaliser l'activité précédant l'activité à l'origine du stationnement étudié.

Troisièmement, le modèle de base fait l'hypothèse qu'il n'existe pas d'interactions entre agents sur les déplacements. Autrement dit, il ne peut y avoir de congestion sur les déplacements. Dans la mesure où l'enjeu de l'analyse est de mesurer l'impact du comportement de fraude, qui est fonction du temps de déplacement, sur le niveau de congestion du stationnement, donc sur le partage modal et le niveau de mobilité, il paraît nécessaire d'introduire dans le modèle une interaction entre agents dans leur déplacement. En effet, la congestion sur le stationnement participe à la congestion des déplacements, ce qui modifie le temps de déplacement, donc, joue sur la décision de frauder ou de ne pas frauder. La décision de frauder ou de ne pas frauder joue sur le temps de stationnement, donc sur la congestion du stationnement, ce qui allonge le temps de recherche d'une place, donc accroît la congestion sur les déplacements. Nécessairement, il convient d'introduire une congestion possible sur les déplacements qui modifie le contexte de choix de fraude, lui-même modifiant le niveau de congestion sur les déplacements. Ainsi, en introduisant la congestion sur les déplacements, la portée du modèle de comportement de fraude au stationnement s'élargit à une problématique plus globale de régulation de la demande de déplacements par les prix, et notamment, dans le rôle de la complémentarité de la tarification du stationnement et de la répression de la fraude dans une perspective de tarification des déplacements, c'est-à-dire dans une réflexion sur la mise en place d'un péage urbain (il s'agit d'introduire les arguments pour la détermination complémentaire de la tarification des déplacements et de la tarification du stationnement avancés par Calthrop, Proost, van Dender, 2000).

Dès lors, quatrième, si la possibilité de considérer un niveau de congestion sur les déplacements est offerte, alors la question du comportement de fraude au stationnement interroge l'hypothèse de proposer dans le modèle deux itinéraires différents offrant les mêmes qualités d'offre de transport. Dans le modèle, l'agent choisit l'itinéraire le plus court en distance entre son lieu d'origine et son lieu de destination. Quel que soit le sens emprunté par agent sur la circonférence du cercle représentant l'offre de

transport, la vitesse de transport est identique. En introduisant une différence de vitesse de déplacement entre l'un et l'autre des itinéraires, le modèle propose de lier la question du comportement de fraude au stationnement avec un classique choix d'itinéraire.

Enfin, cinquièmement, il a largement été montré à l'occasion des simulations théoriques qu'il existe un conflit réel entre la fonction objectif qui est donnée au décideur public dans le modèle et l'objectif de réduction de la mobilité en voiture particulière tel que semble le réclamer l'étude de la mobilité urbaine et le poids des conséquences de l'usage de la voiture particulière tant d'un point de vue environnemental que d'un point de la circulation des flux de transport en ville. Dans le modèle, la fonction objectif du décideur public est logique puisqu'elle est l'émanation des comportements individuels dont l'objectif est de minimiser le temps total de déplacement moyen. Cependant, l'analyse ainsi réduite néglige l'impact de la congestion du stationnement sur le niveau des conséquences environnementales. Dès lors, tout en ayant bien conscience que la tarification du stationnement ne peut prétendre internaliser les effets externes provoqués par la congestion des déplacements, il semble néanmoins possible de définir une fonction objectif du décideur public dont l'objectif n'est plus de satisfaire les seuls usagers du stationnement mais l'ensemble des agents dont la fonction d'utilité ou la fonction de profit est modifiée par l'existence de la congestion sur le stationnement. Dès lors, si la somme de leur préférences montre que le décideur public doit avant tout viser la modération de l'usage de la voiture particulière, la fonction objectif du décideur public chargé de la régulation de la demande de stationnement n'a plus comme objectif de minimiser le temps de déplacement, mais peut être de maximiser ce temps de déplacement, de sorte à réduire l'avantage pour la voiture particulière et favoriser des modes de transport compatibles avec l'objectif d'assurer à l'ensemble des agents économiques des conditions de déplacements aux moindres coûts économiques et sociaux.

Enfin, il a déjà été fait référence à la nécessité de modéliser le comportement de fraude au stationnement pour une amende fonction du temps de stationnement frauduleux. L'amende de type forfaitaire n'internalise pas l'externalité de congestion puisqu'elle ne couvre pas le temps de stationnement frauduleux. Dès lors, l'agent stationne plus longtemps que le temps de stationnement optimal. Une amende fonction du temps de stationnement, bien que son application pose de réels problèmes techniques, internalise l'externalité de congestion provoquée par la fraude au paiement du stationnement. Néanmoins, les résultats de simulations théoriques montrent que l'amende forfaitaire semble plus efficace quant à l'objectif de modérer l'usage de la voiture particulière en cas de très forte congestion du stationnement. La modélisation du comportement de fraude au stationnement relatif à une amende fonction du temps de stationnement doit permettre de fournir une réponse rigoureuse à cette assertion.

La nécessaire réduction du phénomène pour produire un outil de compréhension du comportement de fraude au stationnement a commandé d'élaborer des hypothèses. Nécessairement, ces hypothèses éloignent la représentation théorique du phénomène réel qu'elle prétend décrire. L'étape qui doit suivre l'effort premier de modélisation consiste à reconsidérer ces hypothèses pour améliorer le degré de représentation du phénomène. Une deuxième étape cruciale touche à la question de la réfutation du modèle. Pour donner un certain crédit au pouvoir normatif fourni par le modèle, il convient

de confronter les résultats théoriques au réel.

2 : Les pistes de réfutation théorique : la question de la production de données

« On fait la science avec des faits, comme on fait une maison avec des pierres ; mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison » (Henri Poincaré, *La science et l'hypothèse*)

L'analyse théorique construite, s'il convient en effet de l'augmenter d'une réflexion supplémentaire portant sur le réalisme des hypothèses, il demeure avant tout indispensable de la soumettre au test de la réfutation. Selon Popper (1934), une théorie, ou une hypothèse, est réfutable s'il existe un énoncé qui la contredit. Il suffit pour cela qu'une seule observation vienne contredire l'énoncé analytique. Ainsi, de l'impossibilité de démontrer la vérité d'une hypothèse ou d'un énoncé théorique, il est possible de montrer que l'hypothèse ou l'énoncé théorique est faux à l'issue d'une confrontation au réel (Bonnafous, 1989). Dès lors, seule la théorie réfutée apprend quelque chose sur le phénomène et permet de comprendre un peu mieux le phénomène. Pour permettre cette confrontation au réel, il est nécessaire de se procurer des données rendant compte du réel, c'est-à-dire de se doter d'une méthode de production de données, qu'il convient d'opposer aux résultats théoriques. Si, statistiquement, les données contredisent significativement les résultats théoriques du modèle, alors, il est conclu que la formulation analytique testée doit être rejetée. Dès lors, le travail suivant consiste à modifier le modèle en évacuant définitivement du champ d'analyse la formulation réfutée par la confrontation aux données, acquise comme étant définitivement fausse.

Dans un premier temps, la revue des méthodes de production de données traditionnellement mobilisées en économie des transports invite à se poser la question, dans un deuxième temps, sur l'avantage qu'il peut exister d'utiliser l'économie expérimentale comme méthode de réfutation du modèle.

2.1 : L'inadaptation des méthodes de préférences révélées et de préférences déclarées pour tester le modèle de fraude au stationnement

La production de données sur la question du comportement de fraude au stationnement urbain se heurte à un certain nombre de problèmes d'ordre méthodologique. En effet, une traditionnelle réfutation du modèle à l'aide de données prélevées sur le terrain semble inadaptée à la structure du modèle. La raison est assez simple. Les seules données disponibles sur la fraude au stationnement fournissent une évaluation du nombre de procès-verbaux effectivement dressés. A partir de ces données, il n'est possible de produire qu'un niveau de répression relatif au taux de verbalisation sur le nombre de voitures particulières stationnées élaboré sur la base d'un taux de remplissage de l'offre de stationnement et d'un taux de rotation. Ce taux de verbalisation rend compte éventuellement du niveau de productivité de la répression, mais en aucun cas du taux de fraude réel. A la vue des données disponibles, il ne peut être évalué de taux de verbalisation portant sur le nombre de véhicules réellement en fraude. Or, une sortie du modèle est de pouvoir évaluer le comportement de fraude au regard de la variation du

niveau de répression, et non la variation du nombre de fraudeurs verbalisés en fonction du niveau de la répression. En posant cependant quelques hypothèses, une estimation statistique de la variation du nombre de fraudeurs peut être tirée de la variation du nombre de procès-verbaux. Mais le doute persiste sur la précision de l'estimation de la variation du taux de fraude tirée du nombre de procès-verbaux dressés. En outre, ces données n'apprennent rien sur le comportement de fraude relatif au motif de déplacement ce qui va à l'encontre des résultats des simulations théoriques qui montrent en quoi l'analyse de la fraude au stationnement doit être différenciée selon les motifs de déplacements. Ainsi, il n'est pas possible de conclure radicalement sur la question de savoir si l'origine de la variation du taux de fraude provient de la variation du nombre de fraudeurs ou si elle provient de la variation de l'efficacité du contrôle. Dès lors, produire des données de terrain pertinentes relatives au comportement de fraude au stationnement réclame nécessairement l'élaboration du comptage et d'une enquête auprès des individus qui stationnent.

Le comptage doit pouvoir fournir une estimation du nombre de fraudeurs et de non-fraudeurs sur une période donnée pour un niveau de congestion constaté. L'enquête auprès des individus qui stationnent doit permettre de relever pour chaque véhicule stationné, le temps d'activité à l'origine du stationnement estimé avant la réalisation de l'activité, le temps de déplacement total, le temps de recherche d'une place de stationnement, le temps de marche à pied du lieu de stationnement au lieu de destination finale et le type d'activité. Après avoir isolé les déplacements motivés par un motif unique, pour chaque stationnement, les données de l'enquête doivent permettre d'estimer les variables de décision, à savoir, la distance maximale de marche à pied, la distance maximale de déplacement et la distance de recherche d'une place de stationnement que se donne l'individu. La confrontation de ces données et du comportement réel de fraude avec les résultats théoriques du modèle permet d'estimer statistiquement, à l'aide d'un test non paramétrique, la pertinence du modèle. Pour le niveau de congestion constaté dans le cadre de l'enquête, si l'estimation de la distance maximale de déplacement, de la distance maximale de marche à pied, de la distance de recherche d'une place de stationnement, et si le nombre de fraudeurs effectifs sont statistiquement significativement différents des résultats théoriques tirés du modèle, ce dernier peut être réfuté. La difficulté d'évaluer la valeur des variables de décision remet en cause la possibilité de pouvoir tester la réaction des agents à une modification du niveau de répression et de tirer des estimations de l'impact de cette modification sur le niveau de mobilité et sur le partage modal. Si une estimation économétrique est toujours possible, il subsistera toujours une marge statistique d'erreur fatale pour la décision de réfuter ou de ne pas réfuter le modèle (voir Lalonde, 1986).

Une deuxième possibilité, pour produire des données permettant d'estimer plus sûrement la valeur des variables de décision, est de procéder à une enquête de préférences déclarées. Ce type d'enquêtes est maintenant largement répandu en économie des transports. Il permet de tester la réaction comportementale des enquêtés aux modifications du contexte décisionnel dans le cadre d'un scénario de choix de transport fictif contrôlé par l'enquêteur (Kroes, Sheldon, 1988, Polak, Jones, 1997). Dans ce cas, la méthode consiste à élaborer un scénario de choix de transport rendant compte

des hypothèses du modèle. Il est demandé au sujet enquêté de déclarer son choix de transport dans le cadre de ce scénario. Ici, l'enquête consiste à demander au sujet, pour un niveau de congestion donné, de choisir de se déplacer ou de renoncer au déplacement ce qui permet, au regard des paramètres du modèle caractérisant le scénario, d'estimer la valeur de la variable de décision consistant à choisir une distance maximale de déplacement (éventuellement de la comparer avec la déclaration de cette valeur par le sujet). Ensuite, s'il accepte le déplacement, il s'agit de lui demander de se prononcer sur le mode qu'il choisit ce qui conduit à estimer la valeur de la variable de décision consistant à choisir une distance maximale de marche à pied (qui peut là encore être comparée avec la déclaration de cette valeur par le sujet). Enfin, il s'agit de demander au sujet de se prononcer sur le choix de frauder ou de payer le tarif de stationnement au regard d'un niveau de répression qui lui est annoncé. Pour un niveau de congestion donné, les données issues de la déclaration des préférences effectuée dans le cadre du scénario permettent de tester statistiquement la pertinence des résultats avancés par le modèle, et de prononcer un jugement sur la validité du modèle. L'usage de ce type de méthode est pratique pour tester la robustesse du modèle de comportement de choix de fraude au stationnement dans la mesure où il permet de modifier l'environnement de production des données au gré des questions qui doivent être abordées. Notamment, s'il convient par exemple, d'évaluer la différence de réaction sur la décision de frauder entre une variation de la probabilité de détection ou une variation du niveau de l'amende, l'enquêteur modifie les paramètres 'probabilité de détection' et 'niveau d'amende' du scénario tout en contrôlant les autres paramètres. De même, s'il s'agit de tester les résultats théoriques du modèle sur le comportement de fraude relatif au niveau de congestion, il suffit de modifier le niveau de congestion fixé dans le scénario. Cependant, si ce type de méthode semble adapté à la question de la production de données pour tester le modèle proposé ici, une limite laisse la méthode inopérante.

Le biais a trait à l'incertitude quant à l'implication des sujets dans leur réponse. La question est en effet de savoir dans quelle mesure les réponses déclarées par les sujets sont compatibles avec le comportement effectif des sujets (Wardman, 1988). Formulée autrement, la critique porte sur l'évidence que les agents ne font pas toujours dans un environnement économique réel ce qu'ils disent qu'ils feraient à la vue d'un scénario fictif. Les raisons principales de ce comportement des sujets enquêtés sont de deux ordres. Tout d'abord, le comportement dans le cadre d'un scénario se heurte à une absence d'éléments d'apprentissage sur des situations hypothétiques non vécues. Ensuite, les réponses sont influencées par un effet de présentation de la situation fictive. Enfin, et c'est là le principal reproche qu'il convient de faire concernant la méthode de déclaration des préférences pour le comportement de fraude au stationnement, les réponses des sujets peuvent relever d'un comportement stratégique. La réponse déclarée peut en effet être volontairement biaisée dans la mesure où, tout d'abord, elle peut être conçue comme un moyen d'influencer les résultats quant à la politique évaluée par l'enquête. Le sujet enquêté se comporte alors en véritable passager clandestin dans le cadre du scénario proposé sans que l'enquêteur puisse déceler ce comportement. Ensuite, elle peut résulter d'un comportement de sympathie vis-à-vis de l'enquêteur. Ce dernier point condamne définitivement l'usage de la méthode des préférences déclarées pour la production de données sur le comportement de fraude au stationnement. En effet, concernant un

scénario dans lequel le sujet doit déclarer s'il fraude ou non, le risque est que le sujet désire montrer à l'enquêteur qu'il sait que la fraude est un acte répréhensible et qu'il ne pratique jamais ce type de comportement. Le sujet peut éventuellement ressentir une crainte que l'enquêteur porte sur lui un jugement négatif s'il déclare frauder. La fraude touche là un comportement économique sensible, voire tabou, qui remet en cause l'usage de la méthode des préférences déclarées pour produire des données. La question reste alors de déterminer une méthode production de données permettant de tester la robustesse du modèle de comportement de fraude au stationnement. Il est alors proposé de voir en quoi l'économie expérimentale peut constituer une méthode adaptée.

2.2 : La production de données pour la réfutation du modèle par l'économie expérimentale

Si les méthodes de préférences révélées et de préférences déclarées posent des problèmes pour la production de données sur la question de la fraude au stationnement, il convient de trouver une méthode adéquate de sorte à pouvoir tester le modèle. La question ici est de savoir si l'économie expérimentale peut contourner les problèmes méthodologiques posés par les autres méthodes. L'énoncé des objectifs de l'économie expérimentale permet tout d'abord de voir en quoi elle peut en effet constituer la méthode recherchée. Roth (1987) énumère ainsi les objectifs de l'économie expérimentale. L'économie expérimentale est avant tout un outil de réfutation de modèles théoriques existants (« *Speaking to Theorists* »). Les observations expérimentales permettent de tester les prédictions théoriques et de mettre en évidence des régularités comportementales non prédites par les modèles. Ensuite, l'économie expérimentale permet d'explorer des situations insuffisamment théorisées (« *Searching for Facts* »). Les expériences ont alors pour objectif d'isoler les causes des régularités non prédites par les modèles et d'en proposer une formalisation nouvelle. Enfin, l'économie expérimentale a pour objectif d'aider à la décision (« *Whispering in the Ears of Princes* »). Les expériences peuvent être initiées par des instances décisionnelles. Leur objectif est alors d'apporter des éléments d'évaluation des changements dans les règles sur un marché ou dans la structure même d'un marché. C'est dans ce troisième objectif qu'il convient d'aller chercher dans l'économie expérimentale une méthode pertinente de production de données pour tester le modèle de comportement de fraude au stationnement dans une perspective d'aide à la décision de la politique de régulation de la demande de déplacements.

De manière générale, l'expérimentation économique consiste en la reconstitution, en laboratoire, d'une situation économique simplifiée pour laquelle l'ensemble des variables est contrôlé par un expérimentateur (voir Hey, 1991 ; Davis, Holt, 1993 ; Friedman, Sunder, 1994 ; Kagel, Roth, 1995). Concrètement, les sujets enquêtés sont invités à prendre des décisions dans le cadre d'un *jeu* retraçant la situation économique simplifiée. Les règles du jeu reprennent la structure de la situation économique réelle. Les sujets ont un rôle d'agent économique dont les caractéristiques sur les préférences, les technologies, les dotations monétaires et informationnelles, sont définies par l'expérimentateur. Chaque décision d'un sujet dans le jeu lui procure un gain (ou une perte) exprimé sous forme monétaire. Le principe de base est que chaque joueur doit

assumer les conséquences financières des choix qu'il a effectués au cours de l'expérience. La pertinence de l'expérimentation économique repose sur *la théorie de la valeur induite* (Smith, 1976) qui permet de s'assurer du contrôle des paramètres expérimentés. Cette théorie est construite autour de cinq principes. Tout d'abord, le principe de *l'insatiabilité* qui pose que le sujet préfère toujours détenir plus de rémunération que ce qu'il détient déjà. L'utilité de chaque sujet est une donc une fonction monotone croissante de ses gains. Ensuite, la *proéminence* suppose que les gains du sujet sont une fonction, qu'il connaît parfaitement puisqu'elle est donnée par l'expérimentateur, de ses actions possibles et des éventuelles actions des autres sujets. La proéminence permet de distinguer l'économie expérimentale des enquêtes traditionnelles dans la mesure où elle assure une incitation pour le sujet à agir en laboratoire comme s'il agissait dans le réel. Cette notion d'incitation signifie donc que *le sujet doit assumer toutes les conséquences financières de ses choix*. La *dominance* pose que les gains monétaires issus de l'expérimentation expliquent les actes des sujets mieux que tout autre facteur. Ainsi, toute autre influence que les gains sur le sujet est négligeable pour sa prise de décision dans le jeu. Le *secret* implique que l'agent est seul à connaître ses propres dotations et ses gains au cours du jeu, même s'il peut être amené à connaître les résultats agrégés au cours du jeu. Ce principe garantit son autonomie de choix dans l'expérience. Enfin, le principe du *parallélisme* qui mesure la différence entre le réel et le laboratoire, autrement dit, la validité externe des données produites dans le laboratoire. Cette condition laisse la possibilité d'inférer du laboratoire au réel, autrement dit, elle permet de prétendre que les régularités comportementales observées en laboratoire doivent persister en réel aussi longtemps que les conditions sous-jacentes restent inchangées. Un argument sur la non-pertinence de l'économie expérimentale peut être ici proposé, il consiste à dire que les comportements économiques en échelle réelle ne peuvent en aucun cas être reproduits à petite échelle en laboratoire. Une réponse est de rétorquer qu'une théorie robuste doit fonctionner dans tous les cas, même les cas spéciaux en laboratoire, du moment que la clause *ceteris paribus* est respectée. S'il y a échec en laboratoire, alors, de toute façon, la théorie doit être révisée (Plott, 1982).

Initialement, l'économie expérimentale a pour principal objet de tester une théorie. La procédure de réfutation par l'expérimentation revient à interroger la théorie dans un cadre spécifique (Smith, 1982) défini par un *environnement* (c'est-à-dire l'ensemble des caractéristiques de l'expérience), une *institution* (soit les règles de décision qui organisent les choix individuels dans le cadre environnemental défini - il s'agit concrètement du protocole expérimental) et des *comportements* (l'ensemble des choix d'action des sujets étant donné leurs caractéristiques définies dans l'environnement et les règles institutionnelles liant leurs choix et leurs gains). Si à l'origine, l'économie expérimentale n'a donc pas comme objectif de produire des données, ce cadre doit être conservé lorsque l'expérimentation économique est employée aux fins de produire des données.

Dans ce cadre spécifique, l'expérimentateur contrôle à la fois l'environnement et les règles institutionnelles. De fait, il peut concentrer son attention sur la pertinence des hypothèses sur les comportements. Notamment, son travail porte sur l'observation des réactions comportementales à des changements qu'il génère lui-même dans l'environnement ou dans les institutions.

L'économie expérimentale, en raison de ses caractéristiques, pourrait permettre de pallier les insuffisances des méthodes de préférences déclarées ou de préférences révélées tant la possibilité de contrôler l'environnement permet d'obtenir une grande variabilité des situations de choix tout en évitant les problèmes habituels des méthodes de choix hypothétiques, dans lesquelles les sujets n'ont pas à assumer la responsabilité de leur choix. Notamment, la méthode est parfaitement adaptée lorsqu'il s'agit de tester la portée des divers raffinements théoriques du modèle proposés ou lorsqu'il convient d'interroger la réaction comportementale des agents à l'application de différents outils de politique répressive du stationnement.

La légitimité d'utiliser l'économie expérimentale est, de surcroît, validée par l'usage qui en est fait à la fois en économie des transports et dans l'économie du crime. Sur la mesure de l'économie souterraine, Archambault et Greffe (1984) mettent en avant le problème de mesure des phénomènes puisqu'il est évident que, d'une part, les activités étant cachées, il demeure difficile de produire des préférences révélées, d'autre part, les réponses que peuvent apporter les sujets lorsqu'ils sont enquêtés sont entachées d'un soupçon naturel sur leur sincérité. Cowell (1990, p. 18) propose donc de recourir à des méthodes indirectes ingénieuses (« *ingenious indirect methods* ») pour arriver à produire des données qui donnent une bonne approximation du phénomène. L'économie expérimentale semble être une telle méthode puisqu'elle est largement employée sur le thème de la fraude fiscale (Baldry, 1986, 1987 ; Webley, Halstead, 1986 ; Becker, Büchner, Sleeking, 1987) ou du travail au noir (Pagán, 1998). De même, elle a été utilisée en économie des transports sur la question de la dérégulation du marché des transports aériens (Grether, Issac, Plott, 1981, 1989 ; Guler, Plott, 1987), du marché du transport fluvial (Hong, Plott, 1982), sur la question du mécanisme d'affectation des sillons ferroviaires (Brewer, Plott, 1994 ; Nilsson, 1997), sur la question des règles d'émission des licences sur le marché des taxis (Fischer *et al.*, 1992). Sur la question de la décision individuelle dans les choix de transport et la tarification de l'usage des infrastructures, elle a été utilisée sur un modèle de choix d'itinéraire (Delvert, Petiot, 1999), sur un modèle de choix d'option (Delvert *et al.*, 1999 ; Delvert, Denant-Boèmont, Petiot, 2000), sur un modèle de valeur d'information (Denant-Boèmont, Petiot, 1998) et sur un modèle de congestion (Schneider, Weimann, 1997). Il existe dès lors de fortes présomptions pour que, sur la question du comportement de fraude au stationnement relevant de l'analyse économique du crime et de l'économie des transports, l'économie expérimentale puisse être convoquée pour produire les données nécessaires au test du modèle lorsque les méthodes plus traditionnelles sont plus ou moins adaptées. Certes, l'objet de l'économie expérimentale n'est pas de produire des données, mais bien de tester des théories, toutefois, c'est peut-être là le challenge de ce type d'exercice, la question abordée se heurtant à un problème évident d'existence de données, la seule possibilité pour l'économiste est de mobiliser une méthode originale, par exemple, l'économie expérimentale. Il convient alors de l'adapter, en conservant la pleine rigueur des principes et des hypothèses, à une question d'économie appliquée⁵³.

En substance, un protocole expérimental ici permet de produire des données contrôlées sur un jeu reconstituant le modèle de comportement de fraude au stationnement. Le sujet est doté d'une fonction de paiement qui dépend de la

rémunération brute procurée par le déplacement, du tarif de stationnement, du montant de l'amende, des caractéristiques de la situation de congestion du stationnement, de son comportement face au risque, des variables de décision sur le comportement de choix de stationnement données, c'est-à-dire, la distance maximale de déplacement, la distance maximale de marche à pied et la distance de recherche d'une place de stationnement. Il possède en fait deux fonctions de paiements distinctes, à savoir, la fonction de paiement s'il fraude et la fonction de paiement s'il ne fraude pas. Au regard d'une distribution de probabilité associée aux événements '*détekté*' / '*pas détekté*', le sujet effectue son choix entre frauder et ne pas frauder. Le degré de robustesse du modèle est évalué au regard de la concordance entre les comportements des sujets dans le jeu et des résultats théoriques relatifs à la situation reproduite dans le jeu. L'avantage de ce type de méthode est de pouvoir modifier chaque variable de choix, comme, par exemple, le tarif, le montant de l'amende, la rémunération procurée par l'activité, en s'assurant de contrôler l'ensemble des autres variables.

Dès lors, l'économie expérimentale peut se révéler être une méthode de production de données séduisante pour la possibilité qu'elle offre de produire les données nécessaires à la réfutation du modèle de comportement de fraude au stationnement et de juger de l'impact de la politique répressive du stationnement frauduleux dans des situations de congestion contrôlées.

3 : Conclusion de la section

Si les conclusions tirées des simulations apportent des éléments quant à la portée des résultats théoriques du modèle pour la politique répressive du stationnement dans la perspective d'une politique de régulation de la demande de déplacements urbains, ces conclusions restent limitées au regard des hypothèses posées. La conclusion principale est la suivante. Paradoxalement, dans un état d'hypercongestion du stationnement, l'augmentation de l'amende améliore l'avantage procuré par l'usage de la voiture particulière pour un agent neutre au risque et l'incite à frauder. Alors, pour une politique qui vise à altérer l'avantage comparatif détenu par la voiture particulière dans la mobilité quotidienne, les résultats du modèle, renforcés par les simulations théoriques, militent pour une manipulation rigoureuse des outils de répression de la fraude au stationnement. Cette rigueur passe par une compréhension fine du comportement de fraude au stationnement dans le cadre de la demande de déplacements.

Dans un souci de réduction du phénomène, un certain nombre d'hypothèses est constitué. Ces hypothèses permettent de gagner en intelligibilité du phénomène étudié, mais contribuent à perdre en pouvoir de réalisme de la représentation proposée. De plus, la validation du modèle et de ses conclusions, pour l'application d'une politique répressive

⁵³ Le problème de l'utilisation de l'économie expérimentale pour produire des données dans le champ de l'économie appliquée reste celui de la *contextualisation*. Peu de travaux tranchent à ce jour sur la question de savoir si le protocole expérimental présenté aux sujets doit exclure toute référence au problème économique abordé – présentation sous forme de loteries –, ou doit, au contraire, explicitement reconstituer une situation réelle (voir Friedman, Sunder, 1994, pour une discussion méthodologique, et Denant-Boèmont, Hammiche, 2000, pour une application d'un protocole contextualisé et d'un protocole décontextualisé pour un même choix individuel de transport).

du stationnement frauduleux dans la cadre d'une politique des déplacements, nécessite une confrontation des résultats théoriques du modèle à des données réelles.

Partant, le propos de cette section était de montrer que la pertinence de la formalisation proposée sur sa capacité à représenter le phénomène de fraude au stationnement urbain payant sur voirie doit être précisée par la révision des hypothèses et par la confrontation des résultats théoriques au réel.

Un premier point a envisagé l'amélioration des hypothèses. D'une révision des hypothèses concernant l'intégration de l'hétérogénéité du comportement des agents face au risque et du critère de choix dans un environnement risqué en passant par la prise en compte du coût de la répression et l'intégration d'une analyse dynamique du phénomène, l'objectif d'une discussion sur l'ensemble des hypothèses permet d'affiner la représentation quant à son introduction dans un modèle plus global de congestion des déplacements en milieu urbain. Ce dernier objectif va dans le sens d'atteindre le but ultime de l'étude entamée dans cette thèse, c'est-à-dire d'aller au bout du raisonnement de relier la fraude au stationnement à la régulation de la demande de déplacements.

Un deuxième point propose de discuter du choix d'une méthode de production de données permettant de répondre à la question de la réfutation du modèle. La méthode des préférences révélées se heurte ici à la complexité du modèle qui fait peser un soupçon réel sur sa capacité à produire les données requises. La méthode des préférences déclarées pose des problèmes quant au crédit à donner aux réponses des sujets enquêtés sur une question relative à un comportement de fraude. Dès lors, il est proposé de se tourner vers l'économie expérimentale qui offre un cadre méthodologique pertinent pour la production de données sur ce type particulier de questionnement. Cette méthode fournit en outre des outils rigoureux pour tester l'impact d'une variable sur le comportement de fraude des agents, toutes choses égales par ailleurs.

Cette dernière étape du raisonnement permet donc d'entrevoir les pistes de recherche stimulantes pour l'amélioration de la compréhension du comportement de fraude au stationnement payant urbain sur voirie.

Conclusion du Chapitre 4

La représentation du comportement de fraude au stationnement, fondée, tout d'abord, sur un cadre analytique intégrant l'espace urbain dans l'analyse économique, ensuite, sur l'analyse économique du crime, repose sur un modèle de comportement de stationnement. Ce dernier modèle met en évidence différents états de congestion du stationnement. Un processus d'internalisation de la congestion par la tarification du stationnement est proposé. Le résultat est que pour les situations de faible congestion, la tarification du stationnement est socialement efficace, du point de vue du critère du décideur public qui est de minimiser le temps total de déplacement moyen. En revanche, pour certains états de forte congestion, le tarif de stationnement est inefficace. La question de la détermination d'un tarif de second rang s'impose alors.

A partir de ce modèle, la formalisation du comportement de fraude utilise la théorie de la décision laissant à l'agent, supposé neutre au risque, la possibilité de ne pas s'acquitter

du paiement du tarif de stationnement. Pour cette potentialité qui lui est offerte, l'agent fait face au risque d'être détecté comme fraudeur et automatiquement verbalisé. S'il est détecté, il doit alors s'acquitter d'une amende forfaitaire. Le modèle montre que d'un point de vue théorique, l'amende forfaitaire d'équilibre n'est pas socialement optimale puisqu'elle ne prend pas en compte le niveau d'externalité issu du temps de stationnement. Un montant d'amende forfaitaire correspondant à un niveau de répression de second rang doit donc être choisi.

L'objectif de ce chapitre était donc de montrer dans quelle mesure, tout d'abord, le modèle simulé, sur un paramétrage relatant un contexte urbain précis, avance des résultats théoriques permettant d'émettre des conclusions concernant la politique répressive du stationnement frauduleux à mettre en oeuvre dans le cadre d'une politique de régulation des déplacements. Ensuite, le chapitre avait pour mission de voir en quoi, à partir de ces résultats théoriques, d'une part, des développements théoriques peuvent être envisagés, d'autre part, la solidité du modèle peut être testée.

Dans une première section, deux séries de simulations théoriques sont proposées. Dans un premier temps, l'idée est de simuler le modèle de comportement de fraude sur la base d'un paramétrage relatif au contexte de mobilité urbaine des villes nord-américaines déjà présent dans le modèle initial. Cette première série de simulations montre qu'il existe une cohérence certaine du modèle avec fraude avec le modèle de base de comportement de stationnement. Ensuite, les enseignements de l'analyse de la mobilité urbaine en France permettent, d'une part, de caler une deuxième série de simulations, d'autre part, de justifier deux types de scénarios fondés sur une segmentation de la demande de stationnement. Cette deuxième série infirme le point de vue qui, dans une perspective de régulation de la demande de déplacements urbains, recommande l'augmentation du niveau de l'amende comme seul outil de dissuasion de la fraude.

Les simulations portant sur le contexte français décrivent dans chaque cas de figure un état de très forte congestion. Du point de vue de l'objectif de la politique publique retenu, à savoir la minimisation du temps total de déplacement moyen, l'amende forfaitaire est toujours inefficace. Elle dissuade néanmoins toujours la fraude. Elle participe donc à la réalisation de l'optimum. A la faveur de la recherche d'une amende de second rang, toutes choses égales par ailleurs, la conclusion générale qu'il convient de tirer de ces simulations est la suivante. Etant donné l'avantage en termes de temps de déplacement que procure l'augmentation du niveau de l'amende, eu égard à la réduction de congestion, la proposition traditionnelle d'augmenter l'amende pour dissuader la fraude, d'une part, pour contribuer à la modération de l'usage de la voiture particulière, d'autre part, est définitivement remise en cause. Les simulations apportent en outre des arguments qui militent pour l'idée de différencier la politique répressive du stationnement, d'une part, en fonction du niveau de congestion du stationnement, d'autre part, en fonction du type de demande de stationnement.

Ainsi, les simulations montrent dans quelle mesure la politique du stationnement gagne à s'inspirer d'une représentation rigoureuse du comportement de fraude au stationnement dans une perspective de régulation de la demande de déplacements. Toutefois, ces conclusions réclament que soient émises les précautions de rigueur nécessaires dues au fait qu'elles résultent d'une représentation théorique rudimentaire,

forcément réductrice et non soumise à la confrontation au réel. Dès lors, la deuxième section conduit à discuter, dans un premier temps, des développements théoriques qu'il convient d'apporter, notamment au regard du degré de réalisme des hypothèses. Dans un deuxième temps, elle propose d'aborder la question du choix d'une méthode de production de données.

La discussion sur le raffinement des hypothèses permet de décliner un certain nombre de développements théoriques portant sur l'hétérogénéité du comportement des agents face au risque, le choix d'un critère de décision, la prise en compte du coût de la répression et l'intégration d'une analyse dynamique du phénomène. Au final, ces développements théoriques doivent permettre d'affiner la représentation du comportement de fraude de sorte qu'il puisse s'intégrer dans un modèle global de gestion des déplacements. A terme, l'analyse théorique de la fraude au stationnement urbain payant sur voirie devra être en mesure de fournir un module complet satisfaisant la problématique de l'intégration de la fraude au stationnement dans la modélisation du comportement de déplacements. Elle participera alors pleinement à l'exercice d'apporter un outil d'aide à la décision pertinent au décideur public sur la question de la régulation de la demande de déplacements.

Elle ne verra sa pertinence validée que si elle franchit toutefois l'épreuve de la confrontation au réel. Le modèle doit donc subir l'indispensable étape de la réfutation. La réflexion sur le choix d'une méthode de production de données adaptées à la complexité du modèle conduit à proposer l'économie expérimentale comme méthode pertinente. En effet, la structure du modèle et le champ particulier de choix individuel qu'il explore rend les méthodes de préférences révélées ou de préférences déclarées mal appropriées. L'économie expérimentale constitue en revanche un cadre méthodologique rigoureux qui, en proposant de produire des données contrôlées, semble séduisant pour tester la robustesse du modèle proposé.

Conclusion de la Partie 2

La première partie du raisonnement a permis de conclure que l'existence de la fraude au stationnement fragilise la politique du stationnement et remet, de surcroît, en question la possibilité d'atteindre l'objectif de modération de l'usage de la voiture particulière que se fixe la politique des déplacements urbains. En effet, la politique du stationnement s'inscrit dans une perspective de régulation de la demande de déplacements. Elle mobilise, à cet égard, les outils traditionnels de régulation économique, en particulier, la tarification. La fraude au stationnement, qui consiste au non-paiement du tarif de stationnement, c'est-à-dire au non-respect d'un des outils de régulation de la demande de stationnement, hypothèque alors la réussite de la politique des déplacements. L'issue de la première partie avait ainsi permis de souligner le besoin évident, pour le décideur public chargé d'élaborer une politique de régulation de la demande de déplacements, de traiter la question de la fraude au stationnement payant sur voirie. En particulier, elle montrait en quoi il est nécessaire de doter la politique du stationnement d'une analyse économique

rigoureuse du comportement de fraude.

Pour éviter que la fraude au stationnement ne conduise ainsi la politique de régulation de la demande de déplacements à l'échec, la réponse traditionnellement proposée est d'augmenter le niveau de la répression, notamment, le montant de l'amende. Cette proposition fait implicitement l'hypothèse qu'un niveau de répression qui s'accroît dissuade automatiquement la fraude. Cette assertion ne repose cependant sur aucun fondement théorique solide. En effet, lorsque la fraude au stationnement payant est considérée comme un élément du choix du déplacement urbain, rien ne permet de conclure aussi catégoriquement, d'une part, sur les vertus dissuasives de l'augmentation de l'amende, d'autre part, sur l'impact positif de cette même augmentation sur la modération de l'usage de la voiture particulière. Dès lors, seule une analyse économique fondée sur une représentation simplifiée du comportement de fraude au stationnement, qui tient compte de son impact sur le choix de déplacement, permet d'avancer des réponses solides quant au rôle de la variation du niveau de répression sur le choix de frauder tout d'abord, sur le choix modal ensuite.

Le propos de cette deuxième partie du raisonnement était donc de discuter de l'élaboration d'une telle représentation. Il s'agissait, par ailleurs, de s'interroger sur la pertinence de cette représentation pour mener à bien une réflexion portant sur le choix d'une politique répressive cohérente avec les objectifs de régulation de la demande de déplacements.

La démarche de formalisation du comportement de fraude au stationnement urbain a été abordée à l'occasion d'un troisième chapitre. Dans un premier temps, les outils théoriques mobilisés pour élaborer cette représentation ont été déclinés. Tout d'abord, le stationnement urbain étant un élément du déplacement urbain, les principes théoriques conduisant à intégrer l'espace urbain dans l'analyse microéconomique ont permis de se donner une représentation de l'espace sur laquelle repose le modèle de comportement de fraude. Il a été montré à cette occasion en quoi il existe un enjeu véritable d'apporter des éléments de compréhension portant sur le comportement de fraude au stationnement dans le cadre des développements de l'analyse économique urbaine. Notamment, ces éléments relatifs au comportement de fraude au stationnement payant contribuent à souligner le rôle joué par la congestion et son internalisation, et par l'incertitude dans les choix de transport, sur la localisation des agents et des activités. Ensuite, la fraude au stationnement décrit une décision individuelle risquée consistant à ne pas respecter une règle instituée à l'occasion de la mise en oeuvre de la politique de régulation de la demande de stationnement. Pour aborder ce type de comportements, les principes théoriques de l'analyse économique des comportements criminels ont été convoqués. En substance, le choix de frauder ou de ne pas frauder se représente en fait comme un classique choix de portefeuille. Il résulte du calcul coûts – avantages entre, d'une part, un choix frauduleux pour lequel le revenu de l'agent dépend de l'avantage procuré par l'activité réalisée grâce au stationnement et de la réalisation d'un état stochastique portant sur le contrôle et un niveau de répression, et d'autre part, un choix certain pour lequel le revenu dépend de l'avantage procuré par l'activité et du montant du tarif de stationnement acquitté.

Dans un deuxième temps, afin d'asseoir l'analyse du comportement de fraude au

stationnement dans une perspective de régulation de la demande de déplacements urbains, la modélisation proposée a pris appui sur une représentation théorique originale du comportement de stationnement. Celle-ci a permis d'avancer des résultats qui montrent comment la tarification de la congestion du stationnement influe sur le niveau de mobilité et sur le partage modal. Sur la base de cette représentation, les outils de l'analyse économique du crime ont été appliqués pour représenter le comportement de fraude au stationnement. Le modèle alors élaboré a conduit à proposer des conclusions théoriques sur l'application d'une politique répressive du stationnement inscrite dans une politique des déplacements urbains. Ces résultats indiquent en quoi le niveau de répression influence le niveau de la demande de déplacements et le partage modal. Ils permettent de mettre en évidence qu'une amende de type forfaitaire n'est pas efficace quant à l'objectif de minimiser le temps total de déplacement moyen. Ils justifient alors qu'en posant la question de la recherche d'un niveau d'amende de second rang, le rôle de la politique répressive du stationnement dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements peut être discuté. Notamment, et ce résultat doit rester comme l'un des principaux apports de cette thèse, les résultats théoriques du modèle décrivent des situations de congestion pour lesquelles l'augmentation du niveau de répression procure, contre toute attente, un avantage pour l'agent, d'une part, à frauder, d'autre part, à utiliser la voiture particulière. Ce résultat conduit, toutes choses égales par ailleurs, à rejeter la proposition qui consiste à prescrire l'augmentation du niveau de l'amende comme seule action efficace de dissuasion de la fraude permettant d'assurer l'efficacité de la politique du stationnement dans le cadre d'une politique plus globale de régulation de la demande de déplacements. Cette conclusion abonde dans le sens de doter l'outil d'aide à la décision de la politique du stationnement d'une analyse économique rigoureuse fondée sur la représentation du comportement de fraude au stationnement.

Un quatrième chapitre a consisté à discuter de la pertinence, en termes d'application, des résultats du modèle. Tout d'abord, les résultats théoriques de simulations, qui relatent un contexte urbain précis, permettent d'émettre des conclusions quant à l'application d'une politique répressive du stationnement, dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements. En effet, ils soulignent la cohérence du modèle de comportement de fraude avec le modèle de base de comportement de stationnement. Notamment, ils justifient que, dans le cadre d'une politique répressive du stationnement frauduleux, le niveau de l'amende soit, d'une part, fonction du niveau de congestion du stationnement, d'autre part, fonction du type de demande caractérisant le marché du stationnement. Ainsi, les simulations avancent des résultats chiffrés sur le niveau de répression d'équilibre qui devrait, toutes choses égales par ailleurs, en fonction du type de demande, être mis en place en France. Le constat est que le niveau réellement constaté en France est bien inférieur à ce que prescrit le modèle. Néanmoins, cela ne permet pas de dire que l'amende doit être augmentée sans pour autant évaluer les effets de cette augmentation sur le niveau de mobilité et sur le partage modal. Ainsi, la conclusion générale est que le niveau de l'amende, si l'objectif collectivement recherché est de dissuader la fraude et de minimiser le temps total de déplacement moyen, doit être fixé à son niveau d'équilibre. Concernant les simulations de la mobilité urbaine en France, ce niveau est, selon le type de demande considéré, 5 à 20 fois supérieur au niveau de

l'amende effectivement en vigueur. Si l'objectif est bien de dissuader la fraude, ce rapport doit être rigoureusement respecté car un taux multiplicateur plus faible du niveau de l'amende a comme impact, dans le cadre du modèle, de réduire de telle manière la congestion qu'il renforce l'attrait pour la voiture et rend la fraude plus intéressante que le paiement du tarif de stationnement. Si l'objectif n'est plus de minimiser le temps total de déplacement moyen mais éventuellement, dans le but de détériorer l'avantage pour la voiture, est de maximiser le temps de déplacement total en voiture particulière moyen, alors la baisse du niveau de l'amende est la meilleure décision. En tout état de cause, les résultats théoriques récusent la proposition consensuelle d'augmenter systématiquement l'amende pour dissuader la fraude et retrouver une régulation efficace du stationnement, donc de peser positivement sur la politique des déplacements.

Ces résultats doivent cependant être entourés des plus grandes réserves quant aux hypothèses sur lesquelles ils reposent. En effet, d'une part, dans le modèle, l'agent est supposé neutre vis-à-vis du risque. Si cette hypothèse permet de simplifier grandement les calculs, elle ne rend néanmoins compte que d'un seul type de comportement. Il est évident qu'enrichir le modèle d'une dimension relative au degré de préférence pour le risque des agents doit permettre d'avancer des résultats plus riches quant au type de politique répressive à mettre en oeuvre. La formalisation d'autres critères de choix en avenir risqué que le critère de l'espérance d'utilité doit également permettre d'agrandir le champ d'exploration pour l'amélioration de la pertinence de l'analyse. En outre, le modèle est limité au comportement individuel de fraude et néglige le coût de la répression pour le décideur public. L'introduction d'une fonction de coût de contrôle conduit à évaluer un niveau optimal de répression, ce qui permet de préciser les prescriptions qui peuvent être tirées de l'analyse. Notamment, elle laisse la possibilité d'aborder l'analyse du comportement de fraude au stationnement non plus seulement comme le résultat d'un unique choix individuel en avenir risqué, mais comme le résultat de la confrontation de comportements stratégiques mettant en scène, d'un côté, l'automobiliste et, de l'autre côté, le contrôleur. Enfin, le modèle de comportement de fraude ne peut véritablement donner d'indications crédibles pour le décideur public que s'il est intégré dans une analyse plus globale de la congestion des déplacements urbains. Dans ce cas, la question de la fraude est alors directement en lien avec la question de la régulation de la demande de déplacements. Certes donc, en l'état, l'analyse proposée ici propose quelques résultats, mais, si l'objectif est d'apporter des éléments tangibles pour l'aide à la décision, il convient d'améliorer le pouvoir représentatif des hypothèses qui fondent l'analyse.

Ces résultats théoriques ne tiennent de plus que si leur confrontation aux données réelles permet d'assurer la robustesse du modèle. La question est cependant de savoir quelle méthode de production de données est compatible avec la structure du modèle et le type de comportement individuel exploré. Au regard de l'inadaptation des données que peuvent fournir les méthodes de préférences révélées ou de préférences déclarées, seule une méthode originale, telle que l'économie expérimentale, établie initialement comme un cadre méthodologique rigoureux pour tester des théories, semble être adaptée pour produire des données contrôlées permettant de tester la solidité du modèle de comportement de fraude au stationnement. La révision des hypothèses et l'élaboration

d'un programme de test du modèle par l'expérimentation en laboratoire constituent donc les pistes de recherche à venir qui doivent, *in fine*, permettre de proposer au décideur public chargé d'établir une politique des transports urbains efficace, les moyens pertinents dont il a besoin pour intégrer la fraude au stationnement payant urbain sur voirie.

Conclusion générale

Le sentiment des citoyens sur leur vécu des déplacements urbains confère au stationnement la caractéristique d'être le principal problème de transport en ville, avant la pollution, la congestion ou l'insécurité routière. De manière générale donc, le stationnement se trouve au même niveau que d'autres effets négatifs de la mobilité urbaine. En termes économiques, en première instance, le stationnement pourrait être alors abordé comme une externalité des déplacements effectués en voiture particulière. Il est pourtant le moment du déplacement sans lequel l'existence même de ce déplacement est remise en question. S'il ne peut pas être remis en cause que l'immobilité pose bien un problème majeur à la mobilité des citoyens, pour autant, le stationnement ne peut être ainsi considéré comme un effet externe négatif des déplacements. Dès lors, un premier niveau de la thèse montre qu'en s'interrogeant sur l'efficacité d'une politique des déplacements urbains, la puissance publique se pose la question de savoir comment considérer les perturbations provoquées par le stationnement pourtant nécessaire à la réalisation des déplacements. A l'idée naturelle de considérer le stationnement comme une externalité négative du marché des déplacements, la thèse oppose que ce sont les conditions du marché du stationnement, notamment la congestion du stationnement, qui perturbent la réalisation des déplacements. Autrement dit, *une externalité sur le marché du stationnement perturbe le marché des déplacements urbains*.

Du point de vue de l'économie publique, la présence d'une externalité sur un marché remet en cause la capacité du marché à réaliser, de manière décentralisée, un état socialement optimal de l'économie. Dès lors, l'existence d'une externalité sur le marché du stationnement fournit une justification de l'intervention de la puissance publique pour

réguler le marché. Elle consiste à appliquer les outils réglementaires ou tarifaires qui contraignent la demande de stationnement et amènent les usagers à assumer la totalité des coûts qu'ils génèrent. L'intervention publique met donc en oeuvre une procédure d'internalisation de l'externalité du stationnement visant à retrouver les conditions économiques du marché satisfaisantes pour la collectivité.

Cependant, si les agents fraudent, la régulation du marché du stationnement n'est plus efficace. Elle ne conduit plus à réaliser un état optimal. Par conséquent, l'existence de la fraude éloigne de l'optimum du marché du stationnement et perturbe par contrecoup l'équilibre sur le marché des déplacements. Dès lors, une deuxième dimension de la thèse explique en quoi la fraude au stationnement influence les résultats de la politique de régulation des déplacements urbains. Il existe là encore des enjeux pour le décideur public de prendre en considération l'existence de la fraude au stationnement dans le cadre de l'élaboration d'une politique de régulation de la demande de déplacements.

Pour appréhender la fraude au stationnement dans la politique des déplacements, le décideur public a besoin de comprendre le comportement individuel qui guide le choix économique de l'agent entre le respect des contraintes imposées et le non-respect de ces contraintes, c'est-à-dire la fraude. Dès lors, une troisième dimension de la thèse montre en quoi une analyse économique du comportement de fraude permet d'éclairer le décideur public dans son choix d'une politique répressive assurant le meilleur rendement social.

Au global, la problématique de la thèse était de montrer *dans quelle mesure une analyse économique du comportement de fraude au paiement du stationnement permet d'avancer des conclusions pertinentes pour une politique de régulation de la demande de déplacements urbains tenant compte de la fraude.*

Pour apporter une réponse à cette problématique, le raisonnement s'est déroulé en deux temps. Tout d'abord, une première partie a permis de mettre en évidence que la question apparemment anodine de la fraude au stationnement constitue en réalité une question vive pour l'économie des transports urbains. Cette question réclame de mobiliser les outils de l'analyse économique. Notamment, elle a permis de conclure que l'analyse économique de la fraude au stationnement repose sur l'analyse économique du comportement. Une deuxième partie a consisté en l'élaboration de cette analyse économique. Les résultats illustrent la richesse de doter l'outil d'aide à la décision de la politique répressive du stationnement, dans une perspective de régulation de la demande de déplacements, d'une représentation économique du comportement de fraude au stationnement.

La première partie de la thèse a eu comme objectif de mettre en lumière les enjeux de considérer la fraude au stationnement dans une logique de régulation de la demande de déplacements urbains. Un premier chapitre a montré comment l'évolution de la mobilité urbaine est liée à l'évolution du contexte urbain de telle sorte que la part de l'usage de la voiture particulière est prépondérante dans la mobilité quotidienne. Cette domination a des conséquences, à la fois sur l'environnement et sur l'écoulement des flux de transports, coûteuses pour la collectivité. De surcroît, les usagers de la voiture particulière appréciant mal les coûts réels de leur déplacement, la congestion urbaine

relève d'une dynamique auto cumulative. Elle implique que la puissance publique, pour assurer les conditions optimales de déplacements urbains, régule la demande de déplacements afin que les usagers assument l'intégralité des coûts de leur déplacement.

Dans un deuxième chapitre, une conceptualisation du stationnement, en tant qu'élément du déplacement, a montré que la politique du stationnement, dans le cadre de la politique des déplacements, s'oriente à son tour vers une régulation de la demande. Une première conclusion est que *la régulation de la demande de stationnement permet d'atteindre un optimum sur le marché du stationnement. En revanche, elle ne contribue pas à réaliser un optimum sur le marché des déplacements ce qui souligne l'enjeu de faire reposer la politique des déplacements urbains sur deux niveaux de régulation, à la fois la régulation de la demande sur le marché des déplacements et la régulation de la demande sur le marché du stationnement.* Cette première conclusion montre l'importance de définir précisément la fonction objectif du décideur public, notamment pour réaliser un état satisfaisant sur le marché des déplacements.

Dans ce cadre, la discussion de la présence de comportements frauduleux a conduit à réfléchir sur l'application de mesures répressives. Sur ce point, un consensus se dégage pour proposer d'augmenter le niveau de répression. La thèse montre que, fondée sur des hypothèses discutables en termes économiques, dans le cadre de la politique de modération de l'usage de la voiture particulière, *aucun élément solide ne permet de conclure sur le pouvoir dissuasif de cette politique et sur l'efficacité socio-économique de sa contribution à la résorption de la congestion des déplacements.* Une relecture de la question à la lumière des principes de l'économie publique a montré alors que le manque de connaissances sur le comportement individuel explique qu'il ne soit pas possible de conclure positivement sur l'efficacité de cette proposition. Une justification a donc été avancée pour mettre en exergue la nécessité, pour l'aide à la décision, de se doter d'une analyse économique du comportement de fraude au stationnement.

Le propos de la deuxième partie du raisonnement a donc été de discuter de l'élaboration d'une représentation microéconomique du comportement de fraude au stationnement urbain payant sur voirie. La discussion s'est alors portée sur la pertinence de cette analyse pour une réflexion portant sur le choix d'une politique répressive cohérente avec les objectifs de régulation de la demande de déplacements.

A la faveur d'un troisième chapitre, la démarche générale de formalisation économique du comportement de fraude au stationnement a été abordée. Le stationnement urbain étant un élément du déplacement urbain, il a été montré que cette formalisation repose sur les principes théoriques intégrant l'espace urbain dans l'analyse microéconomique. Cela a permis de se donner une représentation de l'espace pour le modèle de comportement de fraude. En outre, la fraude au stationnement décrit une décision individuelle dans un environnement risqué résultant d'un choix économique rationnel entre le respect des règles instituées par la puissance publique et le non-respect de ces règles. A cet égard, les principes théoriques de l'analyse économique du crime ont été convoqués. Enfin, la modélisation du comportement de fraude proposée a pris appui sur une représentation théorique du comportement de stationnement. Cette dernière avance des résultats qui montrent comment la tarification de la congestion du stationnement influe sur le niveau de mobilité et sur le partage modal.

Les résultats du modèle de comportement de fraude indiquent que *le niveau de répression influence le niveau de la demande de déplacements et le partage modal*. Ils mettent en évidence qu'*une amende de type forfaitaire n'est pas efficace quant à l'objectif de minimiser le temps total de déplacement moyen*. La question est alors de chercher une amende de second rang. Sur ce point, la thèse a apporté les résultats théoriques suivants. *L'effet de la répression sur le choix de fraude et, par contrecoup, sur la demande de déplacements, varie en fonction du niveau de congestion sur le marché du stationnement*. En particulier, *il existe des situations de congestion pour lesquelles, toutes choses égales par ailleurs, l'augmentation du niveau de l'amende procure un avantage pour l'agent, d'une part, à frauder, d'autre part, à utiliser la voiture particulière*. Ce résultat contre-intuitif conduit à rejeter la proposition d'augmenter le niveau de l'amende comme action efficace de dissuasion de la fraude dans une perspective de régulation de la demande de déplacements. Cette conclusion confirme en revanche la pertinence d'une analyse économique rigoureuse fondée sur la représentation du comportement de fraude.

Un quatrième chapitre a consisté à discuter de la pertinence des résultats du modèle. Les résultats des simulations théoriques permettent d'avancer des conclusions sur l'application d'une politique répressive du stationnement frauduleux, dans le cadre d'une politique de régulation de la demande de déplacements. Ils justifient que le niveau de l'amende forfaitaire soit, d'une part, fonction du niveau de congestion du stationnement, d'autre part, fonction du type de demande caractérisant le marché du stationnement. Concernant une application au cas français, les simulations montrent que le niveau de l'amende en vigueur est inférieur au niveau d'amende d'équilibre que prescrit le modèle. Cela ne conduit pas pour autant à conclure que l'amende doit être augmentée sans évaluer les effets de cette augmentation sur le niveau de mobilité et sur le partage modal. *Si l'objectif social est de dissuader la fraude et de minimiser le temps total de déplacement moyen, alors l'amende doit être augmentée et fixée à son niveau d'équilibre. Sous ce niveau d'équilibre, l'augmentation de l'amende réduit le niveau de congestion dans une telle mesure qu'elle renforce l'attrait pour la voiture particulière et rend la décision de frauder plus intéressante pour l'agent que la décision de s'acquitter du tarif de stationnement. En revanche, si l'objectif n'est plus de minimiser le temps total de déplacement moyen mais est, dans le but de détériorer l'avantage pour la voiture particulière, de maximiser le temps de déplacement total en voiture particulière moyen, alors la baisse du niveau de l'amende est l'option la meilleure*. Ces résultats montrent bien qu'il existe des situations de congestion pour lesquelles la proposition d'augmenter l'amende comme moyen de dissuasion de la fraude n'est pas efficace au regard de l'objectif de réguler la demande de déplacements. Ils mettent également en évidence l'effet de la variation du niveau de répression du stationnement frauduleux sur la demande de déplacements.

Cette analyse a le mérite d'avancer des premiers résultats théoriques en la matière. Néanmoins, il est bien évident que ces résultats doivent être considérés avec les réserves qui s'imposent eu égard aux hypothèses retenues. Pour cette raison, afin d'intégrer *in fine* cette représentation dans un modèle plus global de congestion, de nombreux raffinements théoriques méritent d'être à présent explorés, notamment en ce qui concerne le comportement de l'agent face au risque, le critère de choix retenu ou le coût de la

répression. Enfin, la validation de la pertinence théorique de ces résultats réclament une confrontation aux données réelles. A la conclusion que les méthodes de préférences révélées ou de préférences déclarées ne semblent pas pouvoir offrir de données adaptées à la structure du modèle et au type de comportements modélisés, il semble que l'économie expérimentale puisse fournir un cadre de production de données contrôlées approprié.

Ainsi, en partant d'une question vive, cette thèse aura tenté de mettre à jour le lien économique entre la fraude au stationnement et la régulation de la demande de déplacements urbains. Ayant mis en évidence cette relation, loin d'apporter des prescriptions directement applicables, elle aura néanmoins posé de premières orientations pour l'aide à la décision.

Bibliographie

- Abadie, L. 1998. La lutte contre la fraude à l'assurance est-elle efficace ? Toulouse : Université des Sciences Sociales de Toulouse, Thèse de Doctorat de Sciences Economiques.
- Abraham, C., Thomas, A. 1966. *Microéconomie. Décisions optimales dans l'entreprise et dans la nation*. Paris : Dunod, coll. Statistique et programmes économiques.
- Adiv, A., Wang, W. 1987. « On-Street Parking Meter Behavior », *Transportation Quarterly*, 41, 3, 281-307.
- Allais, M. 1952. *Théorie d'économie pure*. Paris : Imprimerie nationale.
- Allais, M. 1953. « Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats de l'Ecole américaine », *Econometrica*, 21, 503-546.
- Allais, M. 1981. *La Théorie Générale des Surplus*. Institut de Sciences mathématiques et économiques appliquées, Economies et Sociétés.
- Allais, M. 1984. "The foundations of the theory of utility and risk". In: Hagen, O., Wenstrop, F. (eds.) *Progress in utility and risk theory*. Dordrecht; Boston: D. Reidel.
- Allais, M. 1989. « L'économie des infrastructures de transport et les fondements du calcul économique », *Revue d'économie politique*, 2, 159-197.
- Allingham, M.G., Sandmo, A. 1972. « Income tax evasion: A theoretical analysis », *Journal of Public Economics*, 1, 323-338.
- Alm, J. 1988. « Compliance costs and the tax avoidance-tax evasion decision », *Public Finance Quarterly*, 16, 31-66.
- Alonso, W. 1964. *Location and land use*. Cambridge (Mass.) : Harvard University Press.
- Alperovich, G., Katz, E. 1985. « Rent gradients under uncertainty », *Urban Studies*, 22, 257-261.
- Andan, O., Bonnel, P., Raux, C., Rosales, S. 1986. Revue des recherches sur les comportements de mobilité quotidienne. Lyon : LET.
- Andan, O., Faivre d'Arcier, B. 1992. « La périurbanisation va-t-elle accroître la congestion des agglomérations ? ». In : WCTR. *Selected Proceedings of the 6th WCTR, vol. II*. Lyon : WCTR, 691-702.
- Andan, O., Faivre d'Arcier, B., Raux, C. 1994. « Mouvements, déplacements, transport : la mobilité quotidienne ». In : Auray, J.-P., Bailly, A., Perreur, P.-H., Huriot, J.-M. (dir.) *Encyclopédie d'économie spatiale : concepts, comportements, organisations*. Economica, Bibliothèque de science régionale, 247-253.
- Andan, O., Faivre d'Arcier, B., Raux, C., et al. 1989. Mobilité résidentielle, activités et espaces fréquentés en milieu urbain. Enquête en périphérie de Lyon. Lyon : LET, INRETS, recherche réalisée pour le compte du CGP (convention n°2387), le CETUR, le SYTRAL.
- André, J.-M., Baslez, M.-F. 1993. *Voyager dans l'Antiquité*. Paris : Fayard.
- Andreoni, J. 1991. « Reasonable Doubt and the Optimal Magnitude of Fines: Should the Penalty Fit the Crime? », *RAND Journal of Economics*, 22, 3, 385-395.
- Andrulis, J. 1982. « Intra-urban workplace and residential mobility under uncertainty », *Journal of Urban Economics*, 11, 1, 111-130.

-
- Anscombe, F., Aumann, R. 1963. « A definition of subjective probability », *Annals of Mathematical Statistics*, 34, 199-205.
- Arabeyre, A. 1993. Les méthodes réglementaires de régulation du trafic en milieu urbain. Lyon : LET, ENTPE, mémoire de DEA d'économie des transports.
- Archambault, E., Greffe, X. 1984. *Les économies non-officielles*. Paris : La découverte.
- Arnott, R., de Palma, A., Lindsey, R. 1991. « A Temporal and Spatial Equilibrium Analysis of Commuter Parking », *Journal of Public Economics*, 45, 301-335.
- Arnott, R., Rowse, J. 1999. « Modeling Parking ». *Journal of Urban Economics*, 45, 97-124.
- Arrow, K. 1965. « The Theory of Risk Aversion ». In : *Aspects of the Theory of Risk Bearing*. Helsinki : Yrjö Foundation.
- Arrow, K., Debreu, G. 1954. « Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy », *Econometrica*, 22, 265-290.
- Aubier, M. 1999. « Pollution atmosphérique et maladies respiratoires : mythe ou réalité », *Revue générale des routes*, HS 1, 64.
- Auray, J.-P., Bailly, A., Derycke, P.-H., Huriot, J.-M. (dir.) 1994. *Encyclopédie d'économie spatiale : concepts, comportements, organisations*. Economica, Bibliothèque de science régionale.
- Auray, J.-P., Brissaud, M., Duru, G., Lamure, M. 1990. « Prétopologie, Prémétrie et convexité », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 2, 183-195.
- Axhausen, K.W., Polak, J.W., Boltze, M., Puzicha, J. 1994. « Effectiveness of the parking guidance system in Frankfurt/Main », *Traffic Engineering and Control*, 35, 5, 304-309.
- Aydalot, P. 1985. *Economie Régionale et Urbaine*. Paris : Economica, coll. Economie.
- Bachelard, G. 1934. *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : PUF, 5^{ème} édition, 1995.
- Bailly, A., Baumont, C., Huriot, J.-M., Sallez, A. 1995. *Représenter la ville*. Paris : Economica.
- Baird, D.G., Gertner, R.H., Picker, R.C. 1994. *Game Theory and the Law*. Cambridge (Mass.) ; London : Harvard University Press.
- Bairoch, P. 1985. *De Jéricho à Mexico. Villes et économie dans l'histoire*. Paris : Gallimard.
- Baldry, J.C. 1986. « Tax evasion is not a gamble: A report of two experiments », *Economic Letters*, 22, 333-335.
- Baldry, J.C. 1987. « Income tax evasion and the tax schedule: Some experimental results », *Public Finance*, 42, 357-383.
- Banister, D. 2000. « Sustainable urban development and transport – a Eurovision for 2020 », *Transport Reviews*, 20, 1, 113-130.
- Barbero, A. 1988. « Réconcilier stationnement et déplacements », *Transports urbains*, 65, 23-24.
- Barthe, M.-A. 1988. *L'économie cachée*. Paris : Syros.
- de Battisti, C. 2000. « Stationnement et renouvellement urbain », *Les Echos*, 14 juin,

77.

- Baumont, C, Huriot, J.-M. 1996 « La ville et ses représentations formelles ». In : Derycke, P.-H., Huriot, J.-M., Pumain, D. *Penser la Ville : Théories et modèles*. Paris : Economica, coll. Anthropos, 7-51.
- Bays, P, Christe, P. 1994. *Le stationnement*. Lausanne : Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, Département de Génie civil, Institut des transports et de la planification, TEA, cahier TEA 7.
- Beaucire, F., Duflos, E., Rosales-Montano, S, *et al.* 1999. Stratégies urbaines et outils de planification de la ville et des transports. Bilans et réflexions. Lyon : AGURCO, FNAU.
- Bebchuk, L.A., Kaplow, L. 1993. « Optimal Sanctions and Differences in Individuals' Likelihood of Avoiding Detection », *International Review of Law and Economics*, 13, 2, 217-224.
- Becker, G.S. 1968. « Crime and punishment - An economic approach », *Journal of Political Economy*, 76, 169-217.
- Becker, W., Büchner, H.-L., Sleeking, S. 1987. « The impact of public expenditures on tax evasion: An experimental approach », *Journal of Public Economics*, 34, 243-252.
- Beckmann, M.J. 1976. « Spatial Equilibrium in the Dispersed City ». In : Papageorgiou, Y.Y. *Mathematical Land Use Theory*, Lexington : Lexington Books, 117-125.
- Beckmann, M., McGuire, C.B., Winsten, C.B. 1955. *Studies in the Economics of Transportation*. New Haven : Yale University Press.
- Beguïn, H., Thisse, J.-F. 1979. « An axiomatic approach to geographical space », *Geographical Analysis*, 11, 4, 325-341.
- Belgmann-Ziv, B. 2000. « La mobilité des personnes : évolution et perspectives », *Transports*, 401, 177-185.
- Bell, B. 1982. « Regret in decision making under uncertainty », *Operations Research*, 30, 961-981.
- Benard, J. 1985. *Economie Publique*. Paris : Economica, coll Economie.
- Benetti, C., Cartelier, J. 1994. « L'intérêt limité de l'hypothèse de rationalité individuelle », In : Frydman, R. (ed.) *Quelles hypothèses de rationalité pour la théorie économique ? Cahiers d'Economie Politique*, 24-25.
- Benjamin, Y., Maital, S. 1985. « Optimal tax evasion and optimal tax evasion policy ». In : Gaertner, W., Wenig, A. (eds.). *The Economics of the shadow Economy*. Berlin : Springer-Verlag.
- Benson, B.L., Rasmussen, D.W., Mast, B.D. 1999. « Deterring Drunk Driving Fatalities: An Economics of Crime Perspective », *International Review of Law and Economics*, 19, 205-225.
- Bentham, J. 1815. *Deontology*. Oxford : Amnon Goldworth, Clarendon Press, 1983.
- Bergson, A. 1938. « A reformulation of certain aspects of welfare economics », *Quarterly Journal of Economics*, 52, 310-334.
- Bernard, C., Carles, P. 1999. « L'optimisation de la surveillance du stationnement », *TEC*, 152, 30-34.

-
- Bernasconi, M. 1998. « Tax evasion and orders of risk aversion », *Journal of Public Economics*, 67, 123-134.
- Berroir, S. 1996. « Densité de population et d'emploi dans les grandes villes françaises ». In : Pumain, D., Godard, F. (dir.) *Données Urbaines. 1*. Paris : Economica-Antrophos, PIR-Villes, 173-185.
- Bernouilli, D. 1738. « Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis », *Comentarii academiae scientiarum imperialis petropolitanae*, 5.
- Berthoud, A. 1994. « Remarques sur la rationalité instrumentale ». In : Frydman, R. (ed.) *Quelles hypothèses de rationalité pour la théorie économique ? Cahiers d'Economie Politique*, 105-124.
- Bessy-Pietri, P. 2000. « Recensement de la population 1999. Les formes de la croissance urbaine », *INSEE Première*, 701.
- Bessy-Pietri, P., Hilal, M., Schmitt, B. 2000. « Recensement de la population 1999. Evolutions contrastées du rural ». *INSEE Première*, 726.
- Bieber, A., Massot, M.-H., Orfeuill, J.-P. 1993. « Prospective de la mobilité urbaine ». In : Bonnafous, A., Plassard, F., Vulin, B. (dir.) *Circuler demain*. La Tour d'Aigues : DATAR, Ed. de l'Aube, coll. Monde en cours.
- Bienaymé, A. 1995. « L'oeil des mathématiques et le regard des économistes », In : Huriot, J.-M. (ed.) *Economie, mathématiques et méthodologie*. Paris : Economica, 63-80.
- Blaug., M. 1992. *La méthodologie économique*. Paris : Economica, trad. scde édition, 1994.
- Boiteux, M. 1956. « Sur la tarification des monopoles publics astreints à l'équilibre budgétaire », *Econometrica*, 24.
- Bonnafous, A. 1985. « Simulation du financement du transport urbain : le modèle Quin-Quin », *Transports urbains*, 54, 23-28.
- Bonnafous, A. 1989. *Le siècle des ténèbres de l'économie*. Paris : Economica.
- Bonnafous, A. 1991. « Quatre questions pour un débat ». In : Raux, C., Lee-Gosselin, M. (eds.) *La mobilité urbaine : de la paralysie au péage*. Lyon : Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, 329-334.
- Bonnafous, A. 1993. « Prospective de la mobilité urbaine ». In : Bussière, Y., Bonnafous, A. *Transport et Etalement Urbain : Les Enjeux*. [Lyon] : Programme Pluriannuel en Sciences Humaines Rhône-Alpes, Actes du colloque « Transport et étalement urbain : les enjeux, Cinquièmes Entretiens du Centre Jacques Cartier, Montréal, 7-8 octobre 1992. 187-205.
- Bonnafous, A. 1995a. « Les régulations, les nouveaux équilibres : la régulation économique ». In : ADEME, Centre de prospective de la DRAST, INRETS. *Se déplacer au quotidien dans trente ans. Eléments pour un débat*. Paris : La Documentation française, Actes du colloque du 22-23 mars 1994.
- Bonnafous, A. 1995b. « Mathématiques et scientificité dans les modèles économiques ». In : Huriot, J.-M. (ed.) *Economie, mathématiques et méthodologie*. Paris : Economica, 81-106.
- Bonnafous, A. 1996. « Le système des transports urbains », *Economie et statistiques*,

- 294-295, 4/5, 99-108.
- Bonnafous, A., Puel, H. 1983. *Physionomies de la ville*. Paris : Les Editions Ouvrières, coll. initiation économique, économie et humanisme.
- Bonnel, P. 1992. Mobilité et contrainte. Lyon : LET, 6^{ème} WCTR, 29 juin – 3 juillet 1992.
- Bonnel, P. 1995. « Urban car policy in Europe », *Transport Policy*, 2, 2, 83-95.
- Boudon, R. 1996. « Le sens moral », *Bulletin de la Société française de philosophie*, 90, 3.
- Bouf, D. 1989. Un nouvel instrument pour le dialogue stratégique entre la RATP et ses partenaires : le modèle GrosQuinQuin. Lyon : Université Lumière Lyon 2, Faculté de Sciences Economiques et de Gestion, Thèse de Doctorat de Sciences Economiques.
- Bouf, D., Crozet, Y. 1991. « Péage urbain versus congestion : l'économiste et les usagers ». In : Raux, C., Lee-Gosselin, M. (eds.) *La mobilité urbaine : de la paralysie au péage*. Lyon : Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, 129-141.
- Bouf, D., Gargaïllo, L. 1985. « Les modèles QUIN-QUIN », *Transport Urbanisme Planification*, 7.
- Bouladon, G. 1991. La mobilité en zone urbaine : apprendre l'économie des transports. Paris : Rapport OCDE.
- Boursin, J.L. 1995. *Des préférences individuelles aux choix collectifs*. Paris : Economica.
- Boursin, J.L. 1996. *La décision rationnelle*. Paris : Economica.
- Bovy, P.H.L. 1999. « Structure urbaine et répartition modale », *Transport Public International*, 1.
- Bovy, P.H.L., Salomon, I. 1999. « Evaluation prospective du problème ». In : CEMT. *La congestion routière en Europe*. Paris : CEMT, 93-171.
- Bradshaw, R., Jones, P. 1998. « TDM trends in Europe », *IATSS Research*, 22,1, 14-24.
- Braudel, F. 1985. *La dynamique du capitalisme*. Paris : Arthaud ; Flammarion.
- Brewer, P.J., Plott, C.R. 1994. A Binary Conflict Ascending Price (BICAP) Mechanism for the Decentralized Allocation of the Right to Use Railroad Tracks. Caltech Social Science Working Paper: 887.
- Brousseau, E. 1995. « De la science du marché à l'analyse économique des formes de coordination », *Cahiers français*, 272, 54-63.
- Buchanan, J. M., Craig Stubblebine, W. 1962. « Externality », *Economica*, 29, 116, 371-384.
- Buchanan, J. M., Tullock, G. 1975. « Polluters Profits and Political Response: Direct Controls versus Taxes », *American Economic Review*, 65, 1, 139-147.
- Button, K.J. 1982. « The application of economic principles to the problems of urban car parking », *Economics*, 8, 83-85.
- Button, K.J. 1998. « Road pricing and the alternatives for controlling road traffic congestion ». In : Button, K.J., Verhoef, E.T. (eds.). *Road Pricing, Traffic Congestion*

- and the Environment. Issues of efficiency and social feasibility.* Cheltenham : Edward Elgar, 113-135.
- Button, K.J., Verhoef, E.T. (eds.). 1998. *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment. Issues of efficiency and social feasibility.* Cheltenham : Edward Elgar.
- CADAS. 1999. « Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique. Extraits. », *Transports*, 399, 50-53.
- Cahuc, P. 1993. *La nouvelle microéconomie.* Paris : La Découverte, coll. Repères.
- Calthrop, E., Proost, S., van Dender, K. 2000. « Parking Policies and Road Pricing », *Urban Studies*, 37, 1, 63-76.
- Cameron, S. 1988. « The economics of crime deterrence: A survey of the theory and evidence », *Kyklos*, 41, 301-323.
- Capozza, D. 1973. « Subways and land-use », *Environment and Planning*, 5, 555-576.
- Carles, P. 1998. « Stationnement : Outil de contrôle du niveau de circulation ». In : ATEC. *Déplacement : l'ère de la gestion.* Paris : Presses de l'ENPC, Actes du Congrès international francophone, 28-30 janvier 1998, 285-287.
- Carles, P. 2000. « L'effet de porte ». In : PUCA. *Le stationnement résidentiel. Où en est la recherche ?* Compte-rendu de la rencontre-débat du 25 janvier 2000, 4-6.
- Carnis, L. 1999. « De l'analyse économique en matière de gestion du risque routier », *Recherche Transports Sécurité*, 65, 21-31.
- Carrere, G. 1992. Rapport au ministre de l'équipement, du logement et des transports. Débat national sur les infrastructures de transport. Transport destination 2002.
- Cassady, R.C., Kobza, J.E. 1998. « A Probabilistic Approach to Evaluate Strategies for Selecting a Parking Space », *Transportation Science*, 32, 1, 30-42.
- CCFA. 2000. *Automobile et sécurité. L'automobile citoyenne.* Paris : CCFA.
- CETUR. 1991a. Les déplacements urbains en province. Opinions et pratiques. Fiche d'information 25.
- CETUR. 1991b. *Les dispositifs anti-stationnement : la pratique des villes.* Bagnex : CETUR.
- CETUR. 1992. *Matériels et techniques d'exploitation du stationnement : guide technique.* Bagnex : CETUR.
- CETUR. 1993. *Parcs relais.* Bagnex : CETUR, Dossier du CETUR, 56.
- CETUR. 1994a. Le stationnement privé au lieu de travail, facteur d'évolution de la mobilité et de la structure urbaine ? Bagnex : CETUR, Dossier du CETUR, 61.
- CETUR. 1994b. *Les enjeux des politiques de déplacement dans une stratégie urbaine.* Bagnex : CETUR.
- CETUR, CETE de Lyon. 1992. *Gérer le stationnement, un métier pour un service de demain. Situation et évolution d'une activité en mutation.* Bagnex : CETUR, coll. Les dossiers du CETUR, 53.
- CERTU. 1997. *Les enquêtes de stationnement. Guide méthodologique.* Lyon : CERTU, Coll. Références.
- CERTU. 1999. *Une politique de stationnement. Pourquoi ? Comment ?* Lyon : CERTU, Coll. Références, 10.

- CERTU. 2000. Les premières mises en place du stationnement payant sur voirie. Quelle acceptabilité pour les mesures de tarification ? Lyon : CERTU, rapport d'étude.
- CERTU, ADEME. 1999. *Plans de déplacements urbains. Prise en compte de la pollution de l'air, du bruit, et de la consommation d'énergie*. CERTU, ADEME.
- CERTU, CETE Nord Picardie. 1999. Automobiles pour la ville à l'horizon 2010. Nouvelles gestions de l'automobile urbaine. Partenariats avec le transport public. Panorama et perspectives. Synthèses par famille. Lyon : CERTU.
- CEMT. 1996. *Réduire ou repenser la mobilité quotidienne ?*. Paris : CEMT, centre de recherches économiques, Table ronde 102.
- CEMT. 1999. *La congestion routière en Europe*. Paris : CEMT, centre de recherches économiques, Table ronde 110.
- CEMT. 2000. *Circulation routière : la sécurité des usages vulnérables*. Paris : CEMT, Troisième semaine de sécurité routière dans la région CEE/ONU.
- Cervero, R. 1994. « Transit-based housing in California: Evidence on ridership impacts », *Transport Policy*, 1, 3, 174-183.
- CGP. 1986. Evaluer les politiques publiques. Méthodes, Déontologie, Organisation. Paris : La documentation française.
- CGP. 1992. Transports 2010. Rapport du groupe présidé par le Commissaire au Plan. Paris : La documentation française.
- CGP. 1993. *Transports : pour une cohérence stratégique*. Atelier sur les orientations stratégiques de la politique des transports et leurs implications à moyen terme, présidé par Alain Bonnafous. Paris : CGP.
- CGP. 1994. Transports : pour un meilleur choix des investissements. Paris : La documentation française.
- Champelovier, P., Lambert, J. 1998. « Sources de bruit et de gêne en milieu urbain ». In : Hamet, J.F., Lambert, J., Lelong, J. *Caractériser et modéliser le bruit des transports en milieu urbain*. Arcueil : INRETS, Actes 66, Actes du colloque « Journée spécialisée du 28 mai 1998 », 9-19.
- Chausse, A. 1996. Le prix de la mobilité urbaine. Lyon : Université Lumière Lyon 2, Faculté de Sciences Economiques et de Gestion, Thèse de Doctorat de Sciences Economiques.
- Charreton, R., Bourdaire, J.-M. 1985. *La décision économique*. Paris : PUF, coll. Que sais-je ?.
- Chavouet, J.M., Fanouillet, J.-C. 2000. « Forte extension des villes entre 1990 et 1999 », *INSEE Première*, 707.
- Chu, C.Y.C., Jiang, N. 1993. « Are fines more efficient than imprisonment? », *Journal of Public Economics*, 51,3, 391-413.
- Cléro, J.-P. 2000. « Le sens moral chez Hume, Smith et Bentham », In : Jaffro, L. (ed.). *Le sens moral. Une histoire de la philosophie morale de Locke à Kant*. Paris : PUF, 81-112.
- Clower, R., Howitt, P. 1995. « Les fondements de l'économie ». In : d'Autume, A., Cartelier, J. (eds.) *L'économie devient-elle une science dure ?* Paris : Economica,

- coll. Grands Débats, 18-37.
- Clozier, R. 1963. Géographie de la circulation. L'économie des transports terrestres (rails, route et eau). Paris : Génin.
- CNT. 1998. Les transports et l'environnement. Vers un nouvel équilibre. Paris : CNT, rapport du groupe « Transports et environnement » présidé par Alain Bonnafous.
- Coase, R. H. 1960. « The Problem of Social Cost », *Journal of Law and Economics*, 3, 1-44.
- Cohen, S. 1990. *Ingénierie du trafic routier. Eléments de théorie du trafic et applications*. Paris : Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées.
- COURLY. 1993. Le stationnement des résidents dans les 3^{ème}, 6^{ème} et 7^{ème} arrondissements. Lyon : COURLY, AGURCO.
- Coombe, R.D., Guest, P., Bates, J., Le Masurier, P. 1997. « Study of Parking and Traffic Demand. 1 The Research Programme », *Traffic Engineering and Control*, 38, 62-67.
- Cowell, F.A. 1990. *Cheating the Government: The Economics of Evasion*. Cambridge (Mass.) ; London : The MIT Press.
- Crozet, Y. 1991. *Analyse économique de l'Etat*. Paris : Arman Colin, coll. Cursus.
- Crozet, Y. 1997. La recherche d'un niveau optimal de congestion : tarification ou réglementation ? Lyon : LET, note de travail.
- Cullinane, K. 1993. « An aggregate dynamic model of the parking compliance decision », *International Journal of Transport Economics*, 20, 1, 27-50.
- Cullinane, K., Polak, J. 1992. « Illegal parking and the enforcement of parking regulations: causes, effects and interactions », *Transport Reviews*, 12, 1, 49-75.
- Damette, F. 1994. *La France en villes*. Paris : La documentation Française.
- Darbéra, R. 1999. « Du mauvais usage des politiques de stationnement pour réguler la circulation », *Transports*, 395, 166-171.
- Davis, D.D., Holt, C.A. (eds.) 1993. *Experimental economics*. Princeton : Princeton University Press.
- Debié, F. 1995. *Géographie économique et humaine*. Paris : PUF, 2^{ème} édition mise à jour, 1998.
- Debreu, G. 1959. *Theory of Value: An Axiomatic Analysis of General Equilibrium*. New Haven : Yale University Press.
- Degand, J.C., Bieber, A. 1982. « Stationnement en ville : enseignements d'une enquête psycho-sociologique », *TEC*, 53/54, 29-31.
- Delache, X., Gastaldo, S. 1992. « Les instruments des politiques d'environnement », *Economie et Statistiques*, 258-259, 27-34.
- Delcroix, J. 1998. « Réactions des usagers à un changement de tarif pour stationner ». In : ATEC. *Déplacement : l'ère de la gestion*. Paris : Presses de l'ENPC, Actes du Congrès international francophone, 28-30 janvier 1998, 25-34.
- Delvert, K., Petiot, R. 1999. « Behavioural response to traffic variability: an experimental outlook on road pricing as willingness to pay for certainty ». In : Meersman, H., Van de Voorde, W., Winkelmann, W. (eds.) *World Transport Research, Selected*

- Proceedings from the 8th WCTR, Vol. 3: Transport Modelling/Assessment.* Pergamon, Elsevier, 232-336.
- Delvert, K., Denant-Boèmont, L., Petiot, R. 2000. Is flexibility in choice option valuable? *9th IATBR Conference.* Gold Coast (Queensland, Australia).
- Delvert, K., Denant-Boèmont, L., Petiot, R., *et al.* 1999. Eléments d'évaluation des politiques de transport : une approche par l'économie expérimentale. *Rapport réalisé dans le cadre du programme PREDIT 1996-2000 n° N°98 MT92.* Lyon : LET.
- Denant-Boèmont, L., Hammiche, S. 2000. Microeconomic choice of road hauliers between irreversible and flexible infrastructures: An experimental study. *9th IATBR Conference.* Gold Coast (Queensland, Australia).
- Denant-Boèmont, L., Petiot, R. 1999. Information Value and Sequential Decision-making in a Transport Context: An Experimental Study. Lyon : LET, document de travail n°99-01.
- Department of the Environment, Transport and the Regions. 1998. *A New Deal for Transport: Better for Everyone.* Londres : HMSO.
- Derycke, P.-H. 1970. *L'Economie urbaine.* Paris : PUF, coll. Sup. L'économiste.
- Derycke, P.-H. 1982. *Economie et planification urbaines.* Vol. 2. Paris : PUF.
- Derycke, P.-H. 1983. « L'économie urbaine ». In : Paelinck, J.H.P., Sallez, A. (eds.) *Espace et localisation. La redécouverte de l'espace dans la pensée scientifique de langue française.* Paris : Economica, 231-249.
- Derycke, P.-H. 1996. « Equilibre spatial urbain ». In : Derycke, P.-H., Huriot, J.-M., Pumain, D. (eds.) *Penser la Ville : Théories et modèles.* Paris : Economica, coll. Anthropos, 53-90.
- Derycke, P.-H. 1997. *Le péage urbain. Histoire – Analyse - Politiques.* Paris : Economica, ASRDLF, Bibliothèque de sciences régionales.
- Derycke, P.-H. 2000. « Mobilité, congestion, péage : comment réduire l'encombrement urbain ? ». *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 1, 157-168.
- Derycke, P.-H., Gannon, F. 1990. « Distance et coûts de transports. Quelques réflexions sur les politiques de réduction de la congestion urbaine », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 2, 289-305.
- Dézert, B. *et al.* 1991. *La périurbanisation en France.* Paris : SEDES.
- Dnes, A.W. 1996. *The Economics of Law.* London ; Boston : International Thomson Business Press.
- Domencich, T., McFadden, D. 1975. *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis.* Amsterdam : North-Holland.
- Douglas, R.W. 1975. « A parking model - The effect of supply on demand », *American Economist*, 19, 1, 85-86.
- Dreifuss, M. 1995. Le stationnement des véhicules automobiles dans les centres urbains. La genèse d'un service public. Lyon : Université Lumière Lyon 2, Thèse pour le Doctorat de Droit.
- Dupuit, J. 1844. « De la mesure de l'utilité des Travaux Publics », *Annales des Ponts et Chaussées*, 8, 2^{ème} série.

- Dupuy, G. 1978. *Urbanisme et technique*. Paris : CRU
- Dupuy, G. 1995. *Les territoires de l'automobile*. Paris : Economica, Anthropos, coll. Villes.
- Dupuy, G. 1999. *La dépendance automobile. Symptômes, analyses, diagnostics, traitements*. Paris : Economica, Anthropos, coll. Villes.
- Ehrlich, I. 1967. The supply of Illegitimate Activities. New York : Columbia University.
- Elliott, J.R., Bursley, N.C. 1979. Traffic restraint and the effective use of existing parking controls in London. Proceedings PTRC Summer Annual Meeting.
- Elliott, J.R., Wright, C.C. 1982. « The collapse of parking enforcement in large towns: some causes and solutions », *Traffic, Engineering and Control*, 23,6, 304-310.
- Ellsberg, D. 1961. « Risk, ambiguity and the Savage axioms », *Quarterly Journal of Economics*, 75, 643-649.
- Elster, J. 1986. *Le laboureur et ses enfants. Deux essais sur les limites de la rationalité*. Paris : Les Editions de Minuit, trad. française.
- Etner, F. 1987. Histoire du calcul économique en France. Paris : Economica.
- Evans, A.W. 1992. « Road Congestion Pricing: When is it a Good Policy? », *Journal of Transport Economics and Policy*, 26, 213-243.
- Evans, W.N., Neville, D., Graham, J.D. 1991. « General Deterrence of Drunk Driving: Evaluation of Recent American Policies », *Risk Analysis*, 11, 279-289.
- Faivre d'Arcier, B. 1992. La voirie urbaine : de l'accumulation à la gestion patrimoniale. Lyon : Université Lumière Lyon 2, Thèse pour le doctorat de l'Université Lumière Lyon 2, mention économie des transports.
- Fender, J. 1999. « A general equilibrium model of crime and punishment », *Journal of Economic Behavior and Organization*, 39, 437-453.
- Feeney, B. 1989. « A review of the impact of parking policy measures on travel demand », *Transportation planning and technology*, 13, 229-244.
- Ferguson, E. 1990. « An Evaluation of Employer Ridesharing Programs in Southern California », *Transportation Research Record*, 1280, 59-72.
- Ferguson, E. 1991. « Ridesharing, Firm Size and Urban Form », *Journal of Planning Education and Research*, 10, 2, 131-141.
- Fericelli, A.-M. 1995. « Les choix en univers incertain : utilité révisée, utilité adaptative, utilité modifiée », *Revue d'économie politique*, 105,1 133-156.
- Fischer, A.J. et al. 1992. « The market for taxi-cab licences: An experimental analysis », *International Journal of Transport Economics*, 19, 3, 329-353.
- Fleury, D. 1998. *Sécurité et urbanisme*. Paris : Presses de l'ENPC.
- Fortin, B., Garneau, G., Lacroix, G., et al. 1996. *L'économie souterraine au Québec*. Sainte-Foy : Les Presses de l'Université de Laval.
- Foucher, V. 1999. « Mobilité et densité urbaine ». In : Pény, A., Wachter, S. (eds.). *Les vitesses de la ville*. La Tour d'Aigues : Ed. de l'Aube, coll. Société et territoire, 59-72.
- Friedman, D., Sunder, S. 1994. *Experimental Methods: A Primer for Economists*. Cambridge (Mass.) : Cambridge University Press.

- Frybourg, M., Prud'Homme, R. 1984. *L'avenir d'une centenaire : l'automobile*. Lyon : PUL, LET, coll. transport espace société.
- Frydman, R. 1992. « Le territoire de l'économiste marché et société marchande », *Revue économique*, 1, 1992, 5-30.
- Fujita, M. 1989. *Urban economic theory : Land use and city size*. Cambridge (Mass.) : Cambridge University Press.
- Fujita, M., Thisse, J.-F. 1997. « Economie géographique, Problèmes anciens et nouvelles perspectives », *Annales d'économie et de statistique*, 45, 37-87.
- Gabszewicz, J.J., 1994. *La concurrence imparfaite*. Paris : La Découverte, coll. Repères.
- Gabszewicz, J.J., Thisse, J.-F. 1992. « Location ». In : Aumann, R.J., Hart, S. (eds.) *Handbook of game theory with economic applications*. Vol. 1. Amsterdam : North-Holland, 281-304.
- Gakenheimer, R., Meyer, M. 1979. « Urban Transportation Planning in Transition: The Sources and Prospects of TSM », *Journal of the American Planning Association*, 45, 1, 12-35.
- Gallez, C. 1998. Energie, émissions et mobilité locale. Un diagnostic spatialisé des évolutions entre 1982 et 1994. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME et de l'INRETS.
- Gander, J.P. 1986. « Highway and Uncertainty of Enforcement: The Traveling Salesman (or Trucker) Case », *Logistics and Transportation Review*, 22, 14355.
- Gannon, F. 1992. Modèles de la ville et politiques urbaines optimales. Paris : Université Paris X Nanterre, Thèse pour le doctorat ès sciences économiques.
- Gannon, F. 1994. « Congestion ». In : Auray, J.-P., Bailly, A., Perreur, P.-H., Huriot, J.-M. (dir.) *Encyclopédie d'économie spatiale : concepts, comportements, organisations*. Economica, Bibliothèque de science régionale, 133-137.
- Garello, P. 1992. « Perception et théorie de la décision », *Journal des Economistes et des Etudes Humaines*, 3, 1, 49-78.
- Garoupa, N. 1997. « The Theory of Optimal Law Enforcement », *Journal of Economic Surveys* 11.
- Gayda, S. 1994. « Application *logit* : étude du comportement en matière de stationnement près du lieu de travail à l'aide d'une enquête du type préférences déclarées ». In : Les Cahiers du MET. *Maîtriser la mobilité*. 2^{ème} partie. *Les comportements*, 45-67.
- Geffrin, Y. 1990. « Les 162 péages urbains », *Transport Public*, 22-27.
- Geffrin, Y. 1991. « Péages urbains, doux rêves dures réalités ». In : Raux, C., Lee-Gosselin, M. (eds.) *La mobilité urbaine : de la paralysie au péage*. Lyon : Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, 341-347.
- Genay, V. 1992. « Les déplacements domicile-travail. Recensement de la population de 1990 », *INSEE Première*, 202.
- George, P. 1964. *Précis de géographie urbaine*. Paris : PUF, 2^{ème} édition revue et augmentée.

-
- Gérardin, B., Patier, D., Routhier, J.-L., *et al.* 2000. Diagnostic du transport de marchandises dans une agglomération. Programme national 'Marchandises en ville'. Paris : MELT, DRAST.
- Gerondeau, C. 1997. *Transport in Europe*. Londres : Artech House.
- Gerondeau, C. 1999. « La congestion en Europe de l'ouest ». In : CEMT. *La congestion routière en Europe*. Paris : CEMT, Table ronde 110, 51-92.
- Giblin, J.-P. 1997. Transports et pollution de l'air : une question controversée. Paris :MELT, DRAST, Notes du centre de prospective et de veille scientifique, 9.
- Gillen, D.W. 1977. « Estimation and specification of the effects of parking costs on urban transport mode choice », *Journal of Urban Economics*, 4, 186-199.
- Gillen, D.W. 1978. « Parking policy, parking location decisions and the distribution of congestion », *Transportation*, 7, 69-85.
- Girault, M., Lebrun, F., Simon, O. 1998. « La forte croissance de la mobilité urbaine entre 1982 et 1994 », *Notes de synthèse du SES*, 119, 15-18.
- Giuliano, G. 1992. « An Assessment of the Political Acceptability of Congestion Pricing », *Transportation*, 19, 4, 335-358.
- Glanville, W.H., Smeed, R.J. 1958. *The basic requirements for the roads of Great Britain*. Londres : Institution of Civil Engineers.
- Glaysre, P., Chastellain, P. 1993. « Le stationnement : 'du passionnel au rationnel' : méthodologie d'approche d'une politique du stationnement sur la presqu'île à Lyon », *TEC*, 119, 42-48.
- Glazer, A., Niskanen, E. 1992. « Parking fees and Congestion », *Regional Science and Urban Economics*, 22, 123-132.
- Goodwin, P.B. 1989. « Comprendre la congestion », *Recherche Transports Sécurité*, 24, 23-28.
- Gout, P. 1994. « Modérer la circulation : les politiques allemandes, expériences et évaluations ». In : Duhem, B. *et al.* (éd.). *Ville et transports. Actes du séminaire, tome 1*. Paris : Plan Urbain, Direction de l'architecture et de l'urbanisme, 295-311.
- Greffe, X. 1994. *Economie des politiques publiques*. Paris : Dalloz, Précis sciences économiques.
- Grether, D.M., Issac, R.M., Plott, C.R. 1981. « The allocation of Lending Rights by Unanimity among Competitors », *American Economic Review*, 71, 2, 166-171.
- Grether, D.M., Isaac, R.M., Plott, C.R. 1989 « The allocation of scarce resources: Experimental economics and the problem of allocating airport slots ». In : *Underground Classics in Economics series*. Boulder, Colo. and London : Westview Press.
- Gualezzi, J.-P. 1998. *Le bruit dans la ville*. Paris : Les éditions des Journaux officiels, Avis et Rapports du Conseil Economique et Social.
- Guerin-Pace, F. 1993. *Deux siècles de croissance urbaine. La population des villes françaises de 1831 à 1990*. Paris : Anthropos-Economica, coll. Villes.
- Guerrien, B., Archinard, G. 1992. *Principes mathématiques pour économistes*. Paris : Economica.

- Guerrien, B., Nezeys, B. 1987. *Microéconomie et calcul économique*. Paris : Economica, 2^{ème} édition.
- Guidez, J.-M. 1996. « La mobilité urbaine dans les villes françaises hors région parisienne ». In : MELT. *Les enjeux de la mobilité urbaine*. Paris : MELT, Actes du colloque « Les enjeux de la mobilité urbaine », 19-20 juin 1996, 13-22.
- Guiliano, G. 1992. « Transportation Demand Management. Promise or Panacea? », *Journal of the American Planning Association*, 58,3, 327-335.
- Guillemain, B. 1995. « Civisme » In : *Encyclopædia Universalis*.
- Guitton, H. 1964. *Statistiques et Econométrie*. Paris : Dalloz.
- Guler, K., Plott, C.R. 1987. A Study of Zero-Out Auction: Experimental Analysis of a Process of Allocating Private Rights to the Use of Public Property. Caltech Social Science Working Paper: 650.
- Hagen, O. 1979. « Towards a positive theory of preferences under risk ». In : Allais, M., Hagen, O. (eds.) *Expected utility and the Allais paradox*. Dordrecht ; Boston, Reidel, 271-302.
- Haumont, A. 1995. « Peuplement urbain et mobilité quotidienne ». In : Duhem, B. et al. (éd.). *Ville et transports. Actes du séminaire, tome 2*. Paris : Plan Urbain, Direction de l'architecture et de l'urbanisme, 267-271.
- Heertje, A. Barthélémy, P. 1984. *L'Économie souterraine*. Paris : Economica.
- Henry, C. 1984. « La microéconomie comme langage et enjeu de négociations », *Revue économique*, 35, 1, 177-197.
- Hertig, J.-C., 1999. *Etudes d'impact sur l'environnement*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, Traité de Génie Civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, vol. 23.
- Hey, J.D. 1991. *Experiments in Economics*. Oxford : Blackwell.
- Higgins, T.J. 1985. « Flexible Parking Requirement for Office Development: New Support for Public Parking and Ridesharing », *Transportation*, 12, 343-359.
- Higgins, T.J. 1992. « Parking taxes: Effectiveness, legality and implementation, some general considerations », *Transportation*, 19, 221-230.
- Hivert, L., Orfeuill, J.P. 1986. Les enseignements des études nationales sur la mobilité. Arcueil : Documents INRETS-DEST.
- Hong, J.T., Plott, C.R. 1982. « Rate filing Policies for Inland Water Transportation: An Experimental Approach », *Bell Journal of Economics*, 13, 1-19.
- Horowitz, A., Sheth, J. 1978. « Ridesharing to Work: An Attitudinal Analysis », *Transportation*, 12, 343-359.
- Hotelling, H. 1929. « Stability in Competition », *Economic Journal*, 39, 41-57.
- Hotelling, H. 1938. « The general welfare in relation to problems of taxation and railway and utility rates », *Econometrica*, 6, 242-249.
- Hume, D. 1741. *Traité de la nature humaine*. Paris : Flammarion, trad. française, 1991-1993.
- Huriot, J.-M.. 1978. « Utilisation de l'espace et dynamique économique », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 2, 119-148.

- Huriot, J.M. 1995. « Qui a peur des mathématiques ? ». In : Huriot, J.-M. (ed.) *Economie, mathématiques et méthodologie*. Paris : Economica, 11-40.
- Huriot, J.-M., Perreur, J. 1990. « Distances, espaces et représentations, une revue », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 2, 197-237.
- Huriot, J.-M., Perreur, J. 1994. « Espace et distance ». In : Auray, J.-P., Bailly, A., Perreur, P.-H., Huriot, J.-M. (dir.) *Encyclopédie d'économie spatiale : concepts, comportements, organisations*. Economica, Bibliothèque de science régionale, 35-46.
- Huriot, J.-M., Perreur, J., Ponsard, C., et al. 1983. « Représentations de l'espace et analyse économique ». In : Paelinck, J.H.P., Sallez, A. (eds.) *Espace et localisation. La redécouverte de l'espace dans la pensée scientifique de langue française*. Paris : Economica, 31-52.
- Huriot, J.-M., Smith, T.E., Thisse, J.-F. 1989. « Minimum-Cost Distances in Spatial Analysis », *Geographical Analysis*, 21, 4, 294-315.
- Huriot, J.-M., Thisse, J.-F. 1987. « Distances économiques et métriques : éléments d'axiomatic » . In : Guesnier, B., Paelinck, J.H.P. (eds.). *Modélisation spatiale, théorie et applications*. Dijon : IME, coll. IME n°33.
- INRETS. 1997. *Les systèmes de voitures à usage partagé : libre service, multipropriété, car pool*. Arcueil, INRETS, Actes 61, Actes du colloque « Les systèmes de voitures à usage partagé : libre service, multipropriété, car pool », 2 juin 1997.
- INSEE. 1999. *Tableaux de l'économie française. 1999-2000*. Paris : INSEE.
- INSEE, Département de la démographie. 2000. « La population légale au recensement de 1999 », *INSEE Première*, 691.
- Jacquot, A. 1993. « Les frictions spatiales entre la population et l'emploi », *Espace, populations, sociétés*, 2, 177-188.
- Jackson, R.E. 1975. « Parking Policy as an Integral Part of Urban Development Objectives », *Highway Research Record*, 474, 1-8.
- Jacobs, J. 1969. *The Economy of Cities*. New York : Random House.
- Jaeger, L., Lassare, S. 1999. « TAG, un modèle économétrique pour un suivi de l'insécurité routière », *Recherche Transports Sécurité*, 65, 3-20.
- Jaffro, L. 2000. « La formation de la doctrine du sens moral : Burnet, Shaftesbury, Hutcheson ». In : Jaffro, L. (ed.). *Le sens moral. Une histoire de la philosophie morale de Locke à Kant*. Paris : PUF, 11-46.
- Jeanjean, P. 1975. *Le calcul économique*. Paris : PUF, coll. Que sais-je ?
- Jokung-Nguena, O. 1998. *Microéconomie de l'incertain. Risques et décisions*. Paris : Dunod, coll. Eco Sup.
- Jones, P.M. 1990. *Traffic quotes: Public perceptions of traffic regulation in urban areas*. Londres : Department of Transport, HMSO.
- Jones, P.M., Haigh, D. 1994. *Reducing Traffic Growth by Changing Attitudes and Behaviour*. Warwick : Warwick University, PTRC European Transport Forum.
- Jones, R. 1994. *The effect of park and ride on users' travel behaviour*. Newcastle : University of Newcastle-upon-Tyne, Department of Engineering, M.Sc. Thesis.
- Journal Officiel de la République Française. 1992. *Transports Terrestres. Loi*

- d'Orientation des Transports Intérieurs*. Paris : Journal Officiel, n°1633.
- Julien, P. 1998. « L'urbanisation se poursuit dans les années 90 », *INSEE Première*, 603.
- Julien, P. 2000. « Recensement de la population 1999. Poursuite d'une urbanisation très localisée », *INSEE Première*, 692.
- Kagel, J.H., Roth, A.E. (eds.) 1995. *The Handbook of Experimental Economics*. Princeton : Princeton University Press.
- Kahneman, P., Tversky, A. 1979. « Prospect theory: an analysis of decision under risk », *Econometrica*, 47, 263-291.
- Kanafani, A.K. 1983. *Transportation demand analysis*. McGraw-Hill, 1983.
- Kaplow, L., Shavell, S. 1994. « Optimal Law Enforcement with Self-Reporting of Behavior », *Journal of Political Economy*, 102, 583-606.
- Kast, R. 1993. *Théorie de la décision*. Paris : La Découverte, coll. Repères.
- Kaufmann, V. 2000. *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Kaufmann, V., Guidez, J.-M. 1996. Les citoyens face à l'automobilité. Lausanne : Rapport du FIER, 19.
- Kaufmann, V., Stofer, S (coll.), Bassand, M., Bovy, P. (dir.) 1995. Le report modal de l'automobile vers les transports publics. Recherche comparative auprès des actifs motorisés des agglomérations genevoise, lausannoise et bernoise. Lausanne : IREC, DA, EPFL, rapport de synthèse.
- Kenkel, D.S. 1993. « Drinking, Driving and Deterrence: The Effectiveness and Social Costs of Alternative Policies », *Journal of Law and Economics*, 36, 877-913.
- Khattak, A., Polak, J. 1993. « Effect of parking information on travelers' knowledge and behavior », *Transportation*, 20, 373-393.
- Koopmans, T.C. 1957. *Three Essays on the State of Economic Science*. New York : McGraw-Hill.
- Knight, F. 1921. *Risk, Uncertainty and Profit*. Boston : Houton Misslin.
- Knight, F. 1924. « Some fallacies in the Interpretation of Social Cost », *Quarterly Journal of Economics*, 38, 582-606.
- Kolm, S.-C. 1968. *La théorie économique générale de l'encombrement*. Paris : Sédésis, futuribles.
- Kreps, D. 1990. *Leçons de théorie microéconomique*. Paris : PUF, coll. Finance.
- Kroes, E.P., Sheldon, R.J. 1988. « Stated Preference Methods », *Journal of Transport Economics and Policy*, 22, 1, 11-25.
- Lacroix, G., Fortin, B. 1992. « Utility-based estimation of labour supply functions in the regular and irregular sectors », *The Economic Journal*, 102, 1407-1422.
- Laffont, J.-J. 1988. *Fondements de l'économie publique. Vol. 1, Cours de théorie microéconomique*. Paris : Economica, coll. Economie et statistiques avancées.
- Laffont, J.-J. 1991. *Economie de l'incertain et de l'information. Vol. 2, Cours de théorie microéconomique*. Paris : Economica, coll. Economie et statistiques avancées.

-
- Lajugie, J., Delfaud, P., Lacour, C. 1985. *Espace régional et aménagement du territoire*. Paris : Dalloz, Précis Dalloz, deuxième édition.
- Lalonde, R.J. 1986. « Evaluating the Econometric Evaluations of Training Programs with Experimental Data », *American Economic Review*, 76, 604-620.
- Lambert, J. 1989 « Les nuisances ». In : INRETS, *Un milliard de déplacements par semaine. La mobilité des français*. Paris : La documentation Française, 223-233.
- Lamure, C. 1995. *Quelle automobile dans la ville ?* Paris : Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées.
- Lave, C. 1994. « The Demand Curve under Road Pricing and the Problem of Political Feasibility », *Transportation Research*, 28A, 2, 83-91.
- Laville, F. 1998. « Modélisations de la rationalité limitée : de quels outils dispose-t-on ? », *Revue économique*, 49, 2, 335-365.
- Lay, M.G. 1993. *Ways of the World: a history of the world's roads and of the vehicles that used them*. Leichhardt : Primavera.
- Lefol, J.-F., Orfeuil, J.-P. 1989. « L'équipement des ménages en moyens de déplacements ». In : INRETS, *Un milliard de déplacements par semaine. La mobilité des français*. Paris : La documentation Française, 21-40.
- Legaignoux, J. 1999. Les enjeux du respect de la réglementation du stationnement. Paris : ATEC, Journées techniques ATEC « La surveillance du stationnement sur voirie », 9 mars 1999.
- Le Jeannic, T. 1996. « La délimitation des nouvelles aires urbaines ». In : Pumain, D., Godard, F. (dir.) *Données Urbaines. 1*. Paris : Economica-Antrophos, PIR-Villes, 167-172.
- Le Jeannic, T. 1997. « Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes », *Economie et Statistiques*, 307, 7, 21-41.
- Lemieux, T., Fortin, B., Fréchette, P. 1994. « The Effect of Taxes on Labor Supply in the Underground Economy », *American Economic Review*, 84, 1, 231-254.
- Le Net, M. 1994. *Le prix de la vie humaine. Calcul par la méthode du Capital humain compensé. Application à l'évaluation du coût de l'insécurité routière. Tome 1. Rapport pour le CGR, Direction des Routes, Direction de la sécurité et de la Circulation routières*, 2^{ème} édition actualisée.
- Lenntorp, B. 1978. « Les déplacements considérés comme une part de la vie : un cadre conceptuel pour l'analyse de la distribution des possibilités de déplacement au sein d'une population », Arc-et-Senans : IRT, actes du colloque « La mobilité dans la vie urbaine », 164-165.
- Lescure, R., Nogier, A., Tourjansky-Cabart, L. 1997. « Une évaluation économique de la pollution atmosphérique », *Economie et Statistiques*, 307, 7.
- Lesourne, J. 1972. *Le calcul économique*. Paris : Dunod, 2^{ème} édition revue et corrigée.
- Loomes, G., Sugden, R. 1982. « Regret theory: an alternative theory of rational choice under uncertainty », *The Economic Journal*, 92, 805-824.
- Lösch, A. 1940. *Die Räumliche Ordnung des Wirtschaft*, Jena : Gustav Fischer Verlag.

- LPA. 1994. Tableau de bord voirie Lyon. Lyon : LPA.
- Luce, R., Raiffa, H. 1957. *Games and Decisions*. New York : Wiley and Sons.
- Madre, J.-L. 1993. « Etalement et congestion », *In* : Bussière, Y., Bonnafous, A. *Transport et Etalement Urbain : Les Enjeux*. [Lyon] : Programme Pluriannuel en Sciences Humaines Rhône-Alpes, Actes du colloque « Transport et étalement urbain : les enjeux », Cinquièmes Entretiens du Centre Jacques Cartier, Montréal, 7-8 octobre 1992, 323-332.
- Madre, J.-L., Maffre, J. 1995. « Toujours plus loin... mais en voiture », *INSEE Première*, 417.
- Madre, J.L., Pirotte, A. 1997. « Regionalisation of Car-Fleet and Traffic Forecasts ». *In* : Stopher, P., Lee-Gosselin, M. *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*. Oxford : Pergamon, Elsevier Science Ltd.
- Maitra, B., Sikdar, P.K., Dhingra, S.L. 1998. Modelling congestion on urban roads under different levels of on-street parking. Anvers : 8th WCTR.
- Malinvaud, E. 1958. Cours à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes et au Centre d'Etudes des Programmes Economiques 1985-1959. Ière Partie. « Les modèles économiques ».
- Malinvaud, E. 1982. *Leçons de théorie microéconomique*. Paris : Dunod, réimpression 1992.
- Margail, F. 1999. « Intermodalité, accessibilité à la ville et dynamisme économique en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis », *TEC*, 154, 21-29.
- Marshall, A. 1890. *Principles of Economics*. Paris ; Londres ; New York : Gordon et Breach, réimpression de la trad. par F. Sauvaire-Jourdain de la première édition chez V. Giard et E. Brière de 1906-1905, 1971. tome 1, tome 2.
- Martel, J.-M., Nadeau, R., Gbodossou, A. 1986. « La théorie statistique de la décision : une analyse critique ». *In* : Nadeau, R., Landry, M. (dir.). *L'aide à la décision. Nature, instruments et perspectives d'avenir*. Québec, Les presses de l'Université de Laval, 71-104.
- Mas-Colell, A., Whinston, M.D., Green, JR. 1995. *Microeconomic Theory*. New York ; Oxford : Oxford University Press.
- Massot, M.-H., *et. al.* 1995. Espace de vie, espace de travail : 15 ans d'évolution. Arcueil : INRETS.
- Maurin, M, Lambert, J., Alauzet, A. 1988. *Enquête nationale sur le bruit des transports en France*. Bron : INRETS, Rapports INRETS, 71.
- May, A.D. 1982. « Parking enforcement », *Traffic Engineering and Control*, 23, 6, 345-347.
- May, A.D. 1985. Parking enforcement: are we making the best use of resources. UTSG Conference paper.
- McCrimmon, K., Larsson, S. 1979. « Utility theory: axioms versus paradoxes », *In* : Allais, M., Hagen, O. (eds.) *Expected utility and the Allais paradox*. Dordrecht ; Boston : Reidel, 333-409.
- McFadden, D. 1974a. « The measurement of urban travel demand », *Journal of Public*

- Economics*, 3, 303-328.
- McFadden, D. 1974b. « Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior ». In : Zarembka, P. (ed.). *Frontiers of Econometrics*. Academic Press.
- MELT, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). 1974. Etudes de stationnement : programme PARK. Calcul de la demande de stationnement : programme STADE. Bagneux : SETRA.
- MELT, CERTU. 1996. *Plans de déplacements urbains*. Guide. MELT, CERTU.
- Merlin, P. 1992. *Les transports urbains*. Paris : PUF, coll. Que sais-je ?
- Merriman, D. 1998. « How many parking spaces does it take to create one additional transit passenger? », *Regional Science and Urban Economics*, 28, 565-584.
- Mildner, C.S., Strathman, J.G., Bianco, M.J. 1997. « Parking Policies and Commuting Behavior », *Transportation Quarterly*, 51, 1, 111-125.
- Mill, J.S. (1848). *Principes d'économie politique*. Paris : Guillaumin, trad. édition 1873.
- Mogridge, M. 1990. *Travel in towns: jam yesterday, jam to-day and jam tomorrow?*. Londres : MacMillan.
- Moricani-Ebrard, F. 1993. *L'urbanisation du monde depuis 1950*. Paris : Anthropos-Economica.
- Mouchot, C. 1996. *Méthodologie économique*. Paris : Hachette, coll. Hachette Supérieur Economie.
- Mumford, L. 1961. *The City in History: Its Origins, its Transformation and its Prospects*. New York : Harcourt-Brace.
- Munier, B. 1995a. « Décision ». In : *Encyclopædia Universalis*.
- Munier, B. 1995b. « Entre rationalités instrumentale et cognitive : contributions de la dernière décennie à la modélisation du risque », *Revue d'économie politique*, 105, 1 5-70.
- Musgrave, R.A. 1959. *The theory of public finance*. New York : McGraw-Hill.
- Muth, R. 1969. *Cities and housing*. Chicago : Chicago University Press.
- Nadeau, R., Landry, M. (dir.) 1986. *L'aide à la décision. Nature, instruments et perspectives d'avenir*. Québec : Les presses de l'Université de Laval.
- Newbery, D. 1990. « Pricing and congestion. Economics principles relevant to pricing roads », *Oxford Review of Economic policy*, 6, 2.
- Nilsson, J.-E. 1997. Allocation of track capacity. Experimental Evidence on the Use of Priority Auctioning in the Railway Industry. Borlänge, wp.
- Nogier, A. 1995. Evaluation du coût de la pollution atmosphérique en milieu urbain. Paris : rapport de stage effectué à la direction de la Prévision.
- Nguyen, N. 1995. « Stationnement urbain : jusqu'où les concessions », *Le Moniteur*, 13 janvier, 34-36.
- OCDE. 1993. Comment adapter les transports à la ville ? Paris : OCDE, Conférence internationale, Düsseldorf, juin 1993.
- OCDE. 1995. La pollution des véhicules à moteur. Stratégies de réduction au-delà de 2010. Paris : OCDE.

- OCDE, Conférence Européennes des Ministres des Transports (CEMT). 1995. *Transports urbains et développement durable*. Paris : CEMT, OCDE
- ONIRS. 1996. *Bilan annuel, statistiques et commentaires 1995*. Paris : La documentation française.
- O'Higgins, M. 1989. « Assessing the unobserved economy in the United Kingdom ». *In* : Feige, E.L. *The Underground Economies*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Orfeuil, J.-P. 1994. *Je suis l'automobile*. La Tour d'Aigues : Ed. de l'Aube, coll. Monde en cours.
- Orfeuil, J.-P. 1996. « La mobilité urbaine, son coût, ses modalités de financement ». *In* : Pumain, D., Godard, F. (dir.) *Données Urbaines. 1*. Paris : Economica-Antrophos, PIR-Villes, 187-197.
- Orfeuil, J.-P. 1997a. « La mobilité évolue, les problèmes et les solutions également ». *In* : INRETS, ADEME. *Environnement, véhicules et mobilité urbaine*. Arcueil : INRETS, Actes 59, Actes du colloque « Environnement, véhicules et mobilité urbaine », 25 juin 1996, 67-82.
- Orfeuil, J.-P. 1997b. « Les difficultés de l'évaluation des effets externes et les problèmes posés par leur internalisation ». *In* : INRETS, ADEME. *Environnement, véhicules et mobilité urbaine*. Arcueil : INRETS, Actes 59, Actes du colloque « Environnement, véhicules et mobilité urbaine », 25 juin 1996, 125-135.
- Orfeuil, J.-P., Troulay, P. 1989. « Les déplacements dans le cadre habituel ». *In* : INRETS, *Un milliard de déplacements par semaine. La mobilité des français*. Paris : La documentation Française, 71-84.
- Pagan, J.A. 1998. « Employer sanctions on hiring illegal labor: An experimental analysis of firm compliance », *Journal of Economic Behavior and Organization*, 34, 87-100.
- de Palma, A., Thisse, J.-F. 1989. « Les modèles de choix discrets », *Annales d'économie et de statistiques*, 14, 151-190.
- Papageorgiou, Y.Y. 1990. *The isolated city-state*. London ; New-York : Routledge.
- Papageorgiou, Y.Y., Smith, TR. 1983. « Agglomeration as Local Instability of Spatially Uniform Steady-states », *Econometrica*, 51, 1109-1119.
- Papon, F. 1991a. Les 'Routes de Première Classe' : Une tarification différenciée de la circulation en agglomération pour en améliorer l'efficacité économique de manière socialement équitable. Paris : Université Paris XII, INRETS, Thèse de doctorat.
- Papon, F. 1991b. « Les 'routes de première classe' : un péage urbain choisi par l'usager ». *In* : Raux, C., Lee-Gosselin, M. (eds.) *La mobilité urbaine : de la paralysie au péage*. Lyon : Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, 143-164.
- Papon, F. 1992. « Une modélisation de l'équilibre local du stationnement : SUPERNOVA et son application dans quatre villes européennes », *Recherche Transports Sécurité*, 34, 37-48.
- Parkhurst, G. 1995. « Park and ride: could it increase car traffic? », *Transport Policy*, 2, 1, 15-23.
- Pearce, D. 1983. *Cost Benefit Analysis*. Londres : Macmillan.

-
- Pedreira-Andrade, L.P., Seija-Macias, J.A. 1998. An approach to optimum congestion toll. Anvers : 8th WCTR.
- Pelliard, P. 1977. « Le stationnement dans le centre des villes », *TEC*, 22, 12-18.
- Pelliard, P., Perret, P. 1982. « Evolution dans l'approche des problèmes de stationnement », *TEC*, 52, 9-13.
- Perrière, F. 1997. Ville et stationnement : quelles possibilités d'actions sur le stationnement des pendulaires. Lyon : LET, Mémoire de DEA d'Economie des Transports.
- Perrière, F. 1998. « Comment faire du stationnement un outil efficace pour une politique des déplacements urbains ? », *Transports*, 389, 183-189.
- Perroux, F. 1950. « Les espaces économiques », *Economie appliquée*, 1, 225-244.
- Pestieau, P. 1989. *L'économie souterraine*. Paris : Hachette, Pluriel.
- Picard, A., Delacourt, L. 2000. « Les âges du stationnement ». In : PUCA. Le stationnement résidentiel. Où en est la recherche ? Rencontre-débat du 25 janvier 2000, 2-3.
- Picard, P. 1994. *Éléments de microéconomie. 1. Théorie et applications*. Paris : Montchrestien, 4^{ème} édition.
- Picard, P. 1996. « Auditing Claims in Insurance Market with Fraud: the credibility issue », *Journal of Public Economics*, 63, 27-56.
- Pierson, J., Skinner, I., Vickermann, R. « The Microeconomic Analysis of the External Costs of Road Accidents », *Economica*, 65, 429-440.
- Pigou, A.C. 1920. *The Economics of Welfare*. Londres : Macmillan.
- Pisarski, A. 1992. *Travel Behavior Issues in the 90's*. Washington D.C. : USDOT.
- Polak, J.W., Hilton, K.W., Axhausen, P.M., Young, W. 1990. « Parking guidance systems: Current Practice and Future Prospect », *Traffic Engineering and Control*, 31, 10, 519-524.
- Polak, J.W., Jones, P. 1997. « Using stated-preference methods to examine traveller preferences and responses ». In : Stopher, P., Lee-Gosselin, M. (eds.) *Understanding travel behaviour in an era of change*. Oxford ; New York ; Tokyo : Pergamon, 177-208.
- Polak, J.W., Vythoukas, P.C. 1993. An assessment of the state of the art in the modelling of parking behaviour. Crowthorne : Transport Research Laboratory, Rapport du Transport Research Laboratory.
- Polèse, M. 1994. *Economie urbaine et régionale. Logique spatiale des mutations économiques*. Paris : Economica.
- Polinsky, A.M., Shavell, S. 1992. « Enforcement Costs and the Optimal Magnitude and Probability of Fines », *Journal of Law and Economics*, 35, 1, 133-148.
- Pondaven, C. 1994. *La Théorie de la réglementation : Efficacité économique ou efficacité politique : Application économétrique à la politique agricole commune*. Paris : Librairie générale de droit et de jurisprudence.
- Ponsard, C. 1955. *Economie et espace : essai d'intégration du facteur spatial dans l'analyse économique*. Sedes.

- Ponsard, C. 1958. *Histoire des théories économiques spatiales*. Paris : A. Colin.
- Ponsard, C. (dir.) 1988. *Analyse économique spatiale*. Paris : PUF, coll. Economie.
- Popper, K. 1934. *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot, trad. 1984.
- Posner, R. 1992. *Economic Analysis of Law*. Boston : Little, Brown and Co.
- Prat, J. 1964. « Risk Aversion in the Small and in the Large », *Econometrica*, 32, 122-136.
- Pumain, D. 1982. *La dynamique des villes*. Paris : Economica.
- Quiggin, J. 1982. « A theory of anticipated utility », *Journal of Economic Behavior and Organization*, 3, 324-343.
- Quinet, E. 1990. *Analyse économique des transports*. Paris : PUF.
- Quinet, E. 1994. « Les coûts sociaux des transports : évaluation et liens avec les politiques d'internalisation des effets externes ». In : CEMT, OCDE. *Internaliser les coûts sociaux des transports*. Paris : CEMT, 35-80.
- Quinet, E. 1998. *Principes d'Economie des Transports*. Paris : Economica.
- Quinet, E. 1999. « Problèmes et enjeux de la tarification des effets externes dans les transports », *Transports*, 395, 161-165.
- Raiffa, H. 1968. *Analyse de la décision. Introduction aux choix en avenir incertain* (Trad. de *Decision Analysis*, 1968). Paris : Dunod, 1973.
- Ramsey, F. 1927. « A contribution to the theory of taxation », *Economic Journal*, 1.
- Rasmusen, E. 1995. « How Optimal Penalties Change with the Amount of Harm », *International Review of Law and Economics*, 15, 1, 101-108.
- Raux, C. 1990. « Les approches 'schémas d'activité' et l'évaluation des politiques de transport ». In : CETUR, INREST, LET, SERT. *Modélisation : Recherche sur la mobilité quotidienne et renouvellement des méthodes de modélisation*. Bagneux : CETUR, Déplacements 4, 39-48.
- Raux, C. 1993. « Centralité, polynucléarité et étalement urbain : application au cas de l'agglomération lyonnaise ». In : Bussière, Y., Bonnafous, A. *Transport et Etalement Urbain : Les Enjeux*. [Lyon] : Programme Pluriannuel en Sciences Humaines Rhône-Alpes, Actes du colloque « Transport et étalement urbain : les enjeux, Cinquièmes Entretiens du Centre Jacques Cartier, Montréal, 7-8 octobre 1992, 75-98.
- Raux, C., Andan, O. 1988. Les analyse des comportements de mobilité quotidienne. Une synthèse bibliographique. Lyon : LET, Rapport rédigé pour le compte du Ministère de l'Equipement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, Service des Etudes, de la Recherche et de la Technologie, n°85-24, juillet 1988.
- Raux, C., Tabourin, E. 1991. « Congestion et crise du financement des transports à Lyon : vers un péage urbain ? ». In : Raux, C., Lee-Gosselin, M. (eds.) *La mobilité urbaine : de la paralysie au péage*. Lyon : Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, 41-63.
- RCEP. 1994. *Transport and the Environment*. Londres : HMSO, 18^{ème} rapport.
- Reichman, S. 1983. *Les transports : servitude ou liberté ?* Paris : PUF, coll. Espace et liberté.
- Rennes, G., Orfeuill, J.-P. 1997. « Les pratiques de stationnement au domicile, au travail

- et dans la journée », *Recherche Transports Sécurité*, 57, 21-35.
- Richardson, H.W. 1977. *The New Urban Economics and Alternatives*. London : Pion.
- Rigby, J.P.R. 1983. Parking control and enforcement: its importance to public transport operations. Report to LRT.
- Rodriguez-Almeida, E. 1996. « Promenons-nous avec Martial ». In : Gaillard, J. *Rome I er siècle ap. J.-C. Les orgueilleux défis de l'ordre impérial*. Paris : Editions Autrement, coll. Mémoires n°43.
- Rosenbloom, S. 1978. « Peak Period Traffic Congestion: A State-of-the-Art Analysis and Evaluation of Effective Solutions », *Transportation*, 7, 2, 167-191.
- Ross, H.L. 1961. « Traffic Law Violation: A Folk Crime », *Social Problems*, 8, 3, 231-237.
- Roth, A.E. 1994. « Introduction to Experimental Economics ». In : Kagel, J.H., Roth, A.E. *The Handbook of Experimental Economics*. Princeton : Princeton University Press, 3-109.
- Roth, G. 1965. *Parking Space for Cars: Assessing the Demand*. Cambridge (Mass.) : Cambridge University Press.
- Rotillon, G. 1992. *Introduction à la microéconomie*. Paris : La Découverte, coll. Repères.
- Rouget, B. 1988. « Conclusion ». In : Ponsard, C. (dir.) *Analyse économique spatiale*. Paris, PUF, coll. Economie, 391-398.
- Saha, A., Poole, G. 2000. « The economics of crime and punishment: an analysis of optimal penalty », *Economic Letters*, 68, 191-196.
- Salanié, B. 1995. « Incitations et théorie des contrats », *Cahiers français*, 272, 3-11.
- Salomon, I., Mokhtarian, P. 1997. « Coping with congestion: Reconciling behavioural responses and policy analysis », *Transportation Research, D*, 2, 2, 107-123.
- de Salvo, J.S., Eeckhoudt, L.R. 1982. « Household behaviour under income uncertainty in a monocentric urban area », *Journal of Urban Economics*, 4, 85-97.
- Samuelson, P.A. 1947. *Foundations of economics analysis*. Cambridge (Mass.) : Harvard University Press.
- Samuelson, P.A. 1954. « The pure theory of public expenditures », *Review of Economics and Statistics*.
- Samuelson, P.A., Nordhaus, W.D. 1998. *Economie*. Paris : Economica, seizième édition.
- SARECO. 1998. La surveillance du stationnement payant sur voirie. Paris : Rapport pour le compte du MELT, DRAST.
- SATRE 2. 1998. Les attitudes et comportements des conducteurs d'automobile européens face à la sécurité routière. Vol. 1. Principaux résultats. Arcueil : INRETS.
- Sauvy, A. 1968. *Les Quatre roues de la fortune*. Paris : PUF.
- Savage, L.J. 1954. *The Foundations of Statistics*. New York : Wiley and Sons.
- Schaefer, B. 1994. Les outils de gestion des déplacements. L'outil économique (tarification, péage). Paris : ENPC, Colloque « Comment organiser les déplacements

- urbains ? », 21-23 juin 1994.
- Schéou, B. 1997. Modélisation des déplacements domicile-travail en milieu péri-urbain : le cas de la région lyonnaise. Lyon : Université Lumière Lyon 2, Faculté de Sciences Economiques et de Gestion, Thèse d'Université-spécialité sciences économiques.
- Schoemaker, P.J.H., Kunreuther, H.C. 1979. « An experimental Study of Insurance Decisions », *Journal of Risk and Insurance*, 46, 4, 603-618.
- Schotter, A. 1994. *Microéconomie. Une approche contemporaine*. Paris : Vuibert.
- Scitovsky, T. 1952. « Two concepts of external economies », *Economic Journal*, 62, 54-67.
- Scotchmer, S., Thisse, J.-F. 1993. « Les implications de l'espace pour la concurrence », *Revue économique*, 44, 653-669.
- Semaly, LET. 2000. La modélisation des contraintes de stationnement. Lyon, SEMALY, LET, rapport effectué pour le compte du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Direction des Transports Terrestres.
- Sen, A. 1987. *On Ethics and Economics*. Oxford : Blackwell Publishers.
- SFSP. 1996. La pollution atmosphérique d'origine automobile. 15 ans de recherche internationale. Vandoeuvre-lès-Nancy : SFSP, coll. Santé et Société, 4.
- Shaw, J. 1997. « Parking: Legislation and Transportation Plans », *Transportation Quarterly*, 51, 2, 105-115.
- Schneider, K., Weimann, J. 1997. Against all odds: Nash Equilibria in a Road Pricing Experiment. Magdeburg : Universität Magdeburg, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, Preprint n°30.
- Shoup, D.C. 1995. « An Opportunity to Reduce Minimum Parking Requirements », *Journal of the American Planning Association*, 61, 1, 14-28.
- Shoup, D.C. 1997. « Evaluating the effects of cashing out employer-paid parking: Eight case studies », *Transport Policy*, 4, 4.
- Simon, H.A. 1982. *Models of Bounded Rationality*. Cambridge (Mass.), MIT Press.
- Slovic, P., Tversky, A. 1974. « Who accepts Savage axioms », *Behavioral Science*, 19, 368-373.
- Small, K.A. 1992. *Urban Transportation Economics*. Harwood Academic Publishers.
- Small, K.A., Cazimi, C. 1995. « On the Costs of Air Pollution from Motor Vehicles », *Journal of Transport Economics and Policy*, 29, 1, 7-32.
- Smigel, A. 1965. *Crime and Punishment : An Economic Analysis*. New York : Thesis Columbia University.
- Smith, A. 1759. *Théorie des sentiments moraux*. Paris : PUF, trad. française, 1999.
- Smith, A. 1776. *Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations*. Paris : Gallimard, trad. française, 1976.
- Smith, V.L. 1976. « Experimental economics: Induced Value Theory », *American Economic Review Papers and Proceedings*, 66, 274-279.
- Smith, V.L. 1982. « Microeconomic system as an experimental science », *American Economic Review*, 72, 923-955.

-
- Solow, R.M. 1972. « Congestion, density and the use of land in transportation », *Swedish Journal of Economics*, 74, 161-173.
- Solow, R.M. 1973. « On equilibrium models of urban locations ». In : Parkin, J.M. (eds.) *Essays in Modern Economics*. London : Longman, 2-16.
- Solow, R.M., Vickrey, W.S. 1971. « Land Use in a Long Narrow City », *Journal of Economic Theory*, 3, 430-447.
- Surber, M., Shoup, D., Wachs, M. 1984. « Effects of Ending Employer-Paid Parking for Solo Drivers ». In : Transportation Research Board. *Transportation Research Record 957*. Washington D.C. : Transportation Research Board, 67-71.
- Tabourin, E. 1989. Un modèle de financement des transports collectifs à l'horizon 2000. Le modèle QUINQUIN. Application à l'agglomération lyonnaise. Lyon : Université Lumière Lyon 2, Thèse de doctorat de sciences économiques.
- Tchibozo, G. 1997. *Microéconomie approfondie*. Paris : Arman Colin ; Masson, coll. Cursus, série Economie.
- Teal, R. 1987. « Carpooling: Who, How, Why », *Transportation Research*, A, 21, 3, 230-214.
- Terrier, C. 1987. « Centre-Périphérie : concentration et débordement », *INSEE Economie Lorraine*, 61.
- Terrier, C. 1996. « L'emploi se concentre en ville ». In : Pumain, D., Godard, F. (dir.) *Données Urbaines. 1*. Paris : Economica-Antrophos, PIR-Villes, 237-246.
- Thisse, J.-F. 1991. Espace et concurrence. Une cohabitation difficile ? Dijon : IME, xxiiième Colloque de l'IME, 31 p.
- Thisse, J.-F. 1996. « Science régionale et économie géographique : matériaux pour un rapprochement », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 4, 673-694.
- Thompson, R.G., Bonsall, P. 1997. « Drivers' response to parking guidance and information systems », *Transport Reviews*, 17, 2, 89-104.
- Thompson, S.M. 1967. « An Evaluation of Two Proposals for Traffic Restraint in Central London », *Journal of the Royal Statistical Society*, A, 130, 3.
- Topp, H.H. 1993. « Parking policies to reduce car traffic in German cities », *Transport Reviews*, 13, 1, 83-95.
- Topp, H.H. 1994. The role of parking in urban traffic calming: aspirations and realities. In : Car-free cities association. Conference papers of the Car-free cities association conference 24-25 mars 1994. Amsterdam : Car-free cities association, 59-65.
- Tversky, A., Kahneman, D. 1986. « Rational choice and the framing of decisions ». In : Hogarth, R., Reder, M. (eds.) *Rational choice: the contrast between economics and psychology*, Chicago : The University of Chicago Press, 67-94.
- UE. 1992. Livre vert relatif à l'impact des transports sur l'environnement : une stratégie communautaire pour un développement des transports respectueux de l'environnement. Bruxelles : Commission de l'Union Européenne, COM(92)46 Final.
- URF. 1999. La route en 1998. Route et circulation routière en France. Paris : URF.
- United Nations, 1994. *World Urbanization Prospects: the 1994 Revision*. New York : United Nations, Population Division.

- USEPA. 1974. *Transportation Control to Reduce Automobile Use and Improve Air Quality in Cities*. Washington DC : USEPA, Office of Policy Analysis.
- Van Wee, B., Van den Brink, R. 1999. « Effets environnementaux de la congestion et mesures visant à la réduire » *In* : CEMT. *La congestion routière en Europe*. Paris : CEMT, centre de recherches économiques, Table ronde 110, 225-231.
- Varian, H.R. 1995a. *Analyse Microéconomique*. Bruxelles : De Boeck-Wesmael, coll. Ouvertures économiques, 3^{ème} édition.
- Varian, H.R. 1995b. « A quoi sert la théorie économique ? », *In* : d'Autume, A., Cartelier, J. (eds.) *L'économie devient-elle une science dure ?* Paris : Economica, coll. Grands Débats, 117-129.
- Vergaga, F. 1995. « Utilitarisme et hédonisme », *Economie et Société*, 10.
- Verhoef, E.T. 1996. *The economics of regulating road transport*. Cheltenham : Edward Elgar.
- Verhoef, E.T., Nijkamp, P., Rietveld, P. 1995a. « Second-best Regulation of Road Transportation Externalities », *Journal of Transport Economics and Policy*, 29, 2, 147-167.
- Verhoef, E.T., Nijkamp, P., Rietveld, P. 1995b. « The Economics of Parking Management Systems: The (Im)Possibilities of Parking Policies in Traffic Regulation », *Transportation Research*, 29A, 2, 141-156.
- Vickrey, W.S. 1959. « Statement to the Joint Committee on Washington, DC, Metropolitan Problems », réimpression *Journal of Urban Economics*, 36, 1994, 42-65.
- Vickrey, W.S. 1969. « Congestion theory and transport investment ». *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 59, 251-261.
- Vienne, J.-M. 2000. « Deux formes de raison contre le sens moral : Locke et Bayle », *In* : Jaffro, L. (ed.). *Le sens moral. Une histoire de la philosophie morale de Locke à Kant*. Paris : PUF, 63-80.
- Viner, J. 1932. « Cost curves and supply curves », *Zeitschrift für Nationalökonomie*, 111, 23-46.
- Vivet, D. 1998. « Vers une politique de stationnement intégrée », *Transports*, 391, 324-331.
- Vivier, J. 1999. « Etat de l'art ». *In* : IUTP. *Politique de stationnement*. Bruxelles : IUTP, 6-17.
- Voith, R. 1998. « Stationnement en centre-ville : quelle est la politique optimale ? », *Problèmes économiques*, 2574, 19-24, trad. de « The downtown parking syndrome: does curing the illness kill the patient? », *Business Review*, janvier-février 1998.
- Von Neumann, J., Morgenstern, O. 1944. *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton : Princeton University Press.
- Von Thünen, J.H. 1826. *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaleconomie*. Hamburg.
- Wachs, M. 1991. « Pricing as a response to congestion and air pollution in California ». *In* : Raux, C., Lee-Gosselin, M. (eds.) *La mobilité urbaine : de la paralysie au péage*. Lyon : Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, 273-282.

-
- Wachs, M. 1993. « Learning from Los Angeles: transport, urban form and air quality », *Transportation*, 20, 329-354.
- van der Waerden, P., Borgers, A., Timmermans, H. 1998. External conditions influencing reactions of motorists to increase in parking tariffs in inner-cities. Anvers : 8th WCTR.
- Wald, A. 1950. *Statistical Decision Functions*. New York : Wiley and Sons.
- Walliser, B. 1994. *L'intelligence de l'économie. Une science singulière*. Paris : Odile Jacob.
- Walliser, B. 1995a. « L'économie est une science idéale et générique ». In : d'Autume, A., Cartelier, J. (eds.) *L'économie devient-elle une science dure ?* Paris : Economica, coll. Grands Débats, 83-91.
- Walliser, B. 1995b. « Les modèles économiques sont-ils robustes ? ». In : Huriot, J.-M. (ed.) *Economie, mathématiques et méthodologie*. Paris : Economica, 107-116.
- Walmsley, D.A., Pickett, M.W. 1992. The costs and Patronage of Rapid Transit Systems Compared with Forecasts. Crowthorne Berkshire : Transport Research Laboratory, TRL Research Report RR352.
- Walters, A.A. 1961. « The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion », *Econometrica*, 29, 676-699.
- Wardman, M. 1988. « A Comparison of Revealed Preference and Stated Preference Models of Travel Behaviour », *Journal of Transport Economics and Policy*, 22, 1, 71-91.
- Webber, M. 1972. *Impact of uncertainty on location*. MIT Press.
- Wegmann, F., Stokey, S. 1983. « Impact of Flex Time Work Schedules on a Employer-Based Ridesharing Program », *Transportation Research Record*, 914, 9-13.
- Webley, P., Halstead, S. 1986. « Tax Evasion on the Micro: Simulations or Expedient Experiments? », *The Journal of Interdisciplinary Economics*, 1, 87-100.
- Wiel, M., Rollier, Y. 1993. « La pérégrination au sein de l'agglomération. Constat à propos du site de Brest », *Annales de la Recherche Urbaine*, 59-60, 152-161.
- Wigan, M.R. 1995. « Walking as a transport mode », *Transportation Research Record*, 1487, 7-13.
- Wilde, G.S.J. 1998. « The theory of risk-homeostasis: implications for safety and health », *Risk analysis*, 2, 209-225.
- Willinger, M. 1990. « La rénovation des fondements de l'utilité et du risque », *Revue économique*, 1, 5-48.
- Willinger, M., Masson, S. 1996. « Evaluation des coûts de la pollution en Île de France : les difficultés de la comptabilisation des dépenses effectives », In : ADEME. *Les mercredis de l'ADEME*. Paris : ADEME, octobre, 4-26.
- Willson, R.W. 1992. « Estimating the travel and parking demand effects of employer-paid parking », *Regional Science and Urban Economics*, 22, 133-145.
- Willson, R.W., Shoup, D. 1990. « Parking Subsidies and Travel Choices: Assessing the Evidence », *Transportation*, 17, 2, 141-158.

- Wingo, L. 1961. *Transportation and urban land : Resources for the future*. Baltimore : Hopkins, scd édition.
- Yaari, M. 1987. « The dual theory of choice under risk », *Econometrica*, 55, 95-116.
- Yerpez, J. 1998. *Le Risque routier dans la ville*. Paris : Economica, Antrophos, coll. Villes.
- Young, W., Thompson, R.G., Taylor, M.A.P. 1991. « A review of urban car parking models », *Transport Reviews*, 11, 1, 63-84.
- Zerbe, R.O., Dively, D.D 1994. *Benefit-Cost Analysis: In Theory and Practice*. New York : HarperCollins College Publishers.
- Zoller, H. 1988. « L'espace résidentiel et le prix du logement ». In : Ponsard, C. (ed.) *Analyse économique spatiale*. Paris : PUF, 59-92.
- Zuckermann, W. 1991. *End of the Road, From World Car Crisis to Sustainable Transportation*. Post-Mills : Chelsea Green Publishing Co.

Annexe 1 – Calcul du temps de marche à pied espéré

Dans le modèle de base d'Arnott et Rowse (1999), dans le cas d'un déplacement en voiture particulière, le temps de marche à pied espéré, aller et retour s'écrit :

$$W(F, d) = 2 \int_0^d \frac{d-y}{w} P e^{-Py} dy + 2 \int_d^{+\infty} \frac{y-d}{w} P e^{-Py} dy. \quad (15)$$

On pose :

$$I_1 = \int_0^d \frac{d-y}{w} P e^{-Py} dy, \quad (A1.1)$$

et :

$$I_2 = \int_d^{+\infty} \frac{y-d}{w} P e^{-Py} dy = \int_{+\infty}^d \frac{d-y}{w} P e^{-Py} dy. \quad (A1.2)$$

Il s'agit d'intégrer la même expression :

$$I(a, b) = \int_a^b \frac{d-y}{w} P e^{-Py} dy, \quad (A1.3)$$

soit

$$I(a, b) = -\frac{d}{w} \int_a^b e^{-Py} dy + \frac{1}{w} \int_a^b P y e^{-Py} dy, \quad (A1.3a)$$

qui donne, en intégrant par parties :

$$I(a, b) = -\frac{d}{w} \left[e^{-Py} \right]_a^b + \frac{1}{w} \left[y e^{-Py} \right]_a^b + \frac{1}{wP} \left[e^{-Py} \right]_a^b. \quad (A1.3b)$$

D'où, on a pour I_1 :

$$I_1 = I(0, d) = -\frac{d}{w} \left[e^{-Py} \right]_0^d + \frac{1}{w} \left[y e^{-Py} \right]_0^d + \frac{1}{wP} \left[e^{-Py} \right]_0^d, \quad (A1.1a)$$

$$I_1 = I(0, d) = -\frac{d}{w} (e^{-Pd} - 1) + \frac{1}{w} (d e^{-Pd}) + \frac{1}{wP} (e^{-Pd} - 1), \quad (A1.1b)$$

et au final :

$$I_1 = I(0, d) = \frac{d}{w} + \frac{1}{wP} (e^{-Pd} - 1). \quad (A1.1c)$$

En outre, on a pour I_2 :

$$I_2 = I(\infty, d) = -\frac{d}{w} e^{-Pd} + \frac{1}{w} (d e^{-Pd}) + \frac{1}{wP} e^{-Pd}, \quad (A1.2a)$$

soit, au final :

$$I_2 = I(\infty, d) = \frac{1}{wP} e^{-Pd}. \quad (A1.2b)$$

Donc, en voiture particulière, *le temps de marche à pied espéré*, aller et retour s'écrit :

$$\begin{aligned} W(P, d) &= 2 I_1 + 2 I_2 \\ &= \frac{2}{w} \left(\frac{2 e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

Annexe 2 – Calcul du temps généralisé de déplacement

Le temps généralisé de déplacement s'écrit de la manière suivante :

$$L(\bar{x}, \bar{x}, P, d) = \frac{1}{\bar{x}} \left[\int_0^{\bar{x}} T_1(x) dx + \int_{\bar{x}}^P T_2(x, P, d) dx \right] + l - \frac{\pi w}{\mu \bar{x}}, \quad (18)$$

où :

$$\int_0^{\bar{x}} T_1(x) dx = \frac{\bar{x}^2}{w}, \quad (A2.1)$$

est le temps espéré de déplacement si la marche à pied est choisie comme mode de déplacement, et :

$$\int_{\bar{x}}^P T_2(x, P, d) dx = \int_{\bar{x}}^P R(x, P, d) + W(P, d) dx, \quad (A2.2)$$

c'est-à-dire, en remplaçant par les expressions de $R(x, P, d)$ et de $W(P, d)$:

$$\int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx = \int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} \left(\frac{2(x-d)}{v} + \frac{2}{vP} + \frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) \right) dx, \quad (A.2.2a)$$

soit :

$$\int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx = (\bar{x} - \tilde{x}) \left[\frac{x - \bar{x} - 2d}{v} + \frac{2d}{w} + \frac{2}{vP} + \frac{4e^{-Pd}}{wP} - \frac{2}{wP} \right] dx, \quad (A.2.2b)$$

qui est le temps espéré de déplacement si la voiture particulière est choisie comme mode de déplacement, d'où :

$$E(\tilde{x}, \bar{x}, P, d) = \frac{1}{\bar{x}} \left[\frac{\tilde{x}^2}{w} + (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{\bar{x} - \tilde{x} - 2d}{v} + \frac{2d}{w} - \frac{2}{vP} + \frac{4e^{-Pd}}{wP} - \frac{2}{wP} \right) \right] + l + \frac{\pi\tau}{\mu\bar{x}}, \quad (A.18')$$

soit, en simplifiant :

$$E(\tilde{x}, \bar{x}, P, d) = \frac{1}{\bar{x}} \left[\frac{\tilde{x}^2}{w} + (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) + \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{v} + \frac{2}{vP} \right) \right] + l + \frac{\pi\tau}{\mu\bar{x}}. \quad (A.18'')$$

Annexe 3 – Calcul du système d'équilibre sans tarification

L'équation (22) est obtenue à partir de (21a) et (21b), c'est-à-dire :

$$(T_1(\bar{x}) - T_2(\bar{x}, P, d)) - \int_0^{\bar{x}} T_1(x) dx + \int_P^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx - \frac{x^*}{\mu} + \bar{x} T_3(\bar{x}, P, d) = 0, \quad (A3.1)$$

avec :

$$T_1(\bar{x}) = \frac{2\bar{x}}{W}. \quad (A3.2)$$

En outre, on sait que :

$$T_2(\bar{x}, P, d) = R(x, P, d) + W(P, d), \quad (16)$$

or, sachant que, d'après (21a'), en substituant P par θ/\bar{x} dans (15), on a :

$$W(P, d) = \frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) = \frac{2}{P} \left(\frac{\theta}{w} - \frac{1}{v} \right) = \frac{2\tilde{x}}{w} - \frac{2}{vP}, \quad (15')$$

et, en vertu du fait qu'à l'équilibre sans tarification :

$$R(x, P, d) = \frac{2}{vP}, \quad (14')$$

on peut écrire alors :

$$T_2(\tilde{x}, P, d) = \frac{2\tilde{x}}{w}. \quad (A3.3)$$

De plus, d'après (18''), on sait que :

$$\left[\int_0^{\bar{x}} T_1(x) dx + \int_{\bar{x}}^{\tilde{x}} T_2(x, P, d) dx \right] - \frac{\tilde{x}^2}{w} - (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) - \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{v} + \frac{2}{vP} \right) \quad (A3.4)$$

Or, en se référant à (15'), on peut écrire :

$$\left[\int_0^{\bar{x}} T_1(x) dx + \int_{\bar{x}}^{\tilde{x}} T_2(x, P, d) dx \right] = \frac{\tilde{x}^2}{w} + (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{2\tilde{x}}{w} + \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{v} \right). \quad (A3.4a)$$

Alors :

$$\left[\int_0^{\bar{x}} \pi_1(x) dx + \int_{\bar{x}}^{\tilde{x}} \pi_2(x, P, d) dx \right] + \frac{\pi}{\mu} - \frac{\tilde{x}^2}{w} + (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{2\tilde{x}}{w} + \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{v} \right) + \frac{\pi}{\mu}. \quad (A3.4b)$$

Enfin :

$$\bar{x} T_2(\bar{x}, P, d) = \bar{x} \left[\frac{2(\bar{x} - \tilde{x})}{v} + \frac{2}{vP} + \frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) \right], \quad (A3.5)$$

soit, d'après (21a'), en substituant P par θ/\bar{x} dans (15), on a :

$$\bar{x} T_2(\bar{x}, P, d) = \bar{x} \left(\frac{2\bar{x}}{v} - \frac{2\tilde{x}}{v} + \frac{2\tilde{x}}{w} \right). \quad (A3.5')$$

D'où, en remplaçant (A3.2), (A3.3), (A3.4b) et (A3.5') dans (A3.1), on obtient :

$$H(\tilde{x}, \bar{x}) \equiv \frac{\bar{x}^2}{\nu} + \tilde{x}^2 \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{\nu} \right) - \frac{\pi r}{\mu} = 0. \quad (22)$$

L'équation (23) est obtenue en substituant (21a'), (21c'), (18) et (15) dans (19) c'est-à-dire :

$$D - P = \frac{\Gamma \left[\left[\frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) \right] + l \right] (\bar{x} - \tilde{x})}{\left[\int_0^{\tilde{x}} T_1(x) dx + \int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx \right] + l\bar{x} + \frac{\pi r}{\mu}}, \quad (A3.6)$$

soit :

$$D - P = \frac{\Gamma \left[\left[\frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) \right] + l \right] (\bar{x} - \tilde{x})}{\frac{\tilde{x}^2}{w} + (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{2}{w} \left(\frac{2e^{-Pd}}{P} + d - \frac{1}{P} \right) + \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\nu} + \frac{2}{\nu P} \right) + l\bar{x} + \frac{\pi r}{\mu}} \quad (A3.6a)$$

En vertu de (15'), on peut écrire :

$$D - \frac{\theta}{\tilde{x}} = \frac{\Gamma \left[\left(\frac{2\tilde{x}}{w} - \frac{2}{\nu P} \right) + l \right] (\bar{x} - \tilde{x})}{\frac{\tilde{x}^2}{w} + (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{2\tilde{x}}{w} + \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\nu} \right) + l\bar{x} + \frac{\pi r}{\mu}}. \quad (A3.6b)$$

En remplaçant $\pi r/\mu$ par sa valeur issue de (22), on peut écrire :

$$D - \frac{\theta}{\tilde{x}} = \frac{\Gamma \left[\left(\frac{2\tilde{x}}{w} - \frac{2}{\nu P} \right) + l \right] (\bar{x} - \tilde{x})}{\frac{\tilde{x}^2}{w} + (\bar{x} - \tilde{x}) \left(\frac{2\tilde{x}}{w} + \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\nu} \right) + l\bar{x} + \frac{\bar{x}^2}{\nu} + \tilde{x}^2 \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{\nu} \right)}, \quad (A3.6c)$$

ce qui donne :

$$D - \frac{\theta}{\tilde{x}} = \frac{\Gamma \left[\left(\frac{2\tilde{x}}{w} - \frac{2}{v\rho} \right) + l \right] (\bar{x} - \tilde{x})}{\bar{x} \left[2 \left(\frac{\bar{x}}{v} + \tilde{x} \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v} \right) \right) + l \right]}, \quad (\text{A3.6d})$$

soit au final :

$$\left(D - \frac{\theta}{\tilde{x}} \right) \bar{x} \left[2 \left(\frac{\bar{x}}{v} + \tilde{x} \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v} \right) \right) + l \right] - 1 \cdot \left[\left(\frac{2\tilde{x}}{w} - \frac{2}{v\rho} \right) + l \right] (\bar{x} - \tilde{x}) = 0, \quad (\text{A3.6e})$$

qui est une simplification de (23).

Annexe 4 – Dérivées partielles

·011Pour les conditions de premier ordre (21c), (25c) et (28c) :

$$\frac{\partial T_2}{\partial d} = -\frac{4e^{-Pd}}{w} + 2\left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v}\right). \quad (\text{A4.1})$$

·011Pour les conditions de premier ordre, (25c) et (28c) :

$$\frac{\partial W}{\partial d} = \frac{2}{w} \left(-2e^{-Pd} + 1\right). \quad (\text{A4.2})$$

·011Pour les conditions de premier ordre, (25d) et (26b) :

$$\frac{\partial T_2}{\partial P} = -\frac{4e^{-Pd}}{w} \left(\frac{d}{P} + \frac{1}{P^2}\right) + \frac{2}{P^2} \left(\frac{1}{w} - \frac{1}{v}\right), \quad (\text{A4.3})$$

et

$$\frac{\partial W}{\partial P} = \frac{2}{w} \left(\frac{-2de^{-Pd}}{P} - \frac{2e^{-Pd}}{P^2} + \frac{1}{P^2}\right). \quad (\text{A4.4})$$

011 Pour l'équation (38) :

$$\frac{\partial EU_A}{\partial \beta} = -\beta \left(\frac{\bar{x}_A - \tilde{x}_A}{\pi_A} \right) \left(\frac{\pi(W(\beta, \alpha)) \left(\frac{\bar{x}_A - \tilde{x}_A}{\pi_A} \right)}{D - \beta} \right) - \left(\beta - \beta \left(\frac{\bar{x}_A - \tilde{x}_A}{\pi_A} \right) (W(\beta, \alpha)) \right) \frac{\left(\frac{\bar{x}_A - \tilde{x}_A}{\pi_A} \right)}{D - \beta}$$

$$\left(\frac{-\pi'(W(\beta, \alpha)) \left(\frac{\bar{x}_A - \tilde{x}_A}{\pi_A} \right)^2}{L' - \beta'} \right)$$

□ □ □

Annexe 5 – Calcul du tarif optimal et de l’amende d’équilibre

Le montant du stationnement vient de la comparaison des deux systèmes (25a)-(25c) et (28a)-(28c), ce qui donne :

$$\begin{aligned} & (1 - \lambda) (T_1(\tilde{x}) - T_2(\tilde{x}, P, d)) - \lambda \frac{\Gamma(W(P, d))}{D - P} \\ & = p(W(P, d) + l) - V(T_1(\tilde{x}) - T_2(\tilde{x}, P, d)), \end{aligned} \quad (\text{A5.1})$$

ce qui donne :

$$\frac{p}{V} = \frac{\lambda}{1 - \lambda} \frac{\Gamma}{D - P}, \quad (\text{A5.2})$$

soit, avec :

$$\frac{\lambda}{1 - \lambda} \frac{\Gamma}{D - P} = E, \quad (\text{A5.3})$$

soit, à l'optimum :

$$P^* = V^* E^*. \quad (29)$$

Le montant de l'amende d'équilibre vient de la comparaison des deux systèmes (25a)-(25c) et (33a)-(33c), ce qui donne :

$$\begin{aligned} & (1 - \lambda)(T_1(\tilde{x}) - T_1(\tilde{x}, P, d)) - \lambda \frac{\Gamma(W(\lambda, d))}{D - P} \\ &= \frac{1}{L_d} \left[q \left(F - \frac{X_d}{L_d} (T_1(\tilde{x}_d) - T_2(\tilde{x}_d, P_d, d_d)) \right) + (1 - q) \left(\frac{-\beta}{L_d} (T_1(\tilde{x}_d) - T_2(\tilde{x}_d, P_d, d_d)) \right) \right] \end{aligned} \quad (A5.4)$$

avec $\Delta \equiv L \tilde{x}_d$ et $X_d = \beta - F((\tilde{x}_d - \tilde{x}_d)/\tilde{x}_d)$.

En utilisant (A5.3), l'équation (A5.4) devient :

$$E(W + l) = \frac{qF}{F \left(\frac{(\bar{x} - \tilde{x})}{\bar{x}} \right) - q \frac{F}{L} + \frac{\beta}{L}}, \quad (A5.5)$$

ce qui permet d'obtenir :

$$F^e = \frac{\beta E^*(W^*(P^*, d^*) + l)}{q \left[L^* + E^* \left(\frac{(\bar{x}^* - \tilde{x}^*)}{\bar{x}^*} \right) (W^*(P^*, d^*) + l) \right]}. \quad (44)$$

Annexe 6 – Simulation de l'optimum social effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

I	J	D	μ	$W(\text{m}^2)$	$V(\text{m}^3)$	σ	$(\sigma^2)/4$
1,88E+00	2,00E+00	2,00	3,59E+01	3	12	1,95E+03	1,78E+03
I^2	J^2	D^2				$\sigma^2/4$	
1	4	4				1,44E+03	
P	$X(\text{m}^2)$	$X(\text{m}^2)$	$\sigma(\text{m}^2)$				
18,720	3,36	1,11E+00	1,11E+00				
$LQ_0(d,P)$							
1,11E+00							
$F(Q,d)$		Coefficients de régression					
-0,7887		I	J	K			
		3,71E+17	1,11E+01	7,73E+10			
I (Pr à l'obs)	I (Pr à l'obs d,P)	I (Pr à l'obs d,P)					
1,11E+00	1,11E+00	1,11E+00					
$TQ_0(\text{km}^2,d,P)$	$RQ_0(\text{km}^2,d,P)$		S^2	SRS			
0,71E+00	0,71E+00		1,43E+05	0,166E+07			
$WQ_0(d,r)$	δw_0r	δw_0d					
0,002501	-0,54E-06	0,15E+03					
F	$F(V^2)$	β					
1,17E+00	1,11E+00	18,8819					
β^2	r^2						
1,42	0,012						
10,87	0,052						

Toutes les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel Excel 97 SR-2.

Annexe 7 – Simulation équilibre 1 sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 8 – Simulation équilibre 1 avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 9 – Simulation équilibre 1 avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 10 – Simulation équilibre 2 sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

r	r^*	D	μ	W	V	σ	$(\sigma^*)^2$
0,000095	2500,00€	200	0,09317	1	12	0,30000	0,79000
$f_1(u)$	$\beta_1(u)$	$\beta_2(u)$					
C	0	C					
P	α (taux de fraude)	α (taux de fraude)	α (taux de fraude)				
1,1€	0,3764	0,0033	0,0033				
$I(\alpha, u, P)$ %	that's:						
0,55954							
<i>Coût moyen de fraude</i>							
$M(\alpha, u)$				$C(\alpha, u)$			
-1,112-13				C			
$T1(\alpha, u, d, P)$				$T2(\alpha, u, d, P)$	$R(\alpha, u, d, P)$		
0,0571				0,0571	0,01495		
$T2(\alpha, u, m, d, P)$				$R(\alpha, u, m, d, P)$			
1,9557				1,9557			
$VMF(u)$ %							
0,04250							
β_2							
10,00040							
Taux de stationnement							
0,04250							
$(\Delta u)_{\alpha}^*$ (taux de fraude)	α (taux de fraude)						
1€	€						
1,05	€						

Annexe 11 – Simulation équilibre 2 avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

λ	Γ	θ	μ	η	ν	σ	(σ/μ)
0,980366	2583,3	200	0,896171	3	12	0,89023	0,79023
λ/μ	Γ/θ <td>θ/μ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	θ/μ					
0	10	1,75					
λ	λ/θ (preval)	λ/μ (preval)	λ/μ (total)				
11,81467	8,07573	0,098219	0,081411				
λ/θ (total)	λ/μ (total)						
17,87706	0,65908						
λ/θ (d)	λ/μ (d)	Densité de probabilité					
1,11E-13	5,27E-17	λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ
		1,04E-15		3,19E-15			
λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)
0,06254	1,05824	0,01673					
λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)	λ/μ (total)
0,95828	1,9138	4,01271					
λ/μ (d)	λ/μ (d)						
1,1437167	2,4021	1,15438					
λ/μ	λ/μ						
17,783							
Tranche stationnement							
1,1437167							
λ/μ (stationnement)	λ/μ (stationnement)	λ/μ (stationnement)	λ/μ (stationnement)	λ/μ (stationnement)	λ/μ (stationnement)	λ/μ (stationnement)	λ/μ (stationnement)
17,867	4,1198	0,0107					
131,26							
λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ	λ/μ
0,0745	31,89	0,001					0,1233

Annexe 12 – Simulation équilibre 2 avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 13 – Simulation équilibre 3 sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 14 – Simulation équilibre 3 avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

μ	σ	ρ	μ	σ	ρ	μ	σ
0,880865	2538,8	200	8,88317	8	12	0,880865	0,79068
λ	β	γ					
0	10	1,5					
P	α (sans unité)	α (sans unité)	β (sans unité)				
0,46	1,387	1,407	1,388				
M (sans unité)	L (sans unité)						
5,0005	1,0000						
H (sans unité)	T		N		O		
8,00040	8,00040		1,20040		1,20040		
M (sans unité)	M (sans unité)		M (sans unité)				
0,8004	0,8000		0,2000				
T (sans unité)	R (sans unité)		C				
0,0007	0,0007		0,0007				
M (sans unité)	M (sans unité)						
0,0005	0,0005						
β							
0,880865							
T (sans unité)							
0,0007							
L (sans unité)	M (sans unité)		M (sans unité)		M (sans unité)		
8,78	1552		0,0051				
73,13							
800,03							
-0,7786							

Annexe 15 – Simulation équilibre 3 avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 16 – Simulations des équilibres lorsque le tarif varie à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 17 – Simulations des équilibres lorsque l’amende varie à partir du modèle de base ($I=0$) (valeurs contexte nord-américain)

Tableau 1													
Code	Code	Stat. max. 2017 (euros)	Stat. max. 2018 (euros)	2017	2018	diff. 2018	2017	2018	diff. 2018	2017	2018	diff. 2018	2017
0012	0022	40000	0,100	19,476	16,711	00000000	0,515	1,0010	0,02152	0,00139	0,1104	0,161	0,161
02	0021	30012	0,252	18,920	19,2152	Non fraude	0,5161	1,00529	0,026	0,00812	0,1025	0,1025	0,1025
2	E	10110	0,110	18,275	16,7514	Non fraude	0,5163	1,00523	0,026	0,00812	0,1025	0,1025	0,1025
L	T	1,425	0,214	17,443	19,7714	Non fraude	0,5177	1,00529	0,026	0,00812	0,1025	0,1025	0,1025
6	K	12290	0,025	16,020	13,2240	Non fraude	0,5201	1,00521	0,0250	0,00800	0,1025	0,1025	0,1025
8	E	13266	0,525	11,022	112,3726	Non fraude	0,5215	1,00519	0,02506	0,00806	0,1025	0,1025	0,1025
10	K	1,411	0,200	13,922	10,4937	Non fraude	0,5315	1,00519	0,02500	0,00800	0,1025	0,1025	0,1025
12	I	16666	0,366	13,081	0,2067	Non fraude	0,5325	1,00516	0,02511	0,00820	0,1025	0,1025	0,1025
14	06	16094	1,112	12,210	0,6290	Non fraude	0,5304	1,00513	0,0256	0,00825	0,1025	0,1025	0,1025
15,25	L, 25	10000	1,000	11,250	0,1159	Non fraude	0,5390	1,00509	0,02515	0,00820	0,1025	0,1025	0,1025
16	16	10002	1,016	10,000	0,0002	Non fraude	0,5328	1,00508	0,02510	0,00819	0,1025	0,1025	0,1025
22	22	1,111	1,000	10,000	1,1111	Non fraude	0,5338	1,00502	0,02509	0,00819	0,1025	0,1025	0,1025
22	16	1,000	2,000	0,000	1,0000	Non fraude	0,5337	1,00497	0,02508	0,00819	0,1025	0,1025	0,1025
24	24	1,000	1,000	0,000	1,0000	Non fraude	0,5395	1,00493	0,02503	0,00819	0,1025	0,1025	0,1025
24,5	24,5	1,575	1,000	0,115	1,0000	Non fraude	0,5379	1,00491	0,02501	0,00819	0,1025	0,1025	0,1025
24,5	100,00	1,024	2,024	0,110	1,0000	Non fraude	1,0002	1,00491	0,0250	0,00819	0,1025	0,1025	0,1025

Tableau 2													
Code	Code	Stat. max. 2017 (euros)	Stat. max. 2018 (euros)	2017	2018	diff. 2018	2017	2018	diff. 2018	2017	2018	diff. 2018	2017
0,10	0,10	10000	0,100	1,000	0,1000	00000000	0,5005	1,00005	0,00001	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
0,2	0,01	1,000	0,224	1,000	129,2400	Non fraude	0,5000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
2	E	1,000	0,200	1,0000	100,0011	Non fraude	0,5007	1,00021	0,00006	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
L	I	12,00	0,300	10,000	10,0000	Non fraude	0,5000	1,00017	0,0000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
6	K	10001	0,540	11,000	11,4150	Non fraude	0,5000	1,00004	0,0000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
8	E	1,000	0,200	10,000	10,2400	Non fraude	0,5000	1,00020	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
10	10	1,000	0,000	10,000	0,0000	Non fraude	0,5001	1,11111	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
12	L	1,000	1,000	10,000	0,0000	Non fraude	0,5000	1,00000	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
14	06	1,000	1,000	11,000	0,0000	Non fraude	0,5000	1,10000	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
16	16	1,000	1,000	10,000	1,0000	Non fraude	0,5000	1,00000	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
15,25	L, 25	1,000	0,000	10,000	1,0000	Non fraude	0,5000	1,00000	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000

Tableau 3													
Code	Code	Stat. max. 2017 (euros)	Stat. max. 2018 (euros)	2017	2018	diff. 2018	2017	2018	diff. 2018	2017	2018	diff. 2018	2017
0	0	1,000	2,000	0,100	1,100	Non fraude	1,0000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
0,2	0,01	1,000	2,000	0,100	1,100	Non fraude	1,0000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
2,6	0,5	1,000	2,000	0,100	1,100	Non fraude	1,0000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
3,0	0,05	1,000	2,000	0,100	1,100	Non fraude	1,0000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
L	T	1,000	2,000	0,100	1,100	Non fraude	1,0000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
6	E	1,000	2,000	0,100	1,100	Non fraude	1,0000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
8	I	1,000	2,000	0,100	1,100	France	0,9000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
10	K	1,000	2,000	0,100	1,100	France	0,9000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
12	I	1,000	2,000	0,100	1,100	France	0,9000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
14	06	1,000	2,000	0,100	1,100	France	0,9000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
16	10	1,000	2,000	0,100	1,100	France	0,9000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000
15,25	L, 25	1,000	2,000	0,100	1,100	France	0,9000	1,00010	0,00000	0,10000	0,10000	0,10000	0,10000

Annexe 18 – Simulation de l'optimum social effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain)

r	r	D	r	N (mois)	K (mois)	α	(σ, τ)
1,9508%	0,000000	0,00	0,0000%	3	12	1,9508%	1,9508%
f (%)	β (%)	q					(σ, τ) (%)
0,00%	0%	0,0					1,9508%
P	X (barre (mois))	X (barre (mois))	d (mois)				
0,00%	1,0000	1,0000	1,0000				
L (KdP)	Annuite						
1,7740							
H (KdP)			Quantite payee				
-1,1900	J	J	J	K			
	-3,77E-10	1,11E-10	2,22E-10				
F (KdP)	F (KdP)	M (KdP)					
0,925	0,2952	0,2701					
F (KdP)	F (KdP)	ST35P	NP3				
0,390	0,320	-1,11E-06	-0,1000%				
V (KdP)	V (KdP)	V (KdP)					
0,000000	-0,000000	0,04015					
E	E (KdP)	R					
0,000000	0,000000	0,000000					
ρ	ρ						
1,9508%	1,9508%						
1,9508%	1,9508%						

Annexe 19 – Simulation équilibre sans tarification effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain)

r	r	D	μ	w	v	w	$(w/v)\mu$
1,180205	2533,206	100	3,81517	3	10	1,180205	1,71063
r^2	$\beta \cdot \beta$	$\rho \cdot \beta^2$					
0,25	1L	L					
P	$\alpha \text{ (sans initial)}$	$\alpha \text{ (avec initial)}$	$d \text{ (sans)}$				
0,66	1,3344	1,7962	1,1632				
$f \text{ (d, d, P) (s)}$							
1,2758							
$H \text{ (d, d)}$	Coefficient de qualité		$G \text{ (d, d)}$				
L			L^2/L^2				
$T1 \text{ (d, d)}$			$T2 \text{ (d, d, d, P)}$		$R \text{ (d, d, d, P)}$		
0,3975			0,3975		0,2542		
$T2 \text{ (sans d, P)}$			$R \text{ (sans d, P)}$				
1,2758			1,2733				
$V(P, d) \text{ (s)}$							
1,1412							
$\beta \cdot L$							
7,81							
Ips de stationnement							
1,1132							
Unité (taux de fraude)							
1,14							
59,8							

Annexe 20 – Simulation équilibre avec tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 21 – Simulation équilibre avec amende d'équilibre et tarif optimal effectuée à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain)

Annexe 22 – Simulations des équilibres lorsque le tarif varie à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain)

La fraude au stationnement

J.B.	M.00	Chiffres de l'Etat		Chiffres de l'Etat		L	L	L	L	L	L	L
		Chiffres de l'Etat	Chiffres de l'Etat	Chiffres de l'Etat	Chiffres de l'Etat							
1	0	1,4500	1 4075	7,840	38,500	1,3750	1,4000	7 4811	0,4075	1 7433	44,5140	
2	5	1,4536	1 3875	7,841	38,530	1,3707	1,4112	7 0613	0,3875	1 6270	3 13717	
3,5	27,35	1,4540	1 3714	7,848	38,500	1,3514	0,7840	1 9233	1,3027	1 4817	35,2405	
4	7,5	1,4430	1 3575	7,840	38,500	1,3514	0,7840	1 9233	1,3027	1 4817	35,2405	
7	22,6	1,4522	1 3575	7,850	38,516	1,3805	0,7600	1 3013	0,7407	1 2632	16,1140	
8,5	03,75	1,4427	1 3217	7,850	38,538	1,1722	0,3000	1 8432	0,2945	1 2124	12,0320	
9	7,5	1,4431	1 3117	7,851	38,534	1,1667	0,2867	1 4013	0,2767	1 1716	10,7161	
10	00	1,4306	1 2825	7,850	38,500	1,1851	0,2176	1 0871	0,2000	1 1270	7,2180	
11,5	1,12,5	1,4311	1 2717	7,851	38,537	1,1701	0,1837	1 0413	0,1737	1 0413	5,1114	
12	17,5	1,4472	1 2575	7,854	38,516	1,1016	0,1723	8117	0,1616	1 0713	4,1147	
13	12,5	1,4367	1 2477	7,850	38,530	1,0772	0,1037	1 6136	0,1000	1 0613	3,7186	
14	11,5	1,4110	1 2317	7,851	38,510	1,1016	0,1017	4017	0,1017	1 0413	2,1157	
15	10,5	1,4380	1 2233	7,856	38,504	1,0825	0,0610	1 3013	0,0600	1 0313	2,2100	
16	12,6	1,4366	1 2212	7,857	38,503	1,0780	0,0511	1 2213	0,0700	1 0216	1,2188	
18,5	14,5	1,4110	1 2117	7,856	38,536	1,1117	0,1336	1113	0,1336	1 0113	1,1186	
20	16,5	1,4204	1 2075	7,851	38,570	1,0782	0,0286	1 1113	0,0161	1 0113	1,1100	
20,5	15,75	1,4300	1 2042	7,859	38,540	1,0825	0,0237	1 1113	0,0237	1 0113	0,2120	
21	27,6	1,4168	1 2033	7,851	38,530	1,0117	0,0166	1 0816	0,0262	1 0113	0,2120	
21,6	21,25	1,4208	1 2027	7,850	38,508	1,0657	0,0122	1 0610	0,0102	1 0071	0,1141	
23	10,5	1,4411	1 1914	7,850	38,595	1,1274	0,0090	1 0411	0,0142	1 0013	0,3197	
22,4	16,5	1,4206	1 2023	7,856	38,512	1,0657	0,0072	1 0310	0,0111	1 0011	0,2188	
22,7	17,25	1,4700	1 1753	7,847	38,530	1,1714	0,0002	1 0219	0,0094	1 0013	0,3199	
24	17,25	1,4429	1 1613	7,841	38,510	1,1954	0,0167	1 0217	0,0100	1 0013	0,1157	
28,0	24,75	1,6100	1 1213	7,836	38,573	1,2227	0,0107	1 0211	0,0072	1 0010	0,1214	
28,5	17,25	1,5310	1 1113	7,834	38,577	1,2417	0,0040	1 0219	0,0004	1 0010	0,1178	
30,2,5	17,12,5	1,5157	1 1013	7,831	38,540	1,2811	0,1100	1 0113	0,1100	1 0113	0,1180	

Annexe 23 – Simulations des équilibres lorsque l’amende varie à partir du modèle de base ($I=0,25$) (valeurs contexte nord-américain)

S(2)	F(5)	Détail des AP (mises)	Détail des AP (2017)	S(2)	S(5)	DEB 2018	L	AP(2018)	ajout	ajout	AP(2018)	AP(2017)
0	0	1 407 00	1 407 00	7 340	53 800	Annulation	1 279	1 407 00	7 461 08	7 407 00	1 745 03	44 974 03
5	15	1 236 88	1 401 36	7 341	53 803	Nu. Inval.	1 236 88	1 336 81	6 688 69	5 155 10	3 365	33 91 636
1	30,0	1 200 12	2 090 00	7 341	50 050	Rec. Inval.	1 200 12	1 100 00	1 07 00	1 174 00	324 70	32 00 409
7	50,5	1 478 67	1 371 04	7 343	53 844	Annulation	1 287	1 458 00	4 7 20	1 6 38	1 458 00	28 112 3
10	70	1 400 17	2 058 42	7 341	50 050	Rec. Inval.	1 210 07	3 21 89	1 00 84	1 129 11	304 1	20 52 44
15	90	1 453 67	1 330 87	7 343	53 034	Annulation	1 100 04	1 53 76	1 68 60	1 86 64	1 25 13	15 07 6
16	112,5	1 219 1	1 288 16	7 368	59 077	Nu. Inval.	1 100 8	1 23 81	1 4 170	1 45 37	1 10 35	6 4 800
17	120	1 05 00	1 241 11	7 341	50 050	Rec. Inval.	1 05 00	1 10 12	1 07 00	1 04 00	1 00 00	1 00 00
17,5	131,25	1 387 67	1 233 01	7 368	59 072	Nu. Inval.	1 07 13	1 05 8	1 08 57	1 05 77	1 03 88	1 77 36
17,8	132,00	1 00 80	1 200 1	7 343	50 040	Rec. Inval.	1 00 80	1 00 00	1 01 00	1 00 00	1 00 00	1 42 00
18	135	1 300 00	1 045 31	7 341	50 040	Annulation	1 30 00	1 10 76	1 4 38	1 04 30	1 01 00	1 87 30
18,5	138,75	1 268 88	1 281 31	7 374	59 068	Nu. Inval.	1 10 75	1 11 89	1 07 43	1 02 37	1 07 40	1 4 388
19	140,5	1 400 00	1 380 8	7 340	53 0 16	Annulation	1 10 00	1 10 00	1 04 47	1 0 47	1 10 00	1 37 01
19,5	146,25	1 400 08	1 41 247	7 341	53 0 36	Nu. Inval.	1 10 08	1 10 67	1 03 84	1 0 57	1 10 38	1 0 575
20	150	1 00 00	2 47 47	7 341	50 044	Rec. Inval.	1 00 00	1 00 00	1 00 00	1 00 00	1 00 00	1 49 00
20,3	150,10	1 53 64	1 475 4	7 364	53 0 7	Annulation	1 27 10	1 10 00	1 03 61	1 00 60	1 10 44	1 46 5

Annexe 24 – Simulation de l'optimum social du scénario 1a (valeurs contexte français)

μ	σ	D	μ	station.	station.	σ	μ
1,687042	0,07833	125	9,4	5	13,4	1,3017	5888
$h(x)$	$\beta \cdot \sigma$	q				$\beta \cdot \sigma$	
15	10882	0,03				0,0727	
P	x (euros/feut)	x (h/feut)	d (feut)				
8,38	2,032	2,7106	0,1180				
$L(x,DP)$							
$2,7111$							
T	T	R					
0,000430	0,00100	0,00100					
$T1(x,DP)$	$T2(x,DP)$	$T3(x,DP)$					
1,1181	11,436	11,416					
$T2(x,DP)$	$R(x,DP)$		$0,1180$	$5,451$			
0,1702	0,130		$-0,0045$	$-3,450$			
$W(x,DP)$	$W(x,DP)$	$W(x,DP)$				Tps stationnement (h)	
10,184	1,1141	10,1				1,634	
r	$r(x,DP)$	$\beta \cdot \sigma$					
0,421	0,647	0,0727					
$\beta \cdot \sigma$	$\beta \cdot \sigma$						
16,71	0,0727						

Annexe 25 – Simulation équilibre sans tarification du scénario 1a (valeurs contexte français)

Annexe 26 – Simulation équilibre avec tarif optimal du scénario 1a (valeurs contexte français)

Annexe 27 – Simulation équilibre avec tarif optimal et amende d'équilibre du scénario 1a (valeurs contexte français)

Annexe 28 – Simulations des équilibres lorsque l’amende varie pour le scénario 1a (valeurs contexte français)

i (P)	i	L _{max} (max P _{max})		L ₀ (P)	L : L ₀	i (M)	i (P _{max})	i (M)	L _{max} (P)
		Max	Min						
0	0,42	2,730	39,68181	Non Fraude	0,6133	0,7822	0,7414	0,2411	
50	0,45	2,731	39,68114	Non Fraude	0,6142	0,7874	0,7007	0,3002	
100	0,40	2,730	39,68200	Non Fraude	0,6120	0,7820	0,8250	0,1030	
150	0,5	2,728	39,68264	Non Fraude	0,6038	0,8735	0,8777	0,1177	
200	0,55	2,738	39,68107	Non Fraude	0,6074	0,9145	0,5768	0,3755	
250	0,59	2,740	39,68120	Non Fraude	0,6050	0,9120	0,5052	0,4052	
300	0,64	2,728	39,68581	Non Fraude	0,6025	1,0207	0,4940	1,0810	
350	0,70	2,734	39,68888	Non Fraude	0,6078	1,0888	0,4677	1,0927	
400	0,77	2,722	39,68490	Non Fraude	0,6071	1,0101	0,4714	1,0114	
450	0,85	2,701	39,68484	Non Fraude	0,6043	1,0880	0,3701	1,0701	
500	0,90	2,715	39,68491	Non Fraude	0,6010	1,0110	0,3200	1,0200	
550	1,0	2,717	39,68588	Non Fraude	0,6032	1,0533	0,2874	1,0874	
600	1,08	2,718	39,68878	Non Fraude	0,6050	0,9050	0,2481	1,0451	
650	1,24	2,714	39,68620	Non Fraude	0,6017	0,9140	0,2007	1,0007	
700	1,30	2,713	39,68668	Non Fraude	0,6733	0,6021	0,1884	1,0637	
750	2,68	2,711	39,68700	Non Fraude	0,6748	0,4408	0,1221	1,0221	
757-83	2,72	2,711	39,68718	Indifférent	0,6743	0,4039	0,1188	1,0188	
800	3,80	2,710	39,68747	Fraude	0,6715	0,3070	0,0808	1,0808	
820	5,22	2,705	39,68740	Fraude	0,6700	0,2224	0,0000	1,0000	
853-89	8,4	2,711	39,68718	Indifférent	0,6690	0,1879	0,0374	1,0374	
900	18,01	2,717	39,68881	Non Fraude	0,6711	0,0837	0,0178	1,0178	
950	34,94	2,725	39,68200	Non Fraude	0,6774	0,0102	0,0050	1,0050	
100	47,84	2,738	39,68080	Non Fraude	0,6828	0,0143	0,0068	1,0068	
100	67,01	2,740	39,67912	Non Fraude	0,6800	0,0109	0,0041	1,0041	
100	77,48	2,758	39,67788	Non Fraude	0,6855	0,0150	0,0041	1,0041	
100	95,18	2,771	39,67641	Non Fraude	0,6833	0,0122	0,0038	1,0038	
100	110,25	2,732	39,67604	Non Fraude	0,6801	0,0100	0,0025	1,0025	
100	122,08	2,730	39,67688	Non Fraude	0,6157	0,0035	0,0028	1,0028	

Annexe 29 – Simulation de l'optimum social du scénario 1b (valeurs contexte français)

r	J^*	J_1	μ	$w(\mu, \sigma)$	$v(\mu, \sigma)$	σ	σ^2
1,607042	2370,23	1,26	0,4	5	104	1,3017	1,9900
J^{**}	μ^*	σ^*				$\beta < 0,05$	
0,9	746,00	0,07				0,05350	
P	$X(\text{base } \mu, \sigma)$	$X(\text{base } \mu^*, \sigma^*)$	$\sigma^2(\text{base})$				
7,02	2,0500	2,7293	0,1050				
$L(\mu, \sigma J)$							
4,5766							
I	J	IC					
$0,00E+00$	$1,00E+00$	$1,00E+00$					
$T1(\mu, \sigma J)$	$T2(\mu, \sigma J, P)$	$T3(\mu, \sigma J, P)$					
1,0510	0,4442	0,406					
$T4(\mu, \sigma J, P)$	$R1(\mu, \sigma J, P)$	$R^* \mu$	$R^* \sigma$				
0,46067	0,40040	-0,005	-0,1460				
$V(\mu, \sigma J)$	$C(\mu, \sigma J)$	$C^*(\mu, \sigma J)$	tps stationnement θ				
0,0002	-0,00087	0,1262	0,5002				
E	$E(\mu, \sigma J)$	μ^*					
0,100	0,3473	133,0904					
μ^*	σ^*						
0,9	1476,11						

Annexe 30 – Simulation équilibre sans tarification du scénario 1b (valeurs contexte français)

f	f	H	p	$M^*(\text{min})$	$M^*(\text{max})$	n	$\sum f \cdot j$
1,86732	2876,28	125	3,1	5	13,1	118017	1,558
f_1	f_2	p					
1,2	79,50	0					
P	$x_{\text{base}}(\%)$	$x_{\text{base}}(\text{€})$	$d(\%)$				
1,42	2,005	2,102	2,102				
L							
2,072							
$T_1(p, d)$		$G(p, d)$					
2,17516		2,06712					
$T_2(p, d, d')$		$T_2(p, d, d')$		$R_2(p, d, d')$			
1,0913		1,0913		0,382			
$T_3(p, \text{base}, d, d')$		$R_3(p, \text{base}, d, d')$					
1,113		0,373					
$M(p, d, d')$							
1,142							
$B \cdot L$							
161,3							
$T(\text{prostatimment}(t))$							
1,1405							
$T(\text{total}(\text{Quotient}(\text{base}(p))))$							
18,30							
$\text{GR} \cdot L_p$							
0,0165							

Annexe 31 – Simulation équilibre avec tarif optimal du scénario 1b (valeurs contexte français)

α	Γ	Ω	μ	$\nu(\text{Ann})$	$\nu(\text{m})$	σ	$\sigma(\text{m})$
189012	28732E	125	8,7000	5	131	1,1807	1,5888
β	β	β					
35	7-B83	263					
ρ	α base (m)	α table (m)	α (m)				
130	28833	2,088	0,138				
λ							
4049							
τ		η			θ		
100170		L			122,40		
γ		γ			γ		
10810		0,992			1,20		
δ		δ			δ		
14,02		0,814			0,26		
ϵ		ϵ			ϵ		
10882		0,138			0,138		
ζ							
18307							
η							
3572							
θ							
18180							
ι							
4049							
κ							
0,078							

Annexe 32 – Simulation équilibre avec tarif optimal et amende d'équilibre du scénario 1b (valeurs contexte français)

n	n'	U	μ	$w_k(n)$	$w_k(n')$	n	$w_k(n)$
68700	207336	125	5/1	0	13/1	1.15017	1.5088
$Z(n)$	$Z'(n')$	$w_k(n)$	$F^*(n)$	w			
3.5	219.72	30.51	1.000.51	0.02			
τ	$\tau_{\text{norme par}}$	$\tau_{\text{norme par}}$	$\tau_{\text{norme par}}$				
7.00	2.8082	3.7005	0.1160				
$L(n, P)$							
4.07030							
S		T		U			
1.03211		2.30211		0.20211			
$Z(n, \text{Acc})$		$Z'(n, \text{Acc}, P)$		$Z'(n, \text{Acc}, P)$			
1.0018		0.0442		0.4044			
$Z(n, \text{Acc}, P)$		$Z'(n, \text{Acc}, P)$		$Z'(n, \text{Acc}, P)$			
1.4916		1.44111		1.1111			
$L(P, n)$		$w_k(n)$					
0.0399		0.1422					
$\tau_{\text{ps stationnement}}$							
1.584							
τ		Gain net					
19.111		144.11					
ΔEUL		Gain net net					
1.849		100.10					
$\Delta EUL'$		$\Delta EUL - \tau$					
1.1111		1.1111					
$\mu_{\text{EUL}(n)} - \mu_{\text{EUL}(n')}$							
0							

Annexe 33 – Simulations des équilibres lorsque l’amende varie pour le scénario 1b (valeurs contexte français)

F(FF)	F	Dist. max. MAF (km)	E ₀ (FF)	Classification	L (m)	z (mm)	M(g)	pesée (g)
0	0,42	2,733	131,5706F	Non Fraude	4,5134	2 736F	0,7435	4 242F
10L	0,45	2,733	131,5708F	Non Fraude	4,5111	2 953F	0,6956	4 185L
20C	0,49	2,735	131,0011F	Non Fraude	4,5119	2 990F	0,6436	4 140F
30F	0,52	2,735	131,5714F	Non Fraude	4,5108	2 977F	0,6018	4 101F
40F	0,57	2,734	131,5717F	Non Fraude	4,5172	2 943F	0,5548	4 054F
50L	0,61	2,733	131,5719L	Non Fraude	4,5118	1 430L	0,6068	4 001L
60L	0,63	2,733	131,5723L	Non Fraude	4,5123	1 397L	0,4636	3 960L
70C	0,73	2,732	131,0026C	Non Fraude	4,5390	1 524C	0,4136	3 913C
80F	0,83	2,731	131,5730F	Non Fraude	4,5172	1 351F	0,3838	3 868F
90F	0,89	2,731	131,5733F	Non Fraude	4,5148	1 173F	0,3178	3 819F
100L	1,15	2,733	131,5736L	Non Fraude	4,5319	1 300L	0,2126	3 772L
1051,0	1,27	2,733	131,00304	Indifférent	4,5305	0 914C	0,2432	3 740C
110F	1,49	2,733	131,5739F	Fraude	4,5302	0 3314	0,2258	3 705F
120F	1,73	2,733	131,5743F	Fraude	4,5335	0 368F	0,1738	3 678F
130L	2,31	2,734	131,5746L	Fraude	4,5438	1 496L	0,1311	3 631L
140L	3,71	2,733	131,5746L	Fraude	4,5312	0 372L	0,0878	3 584L
1453,5	7,03	2,733	131,00304	Indifférent	4,5736	0 147F	0,0430	3 540C
150F	8,17	2,733	131,5737F	Non Fraude	4,5708	0 1417	0,0335	3 508F
155F	15,79	2,735	131,5710F	Non Fraude	4,5318	0 0811	0,0138	3 518F
167L	35,59	2,733	131,7317L	Non Fraude	4,5362	0 039L	0,0094	3 509L
150C	47,24	2,731	131,7350C	Non Fraude	4,5305	0 024C	0,0037	3 506F
159C	36,23	2,731	131,7320C	Non Fraude	4,5138	0 017F	0,0048	3 504F
160F	30,11	2,734	131,7394F	Non Fraude	4,5148	0 012F	0,0035	3 503F
160F	103,44	2,731	131,7398F	Non Fraude	4,5103	0 011F	0,0030	3 503F
167L	111,53	2,733	131,7387L	Non Fraude	4,5111	0 008L	0,0027	3 502L

Annexe 34 – Simulation de l'optimum social du scénario 2 (valeurs contexte français)

β	Γ	D	μ	$W(\mu, \sigma)$	$V(\mu, \sigma)$	n	(μ, σ)
1,087043	2576,24	1,25	5,1	0	13,1	11607	13088
$J_{(n)}$	$J_{(n)}^2$	q				$P < 0,05$	0,05204
5,5	444,0	0,11					
β	$x_{(n-1)}$	$x_{(n)}$	$d(\beta)$				
7,74	2,880	2,7373	11,728				
$f(\beta, d(\beta))$							
6,5036							
I	J	K					
0,00144	1,22574	1,10144					
$T(\beta, d(\beta))$	$T^2(\beta, d(\beta))$	$R(\beta, d(\beta))$					
1,0337	0,4487	1,4752					
$T^2(\beta, d(\beta))$	$R^2(\beta, d(\beta))$	$d(\beta)$	$q(\beta)$			$q(\beta)$	$q(\beta)$
1,3684	0,4297	1,037	1,037			0,483	0,483
$W(\beta, d(\beta))$	$S(\beta)$	$S(\beta)$	$S(\beta)$			$T(\beta, d(\beta))$	6,5036
0,02975	-0,00239	0,0084	0,1006				
E	$E(\mu)$	μ/σ					
1,117	0,8471	37,471					
μ^2/σ^2	σ^2/μ^2						
1,38	0,7237						

Annexe 35 – Simulation équilibre sans tarification du scénario 2 (valeurs contexte français)

Σ	Γ	Ω	μ	σ (normé)	ν (normé)	σ	$(\sigma/\Omega)\mu$
1,587042	2573,25	125	3,4	5	1,3,4	1,16017	1,5558
λ (h)	β (h)	ρ (FF)					
5,5	444,138	0					
ρ	ν (normé) (h)	σ (normé) (h)	β (h)				
0,12	2,6758	2,7380	2,7580				
L							
3,2134							
Γ (normé)				Ω (normé)			
-1,111470				1,111470			
T (normé)			T (normé, d, P)			R (normé, d, P)	
1,3952			1,0852			0,2522	
T (normé, d, P)				R (normé, d, P)			
1,1134				0,0134			
V (P, d) (h)							
3,1430							
β (L)							
37,12507							
T (normé, normé) (h)							
3,2130							
Ω (normé, normé) (h)							
3,13							
Γ (L, P)							
-0,0455							

Annexe 36 – Simulation équilibre avec tarif optimal du scénario 2 (valeurs contexte français)

r	r	U	r	r_{2012}	r_{2013}	a	r_{2014}
168000	2573,27	1,75	3,4	5	15,4	1,1807	1,358
r	r	r					
52	44,13	7,32					
P	a (Année 1)	a (Année 2)	a (Année 3)				
2,70	20000	27,80	27,89				
L (2011)							
6,525							
M		M	U				
32446		5078,18	1,2747				
T (2011)		T (2011, U)	T (2011, U)				
1,289		0,160	0,162				
T (Année 1)		T (Année 1)					
1,314		0,167	1,173				
M (2011)		0,161					
1,089		0,100					
P							
6747							
T (Année 1)							
6,588							
U							
0,11							
P (2011)		a					
1,120		0,012					

Annexe 37 – Simulation équilibre avec tarif optimal et amende d'équilibre du scénario 2 (valeurs contexte français)

Annexe 38 – Simulations des équilibres lorsque l’amende varie pour le scénario 1b (valeurs contexte français)

Id	Id	Id	Id	Id	Id	Id	Id	Id
0	0.42	27000	U712000	NonFraude	00104	2,7000	U7400	U2400
20	0.45	27577	6712667	NonFraude	66146	2,6070	07077	62074
40	0.47	27774	6712667	NonFraude	66121	2,4760	06719	61710
60	0.49	27971	0712054	NonFraude	00114	2,2400	00000	01000
80	0.52	27000	U712050	NonFraude	00050	2,2700	U0000	U1000
100	0.53	27666	6712602	NonFraude	66061	2,0630	06662	60663
120	0.57	27661	6712605	NonFraude	66066	1,9610	06067	60067
140	0.64	27000	U712010	NonFraude	00040	1,9000	U4541	05541
160	0.69	27000	U712017	NonFraude	00038	1,8030	U3000	03000
180	0.74	27667	6712618	NonFraude	66011	1,6660	04030	60030
205.06	0.83	27648	6712604	IndFraude	66060	1,5847	03766	60766
220	0.89	27616	6712627	Fraude	66676	1,2666	06619	66616
240	1.00	27616	6712661	Fraude	66667	1,1666	06163	66166
260	1.10	27640	6712664	Fraude	66666	1,0646	05608	65606
280	1.20	27000	U712000	Fraude	00020	0,9000	U2400	01400
300	1.50	27000	U712042	Fraude	00002	0,7720	U2000	01000
320	1.81	27666	6712645	Fraude	66666	0,6400	01740	60740
340	2.07	27661	6712645	Fraude	66666	0,5111	01567	60567
360	2.05	27000	U712040	Fraude	00040	0,5004	U1000	00000
380	1.67	27666	6712640	Fraude	66666	0,2600	00679	60676
395.33	2.67	27648	6712604	IndFraude	66676	0,1616	00410	60410
400	12.02	27070	0712052	NonFraude	00002	0,0600	00240	00240
410	15.37	27404	U712004	NonFraude	00047	0,0005	U0100	01000
413	26.37	27466	6712617	NonFraude	66666	0,0417	00101	60101
415	23.74	27475	6712475	NonFraude	66666	0,0361	00005	60005
417	40.01	27000	U712426	NonFraude	00000	0,0000	U0000	00000
418	30.19	27000	U712000	NonFraude	00000	0,0000	U0000	00000
420.6	66.17	27660	6712605	NonFraude	66066	0,0166	00046	60046
422	63.25	27700	6712668	NonFraude	66067	0,0160	00038	60036
423	66.33	27770	6712667	NonFraude	66070	0,0151	00037	60031
424	104.33	27623	6712661	NonFraude	66104	0,0111	00030	60030
425	116.17	27676	6712640	NonFraude	66140	0,0100	00027	60027

Notations mathématiques du modèle

r	Le rayon au centre ;
Γ	La densité de population ;
D	L'offre de places de stationnement par unité de distance ;
μ	Le paramètre de la loi de Poisson réglant les opportunités de déplacement ;
l	La période de temps fixée pendant laquelle l'agent reste à destination (durée de l'activité) ;
β	L'avantage procuré par le déplacement exprimé en termes monétaires ;
O	Le domicile de l'agent, point de départ pour toute opportunité de déplacement ;
R	Le lieu de destination d'une opportunité de déplacement ;
w	La vitesse moyenne de marche à pied ;
$T_1(x)$	Le temps de déplacement à pied, aller et retour, entre le domicile O et la destination finale R ;
S	Le lieu de stationnement ;
v	La vitesse en voiture particulière ;
P	La densité de places de stationnement libres ;
Q	Le point à partir duquel l'agent cherche une place de stationnement ;
d	La distance entre le point à partir duquel l'agent cherche une place de stationnement et le lieu de destination finale ;
\tilde{x}	La distance maximale de marche à pied ;
\bar{x}	La distance maximale de déplacement ;
x	La distance la plus courte pour joindre le point d'origine au point de destination du déplacement ;
y	La distance de recherche d'une place de stationnement, c'est-à-dire la distance entre le point Q éloigné de la distance d du lieu de destination et le lieu de la place de stationnement trouvée S ;
$R(x,P,d)$	Le temps de conduite espéré aller et retour ;
$W(P,d)$	Le temps de marche à pied espéré dans le cas d'un déplacement en voiture particulière ;
$T_2(x,P,d)$	Le temps de déplacement espéré lorsque le mode choisi est la voiture particulière ;
$L(\tilde{x}, \bar{x}, P, d)$	Le temps généralisé espéré de déplacement ;

r	Le rayon au centre ;
$V(\tilde{x}, \bar{x}, d, p, P)$	La valeur du temps individuelle.
E	Le temps perdu par les autres agents par unité de temps stationné par l'agent ;
P	Le tarif de stationnement par unité de temps ;
A	La décision de ne pas frauder ;
\bar{A}	La décision de frauder ;
F	Le montant de l'amende forfaitaire ;