



HAL
open science

Modélisation et simulation du système de stationnement pour la planification de la mobilité urbaine : application au territoire de la cité Descartes

Houda Boujnah

► To cite this version:

Houda Boujnah. Modélisation et simulation du système de stationnement pour la planification de la mobilité urbaine : application au territoire de la cité Descartes. Infrastructures de transport. Université Paris-Est, 2017. Français. NNT : 2017PESC1240 . tel-01866689

HAL Id: tel-01866689

<https://pastel.hal.science/tel-01866689v1>

Submitted on 3 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÉ —
— PARIS-EST

Thèse de doctorat en Transport

**Modélisation et simulation
du système de stationnement
pour la planification de la mobilité urbaine**

Application au territoire de la cité Descartes

Présentée et soutenue publiquement
par Houda Boujnah El Missaoui

Le 14 décembre 2017

Sous la direction de Fabien Leurent

Composition du jury

- Christine BUISSON, Directrice de recherche, IFSTTAR-ENTPE
- Eric KROES, Professeur, VU Amsterdam
- Cristina PRONELLO, Professeure, Sorbonne Universités / UTC
- Sylvie MATHON, Inspectrice, CGEDD,
- Jakob PUCHINGER, Professeur, Université Paris Saclay
- Mahdi ZARGAYOUNA, Chercheur, IFSTTAR
- Fabien LEURENT, Professeur, Ecole des Ponts ParisTech

Présidente de jury
Rapporteur
Rapporteuse
Examinatrice
Examineur
Examineur
Directeur de thèse

Université Paris-Est

Ecole Doctorale Ville Transports et Territoires
Laboratoire Ville Mobilité Transport

Thèse de doctorat
Spécialité Transport

Modélisation et simulation du système de stationnement pour la planification de la mobilité urbaine

Application au territoire de la cité Descartes

Présentée et soutenue publiquement
par Houda Boujnah El Missaoui

Le 14 décembre 2017

Sous la direction de Fabien Leurent

Composition du jury

- Christine BUISSON, Directrice de recherche, IFSTTAR-ENTPE	Présidente de jury
- Eric KROES, Professeur, VU Amsterdam	Rapporteur
- Cristina PRONELLO, Professeure, Sorbonne Universités / UTC	Rapporteure
- Sylvie MATHON, Inspectrice, CGEDD,	Examinatrice
- Jakob PUCHINGER, Professeur, Université Paris Saclay	Examineur
- Mahdi ZARGAYOUNA, Chercheur, IFSTTAR	Examineur
- Fabien LEURENT, Professeur, Ecole des Ponts ParisTech	Directeur de thèse

Résumé

La gestion du stationnement se présente comme un levier phare pour l'orientation modale des déplacements urbains : en effet les restrictions par la rareté ou le prix pénalisent le mode automobile et renforcent l'attrait des autres modes de déplacement, plus économes en impacts sur l'environnement. Cependant une gestion restrictive augmente la difficulté de trouver une place, les parcours de recherche et les gênes à la circulation, ce qui accroît l'impact environnemental de chacun des déplacements automobiles subsidiaires. Cette thèse traite la problématique quantitative de l'offre et de la demande de stationnement automobile en milieu urbain, au prisme de l'éco-conception pour rendre la planification plus soutenable. Elle propose un modèle de simulation qui permet d'étudier des plans de gestion de stationnement, en privilégiant le fonctionnement technique du système et son interaction avec la circulation.

La première partie propose une analyse de l'évolution du stationnement urbain dans les politiques publiques en France, suivie d'une analyse théorique mettant en avant les enjeux et des défis que soulève une démarche d'éco-conception. Une exploration systémique du stationnement, centrée sur ses dimensions physiques, fonctionnelles et spatiales, est ensuite présentée. De plus, une méthodologie pour diagnostiquer l'état du stationnement à l'échelle d'une agglomération, sur la base d'une Enquête Ménages Déplacements, est développée. Elle est illustrée par une application à l'Île-de-France en 2010.

La deuxième partie est consacrée à la modélisation spatialisée du système de stationnement. Elle commence par une revue de littérature spécifique. Puis nous proposons un traitement statique des interactions entre stationnement et circulation routière, à l'échelle locale. Un modèle spatialisé d'affectation de trafic à l'équilibre (modèle ParkCap) est développé. Il permet de modéliser les choix conjoints d'itinéraire et de lot de stationnement, en considérant explicitement les contraintes de capacités de l'offre et le phénomène de recherche de places sur le réseau routier. Pour démontrer le fonctionnement du modèle deux exemples numériques sont traités, avant de décrire brièvement la structure du simulateur informatique.

La troisième et dernière partie fournit une application du modèle à la planification stratégique du stationnement dans le quartier de la cité Descartes. Après un diagnostic territorial du site et de son système de stationnement, une simulation de l'état de référence de 2010 est mise en œuvre. L'application permet d'illustrer la méthode opératoire et de démontrer les capacités de l'outil ParkCap à reproduire une situation réelle et d'évaluer plusieurs variantes alternatives de gestion locale de stationnement. Nous l'étendons à une étude prospective de l'évolution du système de stationnement à l'horizon de 2030. En anticipant les transformations urbaines associées au projet urbain du Grand Paris Express, trois scénarios contrastés d'offre de stationnement sont comparés et évalués.

Mots-Clés : Système de stationnement, Modélisation de trafic, Choix de stationnement, Recherche de place, Politique de stationnement, Éco-conception, Planification de la mobilité, Simulation prospective, Évaluation.

Abstract

Parking management is a key lever for the modal orientation of urban travel. Indeed, restrictions by scarcity or price penalize the automobile mode and increase the attractiveness of alternative travel modes, which have less impact on the environment. However, restrictive management increases the difficulty of finding an available spot, cruising for parking and traffic congestion, which raises the environmental effect of each of the subsidiary car journeys. This thesis deals with the quantitative problem of the supply and demand of car parking in urban areas through the prism of eco-design to make planning more sustainable. It proposes a simulation model which allows to study parking management plans, focusing on the technical functioning of the system and its interaction with road traffic.

The first part proposes a comprehensive overview of the evolution of urban parking in public policies in France, followed by a theoretical analysis of the issues and the challenges raised by an eco-design approach of parking. A systemic exploration centered on its physical, functional and spatial dimensions is then given. Finally, a methodology for diagnosing parking practices at the level of an agglomeration based on a household travel survey is developed and illustrated by an application to the Île-de-France in 2010.

The second part is devoted to the spatial modeling of the parking system. It begins with a review of specific literature. Then, we propose a static treatment of the interactions between parking and road traffic at the local level. A spatialized network assignment model (ParkCap model) is developed. It enables to model the joint choices of network route and parking lot and explicitly considers supply capacities constraints and the phenomenon of cruising for parking on the road network. The model's performance is demonstrated by two numerical examples. Lastly, the structure of the computer simulator prototype is briefly presented.

The third and final part provides an application of the model to the strategic planning of parking in the district of Cité Descartes. After a territorial diagnosis of the study area and its parking system, a simulation of the 2010 reference state is implemented. The application demonstrates the ability of the ParkCap tool to simulate a real network and to evaluate several parking management plans. We extend it to a prospective study of the parking system by 2030. By anticipating the urban transformations associated with the Greater Paris Express project, three contrasting scenarios of parking supply are compared and evaluated.

Keywords: Parking system, Traffic modeling, Parking choice, Parking search, Parking policy, Eco-design, Mobility planning, Prospective simulation, Evaluation.

Sommaire

Introduction générale	9
PARTIE 1 ENJEUX DE CONNAISSANCE DU STATIONNEMENT EN MILIEU URBAIN	19
Chapitre 1 Repenser le stationnement urbain au prisme de l'éco-conception	21
Chapitre 2 Analyse systémique du stationnement	67
Chapitre 3 Analyse du stationnement à partir d'une enquête ménages déplacements : application à l'agglomération parisienne	101
PARTIE 2 MODELISATION DU STATIONNEMENT	139
Chapitre 4 État de l'art des modèles de stationnement	141
Chapitre 5 ParkCap : un modèle offre-demande de choix d'itinéraire et de stationnement dans un territoire urbain	197
PARTIE 3 ETUDE DE PLANIFICATION STRATEGIQUE DU STATIONNEMENT AU SEIN DU TERRITOIRE DE LA CITE DESCARTES	239
Chapitre 6 Contexte territorial et diagnostic du système de stationnement dans la cité Descartes élargie	241
Chapitre 7 Méthode opératoire et application du modèle ParkCap au cas de la cité Descartes élargie : situation de référence et variantes en 2010	271
Chapitre 8 Simulation prospective du stationnement à la cité Descartes élargie à l'horizon de 2030	321
Conclusion générale	35
Bibliographie	371
Liste des abréviations	389
Liste des figures	390
Liste des tableaux	394
Annexes	395
Table des matières	407

Introduction générale

« Au pays de Descartes, la raison...n'a pas toujours raison. À des questions complexes, et celles du stationnement en font assurément partie, on répond parfois par des solutions simples, voire simplistes, qui génèrent plus de problèmes qu'elles n'en résolvent. Ainsi, advient-il encore aujourd'hui que l'on décide la création d'un parc de stationnement en centre-ville en la justifiant par une saturation en surface. Mais a-t-on identifié les causes réelles de l'envahissement de l'espace public ? Dès lors, est-on sûr que cette offre nouvelle résoudra le problème par un simple effet de vases communicants entre la voirie et le parc ? Est-on même sûr, à l'inverse, que ce parc ne sera pas sous-utilisé ? »

(Fédération Nationale des Métiers du Stationnement. (2006), *L'observatoire du stationnement*, p.13).

Cette thèse traite du stationnement automobile en milieu urbain¹. Elle s'inscrit dans la perspective de la « ville durable » et de la transition environnementale du système de mobilité, ce qui comprend en particulier la transformation de la place et des usages de l'automobile en ville. Notre objectif est de contribuer à une meilleure compréhension du fonctionnement du stationnement au sein du territoire, et d'apporter une méthode opératoire pour étudier des scénarios de planification. Un outil de simulation du stationnement est développé et des simulations appliquées à un territoire² concret, le quartier de la cité Descartes, sont réalisées.

¹ Précisons d'emblée que le champ de cette recherche ne couvre que le stationnement lié aux déplacements des personnes. Le stationnement lié aux déplacements de marchandises ne sera donc pas traité.

² Nous utilisons la notion de territoire dans un sens large pour désigner « la portion de la surface terrestre délimitée et aménagée par une collectivité selon ses besoins ; il contient l'idée d'autorité s'exerçant sur une surface dont les limites sont reconnues, et celle d'utilisation et d'aménagement par un groupe social qui se l'approprie » (Le Berre, 1992).

Contexte

Le stationnement constitue un élément structurant du fonctionnement de la ville et, par son emprise spatiale, une composante de son paysage urbain. En exerçant un « effet de porte », il détermine fortement l'accessibilité aux différentes fonctions urbaines et en jouant un « effet de levier », il influence le choix modal des déplacements des usagers et la distribution des flux de trafic. Pour ces raisons, le stationnement se présente comme un outil majeur au service d'un développement plus soutenable de la ville. Les pouvoirs publics en sont bien conscients et le placent au premier rang dans leurs politiques locales de mobilité. Cependant, le stationnement automobile constitue parfois l'une des sources de nuisances environnementales et de dégradation du cadre de vie. C'est particulièrement le cas en milieu urbain dense où la disponibilité des places libres affecte de manière significative la fluidité et les conditions du trafic sur le réseau et où une pénurie de l'offre est susceptible d'amplifier la congestion par la circulation de recherche de place. Au-delà de ces externalités, le stationnement pose d'importants enjeux liés à la consommation du foncier, à l'occupation de l'espace public, à la sécurité piétonne et à l'équité sociale.

Dans les politiques publiques, le stationnement occupe une place à la fois importante et controversée. En France, les puissances publiques l'ont intégré au cœur des politiques pour la mobilité durable, avec une importance qui ne cesse de se renforcer. D'un levier de maîtrise des déplacements, la gestion du stationnement est passée à un outil stratégique de planification urbaine et d'articulation entre Transport et Urbanisme. En 2010, ce statut a été réaffirmé par la loi dite du Grenelle de l'Environnement, qui a posé le caractère transversal du stationnement et qui l'a inscrit explicitement à l'échelle de l'agglomération. Au fur et à mesure des évolutions réglementaires, le champ d'action des Plans de Déplacements Urbains (PDU) sur le stationnement a été élargi. Ce faisant, le législateur pose le principe d'une approche globale de son organisation, et promeut la rationalisation de la demande ainsi que l'optimisation de l'usage de l'offre disponible. Paradoxalement, dans les collectivités territoriales, le stationnement constitue un sujet de préoccupation majeur. Il est souvent vécu comme « un mal nécessaire » (Certu, 2003b). Pour les élus et les techniciens, cette question renvoie à une problématique sensible et peu gratifiante électoralement (Belli-Riz et al., 2000), car touchant au quotidien des riverains. En conséquence, elle est souvent abordée avec une grande précaution. De manière générale, les pratiques de gestion locale de stationnement restent largement sectorielles³ et sont encore placées sous le signe des contradictions et des paradoxes (Gantelet et Taithe, 2011).

Avec la montée des enjeux climatiques, beaucoup d'observateurs s'accordent à considérer la situation présente du stationnement en France comme insatisfaisante et peu soutenable. Pour le commissariat général de la stratégie et de la prospective (2013, p.7) « *les conditions techniques et réglementaires régissant la conception et la mise en œuvre des*

³ En 2010, un PDU sur trois considère le stationnement de manière globale. De même, dans la plupart des PDU, des aspects importants restent peu explicités ou analysés de manière approximative (Certu 2013a).

politiques de stationnement urbain ne sont pas à même de satisfaire les intentions des collectivités territoriales ». Ces dernières font notamment face à un mode de gouvernance éclaté caractérisé par une dispersion des compétences entre les orientations générales et les réglementations locales, à un cadre réglementaire inadapté et archaïque et à un système de contrôle inefficace imposant une gestion distincte de l'offre de stationnement sur voirie, dans les parcs publics et sur l'espace privé (idem). Les élus et les techniciens en charge de la problématique du stationnement sont aussi confrontés à la complexité de sa gestion, gestion qui se situe à l'interface de plusieurs domaines d'action (habitat, déplacements, urbanisme, activités économiques, etc.) et qui mêle des enjeux et des objectifs ambivalents. La complexité découle, par ailleurs, de la physiologie même du système de stationnement : l'hétérogénéité et la multiplicité des segments d'offre de places disponibles dans un territoire, la diversité spatio-temporelle des besoins de la demande et la multiplicité des acteurs en jeu.

A l'heure actuelle, l'élaboration des politiques du stationnement est du ressort des collectivités territoriales. En pratique, les élus disposent d'une large marge d'appréciation et d'une « boîte à outils » aussi large qu'hétéroclite (Belli-Riz, 2001), allant de la réglementation à la tarification, en passant par le contrôle. Toutefois, il manque un socle de connaissances et des outils d'aide à la décision et à l'action publiques. La conception des politiques de stationnement s'apparente davantage à un travail expérimental fragile et à un « bricolage » fait de théories et d'expériences personnelles, qu'à une démarche technique fondée scientifiquement (idem). Il s'agit souvent d'une sorte de « copier-coller » à partir de ce qui paraît avoir bien convenu dans d'autres territoires. Or, ces pratiques intuitives présentent beaucoup d'incertitude et peuvent être contre-productives face aux enjeux revendiqués. C'est particulièrement le cas dans un contexte de planification stratégique où les effets concrets de l'action publique ne se manifestent qu'à long terme.

Un manque est patent : celui en modèles de simulation quantitative pour le stationnement, qui viendraient en appui des PDU et dont les résultats apparaîtraient dans les documents de planification urbaine. Dans les grandes agglomérations, ces plans s'appuient sur des simulations des systèmes de mobilité : un tel système étant conçu comme une offre de transport et une demande de déplacements, placées en interaction. L'offre de transport est modélisée par les trames d'itinéraires et les niveaux de service, pour les déplacements qui utilisent l'automobile ou empruntent le réseau des transports collectifs. La demande de déplacements est modélisée par une matrice origine-destination (O-D) de flux entre les lieux, flux qui sont répartis entre les modes de transport et, au sein de chaque mode, entre les itinéraires. Les modèles de mobilité sont utilisés pour la planification de la manière suivante (Aw et al., 2013) : un scénario est spécifié en termes de capacités de circulation sur les réseaux et de niveau de demande, puis on simule l'interaction entre l'offre et la demande ainsi spécifiées : cette interaction produit les conditions de trafic en termes de flux locaux (sur les nœuds et les liens du réseau) et de qualité de circulation (rapidité, confort), ainsi que la qualité de service par itinéraire sur la relation O-D de chaque déplacement. Autrement dit, le modèle déduit les conséquences des capacités planifiées, sur la réalisation des déplacements, sur les choix d'itinéraire et de mode et sur les conditions de trafic. À partir de ces résultats primordiaux, des modèles complémentaires dédiés à l'évaluation

environnementale sont développés pour calculer les consommations d'énergie et les émissions de polluants et de bruit.

Problématique : faire advenir la simulation quantitative

Jusqu'à présent, les simulations de la mobilité à l'échelle d'une agglomération n'ont pas ou presque pas intégré l'offre et la demande de stationnement. Dans le meilleur des cas, certaines conditions d'usage du stationnement sont représentées pour la simulation du choix du mode de déplacement, en tant que facteurs exogènes (modèle MODUS 2.0 de la DRIEA et modèle Antonin 2 du STIF) : mais les capacités locales de stationnement ne sont pas explicitées, donc pas planifiées, tandis que les temps de recherche et de « retour à pied » sont ignorés.

Notre problématique se situe à deux niveaux : d'une part, est-il possible de modéliser l'offre et la demande de stationnement en respectant les caractères concrets de leur interaction – notamment les aspects spatiaux et comportementaux ? D'autre part, un tel modèle peut-il servir à la planification de la mobilité dans un territoire ?

Nous avons traité cette problématique de manière constructive, en constituant un tel modèle et en l'appliquant à une étude de planification territoriale.

Nous avons commencé par reconnaître la portée et les limites des modèles de stationnement proposés dans la littérature scientifique. Différents modèles théoriques existent, que ce soit pour le remplissage de capacités de stationnement par zone dans le territoire (ce qui induit un caractère macroscopique) ou pour la recherche d'une place (surtout par microsimulation, dans des modèles multi-agents). Cependant ces deux phénomènes n'étaient pas encore intégrés dans un modèle unifié : la simulation du remplissage et celle de la recherche d'une place faisaient l'objet respectif de modèles disjoints. De plus, il n'a pas été rapporté d'application concrète pour des plans de mobilité à l'échelle d'une agglomération.

Objectifs de la thèse : un modèle de simulation et son application à la planification

Cette thèse vise un objectif double : constituer un modèle pour simuler l'offre et la demande de stationnement dans une agglomération, et appliquer ce modèle à la planification stratégique d'un territoire particulier.

Nous modélisons l'offre et la demande de stationnement de manière systémique : le sous-système d'offre est caractérisé par des capacités locales en nombres de places et selon des modalités de gestion (dont la tarification) : un lot par lieu fin et par type de gestion. Le sous-système de demande est un ensemble de déplacements répartis dans des flux entre des lieux d'origine et destination : pour chaque déplacement nous

modélisons le choix d'itinéraire et le choix de « lot⁴ » de stationnement, selon un comportement microéconomique de recherche d'option et de sélection d'une option de coût minimal pour l'individu. De plus nous modélisons l'interaction entre l'offre et la demande : les demandes des usagers induisent localement l'occupation des lots et, le cas échéant, un excès de demande qui se reportent vers des lots proches. Notre modèle traite de manière cohérente l'équilibre entre l'offre et la demande de stationnement, ce qui constitue une innovation originale.

En ce qui concerne l'application du modèle à la planification de la mobilité dans une agglomération, nous avons transposé au système de stationnement la démarche classique de la planification stratégique par scénarios : identification, quantification, scénarisation pour d'une part l'offre et de capacité et d'autre part la demande d'usage, avant de simuler l'offre et la demande en interaction. Nous avons respecté cette trame logique en nous concentrant sur le stationnement et sur la mise en œuvre du modèle dans une situation « pré-opérationnelle » d'aide à la décision.

Notre contribution est limitée à deux principaux égards : primo, le modèle de stationnement interagit avec la circulation automobile mais pas avec les autres composantes du système de mobilité (trafics des autres modes, génération et distribution spatiale des déplacements) ; secundo, l'application concerne un quartier, certes en interaction avec le reste de l'agglomération, mais le stationnement n'est pas simulé pour l'ensemble de l'agglomération (bien que le modèle le permette).

Approches et méthodes

Les méthodes de la thèse sont de deux ordres, relatifs à chacun des deux objectifs : l'un pour la modélisation et l'autre pour l'application à la planification.

Concernant la modélisation, nous nous situons à l'intersection entre la « physico-économie du trafic » et la recherche opérationnelle. Il s'agit fondamentalement d'une physique du trafic en tant que phénomène spatialisé impliquant des entités en mouvement et en interaction, ainsi que des conditions locales qui structure le trafic (pour la circulation, il s'agit des voies, des jonctions et leurs modalités d'exploitation). Cette physique intègre aussi une dimension économique : en l'occurrence, des comportements individuels de choix d'itinéraire et de lot de stationnement. La spatialité intervient à trois échelles : depuis l'échelle « micro-locale » d'un lot de places, jusqu'à l'échelle « globale » de l'agglomération, en passant par l'échelle « locale » du bassin de proximité dans lequel prend place la recherche d'une place (tel qu'à l'intérieur d'un quartier).

Nous avons reconnu ces différents aspects dans une analyse systémique, et nous les avons explicités dans notre modèle de simulation, qui s'inscrit ainsi en prolongement direct de l'analyse systémique. La représentation conceptuelle a été traduite en variables d'état du système et en relations logiques et mathématiques entre ces

⁴ La notion de « lot de stationnement » fait référence à un ensemble de places situées à proximité immédiate les unes des autres et intégrant le même mode d'exploitation, au point d'être substituables pour un même usager. Il peut s'agir d'un segment de route dédié au stationnement des véhicules ou d'un parc hors voirie (privé ou public).

variables. Les interactions ainsi modélisées déterminent les variables endogènes de la simulation : le remplissage des lots de places, les parcours de recherche d'une place de stationnement et la qualité de service par déplacement (en temps physique et en coût généralisé). La formulation mathématique, la spécification algorithmique et l'implémentation informatique du modèle ont été réalisées en équipe-projet de l'ENPC-LVMT dans le cadre de la « Chaire Ecoconception des ensembles bâtis et des infrastructures », un partenariat entre ParisTech et le groupe Vinci : ce groupe incluait la société Vinci Park jusqu'en 2014. De fait le modèle d'équilibre offre-demande de stationnement et de circulation, s'il s'apparente à un modèle d'affectation du trafic sur un réseau viaire, s'en distingue par une complexité nettement supérieure : trois fois plus d'équations (Leurent et Boujnah, 2012).

Concernant l'application à la planification, nous avons adapté au stationnement le cadre pragmatique classique d'une étude pour un territoire, articulant un diagnostic, la conception de scénarios et leur évaluation par simulation. Notre adaptation privilégie l'échelle spatiale d'un quartier, en l'occurrence celui de la cité Descartes à Marne-la-Vallée, qui se présente comme un noyau urbain en plein devenir : d'ici 2030 trois lignes de métro du Grand Paris Express viendront aboutir à la gare de Noisy-Champs déjà desservie par la ligne A du RER francilien.

Notre application unifie deux approches traditionnelles des études de stationnement : d'une part l'approche par simulation pour le remplissage d'un seul lot (tel qu'un parc public ou une place), et d'autre part l'approche par schéma spatial (plan local) typiquement à l'échelle du quartier. Nous étendons dans l'espace l'aspect quantitatif intrinsèque à la première approche, et nous approfondissons la seconde approche en passant à la simulation quantitative. Notre simulation met en évidence l'extension spatiale des zones de saturation du stationnement, notamment autour de la gare de Noisy-Champs qui draine des déplacements en automobile selon une logique de parc-relais (P+R). La carte associée présente un intérêt évident pour les aménageurs, tandis que les indicateurs quantitatifs de mobilité (temps de recherche de place, durée d'accès terminal à la destination) sont fondamentaux pour évaluer la performance socioéconomique du plan de stationnement.

Structure du mémoire

La suite du mémoire est organisée en trois parties : d'abord nous analysons le système et nous proposons nos constats, puis nous développons un modèle offre-demande que nous appliquons ensuite à la planification.

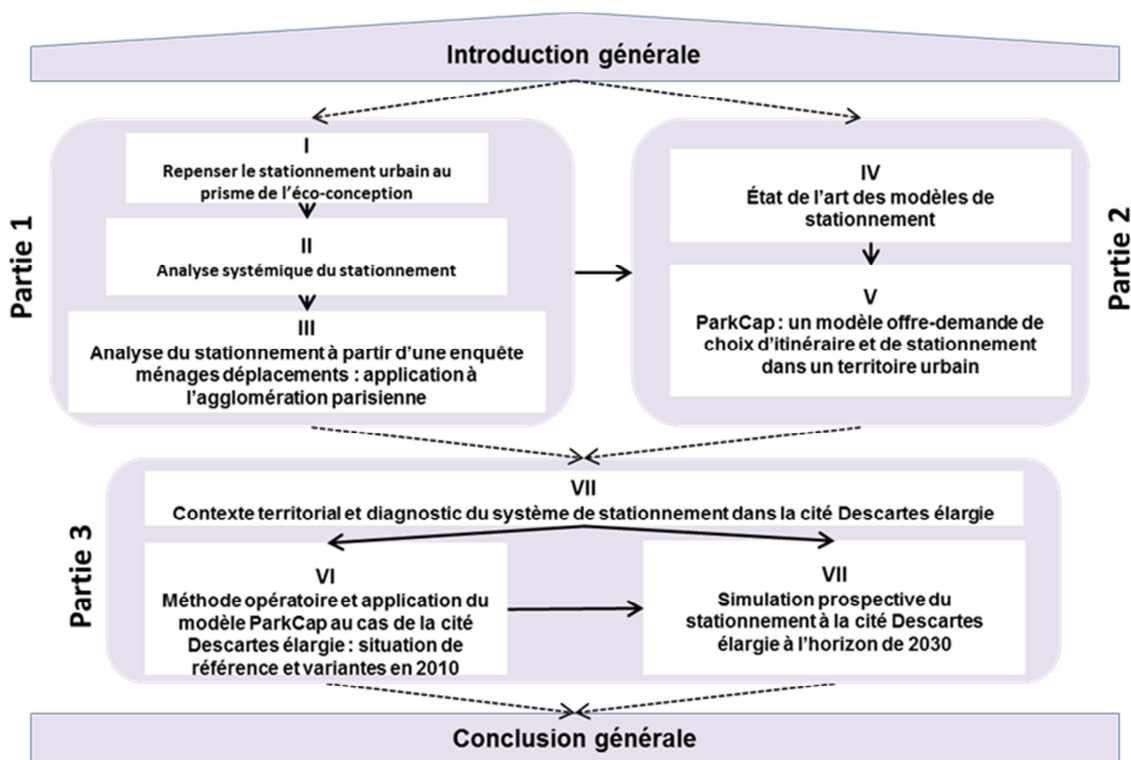


Figure 0.1 : Structure de la thèse.

La première partie comprend trois chapitres. Le chapitre 1, « Repenser le stationnement urbain au prisme de l'éco-conception » propose une analyse rétrospective de l'appréhension et des enjeux liés au stationnement automobile en France : il montre un certain renouvellement des approches, même si une logique sectorielle continue de dominer. Nous mettons en évidence l'intérêt de l'éco-conception pour le stationnement et analysons les fondements et défis d'avenir d'une telle démarche. Le chapitre 2, « Analyse systémique du stationnement », explore les aspects physiques, fonctionnels et spatiaux de ce système : après avoir construit et défini le concept de « système de stationnement », nous en établissons une représentation formelle qui articule une logique structurelle et d'une logique fonctionnelle, dans une perspective d'ensemble dominée par la spatialité. Le chapitre 3, « Analyse du stationnement à partir d'une Enquête Ménages de Déplacements : application à l'agglomération parisienne », propose une méthode de diagnostic global du stationnement à l'échelle de l'agglomération sur la base d'une Enquête de Mobilité auprès des Ménages (EMD⁵), avec une illustration pour l'Île-de-France à partir de l'enquête de 2010 (EGT 2010⁶). En intégrant chaque acte de stationnement dans le cadre spatio-temporel du déplacement qui l'induit, et en distinguant le stationnement diurne du stationnement nocturne, nous analysons la demande selon ses dimensions territoriale et économique, puis l'usage dans ses dimensions spatiale, temporelle et

⁵ Enquête Ménages Déplacements, selon la terminologie usuelle en France.

⁶ L'EGT pour Enquête Globale de Transport, est l'appellation particulière des EMD successives en Île-de-France.

modale, et enfin l'offre, dont la capacité physique est révélée indirectement par la saturation des modes de stationnement dominants au cours de la journée.

La deuxième partie de la thèse est dédiée à la modélisation spatialisée d'un système de stationnement. Le chapitre 4, « Etat de l'art des modèles de stationnement », est consacré à une revue de littérature portant sur la modélisation du stationnement. Après un aperçu général des approches et des problématiques des modèles de stationnement, nous interrogeons la représentation de l'offre, de la demande et de l'interaction offre-demande dans ces modèles. Le chapitre 5, « ParkCap : un modèle offre-demande de choix d'itinéraire et de stationnement dans un territoire urbain », développe un modèle statique d'affectation de trafic à l'équilibre pour la circulation et le stationnement, en interaction dans un territoire urbain. Avec une représentation macroscopique de l'offre et une considération microéconomique de la demande, ce modèle, appelé « ParkCap » pour « Parking Capacity », simule le choix conjoint d'itinéraire et d'emplacement de stationnement sur un réseau. Ce modèle concerne une période limitée, typiquement la période de pointe du matin. Il permet d'appréhender l'occurrence dans l'espace d'une saturation de l'offre de stationnement et d'en établir les effets sur les conditions de circulation sur le réseau, durant une période délimitée. Ce modèle considère explicitement les capacités locales de l'offre de places, qui interagit avec les comportements des automobilistes pour chercher une place et détermine avec eux le phénomène de report local de stationnement ainsi que les flux de recherche et leur interaction avec la circulation. Nous présentons deux cas d'école pour illustrer le fonctionnement du modèle, avant de décrire brièvement la structure algorithmique du simulateur informatique.

La troisième partie de la thèse a une portée opératoire. En prenant la cité Descartes élargie⁷ comme terrain de démonstration, nous proposons une application du modèle à la planification stratégique du stationnement. Le chapitre 6, « Contexte territorial et diagnostic du système de stationnement dans la cité Descartes élargie », dresse un état de l'existant : tant les spécificités territoriales du terrain d'étude, que les caractéristiques de son système de stationnement en 2010 en termes d'offre, de demande, et d'usage des places. Le chapitre 7, « Méthode opératoire et application du modèle ParkCap au cas de la cité Descartes élargie : situation de référence et variantes en 2010 », poursuit un double objectif. Dans un premier temps, nous explicitons le passage à la simulation à l'aide de l'outil ParkCap et décrivons le processus de codage des informations d'entrée. Dans un deuxième temps, nous proposons une simulation de la situation de référence de 2010 pour démontrer la capacité du modèle à simuler un réseau réel et nous analysons quelques variantes alternatives de gestion du stationnement à court terme. Le Chapitre 8, « Simulation prospective du stationnement à la cité Descartes élargie à l'horizon de 2030 », prospecte l'évolution future du système en tenant compte des transformations urbaines futures du site d'étude et qui s'inscrivent dans le cadre du projet urbain du Grand Paris Express. Trois scénarios contrastés sont comparés et évalués. Ils visent à réduire l'incertitude et à alimenter les réflexions sur le système de stationnement au sein du cluster Descartes.

⁷ Nous appelons « cité Descartes élargie » le périmètre spatial formée par les IRIS Descartes et Nesles sud de la commune de Champs-sur-Marne.

La conclusion générale récapitule les principaux apports et enseignements de cette thèse et propose quelques perspectives de recherche future.

Ce travail de thèse a donné lieu aux publications scientifiques suivantes :

- Leurent F., Boujnah H. (2014), A user equilibrium, traffic assignment model of network route and parking lot choice, with search circuits and cruising flows, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 47, 28–46.
- Boujnah H., Coulombel N., Kotelnikova-Weiler N., Leurent F., Millan-Lopez S., Poulhès A. (2013), Activités, Accessibilités et Mobilités à l'échelle du quartier. Dans Leurent F, Peuportier B and Roger-Estrade R (eds), *Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures*, Presses des Mines, Paris.
- Leurent F., Boujnah H., Poulhès A. (2013), Eco-conception d'un système de stationnement, Dans Leurent F, Peuportier B and Roger-Estrade R (eds), *Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures*, Presses des Mines, Paris, Chapitre 6, pp. 107-134.
- Leurent F., Boujnah H. (2012), Traffic equilibrium in a network model of parking and route choice, with search circuits and cruising flows. *Elsevier Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54: 808-821.
- Leurent F., Boujnah H. (2011), Une analyse offre-demande du stationnement : Application à l'agglomération parisienne, *Congrès international ATEC-ITS France*, Versailles, février 2011, 28 p.
- Boujnah H., Ghezal I. (2010), Le Transport Intermodal en Tunisie, états des lieux, enjeux et perspectives de développement, *Congrès international ATEC-ITS France*, Versailles, février 2010, 21 p.

Partie 1

Enjeux de connaissance du stationnement en milieu urbain

Chapitre 1

Repenser le stationnement au prisme de l'éco-conception

1.1 Introduction

La question du stationnement des véhicules automobiles conditionne fortement l'accessibilité et le fonctionnement de la ville. Par sa dimension physique et géographique, elle incarne aussi un élément structurant de l'organisation de l'espace urbain et de son aménagement. Cependant, au cours des dernières décennies, la gestion du stationnement urbain ne cesse de susciter de vives controverses et de constituer un sujet de préoccupation majeure pour les collectivités territoriales. Pour le commissariat général de la stratégie et de la prospective (2013, p.7) « *les conditions techniques et réglementaires régissant la conception et la mise en œuvre des politiques de stationnement urbain ne sont pas à même de satisfaire les intentions des collectivités territoriales* ». Ces dernières font notamment face à un mode de gouvernance éclaté caractérisé par une dispersion des compétences entre les orientations générales et les réglementations locales, à un cadre réglementaire inadapté et archaïque et à un système de contrôle inefficace imposant une gestion distincte de l'offre de stationnement sur voirie, dans les parcs publics et sur l'espace privé (idem). Pour ces raisons, la question du stationnement est considérée par les pouvoirs locaux comme une problématique sensible et peu gratifiante. Elle est souvent vécue comme un « *mal nécessaire* » (Certu, 2003b), particulièrement en zones denses où les problèmes de congestion, de dévalorisation de l'espace public et de dégradation du cadre de vie sont les plus manifestes. Paradoxalement, pour les puissances publiques, le stationnement représente un levier phare d'orientation modale et de gestion des déplacements urbains. En effet, depuis

les années 1980, cet outil fait l'objet d'une attention soutenue de la part du législateur qui le place désormais au cœur des dynamiques d'un développement urbain durable de la ville (notamment à travers la loi SRU, et la loi Grenelle II), au point d'être considéré comme un outil stratégique d'articulation entre Transport et Urbanisme. Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de renouveler les réflexions autour de la problématique du stationnement et de repenser son organisation afin de tendre vers des politiques locales plus soutenables et plus rationnelles, particulièrement avec l'impératif environnemental actuel et la transformation de la place et des usages de l'automobile en ville.

Dans ce chapitre, nous présenterons le cadre théorique de cette recherche. Nous appréhendons le stationnement à la fois comme un objet politique à part entière et comme un fait social. Notre objectif est double : comprendre, à travers une analyse historique, les fondements de l'action publique en matière de stationnement en France et saisir les enjeux que soulève sa gestion d'une part, et démontrer l'intérêt de l'éco-conception comme une approche et comme un cadre pragmatique d'élaboration des politiques de stationnement plus soutenable d'autre part. Plus spécifiquement, nous tenterons de répondre aux questionnements suivants : Comment s'expliquent les dysfonctionnements qui caractérisent le stationnement urbain en France ? Quels sont les enjeux spécifiques liés à son organisation ? Et comment assoir des politiques de stationnement plus soutenables ?

Ce chapitre est organisé en deux parties. La première section retracera l'évolution du stationnement urbain en France et montrera comment sa représentation politique et sociale s'est transformée en réponse aux changements des contextes et des objectifs de développement urbain des agglomérations. La deuxième section proposera de renouveler le regard sur la problématique du stationnement pour assurer sa durabilité. Après un bref aperçu sur l'éco-conception, une lecture théorique du quoi, du pourquoi et du comment des politiques de stationnement sera présentée. Enfin, les conditions d'une transition vers une approche d'éco-conception du stationnement seront examinées et discutées.

1.2 Les enjeux du stationnement urbain : une mise en perspective historique

Cette section traite de l'évolution de la problématique du stationnement urbain en France et des réponses qui y ont été apportées par les pouvoirs publics, saisies dans leur contexte de développement urbain depuis le début du XX^e siècle. Elle a pour objectif de montrer, au travers de faits marquants, la transformation des représentations du stationnement ainsi que le perpétuel changement des logiques d'action publiques et de la représentation de cet objet. Nous mettrons l'accent sur le renouvellement des enjeux posés, des types de solutions apportées et de leurs

conséquences dans le temps⁸. Nous distinguerons quatre principales phases qui renvoient à différents rôles assumés par le stationnement dans la ville.

1.2.1 Le stationnement comme élément auxiliaire de la circulation urbaine (1900-1960)

Durant la première moitié du siècle passé, le stationnement est appréhendé par les pouvoirs publics et par les responsables municipaux comme une problématique locale et un élément auxiliaire de la circulation urbaine. Deux faits marquants caractérisent cette période : l'appropriation de l'espace public par l'automobile et l'émergence des premières mesures de gestion du stationnement sur voie publique. Pressées par l'urgence dictée par le développement considérable de l'automobile, les collectivités choisissent des solutions de court terme pour résoudre les problèmes en cours.

À ses débuts, l'automobile prend la place du cheval et est logée dans les écuries et les cours (Dupuy, 1995). Dans les années 1930, alors qu'elle incarne encore l'image du luxe et de la modernité, des hôtels pour voitures sont conçus en France. Aménagés et gérés par des particuliers, ces nouveaux produits immobiliers s'avèrent rapidement incapables d'absorber la demande sans cesse croissante. Le domaine public prend alors le relais.

Pour l'automobiliste, le stationnement sur voie publique est un droit acquis et une liberté

Pour accompagner l'industrie automobile encore émergente, le stationnement des véhicules sur voie publique devient toléré. En effet, jusqu'à 1928, le stationnement et l'arrêt des véhicules sur voie publique étaient formellement interdits et considérés comme un encombrement du domaine public (JMJ, 2003). Toutefois, sous l'effet des pressions individuelles et collectives et en l'absence de solutions alternatives, ces interdictions s'assouplissent progressivement puis sont partiellement levées⁹. Selon Dupuy (1995), la possibilité et la légalité du stationnement sur voie publique ont grandement facilité l'essor de l'automobile en milieu urbain.

L'autorisation de stationner place la rue sous l'emprise de la voiture pour de nombreuses années (Sauvy, 1968)¹⁰. Au fur et à mesure de la diffusion de l'automobile, loger sa voiture gratuitement dans la rue se généralise. Cette pratique, petit à petit, s'établit comme une évidence, au point d'être très vite assimilée par l'automobiliste à

⁸ L'analyse qui suit n'a aucunement prétention à l'exhaustivité. Elle vise à retracer une vue d'ensemble de l'évolution du stationnement en France. Les situations locales ne sont mentionnées que ponctuellement, à titre illustratif.

⁹ La loi du 30 mai 1851 sur la police du roulage et le décret du 19 août 1852 interdisent d'abord « *de laisser stationner sans nécessité sur la voie publique, aucune voiture attelée ou non attelée* ». En 1922, l'article 11 du code de la route rappelle l'interdiction de laisser un véhicule sans nécessité sur la voie publique. Puis, en 1928, l'expression « sans nécessité » est modifiée par « sans motif légitime » par le célèbre arrêt du 18 mai 1928 qui admet la légalité du stationnement sur la voie publique.

¹⁰ Jusqu'au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, pour éviter les voitures ventouses, les automobilistes avaient « *l'obligation d'allumer les feux de position* ». À Paris, le préfet a supprimé cette obligation en 1948. Pour Sauvy (1968), « *cet arrêt, aussi mémorable qu'oublié, consacrait l'autorisation de loger dans la rue sa voiture et signait à terme l'embouteillage de Paris, pour de nombreuses années* ».

un droit acquis et à une liberté (Certu, 2000b ; Mathon, 2008). Ce droit de s'approprier l'espace public par un objet privé tire sa légitimité de la montée en puissance de la culture urbaine de l'automobile. Le stationnement dans la rue incarne alors l'image d'un service public gratuit. En conséquence, l'espace est totalement submergé de « *surfaces fixes* » (Sauvy, 1968). C'est particulièrement le cas des centres-villes et des zones denses. En plus des bordures des chaussées, l'automobile envahit d'autres espaces, officiellement dédiés ou officieusement appropriés ; les trottoirs, les terre-pleins, les pelouses, les berges et les cours d'immeuble. L'« *auto-immobile* » fait désormais partie du paysage urbain (Dupuy, 1995 ; Sauvy, 1968). Au fil du temps, les situations d'encombrement et les difficultés de circulation ne font que se multiplier.

Pour les pouvoirs publics, le stationnement est un élément auxiliaire de la circulation

Depuis la fin des années 1920, la présence de l'automobile en ville soulève de nombreux débats, discussions et interrogations. L'attention des élus est focalisée principalement sur la problématique de la circulation urbaine. De nombreux foyers de réflexion sont construits. La thématique du stationnement est sans cesse présente dans les discours, mais elle reste traitée en marge de celle de la circulation routière. Par moments, la question du stationnement devient plus polémique et plus préoccupante. Mais ce n'est qu'à partir des années 1930, avec l'accroissement du trafic routier, qu'elle commence à prendre de l'importance sur la scène politique. Le stationnement se pose comme un véritable enjeu dans les villes qui s'inquiètent davantage de l'organisation de la croissance urbaine (Gardon, 2012).

Sur le plan politique, la facilitation de la circulation routière dans la ville est considérée comme une impérieuse nécessité, une prérogative cruciale qui relève de l'intérêt général. Dès lors, l'automobile doit pouvoir se garer (Dupuy, 1995). Comme un élément auxiliaire de la circulation, lorsqu'il pose problème, le stationnement est alors assimilé à une gêne et à un problème de congestion (Gardon, 2012). En même temps, à cette époque, les difficultés pour se garer ne concernent que certaines rues et certains quartiers. Du point de vue de l'État, le stationnement s'apparente clairement à une problématique locale qui doit être prise en main par les pouvoirs municipaux. Chaque pouvoir local doit y faire face à sa manière.

Dans cet esprit, les premières tentatives d'aménagement de la rue voient le jour. Les services municipaux, particulièrement de la police du roulage et de la circulation – autorité responsable de la gestion du réseau viaire –, essaient de trouver des solutions, d'édicter des arrêtés et de réglementer la circulation locale. Des services techniques et des commissions municipales de circulation sont formés dans plusieurs agglomérations, notamment à Lyon en 1931 (Gardon, 2009). Les décisions d'aménagement physique et réglementaire de la voie publique se succèdent (rues, carrefours, places). Les signalisations routières et les panneaux d'interdiction sont installés. La rue est étirée, repoussée et rétrécie pour accueillir plus de voitures immobiles. En 1928, la circulation en sens unique est instituée¹¹. Selon Mathon (2008,

¹¹ La mise en sens unique de grandes artères routières a été expérimentée pour la première fois à Paris en 1920 (Héran, 2011).

p.30), « *la mise en sens unique des rues a constitué l'une des solutions miracles pour gagner une rangée entière de stationnement* ». Même si elle a permis d'améliorer de façon appréciable les conditions de trafic, cette solution n'a fait que repousser les limites de la saturation sans mettre fin à la congestion (Flonneau, 2005). L'espace viaire n'est pas infini, il est lui-même délimité par le bâti (Dupuy, 1995). L'aménagement de la voie publique constitue donc une réponse d'urgence et de court terme (Mathon, 2008). Face à la complexité de la situation et à la pression dictée par le phénomène automobile, la recherche de solutions plus efficaces devient urgente.

La zone bleue, la force d'un stationnement réglementé mais gratuit

Au cours des années 1950, avec l'accroissement de l'équipement automobile des ménages, les problèmes de stationnement se multiplient, et ne se résument plus à un problème d'encombrement. En prenant plus d'ampleur, le stationnement se transforme en un enjeu de gestion urbaine (Gardon, 2012). Garées en épi le long des trottoirs ou à cheval sur la chaussée, les voitures forment des linéaires d'objets fixes, et une source de danger pour les piétons et de gêne pour les riverains. De plus, très convoitée, la rue gratuite fait l'objet d'une forte concurrence entre les habitants – qui considèrent la voirie comme un garage légitime – et les visiteurs des quartiers qui ne disposent pas de solutions alternatives. En conséquence, le stationnement anarchique se généralise. Face à cet antagonisme d'intérêts et à la complexité de la situation, les collectivités, prises entre le marteau et l'enclume, sont obligées de hiérarchiser l'usage de la voirie. C'est dans ce contexte que la première réglementation – à proprement parler – du stationnement est instituée. Le stationnement devient alors une liberté sous contrainte (Certu, 2000b).

Bien que l'idée d'organiser le stationnement émerge en France au milieu des années 1950, ce n'est qu'en 1960 que la « zone bleue »¹² fait son apparition (JMJ, 2003). Cette réglementation de l'occupation de la rue présente l'avantage de conserver le caractère gratuit du stationnement et de permet aux pouvoirs de police d'optimiser la rotation des places sur voirie à l'intérieur de tout ou partie de l'agglomération (JMJ, 2003). En conséquence, elle ne fait pas l'objet d'une grande résistance de la part des citoyens. À ses débuts, cette mesure est appliquée à des zones limitées et est dotée d'une bonne surveillance, d'où son succès. Puis, étendue à des périmètres très larges, cet outil s'avère inefficace non seulement en raison de la forte croissance de la demande, mais aussi à cause de son mode de gestion et du manque de civisme de la part des automobilistes¹³.

Face à l'échec partiel de la zone bleue, le stationnement pose à nouveau problème dans les agglomérations françaises où les places se font de plus en plus rares et où la

¹² Par le décret du 29 février 1960 relatif au dispositif de contrôle de la durée du stationnement.

¹³ C'est notamment le cas dans la ville de Paris. En 1967, le préfet Grimaud déclare que « *la zone bleue ne remplit plus son office. Elle a recréé aux frontières extérieures de la zone les encombrements et les abus du stationnement. Elle pourrait être efficace si chaque préposé ne devait surveiller que 300 mètres de voie publique. Mais en 1967, 260 kilomètres de zone bleue étaient surveillés par 380 contractuels. Le montant des amendes (10 francs) avait perdu son caractère dissuasif* » (selon Certu, 2000, p.6). Cet extrait montre clairement qu'aux problèmes de carence de la surveillance s'ajoutent les problèmes budgétaires pour financer les frais de contrôle d'occupation, d'autant plus qu'au cours de ces mêmes périodes, les services de police étaient chargés d'autres tâches.

circulation se fait de plus en plus difficile. La congestion du stationnement contribue à l'étouffement et à l'asphyxie de la ville. En conséquence, les maires de quelques villes françaises (notamment Montpellier, Nice, Nantes et Marseille) décident de remplacer les zones bleues par des zones de stationnement payant.

L'amorce des premiers noyaux de réflexion autour du stationnement

L'un des traits marquants de cette période est la montée en puissance de la thématique du stationnement dans les noyaux de réflexion autour de la circulation. En effet, le stationnement constitue une rubrique à part entière dans les nombreuses notes techniques, articles, manuels, rapports de synthèse et même enquêtes produits des différentes structures et services créés par les instances politiques locales (Gardon, 2012). Dès ses premiers congrès à Paris en 1937 et à Nice deux ans plus tard, l'Association des ingénieurs des villes de France s'intéresse à cette thématique, montée en puissance à partir des années 1950. Les réflexions locales sont progressivement partagées à l'échelle nationale et internationale. Une véritable dynamique d'échange entre les villes s'établit pour faire face aux difficultés de gestion du stationnement. Les premiers éléments de doctrine en matière de gestion du stationnement commencent à se dessiner. En 1955, une rencontre des commissions municipales de circulation est organisée à Lyon pour la première fois. Au cours de la même année, le ministère des Travaux publics crée un service des Études et recherches sur la circulation routière.

Sur ces scènes d'échange et de réflexion intensive, les réalisations et les exemples étrangers sont largement évoqués¹⁴. Un fort constat s'établit progressivement : il faut libérer l'espace public et renvoyer les voitures dans le domaine privé ; les problèmes de congestion du stationnement étant la conséquence directe du déficit de l'offre privée.

1.2.2 Le stationnement comme ingrédient de l'aménagement de l'espace urbain (1960-1980)

La fin des années 1960 est le théâtre de transformations structurelles dans le domaine du stationnement automobile en France. Cette période intègre le stationnement des véhicules dans une logique foncière et marque le début d'un long processus de production des places hors voirie et de l'élargissement de la sphère d'acteurs des domaines public et privé. L'intervention publique s'apparente à une improvisation curative (Vaté, 1977), elle relève plutôt d'une logique opportuniste et réactive dictée par l'urgence de la situation et la complexité particulière des problèmes de stationnement à cette époque. Les mesures prises obéissent à une philosophie purement quantitative, dont la mise en œuvre détermine fortement la morphologie de l'offre du stationnement et son rythme d'évolution.

¹⁴ Selon Gardon (2012, p.55), « certaines villes sont plusieurs fois citées. Les cas de Hambourg, Manchester, Londres ou des grandes villes de Belgique sont souvent mis en avant ». Mais les solutions américaines sont de loin les plus appréciées. Ce modèle sera d'ailleurs considéré comme un succès par les ingénieurs des Ponts et chaussées lors de leur voyage aux États-Unis en 1964 (Gardon, 2012).

En effet, la période de l'après-guerre est marquée par une forte démocratisation de l'automobile qui passe d'un objet de luxe à un produit de consommation de masse¹⁵. Sur le plan individuel, plus qu'un moyen de locomotion, elle devient un bien familial à fort attachement sentimental (Orfeuil, 1994). « *Pour les usagers, l'automobile est associée à un sentiment de liberté, de choix, de libération, s'opposant à l'obligation, à la coercition, à la contrainte* » (Orfeuil, 1994, p.101). A l'échelle nationale, l'automobile s'impose comme un objet structurant des décisions politiques. Bien plus qu'un produit industriel, « *la petite reine* » se présente comme un moteur de développement économique et un catalyseur de la croissance urbaine (idem). Au cœur du mouvement d'adaptation de la ville à l'automobile, « *la circulation entre parmi les fonctions sociales et se classe au premier rang. Ce qui entraîne la priorité des parkings, des accès et de la voirie adéquate* » (Lefebvre, 1970, cité dans Orfeuil, 1994¹⁶). Au début des années 1970, les premiers plans de circulation voient le jour. À cette époque, l'enjeu est d'assurer une meilleure cohérence et un certain équilibre entre la capacité circulatoire et l'offre de stationnement (JMJ, 2003 ; Gardon, 2012). C'est à l'aune de cette philosophie et en s'alignant sur les préceptes de la loi de l'écoulement du trafic que l'augmentation de l'offre de stationnement hors voirie est décidée.

L'action dans l'urgence pour répondre aux besoins croissants de stationnement

La première moitié des années 1960 sera riche en réflexion sur le stationnement. En 1962, le service des Études et Recherches sur la Circulation routière du ministère des Travaux publics produit, à l'occasion de la sixième semaine internationale d'étude de la technique de la circulation routière organisée à Salzbourg, un rapport intitulé « *Conception et utilisation des garages parkings* ». En 1963, dans l'objectif d'anticiper les premiers projets de construction de parcs en ouvrage et de réfléchir à la réglementation du stationnement, les premières enquêtes sur le stationnement sont réalisées¹⁷. « *Dans la foulée, au sein de la Commission de l'équipement urbain du commissariat général au plan, est créé un groupe de travail sur le stationnement. Ce dernier travaille à la mise en place d'une enquête pour recenser les besoins en matière de stationnement des principales villes françaises* » (Gardon, 2012, p.53). En 1964, lors des semaines de Londres, les progrès et les innovations des systèmes de contrôle de stationnement sont abordés. La même année, à l'occasion de son deuxième congrès, la Fédération internationale des ingénieurs municipaux présente des rapports importants sur le stationnement et les parkings. En 1966, la situation du stationnement dans les grandes villes françaises est diagnostiquée. Le travail de centralisation et de coordination donne lieu à un rapport de synthèse intitulé le « *V^e plan* », qui représente le début d'une dynamique (idem). Selon Dupuy (1975, p.119), « *le V^e plan ne verra que le "démarrage" d'une action en faveur du stationnement urbain. Ce n'est que tard que la prise de conscience se fera véritablement lors de la préparation du VI^e plan* ». Ces études ne sont, néanmoins, pas suffisantes pour prévoir correctement les besoins de places et planifier l'évolution de l'offre de stationnement.

¹⁵ Au cours des années 1960, le parc automobile français a doublé pour dépasser les 13 millions de véhicules en 1970 (Flonneau, 2005).

¹⁶ Lefebvre H., 1970, *La vie quotidienne dans le monde moderne*, Paris, Gallimard, 162 pages.

¹⁷ Selon Gardon (2012), à cette même époque, le directeur général des services techniques de la ville d'Antibes lance une enquête sur les « *garages parkings* ».

Dépassés par la forte évolution du parc automobile et faute d'anticipation, les pouvoirs publics agissent sous de multiples contraintes. Selon un rapport de l'OCDE (1980, p.85), « dans la plupart des cas, le problème de stationnement était si aigu qu'on acceptait n'importe quelles mesures pourvu qu'elles apportent une solution ». La première préoccupation porte sur le stationnement à l'origine, en particulier au domicile. Celui-ci relève de l'équipement des logements en aires privatives. La deuxième préoccupation est liée au stationnement à la destination en zones denses. Dans ce même ordre d'idées, Sauvy (1968, p.169) souligne que « stationner et se garer la nuit sont deux choses profondément différentes, confondues dans le terme attristant de parking. Il faut un nombre aussi important que possible de garages, c'est-à-dire de logements de voitures. Tout a été fait pour qu'il n'y en ait pas, parce qu'ils sont nécessairement payants et que les calculs de l'industrie automobile ont été faits en excluant l'idée de paiement du logement de voiture... Une fois survenu l'embouteillage que cette industrie a été incapable de prévoir, les pouvoirs publics ont été sommés de construire ou de fournir ce garage ».

Sous l'impulsion de l'urgence de la situation, la réponse foncière paraît d'une évidence irréfutable, et elle est consolidée par l'institution du stationnement payant sur voie publique.

L'article 12 des POS : l'intégration sous contrainte ?

La question d'un abri pour stocker l'automobile dans les immeubles des villes et les maisons s'est posée dès les débuts de l'automobile. Dans les années 1910, l'intégration des garages dans les logements neufs était pratiquée quand les réserves foncières le permettaient. « Dans les zones périphériques, l'habitat individuel inclut presque systématiquement le garage¹⁸, alors que l'habitat collectif et les activités industrielles ou tertiaires recourent le plus souvent au parking en surface qui occupe parfois des aires très vastes » (Dupuy, 1995, p.69). Le principe d'équiper les logements en aires de stationnement a déjà été énoncé au début des années 1950. Mais l'évolution réglementaire suit un rythme lent, induisant un net retard par rapport à la croissance des besoins (Belli-Riz, 2001 ; Mathon, 2008). Ce retard de l'intervention publique aura, comme nous le verrons, de lourdes conséquences sur le domaine du stationnement dans son ensemble.

La loi-cadre du 7 août 1957 (article 89-2) se contentera d'évoquer la possibilité d'associer des aires privées de stationnement aux projets de constructions nouvelles, sans le rendre obligatoire¹⁹. Dans un deuxième temps, la loi d'orientation foncière du 30 décembre 1967 impose d'appliquer ce principe à l'ensemble du territoire français. Elle crée le Plan d'occupation du sol (POS) dont l'article 12 encadre et réglemente la provision de places de stationnement privé, en fixant un quota minimal de places²⁰. Toutefois, l'application de cette disposition réglementaire se heurte à plusieurs difficultés. Tant par les architectes que par les maîtres d'ouvrage, cette obligation est suivie de « mauvaise grâce » (Belli-Riz et al., 2000 ; Belli-Riz, 2001). Elle constitue un

¹⁸ Cependant, « Malgré cette préciosité, le garage aura de la peine à gagner ses lettres de noblesse dans l'architecture française » (Dupuy, 1995, p.69).

¹⁹ Selon cet article, « la délivrance du permis de construire peut être subordonnée à la réalisation d'aménagements permettant d'assurer le stationnement hors des voies publiques des véhicules correspondant aux besoins de l'immeuble à construire ».

²⁰ Il est à mentionner que cet article réglemente le stationnement de tous les véhicules, aussi bien les voitures particulières que les motos et les vélos.

coût supplémentaire et un préjudice pour l'équilibre financier de leurs opérations immobilières. Par ailleurs, le flou qui entoure la définition de la norme complique la tâche des instances locales à qui incombe sa quantification. À défaut de connaître avec précision les contours de la demande, les choix des collectivités s'orientent vers la surestimation (Certu, 1994). La décentralisation de cette décision, même si elle permet de tenir compte des spécificités locales, conduit à une grande disparité dans les pratiques et à des écarts parfois injustifiables. Selon le Certu (1994, p.74), « *Pour un même programme de bureaux, soit 1 000 mètres carrés, l'un situé à Paris dans les quartiers centraux et l'autre à Saint-Étienne, il sera demandé au promoteur 4 ou 50 places de stationnement... et dire qu'il s'agissait au début des années 70 de les considérer comme des minimums* ». Enfin, dans les quartiers denses et les centres anciens, les projets immobiliers se limitent souvent à des opérations ponctuelles de rénovation urbaine. En conséquence, cette réponse foncière au manque de places ne permet pas de résorber le déficit de l'offre privée ni de rattraper le retard qu'accroît chaque année l'augmentation de trafic du parc automobile.

Par son caractère de long terme, cette réponse par le jeu de l'urbanisme aux problèmes de pénurie de stationnement engagera les collectivités dans un long processus de production d'offre privée, duquel elles perdront tout contrôle. Constituée au gré du marché immobilier et selon les opportunités de construction, l'offre privée est fragmentée, morcelée, obéissant à différentes formes d'aménagement.

L'émergence et le développement des parcs publics hors voirie

La proposition de construire des parcs hors voirie fait partie des pistes explorées dans les études et les projets de gestion du stationnement urbain depuis les années 1920, mais elle ne fleurit que dans les années 1950 (Flonneau, 2005). Dans la plupart des villes françaises, elle apparaît alors comme une urgence pour dynamiser les activités économiques, garantir l'accessibilité automobile et répondre aux besoins croissants des différents groupes d'utilisateurs (Gardon, 2012), particulièrement dans les centres denses. En 1954, la ville de Rouen se place sur le devant de la scène en inaugurant le premier parc de stationnement aménagé spécialement hors voie publique en France (parc du quai de la Bourse). Les autres villes ne tarderont pas à se lancer dans cette dynamique²¹.

Réalisées par des sociétés privées et des promoteurs immobiliers, les premières expériences accélèrent les débats soulevés sur le mode de financement, d'exploitation et de gestion de ces structures. En effet, les collectivités locales ne sont pas en mesure d'assumer, à elles seules, ces investissements. Très vite, l'idée de déléguer ces opérations au secteur privé s'impose. Cette possibilité est même suggérée par les services centraux de l'État (Gardon, 2012). On assiste alors à la naissance des sociétés d'économie mixte (SEM) : créée en 1969, la SEM de Lyon constitue la première d'une large vague. Sous forme de concession, ce partenariat public-privé marque le début d'une tendance « *quasi irrésistible* » (Belli-Riz, 2001, p.142). Au fil du temps, ces sociétés

²¹ En effet, Paris inaugurera son premier parking public en 1964 (parc des Invalides avec 1 300 places), suivie par Lille en 1966 (parking Saint-Sauveur de 350 places), par Lyon en 1967 (parc Bellecour avec 510 places) et par Marseille en 1970 (parking de la Bourse, 1 700 places), Gardon (2012).

développeront une certaine expertise²² et un savoir-faire, et s'affirmeront comme des acteurs incontournables du domaine du stationnement. Au cours des années 1970, le rythme de construction des parcs s'accélère, il passe de quelques unités par an à une vingtaine dans les années 1980. C'est aussi le cas des parcs de dissuasion qui, localisés aux croisements de la voie ferrée et du réseau autoroutier, créent un « effet de porte » pour répondre aux besoins d'échange ou de liaison. Les premiers parcs de ce genre voient le jour à Paris à la fin des années 1960 (Margail, 1996). Cette dynamique d'équipement de la ville en parcs publics de stationnement se dote d'un caractère cyclique rythmé par les dates des élections municipales (JMJ, 2003) et ils font désormais partie du paysage urbain.

D'un point de vue de l'aménagement urbain, la construction de parkings hors voirie n'obéit à aucune stratégie préalable. Elle s'inscrit dans une économie d'échelle plus large, souvent internationale²³ (Flonneau, 2003). La réalisation des parcs se fait au coup par coup (Mathon, 2008), et s'apparente plus à un jeu de circonstances qu'à un choix réfléchi. À cet égard, Gardon (2012, p. 58) affirme que « *la construction des parcs de stationnement en ville obéit alors essentiellement à des logiques opportunistes, aussi bien en termes d'affichage politique qu'au niveau de leur localisation ou de leur financement* ». Pour bâtir ces édifices, les espaces immédiatement disponibles sont mobilisés. Une fois les réserves foncières en surface épuisées, d'autres options sont développées. Ainsi, dans certaines villes, à l'exemple de Paris, « *la rareté du mètre carré [...] conduit à rechercher des mètres cubes sous terre des garages de 2 à 5 étages en profondeur* » (Sauvy, 1968, p.64). En l'absence de doctrine claire, la détermination de la « bonne » capacité de parking est laissée aux bons soins des collectivités qui, en l'absence de référence lisible, s'orientent vers la maximisation de l'offre, en estimant *a priori* qu'il y aurait suffisamment de voitures pour les remplir²⁴. Dans ce sens, Parkopolis (1997, p. 27) avance que « *réalisés à cette époque dans un souci de service public, sans étude de marché préalable, certains ouvrages de stationnement s'avèreront inadaptés aux besoins du marché par erreur de localisation et de capacité et très coûteux à exploiter* ».

La provision d'une offre publique hors voirie a fait évoluer la représentation du stationnement chez l'automobiliste, en intégrant le stationnement dans une logique de marché économique. Se garer ne représente plus un droit acquis mais un service marchand avec une certaine qualité d'usage. D'un point de vue juridique, il ne s'agit plus d'un impôt mais d'une redevance. Cette conception du stationnement le situe à la frontière entre le service public et le bien de consommation. Cependant, très vite, cette

²² Aujourd'hui, même si les collectivités locales restent juridiquement compétentes en matière de stationnement hors voirie, ce sont les SEM qui, faisant office d'expertes, orientent les décisions de conception, de dimensionnement et de mode de gestion des parkings hors voirie.

²³ Pour donner un ordre de grandeur, il suffit de dire qu'à cette époque, dans la capitale, les investissements alloués aux programmes de construction de parkings sont plus de deux fois supérieures à ceux des autres opérations d'aménagement urbains dont la voirie, selon Flonneau (2003).

²⁴ Les études et les schémas de construction de parkings développés depuis le début des années 1960 ne proposant pas de réponse claire sur la question du dimensionnement, les services centraux du ministère des Transports ont préconisé un aménagement rationnel des opportunités de stationnement urbain. Dans ce même sens, plusieurs études ont suggéré le recours aux plans directeurs de stationnement urbain pour considérer à la fois le type de tissu urbain, les constructions existantes et futures, et les places de stationnement déjà disponibles (Gardon, 2012).

offre publique s'est avérée inadaptée à certains besoins spécifiques, en particulier ceux des habitants.

Le stationnement payant sur voirie : un choix inéluctable !

La fin des années 1960 est marquée par l'introduction du stationnement payant sur voirie dans les villes françaises²⁵. Cette mesure a pour objectif de fluidifier la circulation et de favoriser la rotation des places en chassant les voitures ventouses (Belli-Riz, 2001). Soumise au contrôle et sujette à sanction, la tarification de la voirie est perçue par certains pouvoirs locaux comme la meilleure solution pour remettre de l'ordre dans la situation anarchique du stationnement qui règne alors dans les centres urbains (Certu, 2000b). En comparaison avec la zone bleue, l'avantage de ce système est l'autofinancement.

L'introduction du stationnement payant sur voirie suscite des réactions très vives et des protestations fortes de la part des différents groupes d'acteurs (idem). Pour les automobilistes, c'est une question d'habitude et de droit. Pour les lobbies automobiles et pour les commerçants, c'est une question d'intérêts²⁶. En 1967, le syndicat des automobilistes remet en cause la légalité du stationnement payant, pourtant institué depuis 1884²⁷. Pour lever la confusion, le législateur édicte l'arrêté du Conseil d'État du 26 mai 1969 garantissant la possibilité pour le maire de percevoir une redevance sur le stationnement des véhicules en bordure des voies publiques (JMJ, 2003). Aux enjeux économiques et sociaux s'ajoutent des enjeux politiques. Certains élus se révèlent complètement contre cette solution. C'est le cas du maire de Lyon (L. Pradel) qui refusera catégoriquement la mise en place du stationnement payant en 1969. Pour autant, la tarification de la voirie s'impose en 1972 comme incontournable pour remédier aux problèmes de stationnement sur la Presqu'île.

Pour toutes les raisons citées, la mise en place du stationnement payant s'amorce donc avec une extrême prudence de la part des pouvoirs publics locaux. Les villes de province sont les premières à l'adopter. Par peur des réactions du public, l'installation est progressive, portant sur une zone d'essai limitée dans un premier temps, avec

²⁵ Le paiement du stationnement sur voie publique est introduit pour la première fois à Montpellier, puis il est assez rapidement adopté par les villes de Nice, Saint-Raphaël et Menton, puis par des villes plus grandes comme Nantes et Marseille en 1969, par Lyon en 1970 et par Paris en 1971 (JMJ, 2003 ; Certu, 2000b).

²⁶ La tarification de la voirie fait office de taxe supplémentaire du domaine public, considéré comme gratuit aux yeux de la population. De leur côté, les commerçants se mobilisent également, à travers les syndicats et les associations, pour exprimer leur mécontentement et leur désaccord avec cette mesure, en avançant les conséquences négatives sur leurs intérêts économiques. Pour les lobbies automobiles, qui sont contre toute forme de paiement, le stationnement payant sur voie publique est même qualifié de *coup redoutable*. Pour illustrer, contentons-nous de citer quelques exemples : en 1957, le périodique L'Auto-Journal titrait : « Pas de ça chez nous » en faisant référence aux évolutions américaines en matière de stationnement payant. Les oppositions étaient très fortes, sous prétexte que cette mesure risquait de mettre en péril l'industrie française. Au lobby industriel, Maurice Grimaud, préfet de Paris de 1966 à 1971, répond par une démonstration empirique : « *Ni les États-Unis, ni l'Angleterre, ni la Suède, n'ont vu périr le moins du monde leur industrie automobile après l'application du stationnement payant, et M. Ford n'a jamais eu l'idée de faire campagne contre l'adoption d'une telle mesure dans les villes américaines* » (selon l'article du Monde, 14-15 décembre 1969, cité dans Certu, 2000b, p. 9).

²⁷ Par la loi du 5 avril 1884 sur l'organisation municipale.

ensuite une étendue sur un périmètre plus large, effectuée de diverses manières pour répondre au contexte spécifique de chaque ville (Certu, 2000b). Pour favoriser l'adhésion du public, les élus avancent souvent un argument infallible : les recettes recueillies seront utilisées pour construire des parcs en ouvrage²⁸. Dans cette même logique, la tarification de la voie publique est, dans la plupart des villes, accompagnée ou précédée par une offre alternative en parcs hors voirie (*idem*). Toutefois, par souci d'acceptabilité, les tarifs sur voirie sont beaucoup plus faibles²⁹.

Le bilan des premières années du stationnement payant dans les villes françaises est très positif. Les objectifs de rotation sont atteints et les effets de ce dispositif sont perceptibles sur les conditions de trafic et de stationnement (*ibidem*). Il n'en reste pas moins que certains effets secondaires apparaissent. Au fil du temps, le respect de la réglementation se dégrade. L'incohérence de la tarification des places sur voirie et hors voirie crée un phénomène de désertification des parkings en ouvrage, mettant en péril leur équilibre financier. Par ailleurs, des reports de stationnement aux franges de la zone soumise à la tarification sont aussi observés dans certaines agglomérations. Enfin, le stationnement payant s'avère vite incompatible avec les besoins spécifiques des résidents et des commerçants. Dans ce contexte, sont adoptés des régimes d'exception. C'est le cas de la ville de Paris qui mettra en place une tarification préférentielle pour les résidents dès 1978, bien que sa légalité ait alors été contestée.

1.2.3 Le passage du stationnement à un outil de gestion des déplacements urbains (1980-2000)

En France, la fin du XX^e siècle ouvre la voie à des évolutions significatives en matière de stationnement, portées principalement par son cadre réglementaire. Pour la première fois, l'État français affiche le stationnement comme un outil de gestion des déplacements. En revanche, ce changement dans la conception du stationnement est lent à se dessiner. En conséquence, le modèle fondé sur l'hégémonie de l'offre va se maintenir dans le temps au gré des revendications, ne permettant pas à une approche de gestion de s'imposer véritablement dans la pratique. Ces inflexions découlent du changement de la pensée urbaine.

Au cours des années 1980, l'automobile devient un objet incontournable de la vie quotidienne, à la ville comme à la campagne. La multimotorisation prend de l'ampleur et renforce cette tendance. Les modes de vie se fondent sur l'usage presque exclusif de la voiture particulière, au point de conduire à un état de dépendance³⁰ (Dupuy, 1999).

²⁸ Dans les faits, les revenus du stationnement payant font partie du budget communal et n'obéissent à aucune affectation particulière.

²⁹ Une précision mérite d'être apportée. Au début du stationnement payant, tout comme le tarif, la fixation du montant de l'amende est à la charge du maire par arrêté municipal et le contrôle s'effectue directement par les collectivités. Au début des années 1970, le recouvrement des amendes bascule du droit civil au droit pénal avec l'apparition du timbre-amende (Certu, 2000b). Ce changement de nature juridique du contrôle a pour objectif de renforcer l'efficacité de celui-ci. Désormais, le montant de l'amende est fixé à l'échelle nationale et le circuit de recouvrement est le même que celui du stationnement illicite. C'est d'ailleurs encore le cas aujourd'hui.

³⁰ Le phénomène de dépendance a été étudié et théorisé par différents travaux à partir des années 1990.

Le « *monopole radical*³¹ » de l'automobile s'impose, mais il se fait au prix d'une perte de la qualité de l'environnement, d'une transformation profonde de la morphologie urbaine et d'une détérioration du cadre de vie. Prenant conscience de ces externalités et des limites du modèle du « *tout automobile* », les autorités publiques visent alors une utilisation plus rationnelle de la voiture particulière et prônent une politique globale des déplacements. C'est dans ce contexte que se situe la transformation du statut du stationnement dans l'opinion publique.

La lente affirmation du cadre réglementaire du stationnement

À la fin des années 1970, les interrogations sur les politiques de stationnement se multiplient, relançant ainsi les débats et la réflexion sur ce sujet. En 1977, le stationnement fait l'objet d'un congrès intitulé « Stationnement 77 ». Ce premier congrès consacré à ce thème conclut que les politiques de stationnement doivent devenir un outil aux mains de la collectivité publique (Atec, 1977). En 1982, la loi d'orientation sur les transports intérieurs (LOTTI) du 30 décembre 1982 (dans son article 28) affiche, pour la première fois, le stationnement comme un outil de maîtrise de la voiture en ville. Elle donne naissance au Plan des déplacements urbains (PDU) comme outil de planification globale des déplacements à l'échelle de l'agglomération. Peu appliqués par les villes et qualifiés d'ambigus dans leurs objectifs, les PDU de « première génération » ne permettront pas d'infléchir les tendances lourdes (Offner, 2003). En 1996, la loi d'amélioration et d'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) inscrit le PDU dans une perspective de développement durable et le rend obligatoire au sein des agglomérations de plus de 100 000 habitants. Cette loi rappelle le rôle clé du stationnement et explicite le contenu de ce volet au sein du PDU. Toutefois, les préconisations sont partielles, elles traitent essentiellement de l'offre sur le domaine public et évoquent la possibilité de réserver des places pour certaines catégories d'usagers (Certu, 2003a). Ces évolutions réglementaires marquent une rupture avec le passé et constituent une véritable mutation dans l'approche de l'organisation des transports urbains. Mais, elles ne suffisent pas pour inverser les tendances alors dominantes en matière de gestion du stationnement, d'autant que l'adoption des PDU dans les villes est lente à se mettre en place.

Jusqu'à la fin des années 1990, la gestion sectorielle des segments d'offre demeure très prégnante du fait du caractère multidimensionnel du stationnement et de la complexité de son système d'acteurs. Le paradigme d'augmentation de l'offre hors voirie se maintient, aboutissant à une surabondance de l'offre, à quelques exceptions près. Dans ce contexte, JMJ (2003, p.26) affirme, en analysant la situation du stationnement en France à la fin des années 1980, que « *globalement, la densité de places de stationnement atteint le niveau prévu par les planificateurs dans les travaux des années 1960* ». Mais, les problèmes et les difficultés du stationnement urbain ne prennent pas fin, ils ne se posent plus en termes de quantité mais en termes de qualité. Autrement dit, c'est l'usage des places

Dupuy (1999, p.15) définit la dépendance automobile comme un « *effet négatif d'origine interne au système automobile et résultant du processus de bonus et de cercle magique* » [...]. Elle affecte ceux qui ne peuvent entrer dans le système automobile ou ceux qui seraient obligés d'en sortir. Les uns subissent les conséquences du monopole radical, les autres perdent le bonus que leur procure la participation au club. Dans les deux cas, on peut parler de préjudice qui croît en même temps que le système se développe ».

³¹ Selon les mots d'Ivan Illich qui invite à de nouvelles réflexions sur le système des déplacements.

qui est problématique (Certu, 2007). Un véritable cercle vicieux s'installe, la surabondance de l'offre ayant favorisé l'usage de l'automobile, notamment pour les déplacements liés au travail (Héran, 2011). Elle joue aussi un rôle dans la dilution de la ville et le développement des pôles secondaires (Certu, 1994). À l'échelle locale, les plans de stationnement font leur apparition au cours de cette période, mais ils sont largement insuffisants. Le manque de rigueur et de cohérence dans leur application rend les mesures prises inefficaces, surtout en l'absence d'une réelle volonté politique pour instaurer des politiques de stationnement claires, rationnelles et admises par tous (Parkopolis, 1997). Pour compléter cet état des lieux du stationnement urbain, dressons un bilan rapide de son évolution par segment d'offre.

Une offre privée pléthorique

Au fil du temps, les normes minimales édictées au début des années 1970 ont perdu leur signification première, et elles sont devenues peu adaptées aux contextes changeants et aux évolutions économiques, sociales et urbaines des territoires. Paradoxalement, jusqu'à la fin des années 2000, la provision d'offre privée de stationnement est restée largement dominée par la doctrine de surestimation des besoins. Dans une étude portant sur le stationnement lié au travail, le Certu (1994, p.110) souligne que « *plus que les valeurs absolues des normes de l'article 12 des POS pour les bureaux, pourtant très variables d'une ville à l'autre, ce qui apparaît critiquable aujourd'hui, ce sont leurs conditions d'application qu'il semble nécessaire de revoir* ». Ce constat est quasiment généralisable à toutes les autres fonctions urbaines. La tendance à la surestimation des besoins a laissé place à une surenchère perpétuelle de la part des entreprises, des administrations et des particuliers. D'ailleurs, les promoteurs ont adapté leurs montages financiers et ils ont pris l'habitude de dépasser les normes et de faire d'une offre surdimensionnée un argument de vente (Héran, 2011). Au-delà de la consommation conséquente du foncier, qui peut être qualifiée de gaspillage lorsqu'on se penche sur les taux d'occupation effective des places privées, ces pratiques ont impacté l'organisation spatiale et la localisation des activités. Dans le secteur du commerce, par exemple, la grande distribution a bâti son modèle économique sur l'accessibilité en voiture et les facilités de stationnement pour les clients en s'alignant sur l'idée reçue « *No parking, no business* » (*idem*). Il en va de même pour les entreprises qui proposent systématiquement des places pour leurs employés. Ces pratiques ont donc contribué à l'ancrage de la culture d'accessibilité basée sur l'automobile.

Au regard de ces externalités, certaines villes ont commencé à se soucier des effets pervers de la construction systématique de places pour les bureaux (Dupuy, 1995). C'est, notamment, le cas des villes de Nancy et de Lyon, qui ont tenté d'abaisser les normes minimales pour les immeubles de bureaux situés en zones centrales, respectivement en 1980 et 1986, en prenant en compte l'offre publique de stationnement en ouvrage à proximité et la qualité de la desserte en transports collectifs. Ces premières expériences ont été considérées à l'époque comme un succès, mais elles n'ont pas suffi pour impulser une véritable inflexion des pratiques des villes.

Un succès mitigé des parkings publics hors voirie

La tendance de réalisation de parkings publics se consolidera au cours des années 1980 et 1990, donnant lieu à une offre abondante, même si elle sera ralentie sous l'effet du second choc pétrolier. À ce titre, JMJ (2003, p.18) précise que « *d'une manière générale, le rythme annuel d'ouverture de parcs tend à augmenter, passant en année préélectorale de 3 en 1970 à 20 en 1988 et encore à 14 en 1994 [...]. De ce fait, l'offre de stationnement en nombre de places dans les parcs publics et dans les centres urbains augmente plus vite que le parc automobile français* ». Cette dynamique touche particulièrement les parcs de rabattement. En 1992, le flou sémantique qui les caractérisait est levé, le terme de parc relais est officiellement admis par la Commission de terminologie des transports du ministère de l'Équipement, ce qui permettra d'améliorer leur lisibilité³².

Loin de respecter les règles du marché ouvert, la tradition des économies mixtes est solidement installée, favorisant des situations de monopole technique et géographique privé (Belli-Riz, 2001). Dans certaines agglomérations, le régime de concessions s'étend aussi à la voirie. Le début des années 1990 voit la montée de plusieurs manifestations par des acteurs privés qui cherchent à se positionner de manière offensive (Parkopolis, 1997) et la révélation de nouveaux métiers du stationnement urbain (Belli-Riz, 2001). En 1993, la loi Sapin (loi n° 93-122 du 29 janvier 1993 relative à la prévention de la corruption et à la transparence de la vie économique et des procédures publiques) soumet au régime de concurrence l'attribution des concessions de parkings publics et édicte de nouvelles règles de fonctionnement relatives notamment à la durée des contrats et à leur non-reconduction tacite. Les parkings relais constituent une exception. Ils sont souvent financés et réalisés par les autorités organisatrices de transport urbain et les communes, alors que leur exploitation est assurée par l'exploitant du réseau de transport urbain de l'agglomération et par la commune.

Obéissant aux comportements opportunistes des acteurs, l'investissement chronique en parcs publics présente un succès variable selon les villes. Alors que certains ouvrages sont saturés, d'autres, bien plus nombreux, sont sous-occupés, notamment parce qu'ils subissent une forte concurrence de la voirie. C'est aussi le cas des P + R (parcs relais) qui, au même titre que les premiers, peinent à afficher des taux de remplissage élevés, même lorsqu'ils sont gratuits. À ce propos, Parkopolis (1997, p.12) affirme que « *réalisés dans un souci de service public, sans étude préalable, certains ouvrages de stationnement s'avèrent inadaptés aux besoins du marché par erreur de localisation et de capacité, et très coûteux à exploiter* ». Au-delà des aléas de réalisations parfois hasardeuses, la conception des parcs n'appelle pas toujours une réponse claire et n'obéit à aucune approche scientifique. En l'absence de réflexion urbanistique et fonctionnelle sur leur

³² La Commission de terminologie définit le parc relais comme un « *lieu aménagé à proximité d'un arrêt de transport public destiné à inciter un automobiliste à garer son véhicule pour emprunter ensuite un moyen de transport collectif* ». Une deuxième définition plus détaillée est proposée par le Certu (2010a, p.7) qui le considère « *comme un équipement, souvent au sol, qui vise à favoriser les pratiques intermodales de transport par l'optimisation du lien entre véhicules individuels et modes de transports collectifs. Il est par nature en relation avec un ou plusieurs réseaux de transports collectifs urbains ou périurbains et doit en faciliter l'accès aux utilisateurs des modes individuels (conducteurs ou passagers), principalement des voitures particulières et très marginalement en France, des deux-roues. Il traduit les effets de synergie qui existent entre la trame routière d'une agglomération et ses réseaux de transport en commun* ».

intégration dans le paysage urbain, elle donne lieu à des équipements lourds et hétérogènes. Enfin, depuis les années 1990, les exploitants misent davantage sur la qualité d'usage des parcs de stationnement en introduisant de l'éclairage, de la musique et de l'art, pour améliorer leur perception chez l'utilisateur et les rendre plus conviviaux (*idem*).

Une voirie publique toujours aussi convoitée

Malgré le développement d'une offre alternative, le stationnement sur voirie continue de constituer un élément structurant de l'offre totale de stationnement dans les agglomérations françaises. D'ailleurs, dans les années 1980, la densité moyenne des places sur voirie est deux fois plus importante dans les villes françaises que dans celles d'Europe du Nord, et *a fortiori* que dans les villes américaines (JMJ, 2003).

Le trait dominant de cette période est, sans doute, la généralisation de la réglementation, dont la forme reste fortement dépendante de la taille des villes (Parkopolis, 1997). La zone bleue est plus utilisée dans les petites et les moyennes agglomérations. Dans les plus grandes, elle vient souvent appuyer une réglementation payante de plus en plus répandue³³ (l'offre payante a quasiment doublé). Les politiques tarifaires se sont affinées ; les tarifs de stationnement ont évolué à la hausse et sont désormais hiérarchisés par zone et modulés selon les durées de stationnement et les catégories d'utilisateurs. Dès les années 1980, les résidents et les visiteurs se placent en première ligne dans la plupart des villes et bénéficient, à l'initiative du maire, de régimes préférentiels (Certu, 2000b). Le stationnement sur voirie est utilisé comme une clé de relance économique pour faire face au développement des polarités commerciales secondaires et au phénomène de désertification des centres urbains. C'est notamment le cas à Lyon, qui adoptera un tarif résidentiel en 1986. Mais ce n'est qu'en 1999 que la tarification préférentielle pour les résidents sera explicitement reconnue par la jurisprudence.

Il n'en demeure pas moins que l'image du stationnement a peu évolué. Dans l'esprit des usagers, cette mesure a toujours une connotation négative. Son acceptabilité a peu changé, notamment à cause du défaut de communication institutionnelle. Le phénomène de fraude est de loin la principale lacune du système de stationnement payant français, dont l'ampleur varie toutefois fortement selon les villes (*idem*). Cet état de fait s'explique par une faible densité de la surveillance et le caractère peu dissuasif de l'amende – dont l'effet coercitif ne cesse de s'amollir. L'anarchie du stationnement sur voirie a fait monter les critiques, surtout de la part des architectes et des urbanistes qui dénoncent le caractère envahissant de l'automobile. Avec l'évolution de la pensée urbaine, les questions d'esthétisme urbain et de qualité d'usage de l'espace public sont de plus en plus souvent à l'ordre du jour (Mathon, 2008). Ces enjeux ont d'ailleurs nourri les revendications d'un usage partagé de l'espace public et d'une limitation du stationnement sur voirie.

³³ Selon les résultats de l'enquête de stationnement public effectuée par Parkopolis en 1995, sur 175 villes interrogées, 30 % ont mis en place la zone bleue, mais celle-ci ne représente que 4 % des zones réglementées. Ces chiffres servent à donner un ordre de grandeur et ne reflètent pas forcément la tendance nationale. Pour ce qui est de l'offre payante, elle a doublé en dix ans pour passer de 580 000 places en 1987 à près de 1 100 000 places en 1997, (Parkopolis, 1997).

1.2.4 Le tournant : le stationnement comme une véritable clé de voûte de la planification urbaine (2000-aujourd'hui)

Le début du XXI^e siècle représente un tournant majeur en matière d'organisation du stationnement urbain. Il témoigne d'une vraie mutation dans les pratiques des collectivités territoriales, induite par une prise de conscience collective de son rôle et de ses effets à l'échelle de l'agglomération, et par l'évolution de son statut : le stationnement des véhicules est explicitement reconnu par l'État comme un outil stratégique de planification urbaine. À l'échelle locale, les politiques de stationnement tendent de plus en plus vers une optimisation de l'offre existante et une rationalisation de la demande. Au cours des dernières années, une véritable culture du service de stationnement s'est amorcée, prenant appui sur la révolution numérique. Le stationnement est entré au cœur du mouvement et fait partie intégrante des outils du développement durable (Certu, 2008b).

Ces évolutions s'esquissent dans un contexte de transformation des réflexions urbaines. À l'aube du nouveau siècle, le développement urbain s'intègre davantage dans un mouvement de développement plus soutenable des territoires, qui s'articule autour du modèle urbain de la « ville durable » axé sur une meilleure articulation entre Transport et Urbanisme. Ce changement de cap marque la fin du règne de l'automobile. Pour les décideurs publics, la voiture particulière n'est plus considérée comme un mode de déplacement d'avenir. Désormais, l'objectif est de favoriser une complémentarité modale, articulée autour de l'usage des transports en commun et des modes doux d'une part et du développement de l'intermodalité d'autre part. Ainsi, depuis quelques années, un passage progressif de la « voiture objet » à la « voiture service » s'est enclenché, grâce au développement des nouvelles formes de mobilité qui sont en plein essor (l'autopartage, les véhicules électriques, les vélos en libre-service, etc.).

La quête d'une approche globale du stationnement

En 2000, la loi relative à la Solidarité et au renouvellement urbain (SRU) étend le champ d'action du PDU au stationnement et l'affirme davantage comme un outil de planification urbaine et d'articulation entre transport et urbanisme. Pour la première fois, le stationnement des véhicules est abordé de manière large dans un texte législatif. La loi SRU renforce le pouvoir prescriptif du PDU et enrichit le contenu du volet stationnement. En plus de l'organisation du stationnement public qui intègre désormais sa réglementation et sa tarification, ses capacités physiques et les règles d'accès aux places (sur voirie, en parcs publics et en P+R), cette loi ouvre la possibilité au PDU de limiter l'offre nouvelle de stationnement dans les PLU³⁴ lors de la construction d'immeubles de bureaux ou de bâtiments autres qu'à usage d'habitation. Seules les questions du contrôle du stationnement payant et de la communication n'y

³⁴ Dans l'objectif de renforcer la cohésion sociale et urbaine, la loi SRU de 2000 a créé deux documents : d'une part le SCOT (Schéma de cohérence territoriale) qui définit le projet territorial à l'échelle du bassin de vie et encadre les interactions entre les politiques sectorielles, et d'autre part, le PLU (Plan local d'urbanisme) qui détaille le contenu opérationnel et de programmation des orientations stratégiques à l'échelle locale (Certu, 2013b).

sont pas abordées. De plus, l'un des objectifs majeurs de la SRU est de favoriser l'émergence d'une autorité de transport au sein de l'agglomération. À ce titre, elle donne la possibilité aux structures intercommunales d'agir sur le stationnement sur voirie en instituant des redevances et en fixant les tarifs des zones de stationnement payant. Enfin, cette loi initie une approche globale d'organisation de stationnement en traitant de nouveaux axes (liés aux vélos, aux autocars, aux taxis et au stationnement pour les personnes à mobilité réduite).

En 2010, le législateur conforte le rôle de levier du stationnement comme outil stratégique de gestion et de planification urbaine avec la loi Grenelle II (loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement). Ce texte législatif admet le caractère transversal du stationnement et le circonscrit explicitement à l'échelle de l'agglomération. Il élargit le champ d'action des PDU au stationnement en proposant différentes dispositions volontaristes, notamment en ouvrant la possibilité au SCOT d'agir sur le stationnement privé et aux collectivités de fixer des normes plafonds dans les PLU, en l'absence de PDU. Cette loi sous-tend la recherche de cohérence d'ensemble en matière d'action sur le stationnement. Néanmoins, la recherche de cette cohérence s'avère beaucoup plus complexe qu'une simple hiérarchisation des différents segments de l'offre, bien qu'elle constitue l'indispensable base de toute approche gestionnaire.

Ces évolutions législatives ont sans doute contribué à inverser les tendances passées, mais elles ne semblent pas suffisantes pour asseoir une approche globale de stationnement urbain. L'analyse de la situation contemporaine du stationnement urbain en France donne lieu à un tableau nuancé. Actuellement, le PDU intègre dix thématiques de stationnement³⁵, mais leur prise en compte concrète varie selon les agglomérations. Souvent, la question du stationnement est abordée avec précaution. À cet égard, Offner (2003) souligne que les experts de la mobilité (du Certu et de l'Ademe, principalement) regrettent la frilosité des mesures portant sur le stationnement dans les PDU. Les PDU de Strasbourg et de Grenoble sont les seuls à affirmer clairement « *une politique de stationnement volontariste* » (*idem*). Selon l'enquête du Certu de 2010, en France, un PDU sur trois considère le stationnement de manière globale (Certu, 2013a). Dans la plupart des PDU, des aspects importants restent peu explicités ou analysés de manière approximative, tels que le stationnement lié aux activités de logistique urbaine, le contrôle du stationnement sur voirie et la communication institutionnelle (*idem*). Enfin, les préconisations des PDU sont confrontées à des difficultés de mise en œuvre à cause de la multiplicité des acteurs et de la dispersion des compétences. La question du stationnement, touchant au quotidien des riverains, reste un sujet très sensible (*ibidem*). Dans ce qui suit, nous détaillerons les principales évolutions encourues au cours ces dernières années.

³⁵ Le champ d'intervention du PDU couvre l'ensemble des sous-domaines suivants : (1) l'offre de stationnement public pour les véhicules particuliers, (2) la réglementation du stationnement public, (3) le stationnement en P + R, (4) l'offre de stationnement privé pour les véhicules particuliers, (5) le stationnement pour les personnes à mobilité réduite, (6) le stationnement des vélos, (7) les livraisons et le stationnement des véhicules de transport de marchandises, (8) le stationnement des autres modes de transport, (9) la lutte contre les incivilités (contrôle et surveillance), (10) l'aspect relationnel (communication et concertation).

L'offre privée de stationnement : les premiers germes du changement ?

Au cours des dernières années, une nouvelle philosophie de production du stationnement privé tend à briser la doctrine de production basée sur la surestimation encore très dominante, mais l'évolution est lente et partielle. Ces changements découlent principalement de l'évolution des dispositifs réglementaires.

Dès le début du XXI^e siècle, l'État a confirmé clairement sa volonté de contraindre le stationnement privé. En 2000, la loi SRU rend l'article 12 du PDU facultatif. Autrement dit, les collectivités peuvent ne pas édicter d'obligation de construction de places de stationnement dans leur règlement. Par ailleurs, comme nous l'avons déjà mentionné, avec la loi SRU, le PDU a la possibilité de contraindre à la réalisation d'aires privées de stationnement lors de la construction d'immeubles de bureaux ou de bâtiments autres qu'à usage d'habitation³⁶. La même loi a aussi limité les emprises au sol des aires de stationnement de certaines opérations immobilières, notamment des grandes surfaces commerciales périphériques et des complexes cinématographiques (article 34 de la loi SRU). Ainsi, plusieurs villes françaises sont passées aux normes plafonds pour les immeubles de bureaux, c'est notamment le cas de Lyon, Grenoble et Strasbourg (Certu, 2000a). Ces actions volontaristes restent exceptionnelles et fortement dépendantes de la localisation géographique des bâtiments à construire et de la qualité de la desserte en transports en commun. De plus, elles ne concernent que les agglomérations couvertes par un PDU. Dans les petites agglomérations, les normes planchers continuent à être appliquées et à produire les mêmes effets. Pour remédier à cette situation, la loi Grenelle II a donné, en 2010, la possibilité aux collectivités de fixer des normes plafonds pour les bureaux et les commerces directement dans le règlement du PLU, dans des secteurs bien desservis par les transports collectifs. Cette même loi a aussi exigé d'intégrer des prises pour recharger les véhicules électriques et hybrides, ainsi que des places de stationnement pour les vélos. D'une manière générale, l'intérêt de limiter l'offre de stationnement pour les implantations de bureaux dans les zones centrales est de plus en plus partagé par les collectivités. Mais les pratiques d'application demeurent hétérogènes. Selon le Certu (2000a, p.102), « *le champ actuel des normes est très large : de 1 place pour 30 mètres carrés de bureaux dans certaines villes de province à 1 place pour 120 mètres carrés à Paris*³⁷ ».

Concernant le stationnement résidentiel, il a fait figure d'« intouchable ». La voiture particulière reste un bien patrimonial cher au cœur des Français, même si son usage recule dans les pôles urbains et régionaux. Cela explique la grande prudence et la frilosité des collectivités françaises à traiter de façon plus stricte le stationnement lié au logement, y compris dans les projets les plus innovants. Ce segment d'offre de stationnement s'intègre toujours dans une philosophie de couplage entre l'usage et la

³⁶ Selon le Certu (2000a, p.97), « *le PDU peut :*

- *délimiter les périmètres à l'intérieur desquels les obligations imposées par le PLU peuvent être réduites ou supprimées ;*
- *fixer les limites des obligations imposées par le PLU ;*
- *imposer des normes plafonds pour les bâtiments à usage autre que d'habitation dans les secteurs bien desservis en transports collectifs ».*

³⁷ Ce calcul est effectué selon une superficie moyenne estimée à 25 mètres carrés pour un emploi de bureau.

possession d'une voiture particulière³⁸. Mais cela n'a pas empêché l'apparition de quelques progrès plus ou moins intéressants. En 2000, la loi Grenelle II a recommandé d'ajuster les normes planchers aux besoins réels de la construction. Elle a limité expressément l'offre de stationnement dans le parc locatif social, en la plafonnant à une place par logement. Elle a aussi autorisé les bailleurs sociaux à louer les places de parking vacantes pour optimiser leur occupation. De même, depuis le milieu des années 2000, des tentatives d'habitat économe en stationnement ont vu le jour, notamment dans le cadre de projets d'urbanisme opérationnel tels que les zones d'aménagement concerté (ZAC) ou encore les écoquartiers qui incarnent l'image de quartiers sans voitures (du moins sans voitures visibles sur l'espace public). Au-delà de la restriction quantitative des emplacements privés, ces projets misent aussi bien sur l'organisation de l'offre en dissociant les places de stationnement des logements et en proposant un parking mutualisé en marge du quartier que sur la qualité architecturale des ouvrages. Néanmoins, les normes retenues se situent aux alentours d'une place par logement et diffèrent beaucoup des cas étrangers, qui sont nettement plus proches du « zéro voiture »³⁹. Enfin, des tentatives de foisonnement et de mutualisation⁴⁰ de stationnement ont vu le jour en France. Cette pratique suscite de plus en plus l'intérêt des pouvoirs locaux, particulièrement dans le cas des opérations mixtes, car elle réduit de façon significative le coût des investissements et l'espace dédié au stationnement. Récemment, plusieurs collectivités l'ont expressément recommandée dans leur règlement de PLU, c'est le cas par exemple de Toulouse, Strasbourg et Besançon (Certu, 2010b).

Quoi qu'il en soit, même à un stade expérimental, les initiatives d'optimisation de l'offre privée de stationnement déjà citées portent en germes les changements structurants du stationnement privé en France. Leur généralisation reste bien entendu dépendante du bon vouloir des décideurs locaux.

Les parkings publics, vers de véritables « hubs de services »

Au tournant du nouveau millénaire, l'évolution des parcs publics de stationnement ne converge pas dans le sens d'une réduction de la place de la voiture en ville. L'enquête du Certu de 2010 portant sur le stationnement public en France met en évidence un rythme de mise en service très soutenu, comparable à celui de la seconde moitié des années 1990, avec un fait nouveau : la montée en puissance des parcs en enclos. Les parcs publics changent ainsi de physionomie. La part de ces équipements représente

³⁸ La réflexion du législateur repose sur un postulat simple : disposer d'une place privée incitera à un moindre usage de la voiture. Cependant, cette logique peut aussi encourager la multimotorisation des ménages.

³⁹ Généralement, les normes retenues dans les opérations d'écoquartiers sont en deçà de celles appliquées dans les PLU. Leurs valeurs sont cependant très différentes d'un écoquartier à un autre. À titre illustratif, elles sont de 0,5 place par logement pour le projet Danube à Strasbourg, de 0,7 place par logement pour les Docks de Saint-Ouen, de 0,8 place par logement pour le Bonne dans le centre de Grenoble, de 1 place par logement pour et enfin de 2 places par logement pour l'écoquartier Sainte-Marthe de Marseille, (CERTU, 2012).

⁴⁰ Le principe de mutualisation consiste à rassembler dans un même ouvrage de stationnement les besoins de plusieurs projets immobiliers proches, en tirant profit de leur proximité physique, de leur complémentarité fonctionnelle et de la non-utilisation permanente des places afin de réduire l'offre associée à chaque projet ».

45 % des mises en service totales entre 2006 et 2010 (Certu, 2013a). Cette dynamique touche toutes les villes, et s'explique par un coût d'investissement beaucoup plus faible que celui des parcs en ouvrage⁴¹. Au sein des villes moyennes, les parcs publics sont très présents. En 2005, ils représentent 40 % de l'offre payante contre 20 % en 1985 (*idem*). En ce qui concerne l'exploitation, elle fait, dans la plupart des cas, l'objet d'une délégation de service public. Au cours des dernières années, les tarifs de stationnement ont varié à la hausse, mais ils sont encore peu incitatifs pour le stationnement résidentiel. La fréquentation des parcs est très disparate, mais globalement, elle a augmenté de 33 % pour les abonnés et de 40 % pour les clients horaires entre 2001 et 2010 (*ibidem*). Les P + R quant à eux se placent, depuis la loi SRU, au cœur des réflexions sur une tarification intermodale.

Les années 2000 voient le passage des parcs de stationnement publics à une logique de diversification des services. Elles marquent le début de leur transformation en véritables lieux multifonctionnels avec un panel de services offert à l'utilisateur. En plus de la fonction du stockage de la voiture particulière, plusieurs structures offrent désormais des services de mobilité et de logistique urbaine (des bornes de rechargement pour véhicules électriques et des places de stationnement pour deux-roues⁴², un service de lavage des voitures...). À titre illustratif, citons l'exemple du Lyon Parc Auto qui mène une politique exemplaire en la matière.

Le contrôle, principale pierre d'achoppement du stationnement sur voirie

Plus de cent ans après l'avènement de l'automobile, la voirie continue de jouer un rôle de premier plan dans son stationnement. On assiste cependant à une véritable mutation dans son organisation. En référence au statut du stationnement sur voirie dans les PDU, les pouvoirs locaux utilisent le stationnement payant pour s'adapter aux exigences de la mobilité durable. Ces dernières années se caractérisent par une tendance notable à la suppression des places de stationnement sur voirie pour faire place aux nouvelles mobilités et pour répondre aux aspirations à un usage partagé de l'espace public⁴³. Selon une enquête réalisée par le Certu en 2010, 40 % des villes françaises affirment avoir eu recours à cette opération durant les cinq dernières années (Certu, 2013a). En moyenne, une grande ville sur trois propose des places dédiées à l'autopartage et 12 % des communes ont installé des bornes de rechargement pour véhicules électriques (*idem*). Mais la réduction des possibilités de stationnement sur voirie est, presque toujours, compensée, en partie ou en totalité, par la création d'une offre hors voirie (Héran, 2011 ; Certu, 2013a).

Sur le plan politique, l'intérêt de la réglementation du stationnement sur voirie ne fait plus de doute pour les élus français. Entre 2001 et 2010, l'offre réglementée augmente,

⁴¹ En effet, la différence de coût de construction est considérable entre ces deux types d'équipement. Pour une place dans un parc en ouvrage, il faut compter entre 15 000 et 40 000 euros, alors que pour une place dans un parc en enclos, le coût varie entre 1 500 et 2 500 euros (Certu, 2013a).

⁴² D'après l'enquête du Certu de 2010, 14 % des parcs de stationnement publics en France proposent des places pour l'autopartage, 22 % ont installé des bornes de recharge électrique, 40 % offrent des places pour motos et 25 % des places pour vélos (Certu, 2013).

⁴³ Depuis 2010, pour sensibiliser les citoyens et les inciter à se réapproprier temporairement l'espace public dédié au stationnement, un « Parking Day » est organisé. Cette manifestation a été tenue pour la première fois, en 2005, à San Francisco et elle s'est généralisée à l'échelle internationale.

mais sa forme dépend des villes. La zone bleue, devenue en 2007 « *zone à disque européen* », perdure mais elle apparaît nettement moins usitée que le stationnement payant qui a atteint une réelle maturité. La réglementation payante s'est quasiment généralisée dans les centres-villes, avec une tendance marquée à l'extension des zones de stationnement payant aux quartiers péricentraux (Certu, 2013a). L'évolution entre 2000 et 2010 du nombre de places met en évidence une augmentation de près de 50 % de l'offre payante, mais ce schéma ne s'applique pas à toutes les villes⁴⁴ (idem). La tarification des places tend à favoriser les courtes durées, avec une tendance nette à l'accroissement des tarifs horaires avec la taille de l'agglomération. Sous l'effet de la loi SRU⁴⁵, la tarification préférentielle pour les résidents et les professionnels mobiles s'est consolidée. Les modalités de son application restent cependant disparates et peu restrictives. Globalement, d'abord outil de rotation, le stationnement payant est devenu un outil de régulation de la demande de déplacement dans les grandes agglomérations (Certu, 2009b).

Cela dit, dans l'ensemble, le fonctionnement du stationnement sur voirie n'est pas vraiment satisfaisant et son organisation reste largement perfectible (Certu, 2008d). En effet, « *le stationnement souffre d'une surveillance « molle », d'une sanction trop peu dissuasive et d'un faible respect de la réglementation par l'utilisateur sur voirie* » (Certu, 2009b, p.1). Le contrôle constitue actuellement la principale « *pièce d'achoppement* » des politiques de stationnement (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013). Au-delà de l'incivisme très marqué des citoyens (seul un usager sur trois paie son stationnement), ce manque de performance s'explique aussi par le faible montant de l'amende qui, même en passant de 11 à 17 euros en 2011, reste peu dissuasif⁴⁶ et inadapté aux différentes réalités locales des villes. Il s'explique aussi par le manque de volontarisme nécessaire (Certu, 2008d et 2013a). Après plusieurs années de réticences, l'institution de la dépenalisation du stationnement payant de surface⁴⁷ vient en réponse à cet enjeu. L'entrée en vigueur de cette loi phare est prévue pour début 2018. Très attendue par les collectivités locales, cette réforme législative permettra de passer d'une logique d'ordre public vers une logique de service public, et de donner naissance à des politiques de stationnement plus cohérentes⁴⁸.

⁴⁴ À titre d'exemple, pour la même période de 2000-2010, Lyon a doublé son offre payante qui est passée de 15 000 à 33 000, Marseille a triplé son offre pour atteindre 14 000 places et Le Havre a multiplié par cinq le nombre de places tarifées, passant de 2 000 à 11 000, selon l'enquête du Certu de 2010 (Certu, 2013a).

⁴⁵ La loi SRU a consolidé les tarifs préférentiels pour les résidents en confortant les jurisprudences antérieures.

⁴⁶ L'enquête de stationnement public menée par le Certu en 2010 montre que le nombre moyen d'heures payées par place et par jour est inférieur à deux pour la moitié des villes enquêtées. Ce ratio est stable depuis le début des années 2000. La même enquête révèle aussi un taux de verbalisation faible, qui s'élève à 1,3 par place et par mois. Elle montre également que les écarts des recettes de stationnement et du contrôle sont très importants entre les villes françaises.

⁴⁷ Cette loi a été adoptée en première lecture à l'unanimité par le Sénat. Elle fait l'objet de l'article 63 de la loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique et d'affirmation des métropoles.

⁴⁸ En comparaison avec les autres pays européens, la France a beaucoup tardé pour mettre en place le système de dépenalisation du stationnement payant, pourtant l'idée a fleuri dans les années 1990. En 2008, le Certu a publié une analyse de l'expérience britannique, en mettant en avant ses points forts et ses faiblesses et en dégagant des enseignements pour le cas français. Puis, en 2014, le GART a analysé

Ces dernières années ont vu aussi la naissance des premières expériences de services d'information de stationnement à l'utilisateur (en termes de localisation, de tarif, de capacité, de disponibilité en temps réel et d'itinéraire d'accès). Et les nouvelles technologies profitent également aux collectivités. Pour gérer au mieux l'offre des places, certaines villes, à l'instar de Toulouse, ont déployé des modalités innovantes de gestion de l'offre (paiement du stationnement par téléphone mobile, vidéo-verbalisation, disponibilité de place en temps réel, etc.) par le biais de capteurs installés sur la chaussée et d'horodateurs dits de « nouvelle génération ». Les années à venir seront certainement marquées par la diffusion du stationnement intelligent à l'échelle nationale et par la diversification des supports d'information sur le stationnement au profit des usagers.

1.2.5 Éléments de synthèse

La situation contemporaine du stationnement urbain résulte d'une histoire mouvementée, ponctuée de prescriptions, riche en rebondissements, mais aussi en paradoxes. Ce panorama historique montre que le stationnement automobile a servi et sert encore à bien des égards, de moyen d'ajustement permanent des politiques publiques pour répondre à des enjeux et à des objectifs larges de développement urbain, particulièrement en termes de mobilité et d'aménagement de l'espace. L'organisation du stationnement a été en conséquence façonnée par les inspirations, les pressions et les conjonctures du moment. La dominance des actions sectorielles et les multiples dysfonctionnements déjà relevés sont les conséquences de la logique réactive qui caractérise les actions publiques en matière de stationnement. Cette approche curative explique aussi la dichotomie temporelle constatée entre la manifestation des problèmes liés au stationnement automobile et la mise en place des solutions pour les résoudre par les acteurs publics. La réglementation suit à un rythme lent, sans forcément être en phase avec l'évolution des préoccupations et des enjeux.

D'une manière générale, l'organisation du stationnement des véhicules en France demeurent de l'ordre de la régulation plus que de la planification. Notre analyse montre l'insuffisance de ce paradigme d'action et affirme l'importance de renouveler les réflexions autour de la problématique du stationnement en ville, à l'aune de la ville durable et intelligente. C'est à cet exercice de réflexion que nous nous livrerons au cours de la deuxième section de ce chapitre.

1.3 L'intérêt de l'éco-conception pour organiser le stationnement urbain

Au cours de cette section, nous appréhendons le stationnement automobile comme un objet d'éco-conception. Cette problématique pose actuellement de forts défis de durabilité urbaine tant en termes de conception qu'en termes d'exploitation et de gestion de l'offre. Le recours à une approche globale de stationnement en ville

différents cas de pays européens, notamment la Belgique, la Norvège et l'Espagne. L'objectif de cette étude était de tirer des enseignements pour la France et d'éclairer les choix des décideurs. Pour plus d'information, le lecteur pourra se référer à l'étude du Certu (2008a) et à l'étude du GART(2014).

constitue désormais une véritable nécessité pour permettre d'intégrer de la dimension environnementale dès le processus de conception et tendre vers une véritable culture de service de stationnement en milieu urbain. À ce titre, l'éco-conception, qui allie service et environnement, apporte une réponse satisfaisante aux enjeux actuels du stationnement en milieu urbain en proposant un cadre pragmatique d'action. L'éco-conception permet d'optimiser le fonctionnement du stationnement et d'anticiper les conséquences des actions, en adoptant une position proactive.

Après un bref aperçu sur l'éco-conception et sur l'intérêt de l'appliquer au stationnement urbain, nous proposons une analyse théorique structurée autour du quoi, du pourquoi et du comment des politiques publiques de stationnement. Enfin, nous discutons les principales conditions pour converger vers des systèmes de stationnement plus soutenables, en France.

1.3.1 L'éco-conception comme cadre pragmatique d'action

Depuis le début des années 1970, la préoccupation environnementale n'a cessé de prendre de l'importance, particulièrement dans les pays industrialisés. L'acuité des problèmes de pollution et l'épuisement des ressources naturelles ont conduit à faire de l'environnement une dimension incontournable du développement durable. Qu'est-ce que alors l'éco-conception et comment peut-elle être appliquée en matière d'organisation du stationnement des véhicules ?

1.3.1.1 Qu'est-ce que l'éco-conception ?

L'éco-conception a émergé dans le mouvement plus large de « *l'environnementalisme industriel* » (Hoffman, 1997). Elle désigne l'intégration de la dimension environnementale dès le stade préliminaire de la conception des produits (biens et services), au même titre que les critères de performances technico-économiques qui ont longtemps prévalu lors des études de développement des produits (ISO-14062, 2003). Brezet et Van Hamel (1997) définissent l'éco-conception comme une solution durable permettant de trouver un équilibre parfait entre les exigences écologiques et économiques dans le développements des produits. L'objet de cette démarche est la réduction des effets d'un produit sur l'environnement en termes de consommation des ressources et d'émission d'impacts. En plein essor dans le milieu industriel, l'éco-conception est structurée autour du concept de « cycle de vie » qui renvoie à l'ensemble des étapes de vie d'un produit depuis l'extraction de ses matériaux constitutifs jusqu'à son élimination en fin de vie ; en passant par les activités de fabrication de ses composants, de transport et d'utilisation. En d'autres termes, l'éco-conception peut se définir comme la prise en considération des aspects environnementaux sur toutes les phases du processus de développement du produit, permettant d'engendrer le minimum d'impact durant tout le cycle de vie du produit (idem). Dans une conception plus large, Charter et Tischner (2001) définissent l'éco-conception comme les solutions durables englobant des produits, services, hybrides ou systèmes qui permettent de minimiser les impacts négatifs et de maximiser les impacts positifs au niveau de l'économie, de l'environnement, de la société et de l'éthique partout et au-delà du cycle de vie des produits ou solutions existants.

L'éco-conception repose sur deux principes fondamentaux. D'une part, c'est une approche globale dans la mesure où elle prend en considération l'ensemble des phases du cycle de vie d'un produit. D'autre part, c'est une approche multicritère car elle considère toutes les catégories d'impacts environnementaux rattachés au produit en question. Cette double caractéristique constitue en quelques sortes sa marque de fabrique. La force de l'éco-conception réside dans sa structuration autour de l'amélioration continue de la qualité du produit. Autrement dit, elle permet de concilier l'aspect fonctionnel avec l'aspect environnemental. Cette approche constitue donc une démarche d'arbitrage des questions de conception centrée sur la fonction remplie par le produit. De ce fait, elle commence par une réflexion pour répondre à l'interrogation « à quoi sert ce produit ? » et qui passe indispensablement par une analyse exhaustive de l'ensemble de son cycle de vie. En amont, elle implique une connaissance affinée de ses caractéristiques et une compréhension approfondie de son fonctionnement. En agissant à la source, l'éco-conception constitue une approche préventive, elle vise à éviter le déplacement des impacts du produit entre les phases du cycle de vie. En résumé, l'éco-conception favorise l'esprit de « décider en connaissance de cause », et de l'évaluation ex-ante des projets, d'où son intérêt pour l'aide à la décision.

Couvrant un champ d'application très large, l'éco-conception peut concerner un nouveau produit ou un produit existant. Par ailleurs, un même produit peut faire l'objet de plusieurs approches d'éco-conception. La littérature propose de nombreuses démarches de prise en compte de l'environnement en conception. Brezet et *al.*, (1997) distingue quatre classes : (1) l'amélioration du produit (généralement sans changement des techniques de fabrication de produit), (2) la re-conception de produit, (3) l'introduction d'un nouveau concept de produit et (4) la conception d'un nouveau système de production. La quatrième classe implique une transformation radicale des modes de conceptions et une rupture avec le passé. Une deuxième catégorisation est proposée par Millet et *al.*, (2003) qui distingue trois grandes catégories de démarches d'éco-conception traduisant des degrés d'intervention différentes sur le produit. La première catégorie porte sur les démarches d'éco-conception partielle où l'environnement est perçu comme une contrainte supplémentaire, c'est le cas du « *Design For Recycling* ». La deuxième classe concerne les démarches d'éco-conception classique où l'environnement est appréhendé comme un nouveau critère de conception systémique du produit, c'est le cas du « *green design* ». Enfin la troisième classe considère les démarches d'éco-conception innovante où l'environnement est perçu comme une nouvelle valeur de développement. Ce dernier types de démarches se focalise sur le service fournit à l'utilisateur final. Il correspond à une approche globale de l'environnement en conception. C'est le cas du « *Sustainable Product Design* ». Il en résulte qu'au meilleur degré de son intégration, l'éco-conception peut servir de moteur à l'innovation (Clark et *al.*, 2009). Plus qu'une démarche standard, l'éco-conception propose un cadre pragmatique d'action qui concilie performance et durabilité.

Les démarches d'éco-conception s'appuient sur des méthodes et font appel à de nombreux outils environnementaux qui procurent des évaluations à dominante qualitative ou à dominante quantitative. L'analyse de la littérature montre une grande diversité des outils (Baumann et *al.*, 2002). Certains auteurs se sont attachés à les classer afin de clarifier leurs apports et de faciliter le choix pour les concepteurs. Fiksel

(1996) distingue les instruments de mesures environnementales qui permettent de définir les objectifs à atteindre, les outils de préconisations environnementales qui facilitent la définition des concepts d'action et les méthodes d'analyse qui servent à évaluer la qualité environnementale. Janin (2000) organise les outils selon cinq axes : les outils d'évaluation, les outils d'amélioration, les outils stratégiques, les outils de sensibilisation et les outils de communication. Brun et *al.*, (2005), dans un état de l'art réalisé pour le compte de l'AFNOR, identifient sept types d'outils selon leurs fonctionnalités : sensibilisation, acquisition des connaissances, aide à la décision pour l'évaluation des impacts environnementaux, format de données, bases de données, système d'intégration et de calcul, valorisation et communication de la démarche d'éco-conception. Enfin, Dewulf (2003) appréhende les méthodes et les outils d'éco-conception selon leur approche du cycle de vie (approche générale ou approche partielle) et selon les types de données auxquels ils font appel (monocritère à multicritère). Actuellement, les outils d'Analyse de Cycle de Vie⁴⁹ (ACV), qui fournissent une évaluation environnementale et une aide à la décision, constituent la forme la plus aboutie et la plus complexe de ces dispositifs.

D'une manière générale, un outil d'éco-conception devrait être à même d'évaluer l'ensemble des impacts d'un produit sur l'environnement, tel que le fait l'ACV, mais aussi pouvoir aider le concepteur à améliorer la qualité du produit, et ce presque simultanément à l'évaluation. Or, aujourd'hui aucun outil n'est en mesure de rassembler tous les paramètres de décision, aucune méthode n'est capable de proposer à la fois une aide à la conception et à l'amélioration environnementale. Dans une analyse de 650 articles de littérature, Baumann et *al.* (2002) ont confirmé ce constat, ils ont conclu que les outils d'éco-conception déjà disponibles sont très partiels et manquent d'une vision globale du cycle de vie. Ces auteurs ont aussi souligné leur faible adéquation aux besoins des concepteurs, d'où les difficultés qu'éprouvent les concepteurs à les approprier.

Plusieurs études ont été réalisées pour évaluer la mise en place de l'éco-conception dans la pratique, notamment en milieu industriel (Tukker et *al.*, 2001 ; Mathieux et *al.*, 2001 ; Behrisch et *al.*, 2011). Elles ont montré que le recours à l'éco-conception dépend du degré de développement des pays, mais aussi du cadre réglementaire régissant les produits, des besoins des clients, et du degré de motivation interne de l'entreprise. Les pratiques actuelles de l'éco-conception sont très critiquées car elles se focalisent davantage sur la phase d'ingénierie du produit (Behrisch et *al.*, 2011). Du point de vue de la conception, cette intégration est tardive ne permettant pas de procéder à des changements importants dans le produit. En ce sens, selon Roozenburg and Eekels (1995), le processus de développement de produit s'articule autour de deux phases principales : (i) une phase de planification du produit qui détermine ce qui sera développé et pour quelle raison et (ii) une phase de

⁴⁹ Selon la norme ISO-14 040, l'ACV se définit comme « une compilation et évaluation des entrants et des sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie » (ISO-14 040, 1997). Millet et al (2005) décrivent l'ACV selon trois principes : C'est une méthode qui permet d'identifier des forces et des faiblesses du système étudié avec un point de vue environnemental, elle permet de rationaliser une réalité complexe et elle constitue une méthode « informatisée » fondée sur des logiciels spécifiques et regroupant des bases de données et des méthodes particulières de calculs.

développement stricte qui établit un plan pour le faire. Ces deux phases sont cruciales en matière d'éco-conception. Dans ce même ordre d'idées, Millet et *al.* (2003) considèrent que la prise en compte de la dimension environnementale dans les produits doit être intégrée nécessairement selon deux niveaux ; un niveau de réflexion globale et générale et un niveau de l'action locale et spécialisée.

En résumé, à l'état actuel de l'éco-conception, seuls des principes et des termes généraux peuvent être utilisés en phase d'avant-projet lors de la conception pour l'amélioration d'un produit, comme la notion de durabilité (Wiggum, 2004). Par ailleurs, la qualité environnementale est une notion floue, d'où la complexité de son intégration dans le processus de conception des produits. A cela s'ajoute le manque de connaissance de l'analyste vis-à-vis du produit traité et la contrainte d'accéder aux bases de données servant à décrire le produit et de le caractériser. Cela dit, l'éco-conception n'est qu'à ses débuts, les années à venir témoigneront certes de nouveaux développements des méthodes et des outils plus appropriés. L'éco-conception est une approche émergente qui nécessite une compréhension profonde des mécanismes de fonctionnement des produits pour pouvoir évaluer leurs performances et leurs impacts sur l'environnement. Elle ne se résume pas uniquement à des outils, c'est une démarche de conception de projets plus soutenables permettant de guider l'action et la prise de décision. Son domaine d'application s'étend désormais aux politiques publiques.

1.3.1.2 Qu'est-ce que l'éco-conception du stationnement ?

L'intérêt d'appréhender l'organisation du stationnement à travers le prisme de l'éco-conception se justifie par sa capacité à répondre parfaitement aux besoins d'une approche globale largement partagée par les acteurs publics et privés et aux exigences de rationalisation et de la préservation de l'environnement auxquelles sont confrontées les collectivités territoriales. Le champ d'action de l'éco-conception en matière de stationnement des véhicules est très large. Il englobe principalement :

- la construction des aires de stationnement privées et des parkings publics (phase de construction) ;
- les modalités de fonctionnement et d'occupation des parkings (phase d'usage) ;
- les possibilités de mutation ou de fin de vie des parkings (phase de fin de vie) ;
- l'élaboration des politiques locales de stationnement (phase transversale de conception).

Le concepteur peut ainsi se focaliser sur l'ensemble de ces aspects ou sur l'un d'entre eux. Dans ce chapitre, nous avons choisi de se pencher sur la conception des politiques de stationnement. Autrement dit, nous appréhendons l'éco-conception sous l'angle des manières de construire et des lignes de conduites des politiques publiques de stationnement dont les impacts se répercutent sur l'ensemble des phases de son cycle de vie. Largement évoquées comme un instrument clé de gestion des déplacements et comme un levier structurant d'un développement urbain durable, les politiques de stationnement reposent sur de multiples choix décisionnels particulièrement complexes. La question qui se pose alors est celle de savoir comment tendre vers des politiques de stationnement plus soutenables ? Pour répondre à cette

interrogation, nous proposons une réflexion théorique et conceptuelle pour saisir ce que couvre le concept de politique de stationnement et comprendre les objectifs qu'elle poursuit, les moyens d'actions sur lesquels elle repose, les approches de leur élaboration.

1.3.2 Les politiques de stationnement : genèse et approches de conception

L'organisation et la gestion du stationnement fait référence aux divers programmes et politiques qui les sous-tendent (Litman, 2006). Le terme de « politique » réfère, au sens large, à un ensemble d'actions spécifiques et à une manière d'agir. Sous l'angle des politiques publiques, il renvoie aussi à l'autorité organisatrice chargée de prendre des décisions pour répondre à des objectifs préalablement définis et ce en déployant un ensemble de moyens d'action. Selon cette acceptation, la politique de stationnement constitue le cadre de référence des actions publiques en matière de stationnement. Ce concept est largement utilisé tant au milieu académique qu'au milieu professionnel. Mais, il est peu défini et peu caractérisé. Dans ce qui suit, nous tentons de répondre aux questions suivantes : en quoi consiste une politique de stationnement ? À quelles finalités répond-t-elle ? Quels sont les moyens de sa mise en œuvre ? Et selon quelles approches et démarche elle est établie ? Nous nous attachons à répondre à ces interrogations à travers une analyse de la littérature scientifique tout en mettant en lumière des enjeux d'une politique de stationnement éco-conçue.

1.3.2.1 Qu'est-ce qu'une politique de stationnement ?

Le terme de « politique de stationnement » est largement employé dans les discours politiques, dans les documents de planification urbaine et des transports et dans les rapports et les études académiques. La littérature liée aux politiques de stationnement est très dominée par les études professionnelles et la littérature grise (Mingardo et al., 2015). Pourtant, il s'agit d'un terme ambigu et dont les tentatives de sa définition demeurent très limitées, d'où l'intérêt d'un éclairage conceptuel.

Choay et Merlin (1988, p.515) définissent les politiques de stationnement comme un « ensemble des moyens réglementaires et tarifaires visant à tirer le meilleur parti de l'espace dévolu au stationnement ». Axée sur l'objectif d'intervention publique et les instruments utilisés, cette définition renvoie implicitement à l'idée de gestion de la consommation d'une ressource qui est l'espace. Selon une étude de l'OCDE (1980, p.44) les politiques de stationnement renvoient à « *un ensemble de mesures et d'actions touchant le stationnement ou des domaines connexes, dans le cadre général du plan de transport, afin d'atteindre certains objectifs au cours d'une période de temps donnée* ». Young et Miles (2015, p.23) affirment « *parking policy relates to the management of the price, supply, duration and location of parking to enhance the urban environment* ». Ces définitions appréhendent les politiques de stationnement à travers ce qui les compose (les objectifs et les instruments) et selon une perspective technico-économique. D'autres auteurs se sont penchés sur la dimension politique, ils se contentent de considérer les politiques de stationnement comme des outils de gestion des déplacements visant à limiter la congestion, à réduire la pollution et à améliorer la sécurité routière et les conditions de

trafic sur le réseau (Litman, 2006 ; MacCahillet Garrick, 2010). Rac Foundation (2012, cité dans Marsden(2014)) met l'accent sur le caractère décisionnel, il considère que les politiques de stationnement font référence à des décisions liées la quantité d'espace allouée au stationnement et aux règles et aux conditions d'utilisation de cet espace.

Admettant le même principe de la finalité et des moyens, Belli-Riz et *al.* (2000, p.15) ont introduit l'idée d'équilibre pour montrer la fragilité de la gestion du stationnement. Ils considèrent que « *l'objectif premier d'une politique de stationnement est de gérer un équilibre entre ces besoins concurrents (en parlant des résidents, des pendulaires, des visiteurs et des livreurs), et de traduire les arbitrages nécessaires dans l'aménagement, la réglementation et la tarification du stationnement. Ces arbitrages sont cependant fluctuants, ils traduisent l'état des rapports de force entre les intérêts des différents groupes à un moment donné* ». Cette définition renvoie aussi à l'idée d'un conflit d'usage et à la nécessité d'arbitrer et de hiérarchiser les besoins pour atteindre l'équilibre. Ce propos est partagé par Rye et *al.* (2008, p.387) qui soulignent que le stationnement « *is clearly an area of policy conflict since using it to manage demand may reduce revenue generation, or (be perceived to) damage the local economy. In terms of on-street and off-street parking there are a wide range of users who often have conflicting opinions, which have to be taken into account in its managements* ». Dans ce même ordre d'idées, Marsden (2006, p.447)) considère que « *Parking policy is at best an opaque balance between a revenue raising activity for local authorities, a desire to avoid deterring visitors and therefore damaging urban vitality and a need to manage transport demand* ». Il ressort ainsi que le conflit s'étend aux objectifs remplis par les politiques de stationnement.

Dans un essai de classification des politiques de stationnement, Barter (2015) utilise le terme de « politique » dans un sens large pour faire référence à la pensée qui sous-tend les actions des pouvoirs publiques en matière d'organisation du stationnement et qui englobent la planification, la gestion et la régulation de l'offre privée et publique des places. Cette conception met l'accent sur l'approche qui structure les actions publiques, elle montre en quoi consiste une politique de stationnement. Cette appréhension est partagée par le commissariat général de la stratégie et de la prospective (2013, p.30) qui affirme que « *la politique du stationnement englobe la conception, l'aménagement et la gestion du stationnement* ».

L'analyse de la littérature montre aussi le caractère pluriel des politiques de stationnement. Ce concept est parfois utilisé pour faire référence à un segment d'offre (public (sur voirie ou hors voirie) ou privé), ou à une catégorie d'utilisateurs. Pour illustrer, nous citons les travaux de Marsden (2006 et 2014). Cet auteur a essayé d'établir quelques fondements qui peuvent assoir l'élaboration des politiques de stationnement liées aux commerces, aux loisirs, au travail et au domicile. Selon lui les politiques de stationnement résidentiel réfèrent à la fois à la planification concernant la fourniture des places liées aux nouvelles constructions et aux outils utilisés pour gérer le stock de places disponibles dans les zones résidentielles. Marsden (2014) insiste sur la nécessité de considérer l'ensemble des politiques de manière globale et intégrée afin d'assurer la cohérence des actions et de garantir l'efficacité des politiques appliquées.

Ce panorama de définitions montre deux manières de définir les politiques de stationnement ; soit selon les objectifs et les instruments, soit selon l'approche et la pensée qui les fondent. En ce qui nous concerne, nous retenons l'éco-conception comme approche d'élaboration des politiques de stationnement.

1.3.2.2 Pluralité et ambivalence des objectifs poursuivis

Bien qu'il puisse être assimilé à un mécanisme essentiellement local, le stationnement a de forts impacts régionaux. En effet, les implications des politiques de stationnement dépassent largement l'échelle du quartier où de la commune de son application. Ceci explique le fait que ces politiques soient porteuses de multiples objectifs que nous classons selon trois types distincts⁵⁰. Le premier type regroupe l'ensemble des objectifs intrinsèques au domaine du stationnement. La finalité principale d'une politique de stationnement est, comme nous l'avons déjà souligné, d'assurer une adéquation entre les besoins des usagers et les capacités physiques de l'offre dans l'espace et dans le temps. Au-delà d'un équilibre quantitatif, cet objectif se décline dans la pratique en de nombreux sous-objectifs ciblés pour chaque catégorie d'utilisateurs (tel que favoriser le stationnement des résidents, dissuader le stationnement des pendulaires, favoriser la demande de rabattement, etc.), et pour chaque segment d'offre (tel que limiter le stationnement sur voirie, améliorer la rotation des places, limiter le stationnement en double file, etc.). Cet ensemble d'objectifs concerne l'aspect fonctionnel du stationnement. Il influence les paramètres internes de ce système et détermine l'évolution et l'usage des places. Certaines études évoquent un autre objectif propre aux politiques de stationnement, celui de générer des recettes pour les collectivités Marsden (2006). Mais il s'agit d'un objectif de second ordre qui ne peut pas constituer la raison d'être d'une politique de stationnement.

À l'échelle locale, notamment au sein d'un quartier, les politiques de stationnement répondent à divers objectifs de développement territorial. Il s'agit du deuxième type d'objectifs que nous qualifions de spécifiques. Les autorités locales se saisissent du levier stationnement pour répondre à des enjeux urbains généraux. Ainsi, le stationnement peut concourir à maintenir la fonction résidentielle aux centres, renforcer l'accessibilité locale, soutenir le dynamisme et l'attractivité économique, valoriser l'espace public, améliorer la qualité de l'air et la qualité de vie, en fonction des caractéristiques et du contexte local (Certu, 1999, 2000a). L'intérêt d'agir sur le stationnement s'explique par la facilité de mettre en place des actions régulatrices et par la rapidité de la manifestation des effets de cette régulation. Nous avons déjà montré dans la première section de ce chapitre que le stationnement sert souvent de moyen d'ajustement des politiques publiques.

À l'échelle globale, notamment au sein de l'agglomération, la question du stationnement se place au cœur du fonctionnement de la ville. Elle apparaît comme l'un des instruments clés pour un développement urbain durable. Les politiques de stationnement sont souvent affichées dans les documents de planification urbaine comme des outils de gestion des déplacements, de développement de l'urbanisme et de préservation de l'environnement. Il s'agit du troisième type d'objectifs et que nous qualifions de généraux. L'objectif de réduction de l'usage de la voiture particulière et de la dépendance automobile est souvent placé en premier rang des priorités, mais il ne constitue que l'une des nombreuses finalités auxquelles concourt l'organisation du stationnement urbain. Nous citons aussi à titre d'exemple la limitation de la congestion

⁵⁰ Le terme d'objectif désigne ce que l'on veut faire, il renvoie à la finalité de l'action à entreprendre. Il exprime de manière concrète les effets attendus de la politique menée et détermine les orientations à poursuivre pour les atteindre.

routière, le renforcement de l'accessibilité urbaine, l'amélioration de l'attractivité économique et de la qualité environnementale⁵¹ et la préservation du cadre de vie.

La pluralité et la diversité des objectifs assignés au stationnement le place sous le signe de la gestion des contradictions (Certu, 2003b). Elle pose *de facto* un fort enjeu de cohérence d'ensemble. Dans les faits, la conciliation de ces ensembles d'objectifs ambivalents, voire parfois antagonistes, est difficilement atteignable (Belli-Riz et al., 2000). Les objectifs du premier type doivent être cohérents entre eux, mais aussi avec les objectifs d'ordre supérieur. Or, certains objectifs se révèlent conflictuels. Voici quelques illustrations. L'augmentation de la rotation des places sur voirie incite les usagers à se déplacer davantage en voiture particulière, elle induit plus de trafic de circulation et en conséquence un accroissement des émissions de CO₂. De même, soutenir les activités économiques implique de favoriser le stationnement de courte durée des clients au détriment du stationnement de longues durées des pendulaires. Ceci peut générer plus de voitures, de la congestion routière et une dégradation du cadre de vie. Enfin, favoriser le stationnement des résidents sur voirie va à l'encontre d'une forte rotation de places. Il peut aussi accentuer la multi-motorisation des ménages. Ces exemples montrent que les politiques locales de stationnement relèvent d'un savant dosage entre différents objectifs et d'une équation compliquée de hiérarchisation des nombreuses dimensions. Elles ne permettent qu'une intégration partielle des objectifs spécifiques et généraux, qui ne sont pas exclusifs les uns des autres.

A l'enjeu de cohérence s'ajoute un enjeu de rationalisation. La pluralité des objectifs des politiques de stationnement pousse aussi à s'interroger sur leur capacité effective à les atteindre. Dans ce contexte, une étude du Certu (2003b, p.19) affirme qu'« *il n'est pas alors étonnant, compte tenu de ses implications diverses et multiples, à ce qu'elle (la politique de stationnement) ne puisse pas satisfaire tous les espoirs placés en elle* ». Les responsables et les techniciens en charge d'organiser le stationnement des véhicules disposent de très peu de moyens d'évaluation pour apprécier avec fiabilité l'efficacité de leurs interventions et des mesures déployées, d'autant plus que les impacts de ces actions sur différents domaines ne sont pas directement mesurables et indissociables des effets d'autres politiques publiques. À ce titre, Marsden (2014) souligne qu'il convient de mettre l'accent davantage sur l'étude des effets du stationnement pour savoir dans quelle mesure les politiques de restriction de l'offre permettent-elles de favoriser l'économie, l'équité sociale et l'environnement.

1.3.2.3 Diversité et multiplicité des instruments d'action

La conception et l'organisation du stationnement fait appel à de nombreux d'outils et leviers d'action. Dans un souci de clarification, nous nous attachons à les classer. Notre présentation sera volontairement générique en raison de l'abondance de la littérature traitant ce volet.

⁵¹ Notre présentation porte sur les objectifs actuels des politiques de stationnement. Mais, il est important de signaler qu'au fil du temps, les trois types d'objectifs assignés aux politiques de stationnement ont changé de nature suite à la transformation de la pensée urbaine et à la montée des préoccupations environnementales.

Les outils réglementaires d'aménagement de l'offre

Cette famille d'instrument regroupe les outils réglementaires régissant la fourniture de l'offre privée et publique. Nous distinguons :

- les règlements d'urbanisme : ces instruments constituent le principal outil de suivi et de contrôle de la production de l'offre privée de stationnement. Les documents d'urbanisme (principalement le POS et Le PLU) encadrent la provision de l'offre en établissant une norme exprimée sous forme d'un minimum ou d'un maximum d'aires de stationnement à fournir lors des opérations de construction nouvelles de logements ou de locaux d'activité (ou de requalification urbaine). Ces documents fournissent aussi des dispositions relatives à l'implantation, à l'aménagement et à l'aspect architectural de ces aires, à l'échelle du territoire communal, du quartier ou de la parcelle.
- les outils de réglementation de la circulation, des déplacements et d'aménagement de l'espace publique : il s'agit d'un ensemble de dispositifs réglementaires donnant la possibilité aux collectivités de construire des parkings publics hors voirie (notamment les P + R), de décider de leur localisation et de leurs modes d'exploitation, de réaménager ou de restreindre l'espace public affecté à la voiture et de réglementer l'arrêt et le stationnement des véhicules sur certaines voies, pour certaines catégories de véhicules ou par types d'usagers. Ces instruments permettent de jouer principalement sur la capacité et sur les caractéristiques physiques et techniques de l'offre publique.

Les outils de gestion et de régulation de l'offre publique

La régulation du stationnement fait référence à l'ensemble de outils permettant de hiérarchiser l'utilisation de l'offre des places et de contrôler qui, quand et pendant combien de temps les véhicules peuvent être stationnés en un lieu donné (Litman, 2006). Clairement, elle se focalise plus sur l'usage, i.e. la rencontre entre l'offre et la demande des places. La gestion du stationnement repose souvent sur les principes de la théorie économique, le stationnement est alors assimilé à une ressource à gérer et dont l'utilisation doit être optimisée. Elle s'articule autour de la gestion des durées, de l'accès et du prix de stationnement. Parmi ces outils, nous distinguons :

- la zone bleue : il s'agit de limiter les durées d'occupation des places de stationnement autorisées sur voirie publique pour favoriser la rotation et le stationnement de courte durée sur un périmètre limité. Cet instrument contribue à renforcer l'accessibilité locale notamment aux commerces et aux activités économiques.
- la réservation de l'accès : cette mesure vise à garantir l'accès à certains types de véhicules ou classes d'usagers. Il peut alors s'agir de réservation de linéaires de livraison ou de réservation de places pour les professionnels mobiles ou pour les personnes à mobilité réduite.
- la tarification du stationnement⁵² : elle consiste à établir une redevance⁵³ de stationnement et à faire payer le coût de l'occupation de la place à l'automobiliste,

⁵² Selon Glazer et Niskanen (1992), le stationnement répond au caractère d'un bien privé. Il est exclusif, i.e. l'occupation d'une place par un usager la rend indisponible pour un autre, ce qui renvoi

autrement dit à payer un service rendu. Elle constitue de loin l'instrument le plus efficace de gestion du stationnement sur voirie, dans une perspective économique. Si son objectif originel est d'améliorer la rotation, la tarification est aujourd'hui utilisée pour limiter la demande et favoriser un report modal vers les modes alternatifs à la voiture. Différents régimes de stationnement payant peuvent être distingués. Le tarif peut être linéaire, dégressif ou progressif, il peut aussi être modulé selon le motif de stationnement, c'est le cas notamment des tarifs préférentiels dont bénéficient les résidents dans certains quartiers. Aussi bien sur voirie qu'en parc, le prix de stationnement peut prendre la forme (tarif horaire ou formules d'abonnement).

- la surveillance : elle constitue une condition sine qua non de réussite de toute politique rationnelle de stationnement. Cette mesure vise à assurer le respect de la réglementation du stationnement. Elle peut prendre différentes formes : la verbalisation pour non paiement du stationnement, l'enlèvement du véhicule ou la mise en place d'un sabot en cas de stationnement gênant. L'absence de surveillance engendre une dégradation de la qualité de service de l'offre et une généralisation du stationnement illicite.

Les outils d'information et de communication

Ces instruments servent non seulement à transmettre des informations (statiques ou dynamiques) sur la localisation de l'offre de stationnement, sa réglementation, sa disponibilité et sa tarification (à travers la signalisation, les brochures, les sites internet, les articles de presse, les médias, etc.), mais aussi à sensibiliser, à faire adhérer et à convaincre les citoyens de l'intérêt de l'organisation du stationnement (notamment par le biais de dépliants, d'affiches, d'événements, etc.). La communication est un volet indispensable pour favoriser l'acceptation sociale et le développement d'une culture de service de stationnement.

Quel instrument pour quel objectif ?

L'ensemble des instruments présentés ci-dessus forment le corps des politiques et structurent l'action publique en matière de stationnement. Toutefois, pris isolément, chaque levier n'a qu'un effet partiel et limité. Pour Belli-Riz et al. (2000, p.16) « *la boîte à outils est aussi large qu'hétéroclithe* ». La question du choix de l'instrument adéquat est cruciale. Souvent, les décideurs sont amenés à conjuguer différents leviers d'action. Par ailleurs, les paramètres de l'action publique sont nombreux et chaque situation est considérée comme expérimentale, laissant une large place à l'intuition (idem). Certains auteurs soutiennent l'idée que le recours aux mesures de gestion du stationnement est progressif. À partir d'une étude sur le stationnement dans les villes européennes, De Wit (2005) décrit l'évolution des mesures d'organisation du stationnement à travers six phases : (1) l'absence de mesures, (2) la régulation et le contrôle, (3) les restrictions des

donc à la notion de rivalité. Pour cette raison, les recherches économiques recommandent de tarifier le stationnement au coût marginal. Or, les prix appliqués dans la plus part des villes sont souvent bas et subventionnés (Shoup, 2005). Ils ne reflètent pas le coût réel du service rendu, d'où l'inefficacité d'une perspective d'un marché de stationnement (Arnott et al., 1991; Calthrop et al., 2000; Shoup, 1995, 1997).

⁵³ Le terme de redevance renvoie à la notion d'un service rendu.

durées, (4) la gestion du stationnement résidentiel, (5) l'introduction et la gestion des P + R, (6) la gestion de la mobilité où plusieurs leviers d'action sont combinés. Mingardo et *al.* (2015) distinguent trois phases de déploiement des instruments d'organisation du stationnement. La première phase correspond à la naissance de la régulation de stationnement, elle prend forme par la limitation des durées et le contrôle. La seconde phase correspond à l'introduction et à l'extension des zones de stationnement payant sur voirie. Au cours de la troisième phase, plusieurs mesures sont combinées (restriction de l'offre, P + R, modulation des tarifs, mutualisation, etc.). Cependant, ces classifications présagent une progression linéaire de la régulation du stationnement, elles se focalisent sur le stationnement urbain et ignorent ce qui se passe dans les contextes suburbains.

Au-delà de l'enjeu du choix du bon instrument à même de répondre à un objectif donné, la cohérence entre les moyens d'action doit être placée au cœur des politiques de stationnement. Les décideurs doivent veiller à ne pas déplacer un problème ou seulement le dissimuler. Il faut par exemple s'assurer que l'instauration d'une zone de stationnement payant ne va pas conduire à une relocalisation de la congestion du stationnement aux abords de cette zone. Dans ce même ordre d'idées, le concepteur ne doit pas perdre de vue le fait que l'application de l'outil approprié soulève de nombreuses interrogations liées à sa mise en place (tel que le bon niveau de la norme de stationnement privé ou encore le bon tarif du stationnement payant sur voirie). Enfin, bien qu'ils soient de natures différentes, les moyens d'action sont fortement interdépendants. À ce titre, le couple surveillance et tarification constitue un bon exemple. Une attention particulière doit donc être portée aux conséquences concrètes de chaque levier et aux éventuels effets de synergies entre les instruments. L'élaboration d'une politique de stationnement durable se révèle donc une tâche compliquée en raison de la forte incertitude sous-jacente à la diversité des outils de mise en œuvre et de leurs effets dans le temps.

1.3.2.4 Les approches sous-tendant la conception des politiques de stationnement

Le terme d'approche fait référence à la manière d'aborder une question et à l'ensemble des actions convergeant vers un but déterminé. En matière de politique publique, elle renvoie à la ligne de conduite et au mode de pensée qui fonde l'action. L'analyse de la littérature internationale fait ressortir trois principales approches de conception des politiques de stationnement : (i) l'approche conventionnelle centrée sur l'augmentation de l'offre, (ii) l'approche de gestion du stationnement qui vise une rationalisation de l'offre et de la demande et une optimisation des ressources et (iii) l'approche basée sur le marché qui plaide en faveur d'une régulation par les mécanismes du marché économique. Tant sur le fond que sur la forme, ces approches sont très contrastées. Notre analyse se base principalement sur les travaux de Barter (2009, 2010, 2011 et 2015). Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de chaque approche. Il montre des différences notables concernant l'appréhension des problèmes de stationnement, du gaspillage, de la quantité de places à fournir et de la perspective du partage et de la mutualisation des places.

Tableau 1.1 : Principales caractéristiques des approches sous-tendant l'élaboration des politiques de stationnement (à partir des travaux de Barter (2009 et 2010)).

	L'approche conventionnelle	L'approche de gestion du stationnement	L'approche basée sur le marché
Perception du stationnement	Le stationnement est une infrastructure. Il relève d'une logique de planification	Le stationnement constitue une infrastructure et une ressource. Il relève d'une logique de planification et de régulation	Le stationnement est un bien économique. Il doit être soumis aux mécanismes du marché économique
Nature des problèmes de stationnement	La pénurie des places est la principale source de conflit et de gaspillage	Le stationnement doit répondre à des objectifs urbains plus généraux. Il faut arbitrer des objectifs conflictuels	Une absence de tarification ou une tarification sous-optimale sont sources d'inefficacité et de gaspillage
Principe général	« Predict and provide Planning » (Litman, 2006)	« Provide optimal parking supply and pricing » (Litman, 2006)	Let the prices do the planning » (Shoup, 2005)
Objectifs poursuivis	Éviter la pénurie et fournir un nombre suffisant de places hors voirie	Favoriser un usage plus efficace des ressources de stationnement pour servir des objectifs de développement urbain	Atteindre un équilibre optimal entre l'offre et la demande par le prix, éliminer le gaspillage
Principaux outils d'action	Les normes minimales de provision des places privées	La tarification de la voirie, la mutualisation, les outils de régulation, (conjugaison des outils)	La tarification de la voirie au prix optimal et la dérégulation de l'offre privée

L'approche traditionnelle

Appelée aussi approche classique ou « conventionnelle » (Barter, 2010). Cette approche résume les problèmes de stationnement à une pénurie des places. Dès lors, l'augmentation de l'offre hors voirie est l'outil idéal pour répondre à la croissance des besoins de la demande (idem). Inscrit dans une logique de planification, le stationnement est alors considéré comme un bien commun et comme une infrastructure, d'où l'adoption du principe de « Predict and provide » ; le stationnement sur voirie est alors gratuit et il n'est soumis à aucune régulation. Pour l'offre privée, chaque lieu de destination doit disposer d'une offre suffisante capable de répondre à ses besoins spécifiques. Le principal outil d'action de cette approche est la production de places privées (via les normes minimales de provision de places dont l'estimation est basée essentiellement sur le type d'occupation de sol du bâtiment). La principale force de cette approche est sans doute le cadre institutionnel qui a du mal à suivre le changement du contexte urbain actuel et la transformation de la place de l'automobile en ville.

Bien qu'elle soit encore appliquée dans plusieurs villes du monde et particulièrement au sein des zones périurbaines⁵⁴, cette approche est largement critiquée. La surabondance de l'offre résultant de cette approche induit un gaspillage considérable de l'espace et favorise le cercle vicieux de l'automobile et la périurbanisation. Shoup (2005) souligne que la gratuité du stationnement n'est qu'apparente, selon lui « *(the) cost of...parking has been shifted into higher prices for everything else* », (p.218), elle se répercute notamment dans les coûts des projets immobiliers. Pour Litman (2006), cette approche incarne un ancien paradigme rigide et incapable de répondre aux évolutions du rôle du stationnement dans la ville comme instrument principal de gestion de la demande de déplacement. Les défaillances de l'approche traditionnelle expliquent l'émergence de deux approches alternatives.

L'approche de gestion du stationnement

L'approche du « Parking management » prône pour un usage plus rationnel des ressources de stationnement, le mot d'ordre est donc optimisation. Tel que dans l'approche classique, le stationnement a le statut d'une infrastructure qui doit être planifiée mais aussi régulée. En admettant que le stationnement est un instrument majeur de gestion de la mobilité, cette approche cherche à concilier des objectifs multiples et conflictuels (Masrden, 2006 ; McShane et Meyer, 1982). Pour y parvenir, elle fait appel à plusieurs leviers d'action permettant d'agir sur l'ensemble de l'offre. Todd Litman (2006) est l'un des pionniers à avoir montré l'intérêt de cette approche et ses divers avantages en comparaison à l'approche traditionnelle. Il va jusqu'à parler d'un changement de paradigme mettant en avant une transformation de la manière d'appréhender les problèmes de stationnement et de concevoir des solutions pour y répondre. Dans son ouvrage intitulé « *Parking management best practices* », il propose plusieurs stratégies et outils spécifiques adaptés à cette philosophie⁵⁵ (Litman, 2006). Au service de la gestion des déplacements, cette approche des politiques de stationnement joue en faveur de l'intermodalité du développement de l'usage des transports en commun. Néanmoins, elle présente quelques limites. D'abord, elle est complexe à mettre en place dans la pratique, car elle poursuit de multiples finalités et met en œuvre plusieurs outils d'action. Ensuite, son intérêt concret est perceptible dans les zones denses, d'où une difficulté à l'adopter dans les zones périurbaines où les contraintes de stationnement sont faibles voire inexistantes. Enfin, les principes généraux de cette approche ne sont pas suffisamment formalisés pour s'imposer comme principale référence en matière d'organisation du stationnement urbain, la grande marge de flexibilité qu'elle recommande laisse beaucoup de place à l'intuition. Testée et pratiquée dans plusieurs villes du monde (notamment à Londres depuis les années 1960), cette approche est répandue au sein des zones denses, son expansion est une tendance actuelle. Plus d'études sont nécessaires pour accélérer la généralisation de cette approche et l'extension de sa philosophie vers les zones périurbaines.

⁵⁴ Notamment dans les villes européennes (De Wit, 2005 ; Mingardo et *al.*, 2015), australiennes et nord-américaines (Barter, 2010).

⁵⁵ En matière de provision de l'offre privée par exemple, il appelle à la flexibilité, il propose ainsi de passer aux normes maximales, d'ajuster l'offre privée aux besoins spécifiques de la demande et de la dissocier de l'offre des bâtiments pour permettre de vendre ou de louer les parkings séparément (Litman, 2006).

L'approche fondée sur le marché

Il s'agit d'une approche émergente qui tire ses fondements des principes de la théorie économique. Elle propose de « laisser le prix faire la planification » du stationnement (Shoup, 2005), pour atteindre un équilibre optimal entre l'offre et la demande. Selon cette perspective, le stationnement n'est plus une infrastructure, il constitue un bien économique et un service commercial soumis au libre jeu des mécanismes du marché. Initiée par Vickrey (1954) et étudiée ensuite par Roth (1965), cette approche a reçu une attention particulière de la part de Donald Shoup (1997, 2005, 2006) qui a suggéré de réformer le stationnement dans les villes américaines. Il propose (i) d'appliquer une tarification marginale pour le stationnement sur voirie qui soit variable au cours de la journée et en fonction du lieu et du volume de trafic, (ii) de déréguler la provision de l'offre de stationnement privé en abandonnant les normes de places et en faisant de la mutualisation des parkings la règle (iii) de consacrer les recettes du stationnement à l'amélioration du cadre de vie local (Shoup, 2005⁵⁶). Selon Shoup (2005), ceci permettra d'éliminer le gaspillage ; la tarification de la voirie est capable d'assurer suffisamment de places vacantes (il propose un taux de vacances de 15 %) et de réduire (voire d'éliminer) la recherche de place sur le réseau. De même, en laissant les entreprises et les particuliers décider de la quantité de places dont ils auront besoin, le stationnement privé sera de plus en plus dissocié des bâtiments, ce qui favorise l'émergence d'une logique de marché économique⁵⁷. Ces deux aspects sont fortement corrélés. Il en découle que les processus de marché permettent d'atteindre des niveaux rationnels d'offre et de demande de stationnement. Ceci implique implicitement d'optimiser le stationnement lui-même, sans chercher à l'utiliser pour d'autres objectifs. Selon ce courant de pensée, les planificateurs doivent accorder plus d'attention à la réglementation de la qualité du stationnement plutôt qu'à leur quantité (Mukhija et Shoup, 2006).

Au cours des deux dernières décennies, cette approche a fortement suscité l'intérêt des chercheurs, une large part de la littérature sur la thématique du stationnement est consacrée à l'étude de ses principes et des conditions de son application concrète. Mais du chemin reste à parcourir. Bien que la tarification optimale des places sur voirie soit déjà appliquée dans un certain nombre de villes⁵⁸ (telles que San Francisco, Washington, DC et New York), son extension à l'offre privée demeure problématique⁵⁹. La proposition de Shoup n'est pas explicite et n'est pas très claire sur ce qu'il faut faire, sur comment le faire et sur qui sera responsable de le faire (le

⁵⁶ Pour plus de détail, le lecteur peut consulter « Shoup D.C. (2005), the high cost of free Parking, Chicago : American Planning Association, 805p ».

⁵⁷ Selon les termes de Shoup « Since (on-street) prices will vary to maintain a few curb vacancies, spillover will no longer be a problem. Individual property owners and merchants can then choose how much on-site parking to provide based on business considerations, not zoning. Some may choose to provide their own off-street spaces, while others may offer to validate parking in nearby garages. Regardless of the strategy, all firms will be able to decide for themselves whether parking is worth its costs. Parking will increasingly become unbundled from other transactions, and professional operators will manage more of the parking supply » (Shoup, 2005, p. 496).

⁵⁸ Le cas de la ville de San Francisco constitue à cet égard un bon exemple.

⁵⁹ Dans les villes japonaises, l'approche du marché de stationnement est déjà appliquée. Avant d'acheter une voiture particulière, l'utilisateur doit prouver sa disposition d'une place privée de stationnement (Barter, 2002).

gouvernement ou les acteurs privés). De plus, cette approche ne couvre que les centres denses. En clair, l'adoption de l'approche basée sur le marché se heurte à plusieurs barrières institutionnelles, politiques et sociales. Barter (2010) a étudié ces barrières et a montré que la faisabilité et la pertinence de cette approche « *du laissez-faire* » dans la pratique est controversée. La nécessité d'une intervention publique pour réguler le marché est contestable aussi car le stationnement n'est pas un bien économique comme les autres et un équilibre général et stable du marché est difficile à atteindre. L'enjeu est d'abord d'ordre politique, des réformes innovantes du cadre institutionnel sont indispensables. Cette approche implique aussi d'appréhender le stationnement pas seulement comme une infrastructure, mais davantage comme un service et comme un bien immobilier.

1.3.2.5 La démarche d'élaboration d'une politique de stationnement

Nous avons déjà mis en évidence l'absence de recettes toutes faites et d'outils standards en matière d'organisation du stationnement. Cependant, il est possible de décrire la démarche de conception d'une politique locale de stationnement à travers les étapes qui la constituent. Une étude du Certu (2003a) distingue quatre grandes phases : (i) le pré-diagnostic, (ii) le diagnostic, (iii) l'élaboration de la politique de stationnement à proprement parlé et (iv) la mise en place et le suivi de cette politique (Voir figure 1.1).

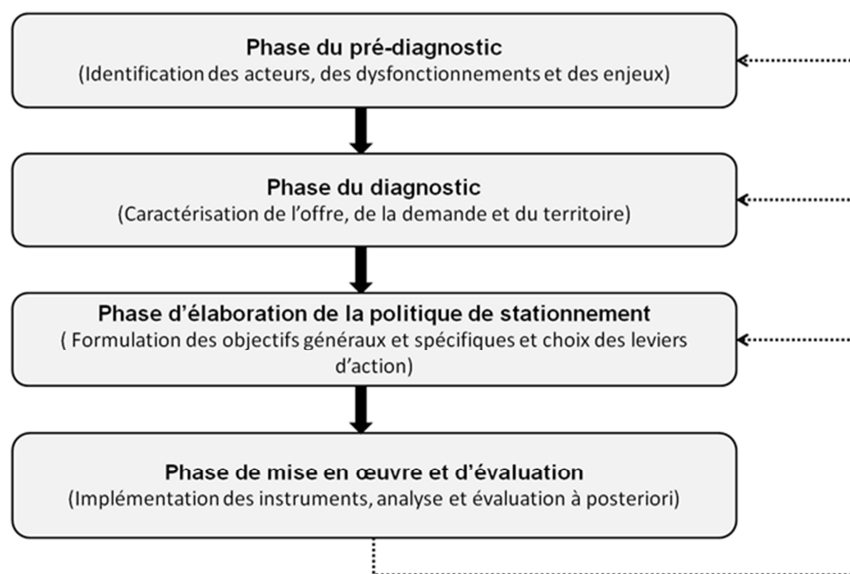


Figure 1.1 : Démarche d'élaboration d'une politique de stationnement.

La phase du pré-diagnostic vise à dresser un premier portrait général et rapide de la situation du stationnement au sein d'un territoire. Basée sur une connaissance générale, elle permet de détecter les principaux dysfonctionnements, de délimiter le périmètre de l'étude, de repérer les secteurs à problèmes (abords de gare, quartier commerçant ou secteurs mixtes), d'entrer en contact avec les acteurs (élus locaux, services municipaux, acteurs socio-économiques, agents privés) et de faire le point sur

les besoins d'information et d'étude. À l'issue de cette phase, les responsables sont en mesure de vérifier les idées reçues à ce sujet et de formuler *a priori* une réponse générale aux problèmes posés.

La deuxième phase est celle du diagnostic. Elle vise à approfondir la connaissance du système de stationnement à partir d'une analyse fine de l'existant dans le périmètre d'étude. Le diagnostic renseigne aussi sur les facteurs de réussite et d'échecs des politiques passées. Il prend appui sur de nombreuses sources d'informations tels que les données d'exploitation et de gestion, les enquêtes spécifiques de stationnement structurées ou non en observatoire (enquêtes de rotation, enquêtes de temps de recherche, enquête de respect,..) et les documents supra-communaux (notamment le PDU et le SCOT). Plus qu'un travail d'inventaire, le diagnostic consiste à caractériser l'offre dans son ensemble (en termes de localisation, de volume, de régime de gestion et de politique tarifaire), à analyser son fonctionnement notamment en termes de respect de la réglementation et à caractériser la demande par segment (volumes de véhicules, localisation des pôles générateurs, pratiques et comportements de stationnement des usagers). Il est aussi crucial de caractériser l'environnement urbain et d'analyser les spécificités territoriales du secteur d'étude. Cette phase sert à établir des constats précis sur la situation actuelle et future du stationnement. Une fois posé, le diagnostic permet aux collectivités d'apprécier les marges de manœuvres (amélioration de l'exploitation, création d'une offre supplémentaire, réglementation de l'accès et de l'usage, etc.). Plus qu'un support de connaissance, il constitue une étape cruciale d'évaluation qualitative et quantitative et d'aide à la décision.

La troisième phase est celle de la définition de la politique locale de stationnement à proprement parler. Elle implique de mener des choix et prendre des décisions pour tendre vers un état futur souhaité. Il s'agit en premier lieu d'identifier les objectifs spécifiques et généraux auxquels la politique de stationnement doit répondre et de les formuler de manière claire. Il est aussi souhaitable de les traduire sous forme d'indicateurs mesurables pour faciliter ultérieurement l'évaluation des résultats. En second lieu, il convient de définir les priorités d'action et de fixer les lignes de conduite de la politique à proposer. Les arbitrages retenus dépendent fortement de l'approche générale dans laquelle s'inscrit la politique de stationnement et des caractéristiques territoriales et socio-économiques du périmètre d'étude. En troisième lieu, il faut sélectionner les mesures et les instruments d'action en confrontant les objectifs poursuivis et les effets souhaités. Au cours de cette phase, les décideurs doivent accorder une attention particulière à la cohérence globale de la politique proposée en s'assurant qu'elle permet de répondre convenablement aux enjeux identifiés au cours de la phase du diagnostic. La politique de stationnement est donc le produit d'un jeu de décisions qui donne naissance souvent à un plan local de stationnement pour détailler les objectifs, les moyens d'action et les échéances de leur réalisation. Relevant plus de l'intuition et des expériences personnelles des décideurs que d'une démarche scientifique, la conception des politiques de stationnement revêt une part importante d'incertitude, d'où l'intérêt des outils d'aide à la décision et de l'évaluation ex-ante.

La quatrième phase englobe la mise en œuvre et de l'évaluation. La mise en œuvre désigne le passage à l'action et l'application de la politique élaborée. Étape délicate, elle nécessite de mobiliser les différents acteurs concernés par la problématique du

stationnement et de disposer de l'ensemble des moyens financiers, techniques et humains indispensables à la réussite de la politique proposée. La communication constitue à ce titre un outil précieux pour sensibiliser les citoyens et montrer l'intérêt des mesures déployées (Certu, 2003a). L'évaluation revient à analyser les résultats obtenus et à vérifier si les objectifs définis en amont sont atteints (OCDE, 1980). Elle propose un feedback et permet d'estimer les conséquences des choix engagés et leurs effets dans le temps. Au-delà de cette fonction de bilan, l'évaluation ex-post a aussi une visée régulatrice. Elle permet, le cas échéant, d'actualiser les objectifs et de réorienter l'action de manière plus efficace. L'évaluation se base en général sur un ensemble de critères et d'indicateurs quantitatifs et/ou qualitatifs permettant d'établir un jugement objectif sur la situation. À cet égard, l'observatoire du stationnement peut constituer un précieux outil d'information et d'évaluation, il s'agit d'un véritable stéthoscope à la disposition des élus et des acteurs du stationnement (Fédération Nationale des Métiers du Stationnement, 2006).

En conclusion, la conception d'une politique de stationnement résulte d'un processus décisionnel itératif qui peut donner lieu à des ajustements des objectifs, des mesures d'action et des moyens de mise en œuvre. Le découpage de ce processus en phases peut être critiqué en raison de la forte interdépendance entre les étapes, mais il a l'avantage de structurer l'action.

1.3.3 Analyse des conditions de transition vers des politiques de stationnement plus durables

Depuis plus de trente ans, les conditions d'élaboration des politiques de stationnement ont connu de profondes transformations. Cependant, le cadre actuel d'organisation du stationnement urbain en France est loin de favoriser l'émergence d'une approche globale d'organisation de stationnement et encore moins une véritable intégration de la dimension environnementale dans sa conception. Cette section met en exergue et discute trois principales conditions qui nous semblent les plus importantes pour répondre aux enjeux de l'éco-conception du stationnement et assurer plus de cohérence dans les politiques de stationnement en milieu urbain.

1.3.3.1 La nécessité d'une meilleure connaissance sur le stationnement

La question de la connaissance de l'offre et de la demande du stationnement en ville a constitué, depuis les années 1960, l'une des premières préoccupations des ingénieurs de trafic en France (Gardon, 2012). Elle continue toutefois de représenter aujourd'hui le parent pauvre du stationnement (Orfeuil et Rennes, 1997 ; Belli-Riz et al. 2000; Mathon, 2008). Le problème est que la connaissance est souvent partielle. En conséquence, elle se pose comme une contrainte à laquelle sont confrontés les acteurs en charge d'élaborer et de mettre en place les politiques locales de stationnement. Cet enjeu de connaissance est double. Il se situe en amont et aval de l'action, particulièrement dans une perspective d'éco-conception.

Le manque de connaissance sur le stationnement s'explique par deux faits : la grande dispersion des sources d'informations⁶⁰ et l'hétérogénéité des méthodes d'enquête. En effet, chaque type d'offre de stationnement fait appel à des supports spécifiques d'information. L'offre privée est la plus difficile à appréhender car très hétérogène (boxes, garages, emplacements en surface, aires de stationnement en cours d'immeuble) et moins accessible aux enquêteurs⁶¹. Les enquêtes de déplacements (telles que les EMD), le recensement général de la population et le fichier de la taxe d'habitation de la Direction Générale des Impôts renseignent sur les pratiques de stationnement des usagers, mais cette question est traitée de manière auxiliaire (Mathon, 2008). En conséquence, le recours à des enquêtes ponctuelles et propres à chaque territoire est inévitable. Afin de faciliter la comparaison des résultats dans l'espace et dans le temps et de permettre le suivi des évolutions majeures et des tendances futures en matière de stationnement public, le Certu a développé une méthodologie Standard d'enquête⁶². Ce travail a résolu le problème de la diversité des méthodes et a permis de capitaliser l'information à l'échelle nationale en distinguant les villes-centres d'agglomération des villes périphériques. Pour ce qui est des observatoires de stationnement, ils sont pour l'heure l'apanage des villes-centre des grandes agglomérations. En 2010, 20 % seulement des villes françaises déclarent mis en place cet outil (Certu, 2013a). En effet, composé d'un ensemble d'enquêtes complémentaires réalisées selon des périodicités régulières, l'observatoire du stationnement constitue un investissement significatif pour les collectivités (Fédération Nationale des Métiers du Stationnement, 2006).

En 2006, la Fédération Nationale des Métiers du Stationnement a proposé la mise en réseau des observatoires de stationnement pour standardiser les indicateurs d'analyse et d'évaluation et mutualiser les expériences entre les villes. Dix ans après, cette proposition ne voit pas encore le jour. Quoi qu'il en soit, nous pensons que la révolution numérique va fortement améliorer la connaissance en matière de stationnement. L'adoption des systèmes d'information de stationnement permettront d'automatiser la collecte et le traitement des informations, de faciliter la capitalisation des informations dans des bases de données quantitatives et cartographiques et de les intégrer dans des SIG (systèmes d'informations géographiques). Ces progrès sont certes fortement conditionné par le bon vouloir des élus d'investir en infrastructures intelligentes.

La question de la connaissance du stationnement soulève aussi le manque d'outil opératoire de simulation quantitative de l'usage du stationnement dans un territoire. Or, de tels outils sont indispensables en matière d'aide à la décision. A travers nos échanges avec les élus et les techniciens en charge de la problématique de

⁶⁰ Pour se renseigner sur l'état de l'offre publique par exemple, il est possible de se référer aux données d'exploitation et de gestion de la voirie et des parcs publics (statistiques de fréquentation, des recettes, d'occupation) et aux enquêtes spécifiques d'occupation de la voirie, de rotation, ou de respect de la réglementation.

⁶¹ Au-delà des difficultés de recensement de l'offre privée, Belli-Riz (2000) souligne que le manque de connaissance de l'offre privée peut aussi s'expliquer par le fait que les élus la considère moins prioritaire que l'offre publique car indirectement liée au fonctionnement de la voirie et à la gestion de la circulation et de l'espace public. Pourtant, elle constitue un ingrédient clés pour comprendre et résoudre les problèmes de stationnement et pour élaborer une politique coordonnée et efficace.

⁶² La cinquième enquête quinquennale a vu le jour en 2010.

stationnement dans les collectivités territoriales, nous avons constaté le manque de ces outils. L'analyse de la littérature française montre aussi le manque d'une étude à la fois quantitative et spatialisée du stationnement en tant qu'objet de planification. Le contraste est fort avec les capacités de circulation planifiées tant sur le réseau viaire que pour les modes de transport collectif.

1.3.3.2 L'importance de la gouvernance et de la coordination des actions entre les différentes échelles spatiales

L'organisation du stationnement relève souvent du domaine de compétences des communes (ou de leurs groupements). Cet état de fait s'explique par la portée locale de cette question et par sa forte interdépendance avec les caractéristiques socio-économiques et urbaines des territoires. Or, les actions sur le stationnement, conçues et appliquées dans des périmètres restreints (souvent au sein du quartier ou de la commune), exercent des effets qui dépassent largement l'échelle microlocale. Ces impacts s'étendent souvent sur le voisinage et sur des quartiers plus éloignés⁶³ (Mathon, 2008). Ceci montre la nécessité de prendre en compte la nature systémique du fonctionnement du stationnement urbain et de coordonner les actions entre les différentes échelles spatiales d'intervention. En clair, il s'agit d'un enjeu de cohérence spatiale.

Les études antérieures (notamment Vaté, 1970 ; Belli-Riz et *ali.*, 2000 ; Mathon, 2008) ont souligné la pertinence de concevoir le stationnement à l'échelle de l'agglomération afin d'assurer une plus grande cohérence d'ensemble. Mais les conditions de mise en œuvre de cette approche sont rarement explicitées. Récemment, le commissariat général de la stratégie et de la prospective (2013) a renouvelé les réflexions à ce sujet. Il propose de confier l'organisation du stationnement à l'autorité organisatrice des transports urbains. Il recommande aussi l'établissement d'un service technique intercommunal du stationnement qui intervient en appui aux collectivités (missions d'étude et d'ingénierie, mise en place des systèmes d'information de stationnement, gestion locale de l'offre, etc.) et qui veille à assurer l'adéquation entre les objectifs généraux du stationnement à l'échelle de l'agglomération ou du bassin de mobilité et leur transcription à l'échelle du quartier. Cette proposition est susceptible de jouer en faveur d'une plus grande cohérence spatiale à la fois quantitative (entre l'offre publique et l'offre privée) et tarifaire (entre l'offre sur voirie et les parcs publics). Mais elle implique de repenser le mode de gouvernance en matière de stationnement, avec un partage clair des rôles dévolus à chaque acteur et des compétences entre ce service et les communes. Nous pensons que tout l'enjeu est de veiller à que ce service joue pleinement son rôle d'intégrateur pour ne pas constituer seulement un interlocuteur supplémentaire qui vient élargir la sphère des acteurs du stationnement urbain.

⁶³ Ainsi, l'institution d'une zone de stationnement payant au sein d'un secteur, par exemple, peut conduire à un report de stationnement vers les secteurs limitrophes. Les effets de bord et de report, autour des axes de transport et des pôles d'échanges notamment, conduisent souvent à déplacer le problème dans les quartiers voisins.

1.3.3.3 Vers une réforme du cadre réglementaire et technique

L'efficacité des politiques publiques dépend fortement de la panoplie des moyens à disposition des décideurs publics. Parmi ces moyens se trouvent les instruments réglementaires. Dans la première section de ce chapitre, nous avons montré que le cadre juridique du stationnement n'est pas forcément en phase avec les évolutions urbaines et que plusieurs réformes institutionnelles demeurent indispensables pour tendre vers des politiques de stationnement cohérentes et pour favoriser la transition une véritable culture de service de stationnement.

La décentralisation et la dépenalisation du stationnement payant sur voirie, dont l'entrée en vigueur est envisagée, en France, pour le 1^{er} janvier 2018, se situe dans ce contexte. Elle constitue certes une évolution majeure en matière de stationnement public sur voirie. Portée par la GART, cette réforme a pour objectif de donner aux collectivités territoriales (ou à leurs groupements) la pleine maîtrise du stationnement dans leur territoire en leur transférant toutes les compétences de réglementation et de gestion de ce domaine⁶⁴. Le paiement du stationnement prend alors la forme d'une redevance et d'une redevance forfaitaire en contrepartie d'un service rendu (la mise à disposition du domaine public). À l'inverse des autres pays notamment européens qui ont procédé par étape, la France a opté pour une transformation radicale du système actuel. Ce choix soulève de multiples interrogations liées à la mise en application effective de cette réforme aussi bien sur le plan juridique (concernant l'étendue des pouvoirs de contrôle des agents de surveillance du stationnement payant, le processus de contestation des infractions et les modes de gestion du système, par exemple) que sur le plan organisationnel et technique (notamment sur les modalités d'organisation du contrôle, le mode de fixation des redevances et le système d'encaissement des recettes). Il convient aussi de souligner cette réforme se limite au stationnement payant. Le stationnement interdit relève encore du seul ressort de la justice. L'extension du champ de la réforme à ce type d'usage des places est plus que souhaitable pour une véritable prise en main du stationnement public par les collectivités territoriales.

Pour ce qui est du stationnement privé, nous avons confirmé le constat de sous-occupation des lots. Il devient aujourd'hui urgent d'optimiser le remplissage et l'usage des places et d'encadrer davantage leur production. Comme déjà mentionnée, dans les grandes agglomérations, les collectivités territoriales ont la possibilité d'édicter des normes plafonds pour les immeubles de bureaux et de limiter les emprises au sol pour quelques opérations immobilières autres que d'habitation (selon la loi Grenelle II de 2010). Mais un potentiel important d'optimisation relève aussi du stationnement résidentiel dont la provision obéit toujours à la logique de couplage entre l'usage et la possession de la voiture particulière. Plusieurs mesures incitatives et réformes

⁶⁴ La dite réforme transforme le régime juridique du stationnement sur voirie et fait passer son organisation du domaine du règlement de police à un régime de service ou de gestion domaniale. Il incombe au conseil municipal ou l'organe délibérant de l'EPCI compétents de gérer le stationnement payant. Dans ce contexte, ils se chargent par exemple fixer à la fois le montant de la redevance horaire et le forfait de post-stationnement applicables au 1er janvier 2018. La souplesse accordée à la municipalité en la matière vise à permettre d'ajuster les actions en fonction des situations locales afin d'inciter les automobilistes à s'acquitter davantage de leur redevance, d'améliorer la qualité du contrôle et de favoriser la rotation des places sur voirie.

législatives demeurent nécessaires pour favoriser le recours à la mutualisation des parkings dans les zones mixtes et pour encadrer les pratiques collaboratives de partage et de location des places de stationnement entre les particuliers, qui sont en plein essor⁶⁵.

1.3.4 Éléments de synthèse

L'éco-conception est une philosophie et un mode de pensée qui oriente l'action et détermine les lignes de conduite d'un projet. Notre analyse montre que son application en matière d'organisation de stationnement et d'élaboration des politiques sous-jacentes pose un certain nombre de défis que nous pouvons classer en quatre catégories :

- un enjeu de cohérence entre les objectifs poursuivis, les moyens utilisés et les échelles spatiales d'action ;
- un enjeu de rationalisation qui renvoie à la question de l'évaluation des politiques mises en place et à leur capacité à atteindre les objectifs fixés ;
- un enjeu de connaissance axée sur les informations, les méthodes de leurs acquisitions, et les outils pour les traiter ;
- un enjeu de gouvernance qui appelle à repenser le système des acteurs et la répartition des compétences entre eux.

Ces enjeux doivent être appréhendés par le concepteur non pas comme des contraintes supplémentaires qui s'ajoutent à la complexité de la gestion du stationnement, mais comme des axes pour structurer la démarche de sa conception et tendre vers des systèmes de stationnement plus durables. Plus généralement, notre analyse met en exergue l'intangible nécessité de recourir à une véritable pensée stratégique pour répondre aux enjeux actuels et futurs posés par le stationnement. En clair, la planification du stationnement est indispensable dans une perspective de développement urbain plus soutenable.

1.4 Conclusion

Ce chapitre avait pour visée de proposer une vision globale du stationnement urbain en France. Nous avons cherché à construire un cadre pertinent de compréhension de la situation contemporaine de stationnement et de mettre en lumière ses multiples enjeux. Nous nous sommes aussi interrogés sur son évolution future et discuté les conditions de transition vers des politiques de stationnement plus soutenables, au prisme de l'éco-conception.

Notre analyse historique a permis de saisir la transformation des représentations du stationnement urbain à la fois comme un objet des politiques publiques et comme un objet social en le situant dans la perspective générale de l'évolution de l'automobile dans la ville et de la transformation de la pensée urbaine. Elle a mis en évidence que le

⁶⁵ Il s'agit d'un nouveau service de stationnement rendu possible grâce à la révolution numérique. Plusieurs applications sont désormais proposées à l'utilisateur dont ZenPark, Parkdom et Mobypak qui permettent de rentabiliser les places des entreprises et des particuliers.

stationnement peine à faire système ; la segmentation des interventions publiques par échelle spatiale, par type d'offre et par catégorie d'usagers, l'évolution et le partage des responsabilités entre des acteurs publics et des acteurs privés, l'éclatement de l'arsenal réglementaire et législatif et la logique curative des actions sont autant de facteurs explicatifs de l'absence de coordination et de l'approche sectorielle prégnante dans l'organisation et la gestion du stationnement urbain. Nous avons aussi mis en évidence que l'absence d'une vision stratégique de l'évolution du stationnement ne favorise pas l'adoption d'une approche globale de son organisation.

Dans la deuxième section de ce chapitre, nous avons renouvelé les réflexions autour de l'organisation du stationnement en mettant l'accent sur la manière de construire et d'élaborer les politiques sous-jacentes, dans une perspective d'éco-conception. En passant en revue des fondements des politiques de stationnement, des objectifs auxquels elles répondent, des instruments qui la constituent et des approches et de la démarche de leur conception, nous avons examiné les enjeux et les conditions de transition vers un développement plus durable. Notre analyse révèle qu'aux besoins de cohérence des objectifs, des outils d'action, des actions entre échelles spatiales et de rationalisation des actions s'ajoutent la nécessité d'améliorer la gouvernance et de disposer d'une meilleure connaissance. Nous insistons en particulier sur cette dernière question car c'est une meilleure compréhension du fonctionnement du stationnement permet d'améliorer sa conception et de maîtriser ses effets sur le cadre urbain. Enfin, nous avons conclu que la réponse à ces enjeux passe inévitablement par le recours à une démarche stratégique de planification. En effet, il ne suffit pas de gérer le stationnement des véhicules, il faut le planifier sur le temps long pour assurer sa durabilité. En conséquence, il semble indispensable, dans le contexte urbain actuel, de développer l'expertise et de doter les responsables de méthodes appropriées de connaissance et d'outils d'évaluation quantitative et spatialisée du stationnement.

Dans ce chapitre, notre contribution est résolument théorique. Elle se situe du côté de l'étude du sujet et elle est loin d'apporter des solutions opératoires ou des prescriptions directement applicables par les responsables en charge d'organiser le stationnement des véhicules. Le concept de stationnement durable reste largement à définir et de nombreux raffinements théoriques méritent d'être apportés. De même, le champ de l'éco-conception est très étendu. Les analyses menées dans ce chapitre invitent à poursuivre les réflexions sur l'éco-conception du stationnement urbain et sur les moyens de mise en place de cette démarche. De ce point de vue, nous pensons qu'il est important de se placer dans une double perspective tournée d'un côté vers la conceptualisation et de l'autre côté vers l'opérationnalisation. Pour ce faire, le chapitre suivant propose une caractérisation du stationnement selon l'approche systémique.

Chapitre 2

Analyse systémique du stationnement

2.1 Introduction

Le stationnement est un objet assurément complexe et ce, à bien des égards. Ce constat n'a rien de nouveau, il a déjà été établi par de nombreuses études antérieures comme celles de Mathon (2008), de Souche (2007) et du Certu (2000a). Toutefois, le stationnement n'a jamais été défini comme tel, même si certaines études récentes sous-tendent son caractère systémique. La complexité inhérente à cet objet se manifeste sous de nombreuses formes. Nous pouvons identifier :

- une complexité structurelle : le stationnement se caractérise par plusieurs segments d'offre, par diverse catégories de besoins de la demande, variables dans le temps et dans l'espace, et par un jeu d'acteurs hétérogène alliant des partenaires publics et des partenaires privés ;
- une complexité territoriale : le stationnement appelle différentes inscriptions et échelles spatiales, de l'ilot urbain à l'agglomération en passant par le quartier ;
- une complexité institutionnelle : le stationnement constitue une responsabilité partagée aussi bien au niveau de l'État que localement ;
- une complexité réglementaire : le stationnement est régi par différents textes de loi et se caractérise par un cadre législatif éclaté.

Cette complexité se pose comme un obstacle majeur lorsqu'on essaie de comprendre et d'expliquer le fonctionnement du stationnement sur un territoire et plus encore lorsqu'on essaie d'agir sur lui. C'est particulièrement le cas lorsque les décideurs tentent de raisonner de manière globale et transversale et de prendre en compte les multiples dimensions que couvre l'organisation du stationnement en ville. Dès lors, le

besoin d'appréhender, de saisir et de formaliser cette complexité apparaît clairement pour rendre intelligible le comportement du stationnement et anticiper son évolution dans le temps.

Ce chapitre appréhende le stationnement comme un objet de connaissance et se propose de le réinterpréter sous l'angle de sa complexité. Il a pour objectif de développer un cadre théorique de compréhension et une représentation formelle du stationnement dans sa totalité, en mettant l'accent sur sa dimension spatiale. Tout l'enjeu pour définir cet objet est de représenter comment se structure « l'ensemble stationnement » sur un territoire, comment il fonctionne, quels effets il exerce, et avec quels éléments il interagit.

La réponse à ces questions est sous-tendue par une approche systémique. Située entre holisme et réductionnisme, la systémique fournit un mode de représentation abstraite d'application générale, considérant le phénomène étudié comme un système, *i.e.* un ensemble d'éléments en interaction. Grâce à des modes de représentation spécifiques, elle permet d'organiser la production de connaissances sur des objets complexes et, à partir de ces connaissances, d'orienter l'action sur les objets, d'où son intérêt pour notre recherche. Plus spécifiquement, l'analyse effectuée dans ce chapitre prendra la forme d'une exploration systémique. Globale et générique, elle sera centrée sur les aspects physiques, fonctionnels et spatiaux de ce système. Le concept de « système de stationnement » a été pensé et construit, il sera utilisé comme une clé d'entrée dans la complexité de cet objet. Après avoir situé le système étudié dans son environnement extérieur, nous nous attacherons à identifier les éléments qui le composent, de manière élémentaire puis agrégée. Nous étudierons quatre sous-systèmes : l'offre, la demande, l'usage et le jeu d'acteurs. Dans un deuxième temps, nous analyserons et représenterons, à travers des schémas génériques, le comportement de ces éléments et du système dans son ensemble, en adoptant la dimension spatiale comme ligne directrice d'analyse.

Le présent chapitre est structuré en cinq parties. La section 2.2 donnera un aperçu de l'approche systémique. La section suivante (2.3) posera une définition du concept de « système de stationnement ». La section 2.4 décrira la structure générale du système et caractérisera ses différents composants. Enfin, la section 2.5 présentera une analyse des mécanismes de fonctionnement du système de stationnement selon différentes échelles spatiales.

2.2 L'approche systémique : un outil de réflexion et de compréhension

La systémique est une démarche intellectuelle et un paradigme scientifique appliqué dans différents champs disciplinaires depuis plus d'un demi-siècle. Pour cette raison, nous nous contenterons d'en dresser un panorama rapide pour rappeler les circonstances de son émergence, ses fondements, ses méthodes et ses outils. À la fin de cette section, nous montrerons l'intérêt d'appliquer ce paradigme à l'analyse du stationnement.

2.2.1 Naissance et développement du paradigme systémique

L'essor de la systémique remonte à la seconde moitié du XX^e siècle. Née aux États-Unis au début des années 1950, développée et pratiquée en France depuis les années 1970, la systémique présente une double nature. Elle constitue à la fois un courant de pensée et une démarche intellectuelle (Donnadieu et *al.*, 2006 ; Certu, 2007). L'émergence de ce paradigme est intrinsèquement liée à la prise de conscience de la complexité du monde et de l'incapacité de l'approche classique, analytique, mécaniste et causale, alors dominante, d'offrir les moyens nécessaires à la compréhension de cette complexité et à l'action sur elle (Certu, 2007)⁶⁶. Selon les termes de Bertalanffy (1993), père de la théorie des systèmes, le paradigme systémique est « *une nouvelle philosophie de la nature* ». La systémique propose une approche fondée sur de nouvelles représentations de la réalité, complémentaires et indissociables des pratiques cartésiennes. Le développement du structuralisme, de la cybernétique et de la théorie générale des systèmes a nourri la systémique. Les principes véhiculés par ces disciplines lui ont permis de s'établir progressivement comme une véritable science de la complexité. Au fil du temps, les préceptes de la systémique se sont consolidés et elle s'est petit à petit imposée comme une approche conceptuelle universelle dont le champ d'application s'étend à tous les domaines et à toutes les disciplines (économie, sociologie, biologie, géographie, informatique, etc.).

2.2.2 Principes et fondements théoriques

L'approche systémique prône une *appréhension globale de l'objet analysé*. Elle est fondée sur une vision d'ensemble pour comprendre les relations entre les différents éléments constitutifs d'un objet et non, comme préconisé par la pensée classique, sur une saisie analytique séparée de ses éléments. À partir de la définition très exhaustive proposée par le Collège français de systémique en 1985, Daniel Durand a tenté de décrire sous forme graphique les caractéristiques de la systémique (voir figure 2.1).

Cette approche est présentée comme une démarche théorique, méthodologique et pratique relative à l'étude de ce qui est reconnu trop complexe pour être abordé de façon réductionniste et qui pose des problèmes d'observation, de représentation, de modélisation et de simulation lorsqu'il s'agit d'explicitier ses frontières, ses relations internes et externes, sa structure et ses lois ou propriétés émergentes, mais aussi des problèmes de modélisation, de représentation, de simulation d'une totalité complexe» (Donnadieu et *al.*, 2006 ; Moine, 2014). Telle qu'elle est couramment pratiquée, cette approche se situe entre l'holisme (le tout domine les parties) et le réductionnisme (les éléments sont premiers et ont leurs propres caractéristiques et leurs propres lois, il faut comprendre ce qui les relie). Ces modes de représentation permettent d'aborder l'objet d'étude comme un ensemble organisé.

⁶⁶ L'approche analytique part du postulat qu'il est possible de réduire l'objet étudié à ses parties et de le reconstruire aussi bien au sens physique que conceptuel.

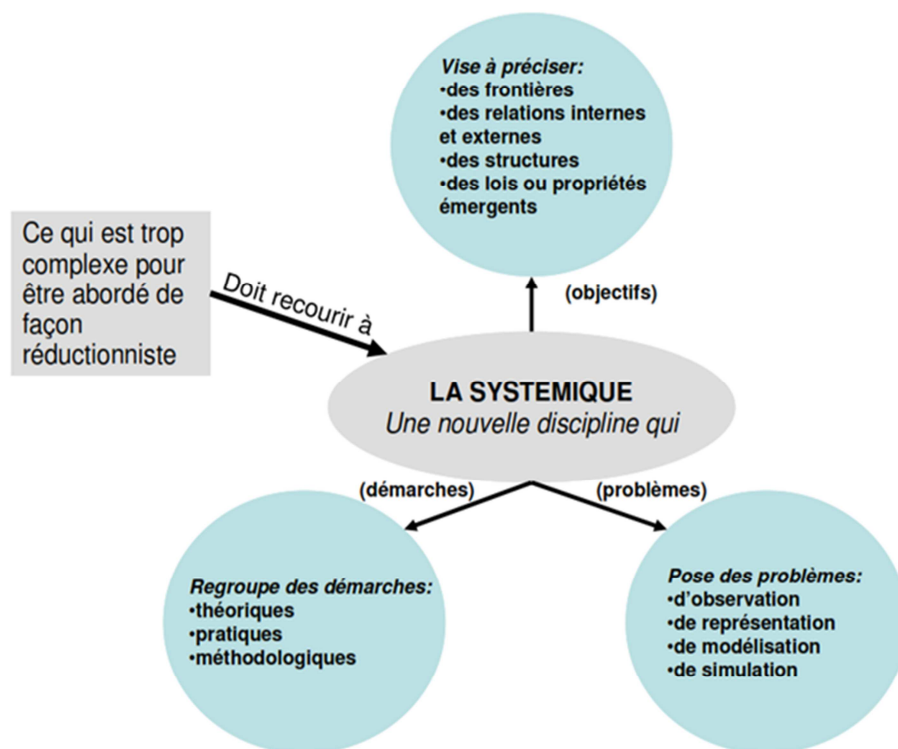


Figure 2.1 : Définition de la systémique selon le Collège français de la systémique (1985) (source : Durand (2010) présenté dans Allaire (2013)).

La philosophie systémique s'appuie sur un concept central : celui de **système**. Étymologiquement, ce terme provient du mot grec *sustéma* qui signifie « qui tient ensemble ». La littérature fournit plusieurs propositions de définition du mot « système », nous nous limiterons à quelques-unes. Selon Ludwig Von Bertalanffy (1973), un système est « un complexe d'éléments en interaction ». Outre la caractérisation de l'interaction, cet auteur met l'accent sur le principe de totalité ; il montre qu'un système doit être abordé de manière globale et qu'il est non réductible à ses parties constitutives : le « tout est plus que la somme des parties ». De la même manière, Edgar Morin présente le système comme « une unité globale organisée d'interrelations entre éléments, actions ou individus » (Morin, 1977). Introduisant la notion de finalité, Joël de Rosnay, dans son ouvrage *Le Macroscopie*, définit un système comme « un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but » (Rosnay, 1975). Enfin, la définition proposée par Jean-Louis Le Moigne apporte des précisions complémentaires en s'intéressant à l'environnement et au comportement évolutif du système. Selon cet auteur, le système est « un objet qui, dans un environnement doté de finalités, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pourtant son identité unique » (Le Moigne, 1977). Le système est donc doté d'une structure qui évolue dans le temps et d'une certaine stabilité organisationnelle pour se maintenir et se reproduire⁶⁷.

⁶⁷ Au fur et à mesure de la consolidation du paradigme systémique, les définitions du terme « système » se sont succédé. Dans un essai de synthèse, Jean-Claude Lugan intègre les apports épistémologiques et

Outre le fait de constituer un ensemble, ces définitions montrent que le système est doté de quelques caractéristiques spécifiques qui le distinguent, autrement dit que tout système dispose de certaines propriétés distinctives qui permettent de l'identifier en tant que tel et de le caractériser. Les principaux ouvrages conceptuels dédiés à l'approche systémique (Rosnay, 1975 ; Bertalanffy, 1993 ; Morin, 2005 ; Le Moigne, 1999 ; Durand, 2010) font ressortir un ensemble de propriétés communes à tous les systèmes, dont les principales sont :

- **la globalité** (ou la totalité), qui fait référence à l'unité globale – le système ne peut être réduit à la somme de ses composants. Cette propriété exprime à la fois l'interdépendance des éléments constituant le système et la cohérence de l'ensemble ;
- **la finalité** (ou le but, le projet), qui motive l'existence même du système. Cette propriété renseigne sur la raison d'être du système et sur son rôle dans son environnement. La finalité du système détermine son comportement et son évolution ;
- **l'organisation**, qui définit l'agencement de relations existantes entre les constituants du système. Cette propriété fait référence à sa structure. Elle traduit l'emboîtement de ses composants qui sont eux aussi décomposables en sous-systèmes ;
- **l'interaction** (ou l'interrelation) entre ses éléments, qui dépasse les relations du type cause à effet qui dominent l'approche analytique. L'interaction sous-tend des rapports d'influence ou d'échange de différentes formes (linéaire/non linéaire, unilatérale/plurielle...) et de différente nature ;
- **l'évolution** (ou l'adaptation), en réponse aux modifications de l'environnement extérieur, qui s'effectue selon une logique adaptative permanente pour maintenir l'existence et la stabilité du système ;
- **la complexité**, générée implicitement par les cinq premières propriétés. Elle découle principalement de la multiplicité de ses unités, des interactions associées et de l'incertitude de son environnement.

Plus que des propriétés, ces concepts font partie intégrante du socle théorique et des concepts fondamentaux sur lesquels repose la systémique⁶⁸.

propose une définition étendue. D'après lui, « Un système peut être considéré comme un ensemble d'interactions privilégiées entre des éléments, des acteurs ou des groupes d'acteurs et leurs produits, effets, actions, processus. Ces interactions peuvent conduire à des interrelations qui vont être à l'origine d'une certaine permanence du système et la manifestation de son existence, c'est-à-dire d'une autonomie relative par rapport à ses environnements. Les combinaisons variables de ces interactions selon les conjonctures et les stratégies conduisent à l'émergence de processus qui inscrivent le système dans une dimension à la fois dynamique et temporelle. Les interactions entre ces processus sont plus ou moins en phase avec la téléonomie (objectifs) du système. De leurs niveaux de dépendance et de congruence dépendra donc le niveau d'organisation et de performance du système. Peuvent être considérés comme sous-systèmes des sous-ensembles de processus plus étroitement liés entre eux par rapport à l'ensemble des autres processus animant le système. Afin de se pérenniser et de s'adapter, le système doit procéder à des échanges (intrants, extrants) plus ou moins permanents avec ses environnements. Ainsi de manière simultanée, un système d'un certain niveau de complexité, est transformé par son environnement en même temps qu'il le transforme. » (J.-C. Lugan, *La Systémique sociale*, 1993, 4^e édition).

⁶⁸ Le fait de posséder ces propriétés communes n'empêche pas les systèmes d'être répertoriés selon des catégories spécifiques. On distingue notamment : des systèmes ouverts/des systèmes fermés sur leur environnement ; des systèmes naturels/artificiels/sociaux ; et des systèmes organisés

2.2.3 Méthodes et outils

L'approche systémique repose sur un ensemble de méthodes et d'outils adaptés à l'appréhension de la complexité, à sa formalisation et à sa représentation. Elle est fondée sur des principes et des modes de représentation spécifiques pour organiser la production de connaissances sur des objets complexes et, à partir de ces connaissances, orienter l'action sur ces objets. Le recours à l'approche systémique en tant que démarche et méthode se déroule en trois temps (Certu, 2007b). On distingue d'abord la première phase de l'exploration systémique, qui consiste à observer le système sous ses divers aspects, à définir ses frontières tout en le situant dans son environnement, à identifier ses composants et son architecture interne, et à analyser ses interactions et les mécanismes de son fonctionnement. Ensuite, vient la deuxième étape de modélisation qui donne généralement lieu à un modèle qualitatif ou quantitatif du système étudié. Enfin, on trouve une troisième phase, d'expérimentation par simulation et de comparaison avec la réalité. En raison de la grande complexité des systèmes étudiés, la plupart des analyses s'arrêtent à la phase d'exploration systémique sans aboutir à la phase de modélisation et encore moins à celle de simulation.

Donnadieu *et al.* (2006) et le Certu (2007b) identifient trois principaux outils sur lesquels s'appuie l'approche systémique. Le premier outil est celui de la triangulation systémique de Le Moigne (1977) qui permet de caractériser le système selon trois perceptions différentes mais complémentaires. Il est mis en œuvre *via* une représentation de l'aspect structurel du système (De quoi est fait le système ?), puis de son aspect fonctionnel (Que fait le système dans son environnement ? À quoi sert-il ?) et enfin de son aspect historique (Comment évolue-t-il ? Quel est son devenir ?). Cette méthode est particulièrement adaptée pendant la phase d'exploration du système. Le deuxième outil est celui du découpage systémique. Contrairement à ce que laisse présager son intitulé, cet outil ne permet d'identifier de manière détaillée que les sous-systèmes (leurs frontières, leurs finalités, leur structure...) qui jouent un rôle significatif dans le fonctionnement global du système. Pour ce faire, l'analyste s'appuie sur des critères largement repris de la triangulation systémique, notamment le critère historique. Le troisième outil est celui de l'analogie, qui peut s'appuyer soit sur la métaphore, soit sur l'homomorphisme, soit sur l'isomorphisme. À titre d'exemple, citons l'étude de Rosnay (1975) qui a analysé la ville par analogie avec l'organisme vivant.

Le choix de la méthode et de l'outil appropriés est lié à l'objectif de l'analyse et au point de vue particulier de l'observateur. Ainsi, un même système peut avoir des modes de représentation pluriels. Autrement dit, un même objet complexe peut être appréhendé de différentes manières et faire l'objet non pas d'une, mais de nombreuses analyses systémiques.

hiérarchiquement/organisés en réseau. La typologie proposée par Le Moigne (1977) distingue les systèmes machines, les systèmes vivants et les systèmes humain et social.

2.2.4 Intérêts de la systémique pour l'analyse du stationnement

Après avoir posé le cadre méthodologique de cette analyse, nous expliquons les motifs de notre choix et nous détaillons les spécificités de notre démarche. Le recours à la systémique s'explique par trois raisons. La première tient à la complexité du stationnement en tant qu'objet d'observation. Les formes de cette complexité ont déjà été présentées au début de ce chapitre. De par sa nature multidimensionnelle, son caractère transversal et son inscription sur différentes échelles spatiales et temporelles, le stationnement est doté de plusieurs facettes. L'appréhension et l'analyse du stationnement impliquent *de facto* d'appréhender cette complexité et de la formaliser. En ce sens, l'approche systémique se présente comme une méthode capable de guider la compréhension et la représentation des systèmes complexes. La seconde raison pour appliquer cette approche est son caractère global. Au cours du premier chapitre, nous avons mis en avant la nécessité de dépasser les actions sectorielles de conception et de gestion du stationnement au profit d'une approche d'éco-conception. Seule une analyse systémique est capable d'asseoir l'application de l'approche globale d'organisation du stationnement, étant donné qu'elle considère les phénomènes observés dans leur totalité, comme un ensemble, un système décomposable en autant de sous-ensembles pour faciliter leur compréhension. L'approche systémique constitue donc un outil de réflexion pour une approche globale du stationnement. La troisième et dernière raison qui sous-tend ce choix tient à la posture de notre recherche. En conduisant à la compréhension des phénomènes complexes, l'approche systémique ouvre sur l'aide à la décision et oriente l'action. Elle constitue, entre autres, un préalable à toute démarche de modélisation plus avancée.

L'analyse effectuée dans ce chapitre s'arrête à la première phase, celle de l'exploration systémique. Elle repose sur le concept fondateur de « système de stationnement ». Globale et générique, notre représentation est axée davantage sur les dimensions physiques, fonctionnelles et spatiales du système que sur les aspects socioéconomiques et environnementaux. Elle est menée en deux temps : d'abord, une description de la structure du système en le situant dans son environnement, puis une description fonctionnelle organisée en trois temps, en référence aux trois granularités d'inscription spatiale du système (les échelles microlocale, locale et globale). Avant de présenter cette double description, il nous semble indispensable d'établir une définition conceptuelle de ce qu'on appelle « système de stationnement ».

2.3 Le recours au concept de système de stationnement

Le terme de stationnement, tel qu'il est employé par les différents acteurs de la ville et par la communauté scientifique, reste une notion intuitive. Il n'a pas de définition univoque. Ce terme est porteur d'une ambiguïté qui tient à son caractère transversal et à ses multiples facettes. Le stationnement recouvre des acceptions et des visions diverses, et fait souvent référence à d'autres termes (parc, parking, garage, box, emplacement, place, se garer, occupation, etc.) auxquels il fait écho, et auxquels il se

substitue souvent, que ce soit par commodité d'expression ou du fait du sens qu'il contribue à construire.

L'objectif de cette section est de construire le concept de système de stationnement. Après une analyse sémantique du terme, nous examinerons les définitions existantes dans la littérature au travers des nombreuses publications qui traitent de la question du stationnement soit directement, soit indirectement, en la replaçant dans une thématique plus large. Nous montrerons ensuite que le concept de « système de stationnement » remplit bien les propriétés d'un système complexe.

2.3.1 Définitions usuelles du stationnement

Dans la langue française, le mot « stationnement » désigne à la fois une action et un espace. Selon le dictionnaire *Le Petit Larousse* (2001), le stationnement est « *le fait de stationner en un lieu* », stationner consistant à « *s'arrêter momentanément en un lieu en parlant d'un véhicule* ». Il s'agit donc d'une action définie dans l'espace et dans le temps, et qui est liée à un objet : le véhicule. Le dictionnaire *Le Robert* indique que le stationnement est également un « *endroit aménagé pour l'arrêt momentané de véhicules* ». Cette définition permet d'appréhender le stationnement comme un espace, un lieu défini ou encore comme un équipement conçu pour remplir une fonction déterminée et répondre à un besoin spécifique. Il en découle que le stationnement peut être assimilé à un service. Une dernière interprétation de ces définitions est possible : le stationnement fait référence à l'état d'immobilité, corollaire de l'état de mouvement de l'objet véhicule. Le stationnement est par conséquent le corollaire de la circulation. Il faut néanmoins le distinguer de l'arrêt.

Dans le code de la route français⁶⁹, le terme « stationnement » désigne « *l'immobilisation d'un véhicule sur la route hors des circonstances caractérisant l'arrêt* ». L'arrêt correspond à « *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* ». Même s'il constitue un état d'immobilisation temporaire, le stationnement se distingue de l'arrêt par une durée plus importante et par l'absence du conducteur, qui laisse son véhicule au repos pendant un temps donné. Le stationnement intervient donc au cours d'un déplacement. On constate aussi qu'au même titre que l'arrêt, le stationnement constitue une action intimement liée à l'accomplissement d'une activité.

⁶⁹ Il s'agit précisément du 1^{er} alinéa de l'art. R. 1 du décret n° 72-541 du 30 juin 1972.

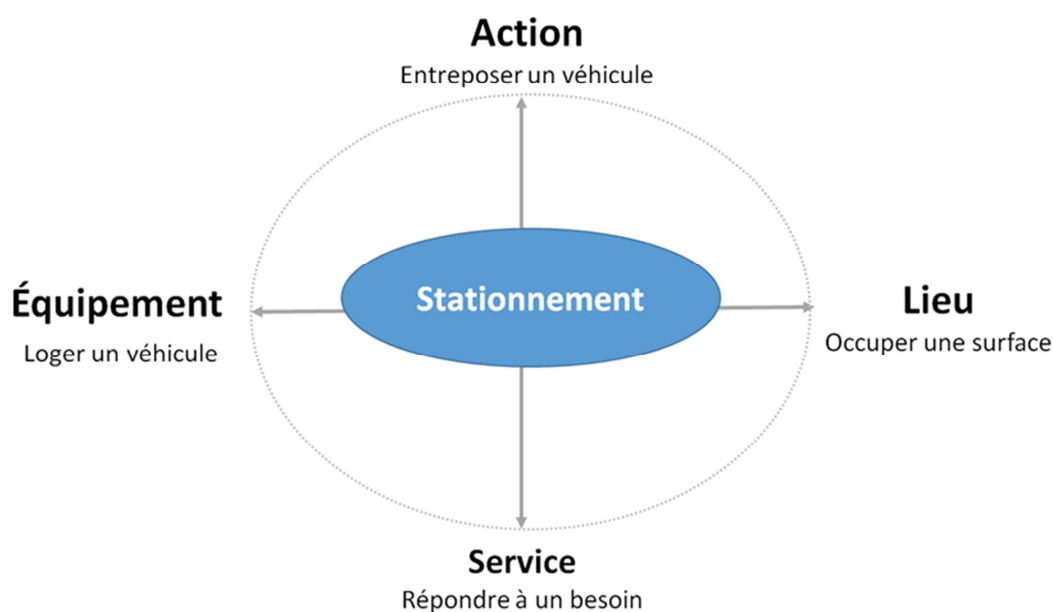


Figure 2.2 : Définitions génériques du terme « stationnement ».

Ces premières définitions permettent de discerner quatre angles de caractérisation (voir figure 2.2). Le stationnement peut faire référence à :

- **une action** : un acte ou une manœuvre qui consiste à entreposer un véhicule pour réaliser une activité ;
- **un équipement** : une aire de stationnement ou un espace agencé, autrement dit une entité matérielle et physique dont la fonction est de loger un véhicule immobile ;
- **un lieu** : une surface au sol localisée dans l'espace géographique ;
- **un service** : qui sert à répondre à un besoin, celui de garder en attente et de maintenir disponible un véhicule permettant de lier deux lieux d'activité distincts⁷⁰.

2.3.2 Le stationnement : un objet à entrées multiples

L'usage du terme « stationnement » dans la littérature scientifique est très fréquent, en particulier dans le champ des transports et de l'aménagement du territoire. Mais en tant qu'objet d'étude, il reste très peu défini. Le terme est utilisé comme une évidence, il est souvent abordé selon différentes perspectives. Pour comprendre sur quoi repose

⁷⁰ De ce point de vue, le stationnement est classé comme un service de consommation intermédiaire car il est rarement demandé pour lui-même et en lui-même. La nature juridique de ce service est étudiée dans le premier chapitre.

ce concept, nous proposons trois entrées : le déplacement, le système automobile et l'espace urbain⁷¹.

2.3.3 L'entrée du « déplacement »

Les définitions et les caractérisations qui suivent décrivent le stationnement dans le cadre du déplacement, puis dans le cadre plus large de la mobilité urbaine.

Dans une étude sur la fraude au stationnement, Petiot (2000) a caractérisé le lien conceptuel entre le déplacement et le stationnement. Il définit ce dernier comme « *un état d'immobilisation d'un véhicule, sur la chaussée, accompli au cours d'un déplacement effectué dans le but de réaliser une activité* » (*idem*, p.68). Cette définition montre que le cadre dans lequel intervient « *l'acte du stationnement* » est celui du déplacement. Elle montre aussi que le stationnement n'est pas une fin en soi : il n'est pas consommé pour lui-même. Stationner répond au besoin d'accomplir une activité, d'où le caractère auxiliaire de cet objet. Mathon (2008, p.42) partage ce même constat, en affirmant que « *le stationnement n'a pas d'intérêt intrinsèque* ». Tout comme la demande de déplacement, la demande de stationnement est une demande dérivée. Leurent et Boujnah (2013) précisent que le lieu et le type d'activité sur le lieu de destination déterminent fortement la nature du besoin et les circonstances du stationnement.

Petiot (2000, p.74) considère le stationnement comme « *un point d'ancrage indispensable à tout déplacement* ». Situé aux limites initiale et terminale de chaque trajet, le stationnement est une sorte de charnière et aussi « *le point de jonction entre deux trajets* » (*idem*, p.74). Selon le même auteur, « *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* ». Selon cette perspective, en tant qu'objet d'étude, le stationnement ne doit pas être traité comme une thématique isolée, mais doit être pris en considération dans le cadre du déplacement et plus généralement dans le cadre de la mobilité.

En milieu urbain, le stationnement est alors un élément de la mobilité urbaine. Cette conception est aujourd'hui communément admise par les acteurs de la mobilité. Le Certu (2003b) présente le stationnement comme un déterminant majeur du choix modal des usagers et comme un outil de gestion de la mobilité urbaine. Selon cette étude, l'influence s'exerce dans les deux sens, « *le stationnement peut constituer un levier de développement de chaque mode de transport (voitures particulières, transports en commun, deux-roues motorisés, modes doux...)*. Réciproquement, chacun de ces modes a nécessairement un impact en matière de stationnement » (*idem*, p.18). Autrement dit, le stationnement peut accélérer ou au contraire réduire l'attractivité de tel ou tel mode de déplacement. Et il subit, en conséquence, les effets des transformations de la mobilité urbaine dans le temps.

⁷¹ Nous ne chercherons pas à énumérer toutes les définitions proposées dans la littérature, mais nous nous contenterons de montrer la polysémie ambivalente du terme « stationnement » et la nécessité de l'aborder comme un système.

2.3.4 L'entrée du « système automobile »

Le stationnement est un élément central du fonctionnement de l'objet automobile et de son système dans son ensemble. En étudiant le système automobile⁷², Dupuy (1995) s'est attaché à caractériser le stationnement de différentes manières sans vraiment proposer de définition explicite. Cet auteur considère le stationnement comme « *le service de base pour l'automobiliste* ». Autrement dit, se déplacer en voiture implique pour l'automobiliste d'être en mesure de se mouvoir et de s'arrêter. Pour insister sur le caractère incontournable de ce service, Dupuy (1995, p.2) déclare : « *Sans les parkings, les garages, l'automobile ne serait qu'un objet inutilisable* ». Au-delà du service incontournable, Dupuy (1995) présente le stationnement comme une composante à part entière et un élément structurant du système automobile. Il l'assimile à un mécanisme vital de son fonctionnement et à un déterminant majeur de son efficacité et de sa qualité de service.

Le stationnement a été aussi appréhendé comme un élément du réseau automobile. Merlin (1991, 1992) considère que le réseau routier commence là où est garée la voiture au départ, et s'arrête là où l'on peut se garer à l'arrivée (relativement loin de la « porte » de départ). Le stationnement a donc un « *effet de porte* ». En conséquence, sans les possibilités de stationnement, le réseau routier perdrait en partie sa capillarité et l'automobile une part de son ubiquité. Mathon (2008, p.42), pour sa part, met l'accent sur l'interaction du stationnement avec le trafic routier, et sur ses effets au niveau des conditions locales de circulation. Elle considère que « *le stationnement est la fonction "arrêt" de la fonction circulatoire [...]. Il joue un rôle dans la capacité d'écoulement, de fluidité, en permettant au véhicule de pouvoir "sortir" et "rentrer" dans le réseau circulatoire. Plus la possibilité de s'arrêter est difficile, plus la fluidité du trafic est entravée par des flux ralentis qui cherchent à s'arrêter quelque part* ». À ce titre, Lévy (2004) compare le stationnement à un commutateur qui sert à contenir et à moduler les flux. Enfin, Dupuy (1995, p.97) met en avant la dimension physique et fonctionnelle du stationnement, et le définit comme un « *terminal à partir duquel l'automobiliste gagne toutes sortes de destinations, proches ou lointaines, urbaines ou rurales* ». Bien plus qu'un simple nœud du réseau routier, le stationnement apparaît ainsi comme un facteur d'accessibilité à l'échelle du territoire.

2.3.5 L'entrée de « l'espace urbain »

Du point de vue de l'usage de sol, le terme « stationnement » est souvent employé pour faire référence soit à son emprise spatiale et à la consommation du foncier qu'il engendre, soit à sa dimension politique en tant qu'outil des politiques d'aménagement urbain.

⁷² Selon la description de Dupuy (1995), le système automobile procure la capacité de se rendre d'un lieu à un autre. Il fonctionne en réseau, il est composé d'infrastructures dédiées à la circulation des flux (routes), de points d'alimentation (stations-service) et d'arrêt (stationnement). Le terme « système » est justifié à la fois par la complexité de l'ensemble et par les interactions entre les parties. Au sein de ce système, la circulation et le stationnement sont deux fonctions complémentaires d'un même objet qui est la voiture. Dupuy (1995) insiste sur l'importance d'assurer une cohérence d'ensemble entre les capacités circulatoires du réseau et les capacités de stationnement, et de concilier la mobilité et l'immobilité.

Le Van (2003, p.31) relate que « *le stationnement est un gros consommateur d'espace* ». Dans ce même sens, le Certu (2008b) le considère comme une composante de l'espace urbain. Cette caractérisation met l'accent sur la dimension physique et spatiale du stationnement, et montre qu'il s'agit bien d'un objet urbain. La même étude souligne que « *le stationnement constitue une "occupation de l'espace", au même titre que les constructions, la voirie ou les espaces verts* » (*idem*, p.22). Partant du même principe d'ancrage spatial, Mathon (2008) a détaillé la description de cet objet urbain. Selon elle, « *le stationnement d'une voiture, c'est d'abord une place, un espace qui peut être bâti ou non, sur voirie ou hors voirie. Il peut s'agir d'un stationnement de journée ou de nuit, temporaire ou au contraire de longue durée, gratuit ou payant* » (*idem*, p.24). Cette définition renvoie également aux caractéristiques spatiales et physiques du stationnement, à ses conditions d'usage et à sa temporalité. Elle fait aussi implicitement écho à la diversité de ses modes organisationnels en tant que service.

En adoptant la deuxième conception, Mathon (2008) a caractérisé le stationnement comme un outil des politiques publiques. Elle avance que « *stationner, c'est occuper de la surface au sol sur laquelle l'action publique peut agir par le biais des règles d'urbanisme et de la gestion de la voirie* » (Mathon, 2008, p. 23). En adoptant la même vision, le Certu (2003b) le présente comme un outil d'urbanisme. Selon lui, « *le stationnement est un outil des politiques urbaines dans le domaine des déplacements, mais aussi de l'habitat, de l'activité économique ou de la valorisation des espaces publics* » (*idem*, p. 9). Cette définition met en avant le caractère transversal de cet objet et ses multiples influences sur le fonctionnement urbain. Dans cette même perspective, Petiot (1994) considère que « *le stationnement est avant tout un élément permissif du fonctionnement du système urbain [...] qui peut se révéler d'une importance capitale puisque permettant au système urbain de fonctionner* ». Dans le même ordre d'idées, le Certu (2008b, p. 22) souligne que « *le stationnement est encore une dimension de l'accessibilité des activités et du fonctionnement des activités et services en ville* ». Ces deux définitions présentent le stationnement comme un élément d'accès aux diverses fonctions urbaines. Enfin, du fait de sa position à l'interface de différents domaines d'action, le stationnement ne manque pas d'être qualifié comme un enjeu urbain. D'après une étude du Certu (2003b, p.19), « *par sa position au confluent de diverses responsabilités et au carrefour de différents enjeux, qui en fit longtemps un oublié de la réflexion urbaine, le stationnement apparaît d'abord, du fait même qu'il se trouve de plus en plus investi stratégiquement, "comme le lieu privilégié d'expression des contradictions de la ville"*. La politique de stationnement touche autant à des intérêts locaux ou particuliers qu'à des enjeux plus globaux ou collectifs pour lesquels elle constitue un outil d'ajustement important.

Ce panorama de définitions montre que le stationnement est un terme large sous lequel se cachent donc différentes réalités : élément du déplacement, support d'activité, état d'immobilisation, occupation de l'espace, terminal, facteur d'accessibilité, outil politique, objet urbain et physique, etc. La diversité des définitions étayées dans la littérature scientifique et des façons d'aborder cet objet témoigne de sa complexité et de la difficulté à le saisir de façon directe et globale. Dès lors, une définition explicite du stationnement comme un système complexe est indispensable.

2.3.6 Définition du concept de système de stationnement

Dans ce qui suit, nous proposerons une interprétation systémique permettant de poser notre propre définition du système de stationnement. Nous montrerons ensuite que le stationnement répond aux caractéristiques d'un système complexe.

Selon une représentation volontairement trop globale et abstraite, nous nous référerons aux quatre définitions génériques identifiées précédemment. Premièrement, le stationnement peut être appréhendé, de manière élémentaire, comme un équipement aménagé, une entité matérielle, un objet physique, autrement dit un dispositif aménagé. Dans une appréhension globale du système, on peut considérer, dans un premier temps, que le système de stationnement est constitué par un ensemble de dispositifs aménagés pour accueillir des véhicules immobiles. Ces entités constituent des supports structurels permettant l'existence et assurant le fonctionnement du système. Deuxièmement, le stationnement est appréhendé comme un lieu. Dans une perception systémique, les dispositifs de stationnement sont donc localisés et définis dans l'espace. Troisièmement, le stationnement est appréhendé comme un service qui répond à un besoin spécifique. Dans une conception plus large, le stationnement est assimilé à un service consommé au cours d'un déplacement, et qui est motivé et déterminé par la réalisation d'une activité. La notion de service renvoie entre autres à l'organisation du système dans son ensemble. Cette organisation détermine les règles d'occupation des équipements et leur disponibilité dans l'espace et dans le temps. Enfin, le stationnement est assimilé à une action dont l'acteur est l'utilisateur, qui peut aussi être qualifié de demandeur ou de consommateur final du service de stationnement.

En référence à cette construction conceptuelle de notre objet d'étude, nous retiendrons la définition suivante : *« le système de stationnement correspond à un ensemble de dispositifs physiques aménagés et organisés en vue de répondre aux besoins spécifiques de stockage des véhicules dans l'espace et dans le temps, dans le cadre des déplacements, et sous-tendant la réalisation des activités socioéconomiques ».*

L'objet « stationnement » remplit toutes les propriétés des systèmes complexes. Il constitue une unité globale, une totalité identifiable dans son milieu extérieur. Sa finalité est de rendre service à l'utilisateur pour lui permettre de réaliser une activité. Comme tout système, le stationnement est organisé et structuré en sous-ensembles pour remplir ses fonctions. L'ensemble de ses composants interagissent et rétroagissent les uns sur les autres. Le stationnement est soumis à des échanges avec son environnement extérieur, et il évolue en réaction aux transformations de celui-ci. Sa complexité découle de la multiplicité de ses composants et de leur imbrication, de la pluralité de ses interactions ainsi que de l'incertitude liée à son environnement. Ces propriétés seront davantage explicitées dans la suite de ce chapitre.

À partir de cette réflexion, nous pouvons envisager d'explorer ce système en décrivant sa structure et ses mécanismes de fonctionnement.

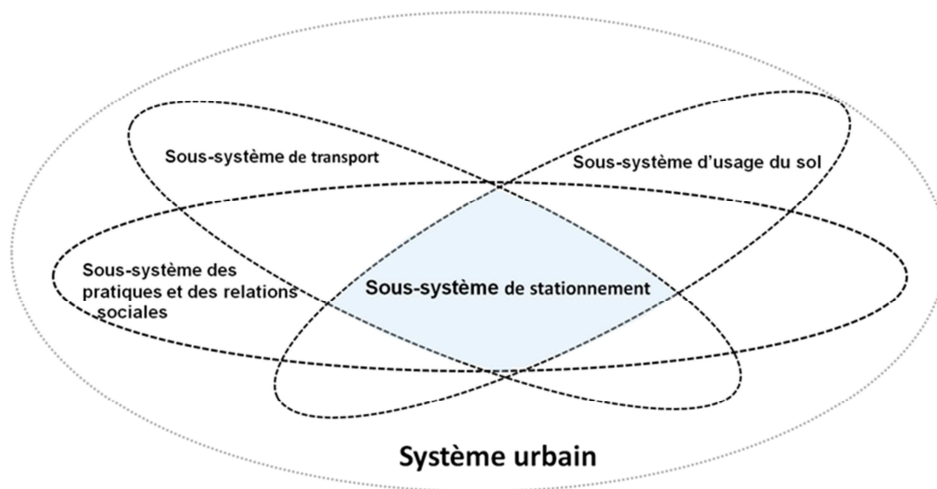
2.4 Analyse structurelle du système de stationnement

L'analyse structurelle répond à la question : de quoi est fait le système ? Elle permet de décrire sa structure en le décomposant en sous-ensembles. Cette structure représente généralement les éléments stables du système. L'identification de l'environnement d'un système est une étape préalable à sa description. Le terme « environnement » renvoie à la frontière, il est constitué par l'ensemble des éléments ou des agents extérieurs au système, avec lesquels celui-ci interagit et entretient des relations. Le système évolue en permanence en réaction aux changements de son environnement. Ainsi, l'identification de l'environnement revient à délimiter les contours du système, autrement dit à définir la limite qui isole ses composants et forme une interface avec le milieu extérieur.

Le système de stationnement, comme tout système, s'intègre dans un environnement au sein duquel il fonctionne et se transforme. Sa caractérisation exige donc de le replacer dans son contexte : la ville. Par référence à Bonnafous et Puel (1983), nous considérons la ville comme l'imbrication de trois sous-systèmes. Notre propre interprétation sera néanmoins légèrement différente. En effet, la ville renvoie au système urbain, que l'on peut décomposer comme suit :

- un sous-système de transport qui correspond à l'ensemble des infrastructures, des moyens et des services assurant les déplacements des flux de personnes et de marchandises sur un territoire ;
- un sous-système d'usage du sol qui correspond à la localisation de l'habitat et des activités, et détermine leur inscription dans l'espace ;
- un sous-système de pratiques et de relations sociales qui correspond à l'ensemble des relations et des activités des acteurs du système urbain. Il traduit le mode de fonctionnement de la société à travers les activités de la vie quotidienne et reflète le fonctionnement socio-spatial de la ville.

Caractérisé à la fois comme un élément du déplacement, comme une composante de l'espace géographique et comme un support de réalisation des activités, le stationnement se situe à la jonction de ces trois sous-systèmes (voir figure 2.3). Les échanges qu'il entretient avec son environnement permettent de le qualifier comme un système ouvert.



Le système est formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations et d'interactions. Un composant est un élément (ou un ensemble d'éléments) destiné à remplir une fonction particulière au sein du système. Chaque composant peut être considéré comme un sous-système décomposable à son tour en un ensemble de sous-systèmes d'ordre inférieur. En l'absence de l'un de ses composants, le système ne sera pas le même. Partant de ce principe, nous considérons que le système de stationnement est structuré autour de quatre éléments : un sous-système d'offre, un sous-système de demande, un sous-système d'usage, un sous-système d'acteurs. La structure générale du système de stationnement est illustrée par la figure 2.4.

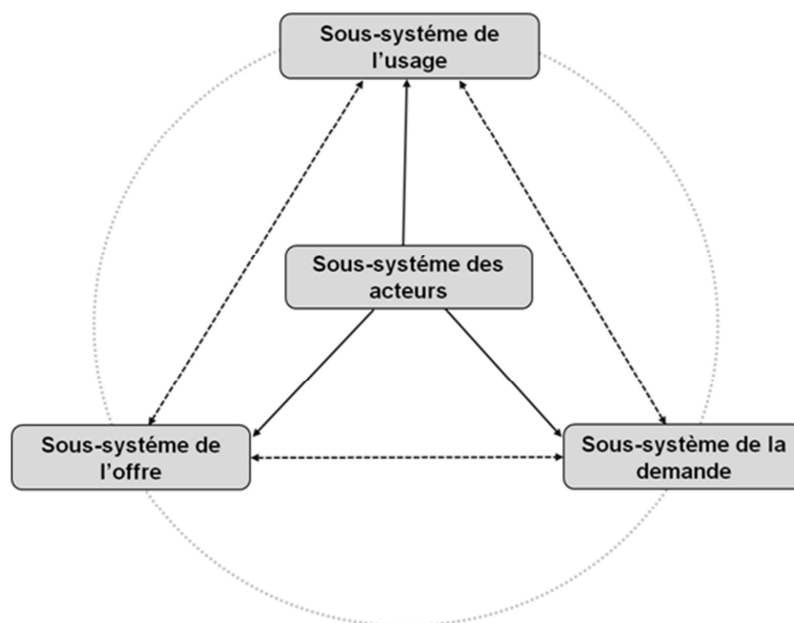


Figure 2.4 : Représentation générique de la structure du système de stationnement.

2.4.1 Le sous-système de l'offre

Au niveau élémentaire, l'offre concrète est constituée par une place, *i.e.* un espace délimité, immobile et fonctionnalisé, d'autant plus artificialisé et anthropisé (marqué, construit, exploité) que le milieu géographique est plus dense. Chaque place relève d'un certain élément bâti : une section de voirie, un bâtiment particulier (en surface ou en souterrain) ou un parc dédié (en surface, en souterrain ou en élévation). Son rattachement détermine son statut de détention et renvoie à son mode d'exploitation. Par son emprise au sol, cette place constitue un objet physique, et présente une occupation de l'espace⁷³. La place est le support structurel du service de stationnement. La place constitue ainsi *l'entité matérielle et physique du système de stationnement*.

2.4.1.1 Les types de place et leurs modalités d'exploitation

Une place de stationnement est inscrite dans l'espace, elle se distingue par son emplacement (lieu) qui permet de situer sa position géographique et de déterminer son cadre physique d'implantation. Elle se distingue aussi dans le temps (au cours d'une journée, par exemple) par un statut d'occupation (vacante ou occupée) qui détermine sa disponibilité instantanée pour l'utilisateur.

Une place se distingue par ailleurs par son mode d'exploitation. Le mode d'exploitation comprend des *conditions d'accès*, avec le cas échéant une réservation privative (domicile, entreprise) ou une affectation fonctionnelle spécifique (parc commercial, places réservées aux livraisons, etc.), ainsi que des *conditions d'usage ponctuel* : gratuité à durée limitée ou non, ou tarification, le cas échéant. Le mode d'accès renvoie à un acteur qui détient la place et l'exploite : ménage à titre individuel ou collectif (copropriété), entreprise pour son personnel mais aussi pour ses clients et fournisseurs, opérateur « industriel » de stationnement, ou gestionnaire de voirie et de parc hors voirie non industriel. Cet acteur-détenteur supporte un coût à long terme d'acquisition ou de location et de maintenance.

2.4.1.2 Capacité et charge de stationnement

Dans une zone ponctuelle, l'offre globale se présente sous forme de « lots de stationnement », c'est-à-dire comme *une entité matérielle composée d'un ensemble de places situées à proximité immédiate les unes des autres et intégrant le même mode d'exploitation, au point d'être substituables pour un même usager*. Il peut s'agir d'un segment de route dédié au stationnement des véhicules ou d'un parc hors voirie, privé ou public.

⁷³ La surface de cette occupation varie selon les espaces de dégagement comprenant les allées de desserte et les voies d'accès à ces allées, d'où l'usage courant des termes d'aire et d'espace de stationnement. En général, un espace de stationnement consomme en moyenne 25 mètres carrés. Cette surface se répartit comme suit :

12 mètres carrés environ pour la place de stationnement. La taille d'une place est en moyenne de 2,30 à 2,50 mètres de large sur 5 mètres de long ;

7 mètres carrés pour les allées de desserte des places qui ont une largeur de 5 à 6 mètres ;

6 mètres carrés pour les voies d'accès.

Par lot, l'effectif de places constitue une capacité *a priori* de stationnement, autrement dit une quantité déterminée de places. L'effectif des véhicules qui les occupent à un instant donné constitue la charge de stationnement, soit un stock *a priori*. En un lieu donné, la capacité de stationnement constitue une ressource locale à gérer. La différence entre la capacité *a priori* et la charge constitue la capacité résiduelle, qui détermine la disponibilité effective pour un client potentiel de ce type de place en ce lieu et à cet instant.

2.4.1.3 Qualité de service et options de stationnement

La disponibilité, la facilité d'usage (manœuvres spécifiques) et les conditions d'usage ponctuel (sécurité, agrément, information) déterminent la qualité de service pour un client potentiel qualifié (qui satisfait aux conditions d'accès), et le prix en fonction de la durée d'occupation souhaitée.

Par lieu et à un instant donné, le mode constitue une option de stationnement pour un client qualifié, option localisée d'un point de vue spatial et caractérisée par une qualité de service et un prix.

2.4.1.4 Autres caractéristiques saillantes de l'offre

Cette caractérisation statique des dimensions physique et économique de l'offre de stationnement appelle trois remarques supplémentaires pour mettre en évidence certaines caractéristiques particulières de l'offre de stationnement globale sur un territoire :

- L'offre est discontinue dans l'espace : par sa dimension géographique, l'offre est segmentée. Elle se présente comme des ensembles de places dispersés et éparpillés dans l'espace géographique et séparés physiquement les uns des autres par des espaces bâtis (constructions, éléments d'infrastructure routière...) ou non bâtis (tels que les espaces naturels). Sa densité dépend de l'intensité du tissu urbain, des fonctions urbaines offertes et des équipements de mobilité disponibles sur le territoire.
- L'offre est hétérogène : les lots présentent des modes de gestion différents (régie, délégation de service public, gestion privée), des modalités d'exploitation très distinctes et des régimes juridiques spécifiques (service public, service privé). De plus, d'un point de vue urbanistique, les lots sont aménagés différemment (en surface, en ouvrage) en fonction de la pression foncière et de la densité du milieu dans lequel ils se situent.
- L'offre est statique dans le temps : chaque lot présente une quantité de places limitée, et cette capacité physique est inextensible à court terme. L'offre de stationnement est rigide, les places sont généralement construites et aménagées pour durer plusieurs décennies. La durée de vie des lots dépasse souvent une quinzaine d'années.
- L'offre est organisée : elle fait l'objet d'une intervention publique pour réguler sa production et son organisation afin d'assurer son adéquation spatiotemporelle avec les besoins des usagers. Cette intervention est justifiée dans son principe par son statut de service et ses implications sociales sur le droit de mobilité.

L'offre de stationnement est l'expression de la capacité de l'infrastructure dans l'espace et dans le temps. Elle peut alors se définir comme « *un ensemble de dispositifs localisés et fonctionnalisés ayant des capacités finies et proposant des services de stockage de véhicules pour des durées limitées* ».

2.4.2 Le sous-système de la demande

Au niveau individuel, la demande est constituée par un usager automobiliste qui manifeste un besoin instantané de garer provisoirement son véhicule. Ce besoin découle du choix de réaliser une activité et de se déplacer vers un lieu de destination en véhicule motorisé. La demande est liée de très près à l'équipement en véhicule automobile, à l'organisation du déplacement (heure de départ, motif de déplacement, mode de transport, zone de destination) et aux activités individuelles (lieu de destination finale, durée de l'activité). L'usager est l'acteur de l'action du stationnement, le véhicule est l'objet de cette action et l'activité est la cause génératrice du stationnement. Ces trois maillons déterminent la demande dans l'espace et dans le temps. Sur le plan économique, l'usager est un client, un acteur économique qui consomme le service de stationnement. Cette représentation élémentaire montre qu'il convient d'appréhender les besoins de stationnement en référence au cadre du déplacement et de l'activité génératrice.

Au sens large, la demande regroupe l'ensemble des demandeurs, clients potentiels et usagers, qui désirent stationner leur véhicule pour réaliser une activité dans certaines circonstances spatiales et temporelles. Les demandeurs opèrent des décisions dans des situations de choix sur plusieurs plans : pour un stationnement particulier, dans le cadre plus large du déplacement, dans le contexte d'un programme d'activités, ou à long terme pour des décisions stratégiques d'équipement et de localisation. Chacune de ces situations est influencée par les caractéristiques propres du demandeur.

2.4.2.1 Typologie des demandeurs

Les pratiques de stationnement des usagers sont fortement influencées par les motifs à se rendre à la destination qui reflètent implicitement les durées de stationnement (Rennes et Orfeuill, 1997). Selon cette logique, les études de stationnement distinguent trois grandes catégories d'usagers selon les types de besoin :

- les résidents, qui stationnent régulièrement pour de longues durées, la nuit, à proximité de leur lieu d'habitation et parfois aussi le jour ;
- les pendulaires, qui stationnent de façon plus ou moins régulière à proximité de leur lieu de travail (ou d'étude) pour de longues durées, principalement le jour ;
- les visiteurs, qui stationnent pour de courtes ou de moyennes durées pendant la journée. Cette catégorie regroupe les motifs : affaires professionnelles, achats, loisirs, visites, livraisons, etc.

Cette classification est malheureusement insuffisante pour permettre de caractériser les comportements individuels de stationnement. Au cours d'une même journée, un même individu peut rapidement passer d'une catégorie à une autre. La diversité des besoins révèle que la demande de stationnement est plurielle.

2.4.2.2 Distribution spatiale et temporelle de la demande

D'un point de vue physique et macroscopique, la demande se traduit par un flux fixe de véhicules localisés en un lieu et restant immobiles pendant un certain temps. Le volume de demande locale dépend de l'intensité d'occupation du sol par les activités génératrices, mais aussi des fonctions des accessibilités modales et des volumes de déplacements motorisés. La distribution spatiale des flux de demande de stationnement est déterminée par la localisation des établissements d'activités et des établissements sociaux, qui constituent des générateurs de trafic. Localement, la propagation de cette demande est limitée à des aires délimitées par les bassins de proximité des destinations finales. L'étendue de ces bassins détermine l'accessibilité piétonne et le temps d'accès terminal. La distribution temporelle des flux est non uniforme. Le caractère ponctuel et instantané des besoins de stationnement et la variabilité des durées d'occupation, se traduisent par des volumes de demande fluctuants dans le temps (au cours d'une même journée, selon les journées, les semaines et les mois, voire les saisons). La répartition temporelle de la demande dépend aussi de la régularité des déplacements et des activités exercées à l'arrivée.

À l'issue de cette caractérisation, nous pouvons définir la demande de stationnement comme l'expression des besoins immédiats de garer un véhicule dans un lieu donné pendant une durée déterminée pour un motif spécifique.

2.4.3 Le sous-système de l'usage

La réalisation d'un stationnement engage concrètement une place préalablement vacante (l'offre), un véhicule et son utilisateur (la demande). L'usage traduit la confrontation entre l'offre et la demande dans le temps et dans l'espace. Concrètement, il prend forme par la présence physique d'un véhicule immobile dans un espace de stationnement. L'usage n'est autre que l'utilisation ou l'occupation effective des places résultant des comportements microéconomiques des usagers. Il peut être décrit selon différents attributs dont le lieu, l'horaire, la durée et le coût. La consommation du service offert et l'occupation instantanée d'une place par un véhicule sont exclusives dans le sens où l'occupation par un véhicule la rend indisponible pour un autre. En milieu dense, la contrainte de capacité induit une concurrence et une compétition entre les demandeurs pour accéder aux places les plus convenables. Réciproquement, la disponibilité des places détermine la qualité de service de l'offre et son attractivité pour les usagers. L'usage révèle la pression locale de stationnement. Il détermine les conditions dans lesquelles les usagers vont effectuer leurs choix (autrement dit, les déterminants des comportements effectués à un niveau microscopique) et le remplissage des capacités de l'offre (décrit par lots au niveau macroscopique).

L'usage montre l'état du système de stationnement en un lieu et à un instant donnés. Sur le plan macroscopique, où s'agrègent les situations individuelles, il est le reflet du fonctionnement du système. Il présente des caractéristiques économiques qui affectent, à court terme, les choix des usagers et, à moyen et long termes, les décisions des autres acteurs du système (opérateurs et régulateurs). Il présente aussi des

caractéristiques d'ordre physique qui affectent la qualité de service de l'offre et son évolution dans le temps.

Cette caractérisation étant posée, nous pouvons définir l'usage de stationnement comme « *l'ensemble de la consommation des services de l'offre par la demande, dans l'espace et dans le temps* ».

2.4.4 Le sous-système des acteurs

Le terme « acteur » fait référence à la personne qui intervient dans un domaine de manière déterminante et qui prend une part active à une affaire. Il peut s'agir d'une personne, d'un groupe d'individus, d'une organisation ou d'une institution, qui agit de manière individuelle ou collective. L'acteur joue donc un rôle et exerce un pouvoir.

La problématique de stationnement fait intervenir un grand nombre d'acteurs. Ces derniers prennent corps dans le système et constituent des parties prenantes de son organisation. Ils l'animent, le gèrent et le partagent. Les acteurs agissent selon des référentiels, des logiques d'action, des stratégies, à des échelles et des niveaux différents. Chacun d'eux participe de manière spécifique à l'existence et au fonctionnement du système de stationnement. Son pouvoir se mesure à partir de sa position au sein du système et de l'influence qu'il exerce sur le comportement et l'évolution du système. Nous distinguerons deux types d'acteurs : les acteurs institutionnels et les acteurs socioéconomiques⁷⁴.

2.4.4.1 Les acteurs institutionnels

En France, il n'existe pas d'interlocuteur unique dans le domaine du stationnement, que ce soit au niveau national ou au niveau local. Le stationnement constitue donc une responsabilité partagée. Du législateur à l'élu en passant par le planificateur urbain, les acteurs institutionnels sont porteurs de l'intérêt général. Cette première catégorie regroupe principalement les services de l'État et les collectivités territoriales.

L'État

L'État joue le rôle d'un véritable chef d'orchestre en assurant la planification et la régulation du système de stationnement. Il édicte les dispositions d'ordre public et définit le cadre législatif régissant cette problématique aux différents niveaux territoriaux. L'État définit aussi les axes stratégiques des politiques de stationnement et contrôle l'évolution du système, notamment en termes de production de l'offre privée et de l'offre publique. La question du stationnement relève de différents services de l'État : le ministère du Développement durable pour les transports (code de la route, voirie, PDU), l'aménagement du territoire (code d'urbanisme) et pour tout ce qui a trait à l'environnement (Grenelle II) ; le ministère de l'Intérieur pour les aspects relevant du code général des collectivités territoriales (qui définit les pouvoirs de police

⁷⁴ Notre caractérisation du sous-système des acteurs est générique. Elle porte sur leur identification, la définition des fonctions qu'ils remplissent au sein du système et la délimitation de leur sphère d'influence. Nous n'envisageons pas d'interpréter les relations et les interactions entre les acteurs, dans le but d'éviter la complexité qui les caractérise.

des maires) ; le ministre de la Justice pour le recouvrement des amendes ; et enfin le ministère des Finances pour l'encaissement du produit des amendes.

Les collectivités territoriales

L'implication des collectivités territoriales⁷⁵ dans la question du stationnement des véhicules est centrale, depuis l'agencement microlocal des places jusqu'à la conception et la mise en œuvre des politiques pour l'ensemble de la ville, en passant par la réalisation d'un parc hors voirie à l'échelle du quartier. Les collectivités locales jouent un rôle opérationnel et tactique et interviennent à plusieurs titres pour répondre à l'intérêt local. Elles sont compétentes pour organiser, aménager et gérer l'offre sur le domaine public⁷⁶, et aussi l'offre privée de stationnement par le biais des normes d'urbanisme inscrites dans le SCOT, qui se déclinent localement au travers du PLU. À l'échelle locale, le stationnement fait figure de responsabilité diluée entre de nombreuses entités. À titre d'exemple, au sein d'une commune, on distingue de nombreux interlocuteurs : maire, conseil municipal, police communale, techniciens, agents, etc. Ces intervenants concourent à organiser et à gérer les différents modes de stationnement figurant sur un territoire.

2.4.4.2 Les acteurs socio-économiques

Aux acteurs institutionnels s'ajoute un ensemble d'acteurs de la sphère privée, que nous pouvons répartir en quatre types : les opérateurs de stationnement, les promoteurs immobiliers, les détenteurs d'emplacements privés et les utilisateurs.

Les opérateurs de stationnement

Les opérateurs de stationnement représentent des acteurs opérationnels incontournables. Dans cette catégorie est réuni l'ensemble des entreprises et des organismes privés assurant la réalisation des ouvrages de stationnement, l'exploitation des parkings ou de la voirie et/ou la commercialisation du service de stationnement. Les opérateurs de stationnement ont souvent le statut de concessionnaire ou de gestionnaire délégué⁷⁷ de service public et sont complètement autonomes financièrement, mais ils agissent à la demande des communes gestionnaires qui décident des orientations des politiques à l'œuvre. Les opérateurs de stationnement jouent principalement un rôle technique, mais ils constituent également des commerçants à part entière. Ils sont en contact direct avec les usagers à qui ils offrent des prestations de service. Dans le cadre de l'exercice de leurs fonctions, ces acteurs investissent des capitaux financiers pour construire et entretenir les places, et

⁷⁵ Le terme de collectivités territoriales renvoie aux communes et à leurs groupements.

⁷⁶ La gestion des parcs de stationnement hors voirie peut être confiée à la commune ou à l'autorité organisatrice des transports (tel est le cas, souvent, pour les P + R). Celle-ci décide des projets de conception des parcs hors voirie et détermine les modalités de leur réalisation, de leur financement et de leur exploitation. Selon les cas, la ville peut assumer elle-même directement leur gestion (en régie) ou décider de la déléguer à une entreprise privée (SEM ou autre).

⁷⁷ En France, le mode de délégation le plus utilisé pour les parcs en ouvrage est la concession, qui comprend la réalisation de l'ouvrage de stationnement, son financement et son exploitation. L'affermage porte uniquement sur l'exploitation des parcs en ouvrage.

cherchent à rentabiliser leurs activités en optimisant l'occupation des parkings. Leur intervention est donc inscrite dans une logique de marché économique.

Les promoteurs immobiliers

Les promoteurs immobiliers font office de propriétaires et de fournisseurs de places. Au titre de l'obligation d'équiper les constructions nouvelles ou en restructuration (ensembles résidentiels, immeubles de bureaux, équipements administratifs et de service) en aires privatives de stationnement imposée par le code de l'urbanisme depuis les années 1960, ces acteurs se chargent de définir la capacité de l'offre privée, de décider du type d'aménagement des emplacements à construire (en surface, en souterrain...) et de commercialiser le stock de places. Pour ces acteurs, le stationnement est assimilable à un bien immobilier accessoire du produit immobilier principal. Disposant de larges marges d'appréciation, ils se servent du stationnement pour rentabiliser et valoriser leurs projets immobiliers et n'hésitent pas à l'afficher comme un argument de vente.

Les détenteurs d'emplacements privés de stationnement

Cette catégorie regroupe les ménages et les établissements d'activités (administrations, entreprises, équipements commerciaux, etc.) qui agissent généralement de manière individuelle. L'implication de ces acteurs au sein du système de stationnement découle de leur choix de s'équiper en garages ou en aires privatives de stationnement. En qualité de propriétaires ou de locataires, ces acteurs supportent un coût économique incluant le prix d'acquisition ou de location du foncier, le coût d'aménagement de l'emplacement et les charges fiscales liées à ce bien immobilier. En contrepartie de ces dépenses, ils jouissent de l'utilisation exclusive des places pendant de nombreuses années. Pour les ménages, la disposition d'un emplacement privatif attaché au lieu de résidence est intimement liée à la décision de posséder un véhicule automobile. L'utilisation de la place est dédiée et exclusive aux membres du ménage. Pour les établissements d'activités, la disponibilité des places de stationnement présente un véritable levier d'attractivité et conditionne leur qualité d'accès.

Les utilisateurs

Cette dernière catégorie se rapporte à la demande de stationnement et regroupe les utilisateurs individuels (que nous appelons aussi usagers). Ces acteurs jouent le rôle de consommateurs finaux des services de stationnement sur un territoire. Ils occupent les places à titre onéreux ou à titre gratuit. Les utilisateurs présentent une distribution atomique, avec chacun une influence faible sur le système.

La composition du jeu d'acteurs est l'expression d'une représentation collective ou individuelle du stationnement, elle est spécifique à chaque territoire. Nous pouvons définir le sous-système des acteurs comme « *l'ensemble des parties prenantes qui assurent l'organisation interne du système et son renouvellement dans le temps* ».

2.5 Analyse fonctionnelle du système de stationnement

L'analyse fonctionnelle répond à la question : comment fonctionne le système ? Elle est centrée sur la description de ses mécanismes de fonctionnement, sur la caractérisation des relations fonctionnelles internes et externes dont il est le siège, et sur la détermination des interactions et des rétroactions qu'il exerce avec son environnement.

L'objet « stationnement » fait partie intégrante de l'espace géographique. Il est lié à un territoire, à ses fonctions et à son organisation physique. L'analyse fonctionnelle de ce système soulève la question de l'échelle adéquate d'observation. Tous les faits ne peuvent pas être pris en considération en même temps. Chaque niveau spatial laisse apparaître certains phénomènes spécifiques. Dès lors, notre analyse est structurée selon trois granularités spatiales : l'échelle microlocale pour étudier le fonctionnement interne du système, l'échelle locale pour appréhender le comportement du système dans son environnement proche, et l'échelle globale pour discerner les rétroactions dans le temps.

2.5.1 Dynamiques de fonctionnement interne du système

L'échelle microlocale constitue le niveau le plus fin sur lequel nous pouvons arrêter notre raisonnement. Elle fait référence à une zone ponctuelle, une entité élémentaire d'analyse spatiale. Elle est, de ce fait, la plus adaptée pour étudier les dynamiques internes du système de stationnement.

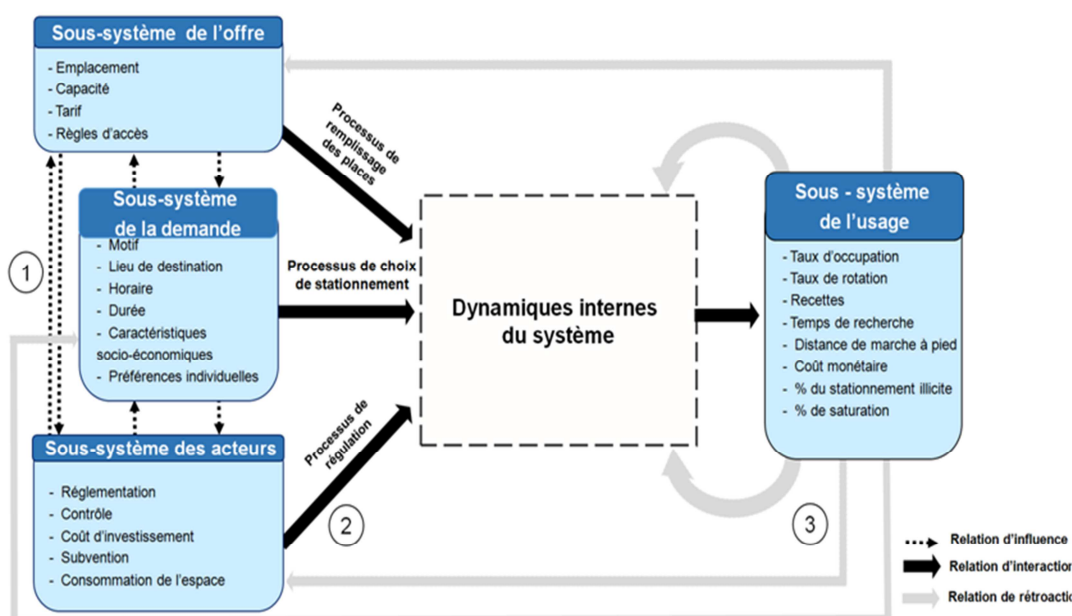


Figure 2.5 : Représentation du fonctionnement interne du système de stationnement.

Dans son principe, notre caractérisation repose sur la représentation du système sous forme de « boîtes noires » (Le Moigne, 1999 ; Durand, 2010) avec un ensemble de variables d'entrée et de variables de sortie. À partir d'une décomposition en boîtes noires supposées connues, on cherche à expliquer le fonctionnement et l'évolution du système par les relations entre les boîtes. Cette méthode s'intéresse davantage à la représentation des relations plutôt qu'à la formalisation du comportement interne du système.

La figure 2.5 présente le fonctionnement interne du système de stationnement. Nous considérons qu'il s'agit d'un système fermé, isolé de son environnement. En entrée, on trouve le sous-système de l'offre, le sous-système de la demande et le sous-système des acteurs tels que déjà caractérisés. La conjonction des différents mécanismes de fonctionnement de ces éléments détermine le comportement interne du système. En sortie, on retrouve le sous-système de l'usage qui résulte de la rencontre entre l'ensemble des variables d'entrée et les logiques de fonctionnement des sous-systèmes d'entrée.

Après avoir explicité les mécanismes de fonctionnement de chaque sous-système, nous passons à une caractérisation des relations et de leurs interactions, en nous concentrant sur les échanges internes.

2.5.1.1 Description du fonctionnement de chaque sous-système du stationnement

Chaque sous-système est caractérisé par (i) une fonction, (ii) un ensemble de variables quantitatives et/ou qualitatives et (iii) un mécanisme de fonctionnement spécifique.

Le sous-système de l'offre assure une fonction de service de stockage des véhicules. Il est décrit à travers quatre variables : l'emplacement, la capacité, le tarif et les règles d'accès. Au niveau macroscopique, le fonctionnement d'un lot peut être assimilé à un processus de chargement alliant le remplissage et la libération des places. D'un point de vue physique, les mouvements d'entrée et de sortie des véhicules déterminent les flux et les stocks. Le flux total de véhicules en stationnement par unité de temps détermine l'occupation ou la charge de l'offre. L'accumulation de ces flux dans le temps rapportée à la capacité totale détermine leur niveau de rotation et la rentabilité économique du lot. Le phénomène de remplissage de la capacité de stationnement est un processus physique macroscopique, qui opère dans l'espace par une diffusion de proximité (le report local d'usage) et potentiellement par une propagation à distance (report plus lointain par anticipation, celle-ci pouvant être basée sur une information en temps réel).

Le sous-système de demande assure une fonction de choix. En entrée, il regroupe des variables liées à l'activité de stationnement (motif, durée, lieu d'activité) et des variables liées aux caractéristiques individuelles de l'utilisateur (connaissances, préférences, habitudes, caractéristiques socioéconomiques). Son fonctionnement est le résultat d'interactions complexes. Pour analyser le comportement individuel de choix de stationnement, nous nous référons à la théorie microéconomique. L'utilisateur effectue des arbitrages alliant le principe spatial de proximité à la destination, le principe

économique de minimisation du coût monétaire, l'incertitude liée à la disponibilité de la place ainsi que ses contraintes et ses préférences personnelles (budget temporel, connaissances de l'offre, habitudes). Entre rationalité et subjectivité, tout demandeur a une exposition particulière aux conditions locales de stationnement. Le choix de stationnement peut être assimilé à un processus, c'est-à-dire à un ensemble de décisions inter-reliées concernant le type de place, l'emplacement, la durée de stationnement, éventuellement la durée de recherche de place et le mode de paiement.

Le sous-système des acteurs exerce une fonction d'organisation du système (qui comporte la provision de l'offre, la régulation et la planification du système). Ce sous-système est caractérisé à travers cinq variables : réglementation, surveillance, coût d'investissement, montant de subvention et consommation de l'espace. Le processus d'organisation a pour objectif de contrôler l'équilibre du système et son évolution future. Il constitue la déclinaison directe des politiques de stationnement définies à un niveau spatial supérieur. À court terme, il consiste à vérifier le respect de la réglementation, à gérer les effets externes directs du système (phénomènes de saturation microlocale et de stationnement illicite), et les effets indirects liés à la consommation de l'espace et à la qualité de vie. À moyen et long termes, la régulation revient à planifier l'offre à fournir localement et à prédéfinir ses attributs stables.

Le sous-système de l'usage matérialise une fonction de consommation. Il est décrit par des variables de fonctionnement (taux d'occupation, taux de rotation et recettes économiques) et des variables de qualité de service (temps de recherche de place, distance de marche, coût monétaire, information, confort...). L'usage traduit l'état dynamique du système de stationnement en un lieu et à un instant ou à une période donnés. Il résulte de la confrontation spatiotemporelle des sous-systèmes de l'offre, de la demande et des acteurs au plan macroscopique où s'agrègent les situations individuelles. En un lieu, les choix des usagers déterminent, en temps réel, les conditions locales de stationnement et la qualité de service de l'offre. La demande agrégée de stationnement se confronte au stock d'occupation. Dit autrement, l'utilisateur interagit avec l'état du système tel que caractérisé par des agrégats macroscopiques bien que microlocaux. Dans une zone ponctuelle, l'usage renseigne sur l'équilibre quantitatif entre l'offre et la demande. Dans une zone dense, il révèle la pression locale de stationnement.

2.5.1.2 Analyse des modalités d'interaction entre les sous-systèmes de stationnement

Les composantes du système de stationnement entretiennent des liens et interagissent entre eux pour assurer son fonctionnement. Ces relations ne sont pas linéaires, nous distinguons trois catégories :

- **les relations d'influence (1)**, qui caractérisent les échanges entre les sous-systèmes de l'offre, de la demande et des acteurs. Ces éléments exercent une influence permanente et réciproque les uns sur les autres. Une modification des attributs de l'un peut entraîner dans le temps des changements dans la structure des autres sous-systèmes, sans constituer pour autant un facteur déterminant de cette transformation ;

- **les relations d'interaction (2)**, qui déterminent le comportement et l'évolution du système dans son ensemble. En temps réel, ces interactions influencent les processus de fonctionnement de chaque sous-système en entrée et l'état courant du système, autrement dit le sous-système de l'usage ;
- **les relations de rétroaction (3)**, qui expriment les effets du sous-système de l'usage sur la dynamique interne du système et sur la structure des autres sous-systèmes. Ces relations constituent des chaînes fermées de relations causales qui envoient, par des mécanismes spécifiques, les flux de sortie à l'entrée du système. Ces boucles peuvent être négatives ou positives : les premières assurent la stabilité du système, les secondes accélèrent la dynamique de changement du système et sa transformation. Quel que soit leur type, les boucles de rétroaction sont à la base de la dynamique du système. Elles jouent un rôle fondamental dans l'orientation de l'organisation du système et de sa transformation future.

Ces relations s'organisent selon des temporalités variables. Certaines surviennent en temps réel ou à court terme et influencent le comportement du système et de ses composantes. D'autres interviennent à moyen et à long terme, et participent à déterminer, en échange avec l'environnement extérieur, l'évolution du système dans le temps. À titre d'illustration, prenons l'exemple du passage d'un service gratuit à un service payant d'un lot de places sur voirie. À court terme, cette décision, qui constitue une action de régulation et qui émane du sous-système des acteurs, va modifier les caractéristiques économiques du sous-système de l'offre et indirectement son niveau de remplissage. Elle aura aussi des répercussions sur la constitution des ensembles de choix de la demande et sur les comportements de choix de stationnement. Enfin, cette décision aura un impact sur l'usage et ses attributs physiques, économiques et spatiaux. En retour, elle peut contribuer à la formation de boucles de rétroaction entre le sous-système de l'usage et les autres sous-systèmes. À moyen et à long terme, la décision de tarification de la voirie peut impacter les comportements des acteurs du système et l'évolution de la politique locale de stationnement qui oriente la transformation des composantes du système et structure leur organisation. Mais elle ne constitue pas le seul déterminant des changements majeurs du système car tous les sous-systèmes sont susceptibles d'évoluer.

2.5.2 Fonctionnement du système à l'échelle locale

Par échelle locale, nous faisons référence à un périmètre restreint constituant, d'un point de vue géographique, une unité intermédiaire entre l'échelle microlocale et l'échelle globale. Le quartier répond bien à cette description. Il est doté d'une certaine unité et d'une physionomie propre, et il est physiquement, administrativement et fonctionnellement reconnaissable. Le quartier constitue un bassin de proximité, et nous avons choisi de le retenir comme pivot d'analyse.

Au sein d'un quartier, le système de stationnement constitue à la fois un élément constitutif du bâti, une occupation de l'espace, et un levier d'accessibilité et d'attractivité à différents titres. Sa fonction se décline en plusieurs objectifs spécifiques. Ce système entretient en conséquence de multiples relations d'échange et interactions avec son environnement. Il exerce une influence immédiate et permanente sur le fonctionnement du quartier et est influencé par celui-ci. D'ailleurs, c'est à

l'échelle locale que sont enclenchées et mises en œuvre les actions de régulation du stationnement, et c'est aussi à cette échelle que les conséquences de ces actions sont les plus perceptibles.

Le système de stationnement présente généralement une superposition de plusieurs types d'offres (offre privée, offre publique, P + R, etc.). La structure et la densité de ces offres sont déterminées par la composition et l'intensité d'occupation du sol. La demande est déterminée par les aménités offertes et par la localisation des activités socioéconomiques. Son intensité est dépendante de la demande de déplacement. L'usage du stationnement résulte de l'agrégation des situations individuelles de l'offre et de la demande, selon les règles d'occupation préétablies par le jeu d'acteurs locaux. L'état du système de stationnement se caractérise par des niveaux variables d'occupation de l'offre dans le temps et dans l'espace. En un lieu et à un moment donné, ce système présente souvent une situation de déséquilibre qui se décline selon deux cas de figure :

- la demande excède la capacité offerte : dans ce cas, le système est saturé. C'est notamment le cas des quartiers centraux des agglomérations où la rareté de l'espace s'impose comme une contrainte majeure. Ce déséquilibre peut caractériser un seul segment (typiquement la voirie) ou l'ensemble de l'offre. Il traduit une forte pression sur le système ;
- l'offre excède la demande : dans ce cas, les places restent vides et le système est sous-utilisé. C'est la conséquence directe d'une offre surdimensionnée, ce qui est notamment le cas dans les quartiers et les zones périphériques.

Ainsi, tout l'enjeu est d'assurer un juste équilibre entre l'offre et la demande locales de stationnement. La pénurie (ou l'abondance) d'offre de stationnement est localisée, elle peut être ponctuelle (temporaire) ou structurelle (permanente). Les effets immédiats et les conséquences à moyen et long termes d'un tel déséquilibre sont de plusieurs ordres.

La figure 2.6 présente les mécanismes de fonctionnement du système de stationnement à l'échelle locale en l'intégrant dans un cadre plus large de politique de transport et d'aménagement urbain. Nous avons caractérisé de façon macroscopique et par le biais d'une description des aspects physiques et techniques et des aspects microéconomiques l'état du système de stationnement à l'échelle locale à travers ses interactions avec (i) les conditions de circulation, (ii) les comportements de déplacement et le choix des lieux d'activités, et (iii) le cadre de vie local.

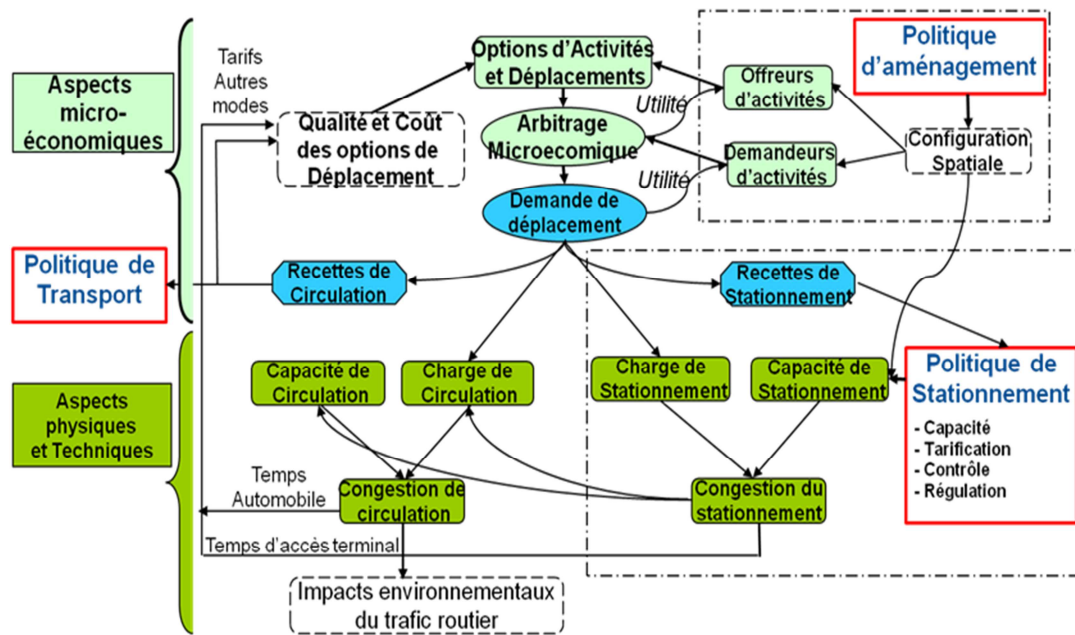


Figure 2.6 : Mécanismes de fonctionnement du système de stationnement à l'échelle locale.

2.5.2.1 Interactions et effets sur les conditions de circulation

L'état du stationnement se répercute sur l'état de la circulation locale, il affecte considérablement la composition, la répartition et les conditions du trafic sur le réseau. Nous pouvons identifier deux types de relation :

- **une influence sur la charge du trafic sur le réseau** : l'usage des places génère un trafic de circulation qui vient s'ajouter au trafic principal de desserte et de transit. D'une part, il s'agit du trafic d'accès aux lots dont le volume est déterminé par les taux de rotation des lots rapportés à la structure du réseau et au nombre d'accès proposés par lot. D'autre part, en cas de saturation de l'offre, les véhicules tournent en rond pour trouver une place libre, il s'agit du trafic de recherche dont l'intensité dépend de la pression locale sur l'offre et du niveau de respect de la réglementation ;
- **une influence sur la capacité de trafic du réseau** : un véhicule immobile garé sur la voirie occupe de l'espace viaire et réduit sa capacité physique. De la même manière, un arrêt ou un stationnement sauvage sur voirie constitue une gêne, il entrave provisoirement une file de circulation, amplifie potentiellement les embouteillages de trafic et affecte la qualité des autres modes de déplacement. Les effets de ces influences sur les conditions physiques et économiques d'écoulement du trafic sont multiples : baisse des vitesses de circulation, allongement des temps de parcours, amplification de la congestion, atteinte à la sécurité. Leurs conséquences se répercutent aussi bien sur l'utilisateur (surcoût en temps passé en déplacement et en frais d'usage du véhicule) que sur l'opérateur et le régulateur (surcroît de consommation d'énergie, perte économique, augmentation de la pollution atmosphérique et sonore, etc.).

De la même manière, les conditions de circulation influencent l'état du stationnement. Outre les effets quantitatifs sur le volume de demande, ils affectent les choix d'itinéraire d'accès et de recherche de stationnement des usagers ainsi que leurs choix de localisation de stationnement.

2.5.2.2 Interactions et effets sur les choix de déplacement et d'activité

Sur un territoire délimité, l'offre de stationnement s'intègre à l'offre multimodale de transport, en synergie avec l'offre de circulation routière et avec les autres modes de transport. Par ailleurs, elle dépend de la densité et de l'organisation spatiale des activités socioéconomiques génératrices de trafic.

La disponibilité instantanée d'une place pour un usager dépend de la politique locale de stationnement (notamment des normes de provision de places, des règles d'accès, de la stratégie tarifaire, du respect de la réglementation...). La charge locale du stationnement est déterminée par les comportements de la demande de déplacement. Les choix individuels déterminent le volume de demande de stationnement et sa répartition temporelle et spatiale. Ces choix sont le résultat des arbitrages microéconomiques visant à optimiser l'utilité des déplacements en fonction des options d'activités sur le territoire, et des moyens et des services de transport qui permettent d'y accéder.

En retour, les conditions locales du stationnement constituent des déterminants majeurs des choix de mobilité⁷⁸. En fonction de l'équipement du demandeur, le moyen de déplacement recouvre un mode de transport, un itinéraire et un horaire de départ. Le mode de déplacement est choisi par l'usager en fonction des options locales de stationnement et selon leur disponibilité⁷⁹. L'itinéraire automobile et la place de stationnement sont déterminés conjointement par le demandeur, qui adapte son itinéraire afin de rechercher une place ou d'accéder à une place réservée ou dédiée ; le choix d'itinéraire dépend aussi des conditions de circulation. L'horaire de départ peut être choisi en fonction des conditions de circulation et de stationnement, et de leurs variations horaires : en particulier, arriver plus tôt ou plus tard sur le lieu de la destination peut modifier les conditions de stationnement – tarif et surtout disponibilité. Enfin, les conditions de stationnement déterminent entre autres l'attractivité des modes alternatifs à l'automobile et leur qualité de service respective.

2.5.2.3 Interactions et effets sur le cadre de vie

Considéré sous un angle fonctionnel, le système de stationnement se situe à l'interface de différents domaines (habitat, activités économiques, etc.). Plusieurs facteurs déterminent la situation du stationnement dans un quartier : la densité de l'habitat et

⁷⁸ Les options de stationnement influencent les options modales basées sur l'automobile jusqu'à la destination ou jusqu'à un P + R. De même, les conditions de stationnement à l'origine du déplacement influencent les autres options modales.

⁷⁹ Pour un usager motorisé, l'éventail des modes de transport comprend l'automobile assortie au stationnement sur le lieu de destination (dans le cas d'un usager conducteur), la marche, un deux-roues avec ou sans moteur selon l'équipement privé ou en libre-service, les transports collectifs s'il en existe localement, et alors peut-être aussi une combinaison intermodale voiture et TC, voire taxi (public ou privé), qui libère de la contrainte de stationnement et de la tâche de conduire.

des emplois, la taille et le revenu des ménages, l'âge et la typologie du bâti, la motorisation des ménages, le maillage du réseau de voirie, le taux d'utilisation de la voiture, la qualité de l'offre alternative à la voiture. L'ensemble de ces éléments de son environnement à l'échelle locale sont susceptibles d'influencer et de transformer la structure du système de stationnement, ses modalités d'organisation et son mode de fonctionnement. Les orientations d'aménagement conditionnent son insertion dans l'espace.

Au même titre, ces différents éléments sont influencés par le stationnement, influences toutefois indirectes et difficiles à saisir. Deux éléments complémentaires méritent d'être ajoutés. Premièrement, le stationnement implique la consommation d'une ressource : l'espace foncier. Il concurrence ainsi les autres fonctions urbaines présentes à l'échelle locale. Une offre abondante de places constitue un gaspillage de la ressource. Elle incite à l'usage de la voiture et conduit, à terme, à une augmentation notable de la demande de stationnement. À l'inverse, une insuffisance locale de stationnement impacte l'accessibilité et l'attractivité locales. De manière générale, l'adéquation entre l'offre et la demande de stationnement est déterminée par la qualité du tissu urbain et la structure territoriale. Deuxièmement, en raison de sa transversalité, le stationnement est souvent utilisé comme outil de développement local, notamment pour accompagner le développement économique, maintenir la fonction résidentielle, soutenir le renouvellement urbain dans les tissus anciens et contribuer au processus de valorisation de l'espace. Le système de stationnement exerce différentes interactions. En retour, l'organisation du système de stationnement est pensée en fonction et en réponse aux exigences et aux spécificités du contexte local. D'ailleurs, c'est pour cette raison qu'il n'existe pas de politique universelle de stationnement. Enfin, en tant qu'outil politique, le stationnement contribue à façonner les modes de gouvernance locale.

À l'échelle locale, l'enjeu ne se limite pas à garantir une adéquation entre l'offre et la demande dans l'espace et dans le temps. L'organisation du système de stationnement doit être en cohérence avec les politiques locales d'aménagement et de mobilité. Cette question de cohérence entre le système de stationnement et les éléments de son environnement extérieur se pose aussi à l'échelle de l'agglomération.

2.5.3 Fonctionnement du système à l'échelle de l'agglomération

Les effets systémiques du stationnement dépassent largement l'échelle locale. Il convient ainsi d'étudier ces effets à un niveau supérieur. Pour ce faire, nous avons retenu l'échelle de l'agglomération qui constitue le niveau intégrateur de l'ensemble des politiques et des stratégies sectorielles concourant aux dynamiques du système urbain. Le système de stationnement constitue une pièce de puzzle au sein de l'agglomération et plus largement au sein de la ville. Au niveau global, le stationnement assure une fonction d'accessibilité en garantissant l'accès aux diverses fonctions urbaines. Dès lors, il est, de plus en plus, appréhendé comme un outil structurant des politiques urbaines, ce qui explique que les politiques de stationnement soient explicitées au sein des documents de planification urbaine et se voient assigner plusieurs objectifs

transversaux liés notamment aux politiques de transport et d'urbanisme (comme le PDU, le PLU et le SCOT).

Nous avons déjà montré que le stationnement constitue un sous-ensemble du système urbain et qu'il se situe à l'interface du système de transport, du système d'usage de sol et du système des pratiques et des relations sociales. De ce fait, le système de stationnement subit l'influence de son environnement. En retour, il exerce des effets sur les éléments de son environnement. Nous avons mis en évidence que le stationnement n'a pas d'intérêt intrinsèque et qu'il est lié à un déplacement, à une activité et à une destination. Par voie de conséquence, la physionomie de ce système dans son ensemble est déterminée par les trois sous-ensembles du système urbain à la fois. Chaque système agit sur (i) la structure spatiale, les caractéristiques socioéconomiques et la densité de l'offre, (ii) la distribution physique, les volumes et les logiques comportementales de la demande, (iii) les caractéristiques fonctionnelles et économiques de l'usage et (iv) la composition du jeu d'acteurs du stationnement. Toutefois, ces interactions sont difficilement identifiables en tant que telles parce qu'elles sont complexes et contingentes à d'autres facteurs.

Pour illustrer, nous citons quelques exemples. La production d'offre privée de stationnement et son évolution dans le temps sont régies par les documents d'aménagement urbain. Les projets d'aménagement et de renouvellement urbains auront forcément une incidence en termes de stationnement. Les actions de valorisation de l'espace public se répercutent sur l'organisation du stationnement sur voirie. De même, la qualité de service de l'offre de transport détermine les capacités de stationnement et les modalités de sa gestion. Le PDU fournit des préconisations relatives à l'organisation et à la gestion du stationnement tant sur le domaine public (durée, tarification, capacité, contrôle, communication) que sur le domaine privé (il encadre la provision de places). La mise en place d'une nouvelle ligne de transport collectif peut influencer le stationnement en exigeant une suppression ou une construction de places comme dans le cas des P + R, ou encore un changement de la tarification du stationnement sur voirie. Enfin, la transformation des modes de vie est susceptible d'influencer la fréquence des déplacements motorisés et en conséquence, la demande et l'usage de stationnement. L'évolution des systèmes d'usage de sol, de transport, et des pratiques et relations sociales dans le temps induit des transformations dans l'architecture du système de stationnement. Au niveau global, les échanges et les relations entre les variables de ces systèmes sont de différentes formes (influence, interaction et rétroaction), elles sont très nombreuses et interviennent à des temporalités différentes (court, moyen et long terme).

Du côté du système de transport, tout en constituant un élément de maillage de l'offre de transport, le système de stationnement exerce une grande influence sur les caractéristiques des services de transport et sur l'organisation de ce système dans son ensemble. Il constitue un élément déterminant du choix de déplacement des usagers, particulièrement en termes de mode de transport. Le stationnement affecte ainsi la répartition modale, les volumes et la distribution spatiotemporelle de la demande de déplacement sur un territoire. C'est dans cette perspective que le stationnement est souvent utilisé par les collectivités comme outil de maîtrise de l'usage de la voiture particulière, ce que nous pouvons illustrer avec l'exemple type des déplacements

domicile-travail. En même temps, le stationnement exerce des effets incitatifs (ou dissuasifs) sur l'attractivité des autres modes et sur les pratiques d'intermodalité, notamment à travers la qualité du stationnement de rabattement aux pôles d'échange. Par ailleurs, la variable « stationnement » intervient dans les décisions d'équipement automobile des ménages.

En constituant une composante du territoire dans lequel il s'insère, le système de stationnement entretient avec le système de l'usage de sol des relations fortes. Par le foncier qu'il mobilise, le stationnement constitue une occupation de l'espace (notamment public). L'organisation du système de stationnement influence l'attractivité et le dynamisme d'un territoire, notamment sur les plans économique et de la logistique urbaine. La question du stationnement se pose comme ingrédient dans la conception et la réalisation des projets urbains. Elle influence l'usage et l'occupation de l'espace public. Enfin, à long terme, le stationnement joue un rôle indirect dans la transformation des formes urbaines, puisqu'il est susceptible d'impacter les décisions en matière de localisation des structures résidentielles et des activités économiques. Du côté du système des pratiques et des relations sociales, le système de stationnement étant intimement lié à l'accomplissement des activités, il affecte l'organisation des activités individuelles. Les possibilités de stationnement et sa disponibilité influencent les choix et les programmes d'activités individuelles des usagers en termes d'horaire, de lieu et de fréquence.

Plus généralement, nous pouvons classer les effets qu'exerce le système de stationnement sur son environnement selon deux catégories. La première regroupe en les effets directs observables et quantifiables à court et moyen terme, tels que la suppression des places sur voirie (qui ouvre la voie à d'autres usages), la création de P + R (qui favorise l'usage des transports en commun), la limitation des durées (qui permet de réduire la congestion du trafic), etc. La deuxième catégorie est formée des effets indirects qui sont difficiles à discerner et à évaluer, comme le poids de la variable « stationnement » dans les choix de localisation de l'habitat et des activités, ou encore l'impact sur les relations sociales.

En conclusion, cette caractérisation du fonctionnement du stationnement à différentes échelles de l'espace permet de simplifier l'analyse, de distinguer et de séparer les phénomènes auxquels contribue le système du stationnement et aussi d'étudier les interactions qu'il exerce. Cependant, il faut garder à l'esprit que ces échelles spatiales sont fortement emboîtées, seule une démarche d'observation multi-scalaire est en mesure de discerner l'ensemble des rétroactions susceptibles de se produire au sein d'un territoire.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une exploration systémique du stationnement. Nous avons appréhendé ce système comme un élément constitutif de la ville qui interagit avec les éléments de son environnement, particulièrement avec le système de transport, le système d'usage de sol et le système des pratiques et des relations sociales. Cette analyse a été menée en deux temps, avec d'abord (i) une description structurelle articulée autour de quatre composants – l'offre, la demande, l'usage et le jeu d'acteurs

–, puis (ii) une description fonctionnelle organisée en trois échelles spatiales – microlocale, locale et globale –, chaque niveau spatial présentant des phénomènes spécifiques.

Notre analyse met en évidence l'importance d'étudier le stationnement non pas comme un élément isolé, mais dans son cadre général et spatiotemporel de réalisation d'activités et de déplacements. Elle montre la multiplicité de ses interactions et la variété des échelles d'observation spatiale et temporelle qu'implique cet objet. Notre travail apporte une contribution théorique ; il produit une représentation ordonnée des connaissances du système et fournit des clés pour une compréhension globale du fonctionnement du stationnement sur un territoire. Le concept de « système de stationnement » a été construit et retenu comme clé de lecture de la complexité sous-jacente de cet objet. Nous avons défini ce concept comme « *un ensemble de dispositifs physiques aménagés et organisés en vue de répondre à des besoins spécifiques de stockage des véhicules dans l'espace et dans le temps, dans le cadre des déplacements et sous-tendant la réalisation des activités socioéconomiques* ». Volontairement abstraite, notre définition est intéressante du fait qu'elle peut servir de référence pour de nouvelles analyses du stationnement. Elle peut aussi être utilisée comme base de réflexion pour les décideurs publics dans le cadre de la définition des politiques locales de stationnement.

Cette interprétation du stationnement sous l'angle de la systémique est générique, elle ne prétend ni à l'exhaustivité ni à l'objectivité. Notre représentation est axée davantage sur les aspects physiques, fonctionnels et spatiaux de ce système que sur ses aspects socioéconomiques, urbanistiques et environnementaux. L'approche systémique nous a permis de retenir une partie de la réalité, selon les frontières que nous avons posées. Force est de constater que certaines dimensions du système étudié ont été sacrifiées ou traitées sommairement tels que les questions liées à la tarification de l'offre, au cadre réglementaire, aux modes de gouvernance et à l'emboîtement des échelles spatiales qu'implique la problématique du stationnement. Ces éléments constituent des pistes de prolongement de l'analyse. Bien d'autres modes de représentation du stationnement par la systémique restent à explorer.

En conclusion, le travail d'observation, de conceptualisation et de représentation du système de stationnement élaboré au cours de cette analyse a permis de rendre intelligible le fonctionnement de ce système. Il a constitué une phase incontournable et un préalable à la phase de modélisation présentée dans le chapitre 5 et à celle de simulation présentée dans les chapitres 7 et 8. Les notions et les concepts introduits et définis dans ce chapitre seront utilisés dans la suite de ce mémoire. La compréhension formelle et théorique qu'implique l'éco-conception du système de stationnement doit être complétée par une connaissance empirique basée sur des méthodes adaptées d'analyse. Le chapitre 3 développera une méthodologie de diagnostic du stationnement sur la base d'une EMD et proposera une application à l'agglomération parisienne.

Chapitre 3

Analyse du stationnement à partir d'une enquête ménages déplacements : application à l'agglomération parisienne

3.1 Introduction

Si l'automobile en tant que moyen de transport était un iceberg, la circulation en serait la partie émergée et le stationnement la partie immergée, largement majoritaire en temps passé et en espace consommé. La demande de stationnement, partie intégrante de la demande de déplacement en automobile, découle du besoin d'accomplir des activités. Elle est confrontée à une offre de places réparties en divers types, privées ou publiques, gratuites ou payantes, licites ou interdites, avec par type une capacité locale spécifique. L'adéquation entre la demande et l'offre constitue un fort enjeu d'accessibilité. Elle incarne, de fait, l'objectif majeur de l'organisation du stationnement en ville.

La conception de stratégies de stationnement cohérentes nécessite de comprendre et de connaître de façon précise et actualisée les caractéristiques de l'offre disponible sur un territoire et de son usage ainsi que les caractéristiques de la demande des places. Dans le premier chapitre de cette thèse, nous avons montré que cet enjeu de connaissance se pose aussi bien en termes de données et de méthodes que d'outils. Dans ce chapitre, nous mettons l'accent sur les deux premiers éléments. Nous nous

intéressons à connaître ce qui se passe à l'échelle de l'agglomération. À ce titre, l'Enquête ménages déplacements (EMD) constitue une source incontournable d'information. Il s'agit, pour les collectivités locales et les autorités organisatrices de transports, d'un cadre de référence pour élaborer mais aussi évaluer les politiques de mobilité (Armugoom et *al.*, 2010 ; Certu, 2013c). Cette enquête dresse un portrait de la mobilité quotidienne d'un territoire. Elle permet de caractériser, de manière précise, les pratiques de déplacement de la population résidente et de caractériser leur évolution dans le temps. Dans ce cadre, l'EMD permet caractériser les pratiques de stationnement des usagers dans une agglomération, en lien avec l'organisation des déplacements et des activités individuelles.

L'objectif de ce chapitre est de proposer une méthodologie de diagnostic global du stationnement sur la base d'une EMD. À titre de démonstration, nous analyserons le stationnement en agglomération parisienne à partir des données de l'Enquête globale transport (EGT) de 2010. Notre démarche s'appuie largement sur le travail de Leurent et Boujnah (2011) et celui de Leurent et Polacchini (1995).

Nous combinerons différentes dimensions d'analyse, en pratiquant de nombreux croisements entre les informations liées directement au stationnement automobile et celles liées aux répondants et à leurs pratiques de déplacement. Nous caractériserons d'abord la demande, sa structure territoriale et économique ; puis l'usage dans ses dimensions spatiales, temporelles et modales⁸⁰ ; enfin l'offre, dont la capacité physique est révélée indirectement par la saturation des modes dominants au cours de la journée. Nous décrirons, dans un premier temps, les usages du stationnement en le considérant comme un service de consommation courante. Nous nous focaliserons particulièrement sur le lieu et le mode choisis, selon les horaires, les motifs et la durée des activités menées, mais aussi selon le secteur spatial et la situation socio-économique des répondants. Nous évaluerons, ensuite, par accumulation, les occupations individuelles des places en reconstituant des profils d'utilisation des voitures particulières (VP). Nous caractériserons l'évolution des usages au cours des vingt dernières années.

Ce chapitre est composé de six parties. La section 3.2 explicitera une méthodologie pour diagnostiquer le stationnement sur la base d'une EMD. La section 3.3 traitera de l'usage du stationnement nocturne des ménages en liaison avec leur équipement en places privatives. La section 3.4 étudiera les pratiques de stationnement diurne associées aux activités à proprement parler des individus. La section 3.5 sera consacrée à l'évaluation de la charge de stationnement et indirectement de l'offre de places, que nous caractériserons selon les lieux, les modes et les périodes. Enfin, la section 3.6 proposera une conclusion et rappellera les principaux enseignements tirés de cette analyse.

⁸⁰ Les places de stationnement ont des caractéristiques différentes. Nous les distinguerons selon le *Mode de stationnement* en termes de formules tarifaires et de conditions de facturation de l'usage d'une place. Les différents modes retenus seront précisés dans la suite de ce chapitre.

3.2 Diagnostic du stationnement à partir d'une EMD

L'enquête ménages déplacements (EMD) est un outil de connaissance de la mobilité quotidienne d'une population urbaine (agglomération comptant plus de 100 000 habitants). Elle renseigne sur les habitudes et les pratiques globales de déplacements des habitants (Armugoom et al, 2010). En France, depuis 1976, plus d'une centaine d'enquête de ce type ont été élaborées dans plus de cinquante agglomérations (Certu, 2013c). Elles s'appuient sur la méthode dite "Standard Certu" qui garantit la fiabilité et la comparabilité des résultats et portent sur un échantillon représentatif des ménages résidents de l'aire d'étude enquêtée. Le principe d'une EMD est d'interroger tous les membres d'un ménage échantillonné sur les déplacements qu'ils ont effectués le long d'une journée, la veille du jour d'enquête. Elle est réalisée en face à face au domicile du ménage auprès de toutes les personnes âgées de 5 ans et plus. Cette enquête procure des informations détaillées sur les caractéristiques des ménages (lieu de résidence, revenus, motorisation, etc.) et des personnes interrogées (âge, sexe, profession, possession du permis de conduire, etc.) ainsi que de leurs déplacements réalisés pendant un jour moyen de semaine (origine, destination, mode, motif, heure, durée, etc.)⁸¹.

En faisant l'inventaire de tous les déplacements réalisés un jour ouvrable de semaine, les EMD constituent une source très riche d'information sur les pratiques de mobilité quotidienne. Grâce à une méthodologie standardisée, elles fournissent des résultats précis et comparables dans le temps et l'espace, tout en permettant de retracer les évolutions et les tendances lourdes et d'étudier de manière prospective les évolutions potentielles du système de mobilité. Pour les autorités organisatrices des transports, les EMD constituent des assises de mesure, d'évaluation et de comparaison des politiques de transport. Dans ce qui suit, nous présenterons l'EMD de notre territoire de démonstration : l'Enquête globale transport de 2010 et nous détaillerons notre méthode de diagnostic du stationnement à partir d'une EMD.

3.2.1 Présentation de l'Enquête globale transport de 2010

Depuis 1976, la région Île-de-France s'est dotée d'un outil puissant de connaissance et d'observation de la mobilité quotidienne : l'Enquête globale transport (EGT). Il s'agit d'une enquête sur les déplacements des ménages (EMD) réalisée tous les dix ans

⁸¹ Le questionnaire de l'enquête est composé de quatre principales fiches :

- une fiche « Ménage » qui renseigne sur les caractéristiques générales du ménage (localisation, revenu, logement, composition, nombre d'actifs, motorisation et équipement, etc.).
- une fiche « Individu » qui renseigne sur les caractéristiques du répondant (âge, sexe, profession, catégorie socioprofessionnelle, possession du permis de conduire, etc.).
- une fiche « Déplacement » qui reproduit l'enchaînement des déplacements individuels réalisés dans l'aire d'étude et les trajets qui les composent (nombre, mode, lieu d'origine, lieu de destination, motif, horaire, etc.).
- une fiche optionnelle « Opinion », qui procure des informations complémentaires sur l'offre locale de transport et les conditions d'accessibilité.

environ⁸². La dernière édition de l'EGT a vu le jour en 2010⁸³. Elle a été pilotée par le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF) en partenariat avec la Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement (DRIEA) d'Île-de-France. L'enquête a été effectuée entre octobre 2009 et mai 2011 et elle a porté sur 18 000 ménages et près de 43 000 personnes interrogées⁸⁴. Un jour ouvrable de 2010, 41 millions de déplacements ont été recensés, ce qui fait de l'EGT la plus importante EMD à l'échelle nationale. Parmi ces déplacements, 15,5 millions environ ont été réalisés en VP dont 79 % en tant que conducteur. Pour tous ces déplacements, il nous est possible de suivre le mouvement et la présence des véhicules, et d'analyser finement les activités de stationnement associées dans l'espace et dans le temps.

L'EGT 2010 renseigne sur le stationnement automobile à deux titres :

- **Le stationnement nocturne lié au domicile** est appréhendé à partir du fichier « Ménages ». Deux questions sont posées à chaque ménage. Elles informent sur (i) le type de stationnement habituel des véhicules à disposition du ménage et (ii) le montant mensuel de loyer payé par les ménages locataires d'une place de stationnement⁸⁵.
- **Le stationnement diurne consécutif à chaque déplacement en voiture**, que nous qualifions de ponctuel, est appréhendé à partir des fichiers « Déplacements », « Trajets » et « Ménages ». Quatre questions sont posées aux répondants⁸⁶. Elles concernent (i) le type de stationnement utilisé, (ii) la connaissance préalable du lieu de stationnement sur le lieu de destination par le conducteur, (iii) la disponibilité d'une place réservée sur le lieu de travail et (iv) la contribution de l'employeur aux frais de déplacement, dont le stationnement⁸⁷.

Nous avons basé notre analyse sur le recoupement de ces informations avec d'autres attributs relatifs au déplacement antérieur au stationnement mais aussi au déplacement ultérieur (le premier lorsque la voiture est reprise). Nous avons aussi utilisé d'autres informations qui viennent s'ajouter à celles directement liées au stationnement : lieu de résidence/de destination, motif d'activité, durée et horaire du déplacement. De la sorte, nous multiplions les analyses tout en tirant profit de la richesse des données de l'enquête.

D'une manière générale, sur la base d'une EMD, nous pouvons décrire : d'abord la demande, sa structure territoriale et économique ; puis l'usage dans ses dimensions spatiales, temporelles et modales ; enfin l'offre, dont la capacité est révélée

⁸² Cette enquête accompagne chaque recensement général de la population.

⁸³ L'EGT 2010 est la cinquième EMD en Île-de-France. Elle est précédée par celles de 1976, 1983, 1991 et 2001.

⁸⁴ Dans l'EGT 2010, on compte précisément 18 021 ménages (14 885 ménages enquêtés du lundi au vendredi, 1 566 le samedi et 1 570 le dimanche) pour un total de 42 529 personnes interrogées.

⁸⁵ Au sein de l'EGT 2010, une nomenclature de douze types de stationnement nocturne est retenue. Elle est présentée, de façon détaillée, en annexe 3.1.

⁸⁶ Les questionnaires de l'EGT 2010 sont disponibles en ligne à l'adresse suivante : www.omnil.fr/spip.php?page=recherche&recherche=questionnaire.

⁸⁷ De même, pour le type de stationnement diurne, une nomenclature de seize classes est proposée. Elle est détaillée en annexe 3.2.

indirectement par la saturation des modes dominants au cours de la journée. Notons, enfin, que l'EGT 2010 sacrifie la partie qualitative des EMD portant sur les sondages d'opinion. Pour cette raison, notre analyse ne traite pas sur les perceptions de la qualité de l'offre et des degrés de contrainte locale de stationnement.

3.2.2 Description de la demande

L'enquête révèle les comportements désagrégés des individus dans un échantillon de ménages. En pondérant les résultats individuels par des coefficients ad hoc, on en déduit des résultats agrégés par catégorie sociale, économique ou spatiale pour la demande, ou selon les lieux, les modes et les horaires pour l'usage (les déplacements et les stationnements).

Nous pouvons alors tenter de caractériser l'ensemble des demandeurs (usagers) sous l'angle :

- résidentiel : catégories démographiques, sociales et économiques par type de ménage, selon le type d'habitat et le secteur spatial de résidence ;
- des équipements de transport : permis de conduire, voitures particulières, places de stationnement au domicile ;
- des activités menées : selon les motifs des activités, leur durée, leur lieu et leur répartition horaire au cours de la journée ;
- des comportements économiques d'activité et de mobilité, même si ceux-ci sont mal révélés, faute de connaître (par observation) les options alternatives à celle choisie.

Idéalement, il faudrait combiner les dimensions d'analyse, au prix d'une complexité combinatoire, d'où la nécessité de restrictions. En particulier, nous restreindrons la description des activités à celles auxquelles les usagers accèdent en tant que conducteurs de VP (mode VPC).

3.2.3 Description de l'usage

A priori, l'usage varie dans le temps : nous distinguerons l'usage nocturne, lié à l'habitation, et l'usage diurne qui concerne tous les motifs. L'usage varie aussi dans l'espace, conformément à l'offre d'activités et à sa configuration spatiale relativement à celle de la demande.

Nous caractériserons encore l'usage selon les lieux, les modes de stationnement choisis et les durées d'occupation, en relation avec les motifs d'activité et les conditions d'accès particulières au motif (places dédiées) ou au demandeur (places réservées). Par ailleurs, l'enquête renseigne sur la connaissance préalable du lieu de stationnement par le demandeur, sur la tarification et sur le remboursement des dépenses de déplacement par l'employeur, que nous traiterons au fur et à mesure dans l'analyse.

3.2.4 Description de l'offre

Nous décrivons l'offre de manière indirecte : en reconstituant l'utilisation de chaque véhicule du ménage et sa présence physique dans l'espace, nous distinguerons les voitures immobiles (passives) des voitures déplacées (actives). Par lieu et par mode, nous évaluerons l'occupation de stationnement par intervalles de temps au cours de la journée. Bien entendu, cette évaluation ne permet pas de déterminer quantitativement les capacités de l'offre. Néanmoins, elle permet de révéler la saturation des options dominantes banalisées ou dédiées. Alors, pour un mode saturé, la charge de stationnement correspond à la capacité. Force est de constater qu'en dehors d'un comptage exhaustif, l'offre concrète ne peut être connue au moyen d'une EMD, ni en capacité ni en tarifs.

3.2.5 Portée et limites de l'analyse à partir d'une EMD

Les données d'une EMD permettent de dresser une vision globale du stationnement à l'échelle d'une agglomération, par une description de ses grands traits et de son évolution au fil du temps. Leur richesse permet de comparer les résultats aussi bien entre les différents secteurs géographiques de l'enquête qu'à ceux d'autres agglomérations.

Pour autant, l'EMD ne fournit qu'une connaissance partielle du fonctionnement du stationnement au sein d'un territoire, et ce pour plusieurs raisons. D'abord, dans une EMD, le stationnement est caractérisé principalement par son type. Il constitue un sujet secondaire d'observation et pas l'objet même de l'enquête. À titre d'exemple, pour le stationnement au domicile, l'enquête ne renseigne pas sur le fait que le ménage dispose ou non d'emplacements privés, ni sur leur nombre ou leur aménagement (garage/en surface). De même, pour le stationnement ponctuel, aucun renseignement n'est fourni sur les conditions d'occupation des places – distance de marche terminale et, le cas échéant, temps de recherche d'une place, nombre de places visitées et tarif payé –, ni sur l'accès à l'information de disponibilité instantanée de la place désirée. Enfin, les options de déplacement et de stationnement disponibles pour l'utilisateur restent inconnues. Or, la connaissance de ces variables microéconomiques est indispensable pour permettre au modélisateur de saisir les logiques comportementales et de choix de place par les demandeurs. Ensuite, ayant une portée locale, l'EMD recense les déplacements des habitants du périmètre d'enquête. Elle exclut, *de facto*, les déplacements des visiteurs à titre privé ou professionnel, notamment le stationnement de livraison. Cela conduit à une sous-estimation des volumes de demande de stationnement sur le territoire. Enfin, le découpage de l'aire d'enquête en secteurs géographiques ne garantit pas la représentativité des données à des échelles fines. Cette limite impose donc d'agréger l'analyse par zone géographique ou, au mieux, par secteur spatial.

Retenons que l'EMD répond à une approche globale d'analyse de stationnement. Pour une caractérisation plus fine et plus détaillée, il faut appréhender et connaître

conjointement l'offre, la demande et l'usage. Dans ce cas, un système d'observation est nécessaire⁸⁸.

3.3 Stationnement nocturne des ménages

L'activité nocturne principale est de loin le repos au domicile, pour l'ensemble des individus et chacun pour plusieurs heures. Comme les automobiles détenues doivent être stationnées par leurs utilisateurs, cela impose le lieu (au domicile ou à proximité), le motif d'activité et la durée de stationnement. Ainsi, la demande et l'usage sont presque confondus. L'offre comprend les équipements individuels en places réservées, complétés par des places banalisées. Après un bref aperçu de la motorisation des ménages en Île-de-France, cette section soumet le stationnement nocturne, résidentiel principalement, à un examen élémentaire de l'usage et indirectement de l'offre et de la demande, selon l'anneau de résidence pour les influences spatiales, et le degré d'équipement et les caractéristiques du ménage pour les influences socio-économiques.

3.3.1 Motorisation automobile des ménages franciliens

En 2010, le parc automobile⁸⁹ des ménages franciliens s'élève à 4,9 millions de véhicules parmi lesquels 12,5 % à disposition des Parisiens, 34 % des habitants de la petite couronne et 53,5 % des résidents de la grande couronne. Ce parc a connu, au cours de la dernière décennie, une croissance de 6 %, soit un rythme d'évolution nettement moins soutenu que celui des périodes précédentes (12,4 % entre 1991 et 2001 et 18,2 % entre 1983 et 1991) (Bertrand, 2005).

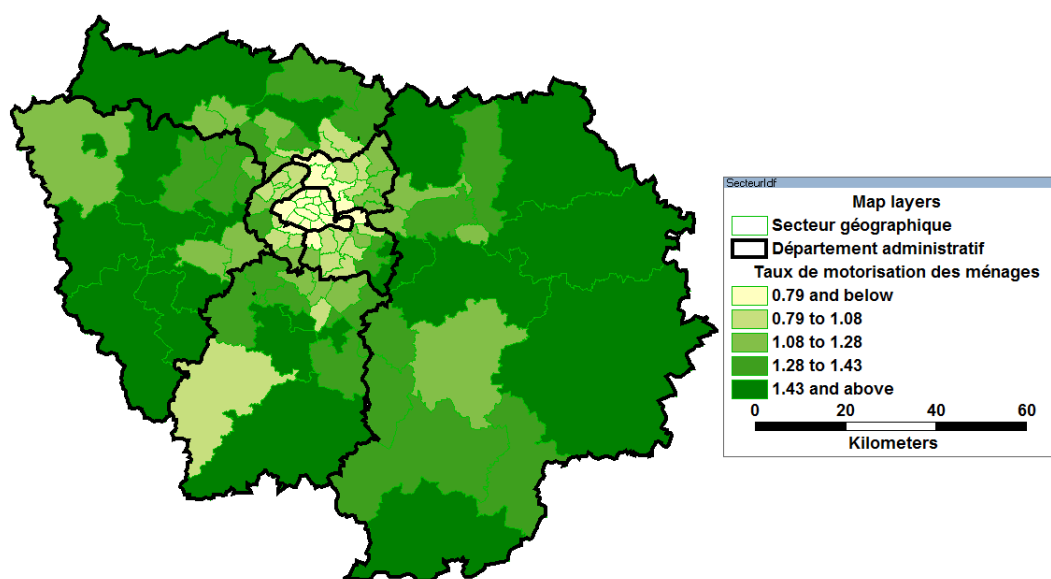
Le taux de motorisation⁹⁰ des ménages est estimé à 0,99 soit environ une voiture pour chaque ménage. Ce taux n'est, toutefois, pas homogène sur l'ensemble du territoire. De fortes disparités sont observées selon le lieu de résidence (figure 3.1). Les Parisiens sont nettement moins motorisés et moins équipés que les ménages habitant en zone périphérique⁹¹. Cette situation résulte de deux dynamiques : la forte densité et la mixité des activités dans le centre d'une part, la qualité de service de l'offre de transports en commun d'autre part.

⁸⁸ Pour l'Île-de-France, citons les travaux récents de l'Atelier parisien d'urbanisme pour la ville de Paris (Villot, 2005) et de l'Institut d'aménagement et d'urbanisme (Riou, 2008), qui décrivent l'offre de stationnement public respectivement à Paris et en petite couronne.

⁸⁹ Notons que ce parc est constitué aussi bien par des voitures particulières possédées par les ménages que par des véhicules utilitaires possédés par les entreprises.

⁹⁰ Le taux de motorisation correspond au nombre total de voitures rapporté au nombre total de ménages. Il renseigne sur le nombre moyen de véhicules par ménage.

⁹¹ À ce titre, quelques précisions méritent d'être apportées. Le taux de motorisation des Parisiens est 2,8 fois plus faible que celui en grande couronne. À Paris intra-muros, la part des ménages motorisés est 1,5 fois plus faible qu'en petite couronne et environ 2 fois plus faible qu'en grande couronne. Enfin, les ménages parisiens sont nettement moins multimotorisés que les autres (4,5 fois moins qu'en petite couronne et 10 fois moins qu'en grande couronne).



	Motorisation des ménages	% des ménages équipés	% des ménages multimotorisés	Nombre total de voitures (en milliers)
Paris	0,49	45	4	602
Petite couronne	0,92	71	18	1 669
Grande couronne	1,35	87	40	2 623
Île-de-France	0,99	71	24	4 894

Figure 3.1 : Motorisation et équipement automobile des ménages franciliens.

Pour la première fois depuis 1976, la motorisation tend à se stabiliser à l'échelle régionale. Cette évolution cache, toutefois, d'importants contrastes. L'EGT 2010 révèle que le nombre de voitures par ménage est faible – en baisse à Paris intra-muros et en légère baisse en petite couronne – et qu'il est élevé et en hausse ailleurs. En grande couronne, les ménages continuent à s'équiper et à se multimotoriser. La croissance du parc automobile francilien⁹² est presque exclusivement concentrée sur ce territoire.

3.3.2 Équipement en emplacements privés du logement

Sur un territoire, le stationnement privé représente une grande proportion de l'offre totale. Ce type de stationnement renvoie au fait de disposer d'un emplacement réservé tel qu'un box, un garage ou une place de parking attitrée en surface. Dans l'EGT, aucun renseignement n'est fourni sur la détention de places privées liées au logement. Pour remédier à ce manque d'information, nous nous référons aux données de

⁹² Pour de plus amples informations sur l'évolution de la motorisation des ménages en Île-de-France, le lecteur peut consulter l'analyse de la DRIEA (2013).

l'Insee et précisément au recensement général de la population de 2010 dans lequel la question de la possession d'un stationnement privé sur le lieu de résidence principal du ménage est explicitement posée.

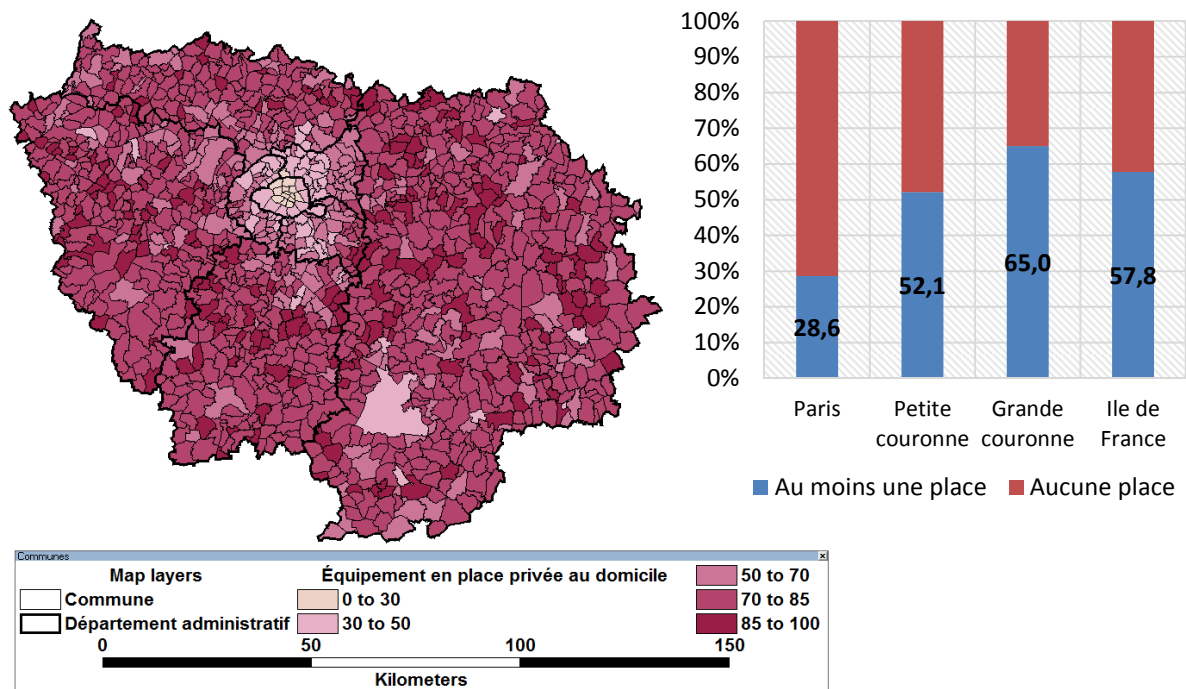


Figure 3.2 : Équipement en places privées rattachées au logement (source : Insee, *RGP 2009*, « exploitations principale et complémentaire »).

Cette analyse révèle qu'en Île-de-France, plus d'un ménage sur deux dispose d'une place privée de stationnement au domicile (57 %). Ce taux passe à 79 % si on ne compte que les ménages motorisés, d'où le fort couplage entre la disponibilité des places et l'équipement automobile des résidents. L'équipement en aires de stationnement (illustré par la figure 3.2) est très variable selon la commune. De fortes disparités peuvent être constatées. À Paris, un ménage dispose en moyenne de 0,28 place, ce taux double pour les habitants de la petite couronne et atteint 0,67 pour les habitants de la grande couronne. Le niveau d'équipement en emplacement dépend fortement du type de logement (maison/appartement), de son statut d'occupation (collectif/individuel, propriétaire/locataire) et surtout du tissu urbain dans lequel il se situe. De même, l'équipement des logements en places privées⁹³ augmente avec l'éloignement du centre. Il est évalué à 0,24 place à Paris, à 0,53 place en proche couronne et à 0,60 place ailleurs. Ces différences reflètent un manque structurel de places privées dans le centre, qui s'explique par l'ancienneté du bâti et la rareté de l'espace.

⁹³ Ce ratio est calculé en divisant le nombre total de places par le nombre total de logements.

3.3.3 Où sont garées les voitures particulières la nuit ?

Nous avons examiné le lieu de stationnement de la voiture la nuit et la répartition des places utilisées par véhicule selon son indice de détention dans le ménage, de 1 à 4 (figure 3.3)⁹⁴. Nous avons constaté que la majeure partie du stationnement nocturne s'effectue sur des emplacements privés (73 %). La voie publique n'absorbe qu'une voiture sur quatre et les garages publics sont très peu utilisés (2 %). L'usage de la voirie varie positivement avec l'indice de détention du véhicule. Ainsi, pour la quatrième voiture, la voirie est beaucoup plus sollicitée : sa part passe à plus de 40 % tandis que celle des emplacements privés descend à 55 %. Cette répartition est presque identique à l'échelle des différents secteurs spatiaux du territoire (voir annexe A.3). La distribution de l'occupation des places ne semble pas être liée à la densité urbaine. Partout, la voirie joue un rôle structurant dans le stationnement nocturne des ménages et permet de pallier le déficit structurel des places privées.

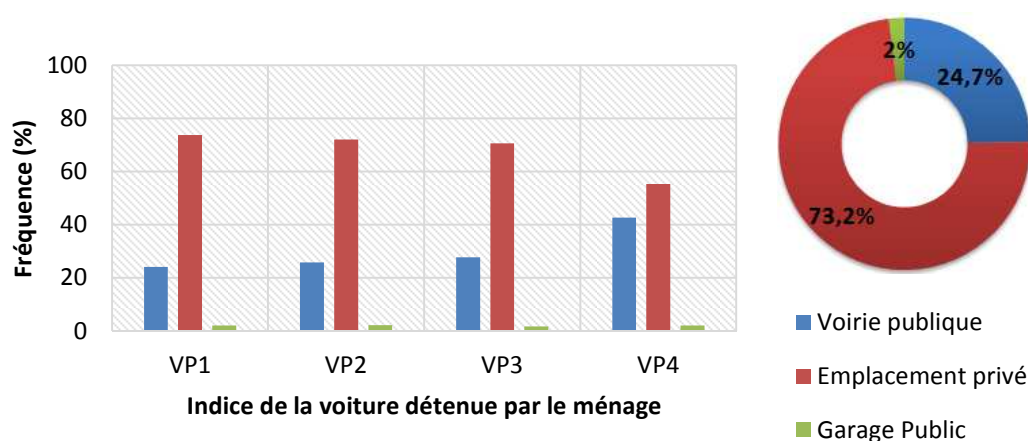


Figure 3.3 : Lieu de stationnement nocturne des ménages, (a) selon l'indice de détention de la voiture, (b) pour l'ensemble des véhicules à disposition des ménages.

3.3.4 Comment sont garées les voitures la nuit ?

Intéressons-nous à présent au mode de stationnement défini en termes de formules tarifaires et de conditions de facturation de la place. Pour le stationnement nocturne, nous distinguons, selon le regroupement des types de stationnement établi par l'EGT 2010, quatre principaux modes : Gratuit, Payant, Propriétaire et Abonné.

Pendant la nuit, une VP sur trois est garée gratuitement (31 % dont 20 % sur la voie publique), trois véhicules sur cinq stationnent en mode réservé (sur un emplacement privé ou dans un garage public) en tant qu'abonné (18 %) ou en tant que propriétaire (45 %), et environ 6 % des voitures sont déposées sur des places payantes, majoritairement en mode Payant résidentiel.

⁹⁴ Les premières voitures à disposition des ménages représentent 70 % du parc total. Les 30 % restants se répartissent à hauteur de 24 %, de 3,5 % et de 0,5 % respectivement pour la deuxième, la troisième et la quatrième voiture.

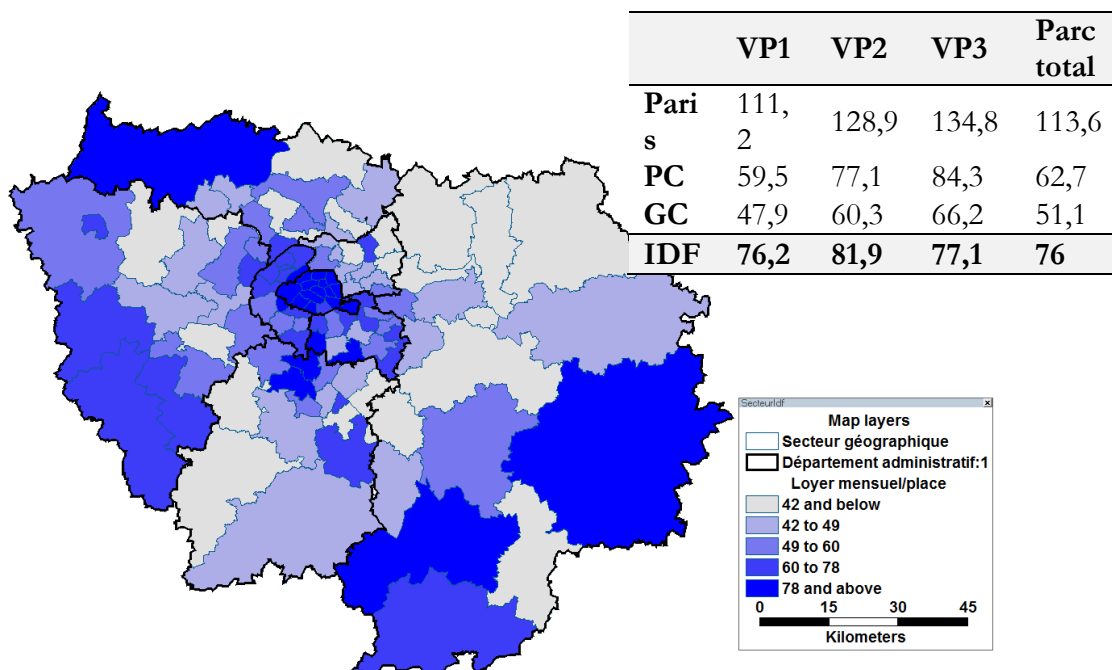
Tableau 3.1 : Usage du stationnement nocturne par lieu et par mode selon le secteur de résidence (%) (source : EGT 2010).

Mode de stationnement		Paris	Petite couronne	Grande couronne	Île-de-France	
Gratuit	Voie publique	3,9	22,4	19,9	18,4	31 %
	Emplacement privé	8,7	11,9	10,2	10,4	
	Garage public	0,3	0,9	1	1	
	Autres	0,1	0,2	0	0,1	
Payant	Voie publique durée limitée	2,7	1,2	0,4	0,9	6 %
	Voie publique « résidentiel »	21,4	4,3	0,9	4,6	
	Voie publique « interdit »	0,2	0,1	0,3	0,2	
	Garage public	0,1	0	0	0	
Abonné	Emplacement privé	33,4	26,4	21,4	21,1	18 %
	Garage public	2,7	0,7	0,4	0,8	
Propriétaire	Emplacement privé	26,5	31,7	45,5	42,4	45 %
	Garage public	0,4	0,3	0,1	0,4	
Ensemble (effectif)		565	1 667	2 620	4 850	100%

Les modes de stationnement nocturne varient fortement selon le secteur spatial (tableau 3.1). Paris intra-muros se singularise par un usage plus intensif du mode Payant (24,8 %), particulièrement sous l'effet de la tarification de la voirie et de la généralisation du stationnement payant résidentiel au cours de ces dernières années. Inversement, la part des places réservées en tant que propriétaire est la plus faible (26,9 %) et celle des abonnés est la plus importante (39,4 %). Cette situation résulte de la superposition de deux contraintes. La première est liée à la rareté spatiale et à la forte densité d'urbanisation ; la seconde à la forte pression sur l'espace public. Le mode réservé privatif (Propriétaire), donc le couplage avec le domicile, augmente quand on s'éloigne du centre. Conjointement, la part du mode banalisé croît. Le tableau 3.1 montre, entre autres, que le mode Payant résidentiel est nettement moins utilisé en dehors de Paris.

L'enquête révèle notamment que 23,5 % des ménages motorisés sont locataires d'un emplacement privatif de stationnement⁹⁵. Le montant mensuel du loyer s'établit à 76 euros en moyenne. Il est souvent inclus dans le prix de location du logement. La figure 3.4 présente la valeur du loyer moyen par secteur géographique. Elle met en évidence une répartition différenciée selon le secteur spatial. Les Parisiens payent deux fois plus que les habitants en grande couronne. Cette carte concorde avec celle des places privatives. Les loyers les plus chers sont constatés là où l'équipement en places privées est le plus faible (voir figure 3.2). Notons, par ailleurs, que la valeur du loyer tend à augmenter avec l'indice de détention des véhicules par le ménage, comme le montre le tableau ci-dessous.

⁹⁵ Cette part est de 23,3 % à Paris, de 27,7 % en petite couronne et de 20,4 % en grande couronne.



*Nous limitons l'analyse à la 3^{ème} voiture en raison de la non-représentativité des données.

Figure 3.4 : Valeur du loyer mensuel moyen de stationnement par commune (euros)
(source : EGT 2010).

3.3.5 Influence de la situation socio-économique du ménage sur l'usage nocturne des places

Dans l'objectif d'étudier la corrélation entre les choix de stationnement des ménages et leurs caractéristiques socio-économiques, nous avons analysé le type de stationnement nocturne selon le revenu, les caractéristiques du logement et le lieu de résidence du ménage. Le tableau 3.2 présente le revenu moyen⁹⁶ en fonction du lieu de résidence et du type de stationnement nocturne de la première voiture détenue. Il montre que les propriétaires d'emplacements privés et les abonnés en parc public disposent de revenus plus élevés, de manière consistante dans l'espace. Dans Paris intra-muros, le revenu est important pour les occupants des places payantes sur voirie. Il est plus modeste pour les usagers du mode Payant résidentiel. En dehors du centre, les ménages à revenu intermédiaire optent plutôt pour des places gratuites dont la disponibilité n'est jamais garantie et s'adaptent, en l'occurrence, aux contraintes de leur quartier. Nous observons, enfin, que les occupants des places illicites disposent de revenus relativement élevés. Ils sont, vraisemblablement, moins sensibles au risque d'une contravention.

⁹⁶ Nous avons considéré le revenu moyen par unité de consommation.

Tableau 3.2 : Usage du stationnement nocturne selon le revenu moyen des ménages (en euros) et selon le lieu de résidence (source : EGT 2010).

Mode de stationnement		Paris	Petite couronne	Grande couronne	Île-de-France
Voie publique	Payant limité	3 635	2 656	2 604	3 083
	Payant résidentiel	2 921	2 957	3 178	2 950
	Gratuit	3 147	2 611	2 818	2 736
	Interdit	2 977	3 643	3 225	3 307
Emplacement privé	Gratuit	3 146	2 684	2 689	2 743
	Propriétaire	3 562	3 415	3 263	3 339
	Abonné	3 479	2 789	2 483	2 840
Garage public	Gratuit	3 085	2 486	2 300	2 415
	Propriétaire	4 884	2 327	3 349	3 386
	Abonné	4 144	3 360	2 624	3 646
	Payant	-	2 845	1 688	2 309
	Autre	5 500	3 998	2 465	4 180
Ensemble		3 374	2 970	2 982	3 035

La figure 3.5 montre l'usage des places selon le type et le statut d'occupation du logement. Les ménages locataires semblent être moins équipés en places de stationnement. En conséquence, ils ont plus recours au mode Abonné et au mode Payant. En revanche, les ménages propriétaires détiennent en moyenne vingt fois plus d'emplacements privés et sont rarement captifs du mode Abonné. Pour les premiers, l'usage des places gratuites est deux fois plus important. Dans ce même sens, les ménages en habitat individuel possèdent deux fois plus de places privées que ceux en habitat collectif. Ils utilisent autant le mode Abonné que le mode Gratuit et dans une moindre mesure, les places payantes. Cette situation caractérise l'ensemble du territoire francilien. Ces résultats montrent que les caractéristiques de l'habitat du ménage affectent sensiblement l'usage et l'occupation nocturne des places. Ils renseignent indirectement sur l'équipement en places privées associées au domicile.

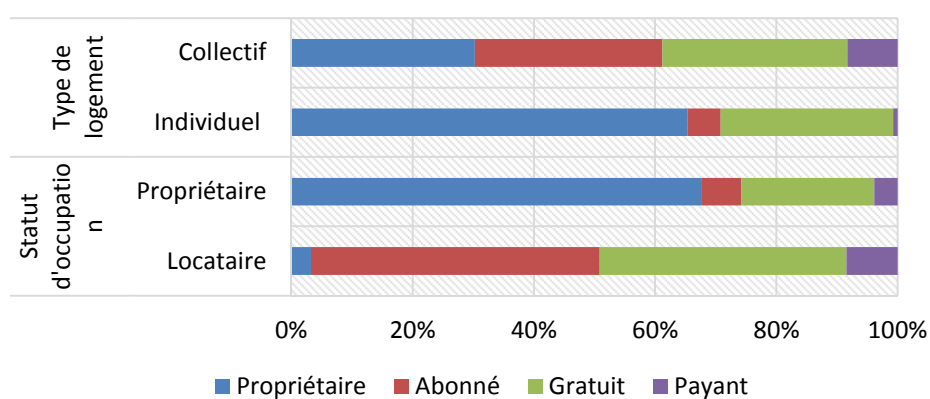


Figure 3.5 : Mode d'usage nocturne des places selon le type et le statut d'occupation du logement du ménage (source : EGT 2010).

Pour approfondir notre observation, nous avons étudié l'effet de la taille et de la composition du ménage, ainsi que de la détention du permis de conduire sur l'usage

nocturne des places. L'analyse montre peu de variation dans les résultats. Si le nombre de personnes – et particulièrement d'actifs – par ménage détermine fortement la motorisation et le nombre de voitures à disposition, il ne pèse que très peu dans les choix d'occupation et d'usage de stationnement nocturne. De même, la possession du permis de conduire ne semble pas affecter le choix de stationnement des usagers.

3.3.6 Quelles évolutions de l'usage nocturne des emplacements ?

Grâce à une méthodologie standardisée, nous pouvons comparer et mesurer dans le temps l'évolution des pratiques de stationnement automobile en Île-de-France. Nous limiterons notre analyse aux vingt dernières années⁹⁷. Sur cette période, l'usage nocturne des places a relativement peu évolué, aussi bien en termes de lieux que de modes, à l'exception de Paris intra-muros, où les changements sont plus remarquables (voir figure 3.6).

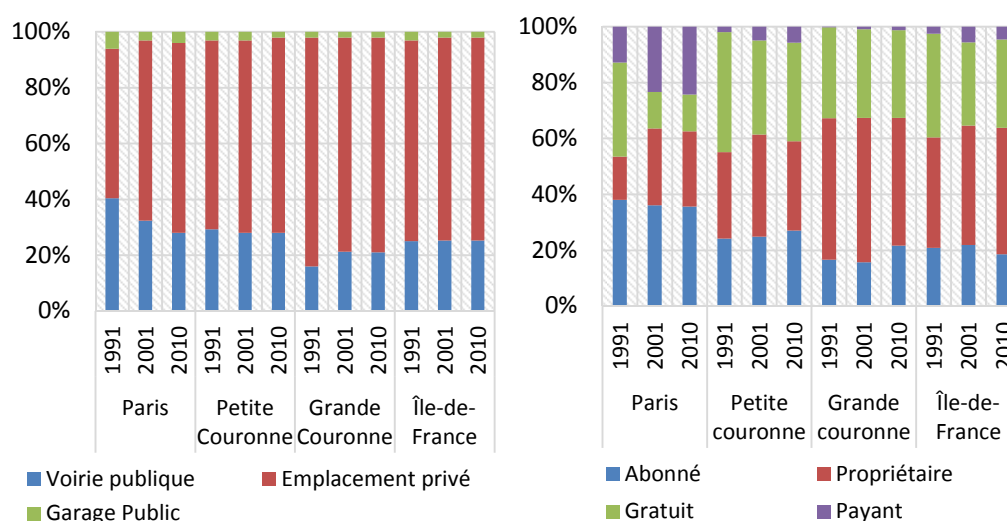


Figure 3.6 : Évolution (a) des lieux d'occupation et (b) des modes d'usage nocturne des places selon le lieu de résidence du ménage (source : EGT 2010).

Comparativement aux décennies passées, le recours aux emplacements privés reste majoritaire sur l'ensemble du territoire et la voirie est utilisée autant qu'avant, sauf à Paris où sa part a connu une baisse de 12 %, compensée par une hausse de l'utilisation des emplacements privatifs (en tant que propriétaires⁹⁸). Ce phénomène a commencé dans les années 2000 et continue à s'amorcer. Les pratiques de stationnement sont donc quasi stables en dehors du centre, avec une légère hausse de l'utilisation des places sur la voirie. De la même manière, la répartition modale des places a légèrement

⁹⁷ Notre analyse comparative se base sur les résultats des travaux de Leurent et Polacchini (1995) et de Leurent et Boujnah (2011) qui ont étudié les usages de stationnement à partir, respectivement, de l'EGT 1991 et de l'EGT 2001.

⁹⁸ Ce résultat suggère un probable détournement d'usage des espaces privatifs avant la tarification de la voirie.

changé. La part des places payantes a très peu augmenté sauf au cœur de la métropole. En effet, à Paris, le mode Payant a vu sa part doubler depuis 2001. Cette situation résulte de la généralisation du stationnement payant résidentiel⁹⁹ sur voirie. De même, la proportion des places « propriétaires » a nettement augmenté.

Les différences spatiales sont nettes et traduisent des niveaux de contrainte de stationnement variables selon le territoire. Les changements observés sont intimement liés à l'évolution des modes de gestion de l'offre. Au cours des dernières années, les espaces de stationnement en surface sont de plus en plus utilisés comme des variables de reconquête de l'espace public, surtout au sein des zones à forte densité. C'est notamment le cas à Paris intra-muros, où depuis 2001, plus de 85 000 places¹⁰⁰ de stationnement automobile sur voirie ont été supprimées.

3.3.7 Éléments de synthèse

Le stationnement nocturne prend différentes formes. Il est de loin le plus consommateur en temps et en espace. L'usage se fait en fonction de l'offre et des possibilités d'accès aux places. À travers cette analyse, nous avons caractérisé l'usage nocturne des places selon le lieu, selon le mode et en fonction du lieu de résidence et des caractéristiques socio-économiques du ménage.

Bien que l'usage des emplacements privatifs demeure majoritaire (73 %), la voirie continue de jouer un rôle structurant (25 %). Elle contribue fortement à atténuer la pénurie de places privées au domicile au cœur de l'agglomération et à stocker les véhicules des ménages multimotorisés en grande couronne. Son mode de gestion diffère sensiblement selon le territoire. À Paris, le stationnement payant est plus usité sous l'effet de la densité urbaine et des contraintes liées à la rareté de l'espace. Les effets d'une politique dissuasive de stationnement sont nettement perceptibles sur l'usage nocturne des places.

Rappelons que notre analyse est focalisée principalement sur le stationnement résidentiel des ménages et ne couvre pas d'autres motifs de stationnement nocturne tels que les livraisons, le travail de nuit et les loisirs.

3.4 Analyse du stationnement diurne

Au cours de la journée, tout individu réalise des activités spécifiques, à son domicile ou à l'extérieur, avec certains motifs, pendant une certaine durée et sur certaines plages horaires. La durée mesure l'investissement de l'individu dans l'activité et sa présence physique dans le lieu, mais mesure aussi, si l'individu conduit une voiture pour accéder à l'activité, la présence de son véhicule et son emprise sur la capacité de stationnement.

Notre deuxième axe d'analyse porte sur le stationnement de jour. Nous fondons notre étude sur les activités des individus en tant que conducteurs d'automobile, en privilégiant leurs motifs et leur durée, de manière désagrégée. L'occupation des

⁹⁹ À Paris, la part d'usage nocturne du mode résidentiel est passée de 5,5 % en 1991 à 21,5 % en 2010.

¹⁰⁰ Selon <http://carfree.fr/index.php/2013/04/17/le-mystere-parisien-du-stationnement-disparu/>.

emplacements de stationnement selon les lieux, les horaires et les modes se déduisent par agrégation. Notre investigation est concentrée sur ces occupations, donc sur l'usage, en gardant la demande en arrière-plan au travers des motifs d'activité. Nous prenons en compte tous les actes de stationnement consécutifs à un déplacement automobile en tant que conducteur qui se produisent sur la plage horaire située entre 4 heures et 22 heures.

Après avoir caractérisé l'utilisation des véhicules pendant la journée, nous examinerons les activités qui les engendrent selon le motif et la durée. Ensuite, nous les retracerons selon le lieu de destination, la temporalité du déplacement et le lieu du stationnement. Puis nous considérerons le choix des modes de stationnement. Au terme de cette description progressive, nous soulignerons les principales évolutions constatées au cours des deux dernières décennies.

3.4.1 Utilisation quotidienne de la voiture

Au cours d'un jour ouvrable (2010), les individus âgés de cinq ans et plus effectuent 41 millions de déplacements, parmi lesquels 15,5 millions en voiture particulière (soit 38 %), dont 79 % en tant que conducteur¹⁰¹. En termes de partage modal, la voiture se place en deuxième position après la marche (avec 39 %), mais reste le premier mode motorisé. Elle génère 52 % des distances parcourues (DREIA, 2013). L'automobile assure, en moyenne, 1,46 déplacement par personne et par jour, sur une portée¹⁰² de 6,1 kilomètres et sur une durée d'environ 23 minutes¹⁰³. Son usage est, en revanche, très différencié selon le territoire. Alors qu'elle ne touche que 0,5 déplacement par jour à Paris (soit 7 % des déplacements), la voiture particulière est le mode privilégié de déplacement sur le reste du territoire francilien. Cela s'explique par les variations des niveaux d'urbanisation et de la qualité de l'offre de transports en commun.

L'EGT révèle que, sur les 4,9 millions de voitures à disposition des ménages franciliens, près de 62 % sont utilisées au moins une fois durant la journée, les autres ne circulent pas du tout, autrement dit, elles restent immobiles. La proportion d'utilisation de la voiture diminue sensiblement avec l'indice de détention dans le ménage¹⁰⁴. Ainsi, les deux premières voitures sont 1,3 fois plus utilisées que les autres. En moyenne, une voiture utilisée est en circulation pendant 1 h 33 quotidiennement. Elle parcourt une distance de 26,3 kilomètres et permet de réaliser 3,7 déplacements (Omnil, 2013). Cela dit, sur une journée, la voiture passe environ 6,5 % du temps sur la route contre 93,5 % en stationnement. Ce taux passe à 96 % si on ajoute les véhicules immobiles. La figure 3.7 illustre le statut d'usage des véhicules selon l'heure de la journée à l'échelle de l'Île-de-France.

¹⁰¹ La répartition des déplacements quotidiens par motif d'activité et par mode de déplacement est illustrée en annexe 3.4.

¹⁰² La portée d'un déplacement est la distance à vol d'oiseau calculée entre le lieu d'origine et le lieu de destination.

¹⁰³ En ne comptant que les conducteurs, ces indicateurs passent à 1,15 déplacement par personne et par jour, sur une distance parcourue de 7,5 kilomètres et une durée de 27 minutes, en moyenne.

¹⁰⁴ La répartition de l'utilisation des véhicules selon leur indice de détention est présentée en annexe 3.5.

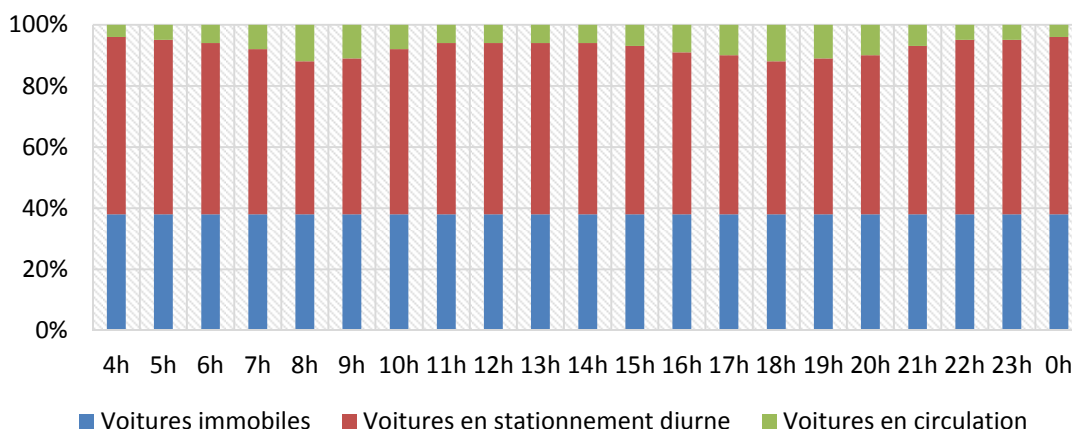


Figure 3.7 : Statut d'usage des voitures à disposition des ménages franciliens (source : EGT 2010).

La dernière décennie écoulée marque un tournant majeur : la stabilisation de la mobilité automobile. En effet, le nombre de déplacements réalisés quotidiennement par ce mode a cessé de croître et s'est stabilisé autour de 15,5 millions. En termes de mobilité individuelle (nombre de déplacements par jour et par personne), cela se traduit par une faible baisse, (soit 1,46 en 2010 contre 1,54 en 2001¹⁰⁵). Toutefois, cette tendance n'est pas uniforme sur l'ensemble de la région, des évolutions différenciées sont constatées selon le secteur spatial et l'échelle du déplacement¹⁰⁶.

La stabilité de la mobilité automobile résulte de différents facteurs. Il s'agit certainement d'une conséquence des évolutions générationnelles (vieillesse de la population, travail des femmes), des évolutions économiques (augmentation continue du prix du carburant, baisse du pouvoir d'achat des ménages), des évolutions conjoncturelles (saturation des infrastructures routières, amélioration de la qualité de l'offre de service des transports en commun). Mais, elle s'explique surtout par les évolutions des philosophies des politiques publiques de déplacement et d'aménagement urbain qui s'orientent davantage vers l'intermodalité et la limitation de la VP en ville. Cette dernière décennie marque-t-elle la fin de la domination automobile ? Et les changements des comportements individuels pour les déplacements en Île-de-France sont-ils durables ? Seules les futures EGT sont capables de répondre à ces interrogations et de confirmer ou nier ces tendances.

Une fois posé ce portrait de l'utilisation de la voiture dans la mobilité quotidienne, nous passons à l'analyse des pratiques de stationnement diurne des Franciliens en 2010.

¹⁰⁵ Il est à noter que le taux d'occupation moyen du véhicule a aussi légèrement baissé pour passer de 1,29 en 2001 à 1,28 en 2010.

¹⁰⁶ Selon l'Omniv (2013), dans Paris intra-muros, les déplacements en voiture ont reculé de 35 % (passant de 0,8 million à 0,5 million), et ce en raison notamment du développement des politiques volontaristes en faveur du report modal. Les déplacements radiaux entre Paris et son agglomération ont significativement diminué (- 23 %) au profit d'un transfert vers les autres modes. Enfin, en dehors de Paris, un déplacement sur deux est réalisé en voiture. C'est particulièrement en grande couronne que l'usage de la voiture continue d'augmenter (passant de 2,12 à 2,38 déplacements par jour).

3.4.2 Quels stationnements pour les véhicules immobiles ?

En 2010, on dénombre, au cours d'un jour de semaine, 1,8 million¹⁰⁷ de voitures immobiles, soit 38 % du parc total. Ces véhicules restent stationnés au même endroit toute la journée et toute la nuit. Leur nombre varie de façon significative selon le lieu de résidence (figure 3.8) : on observe un taux faible en grande couronne (30 %), plus élevé en petite couronne (41 %) et fort au centre (66 % dans Paris intra-muros).

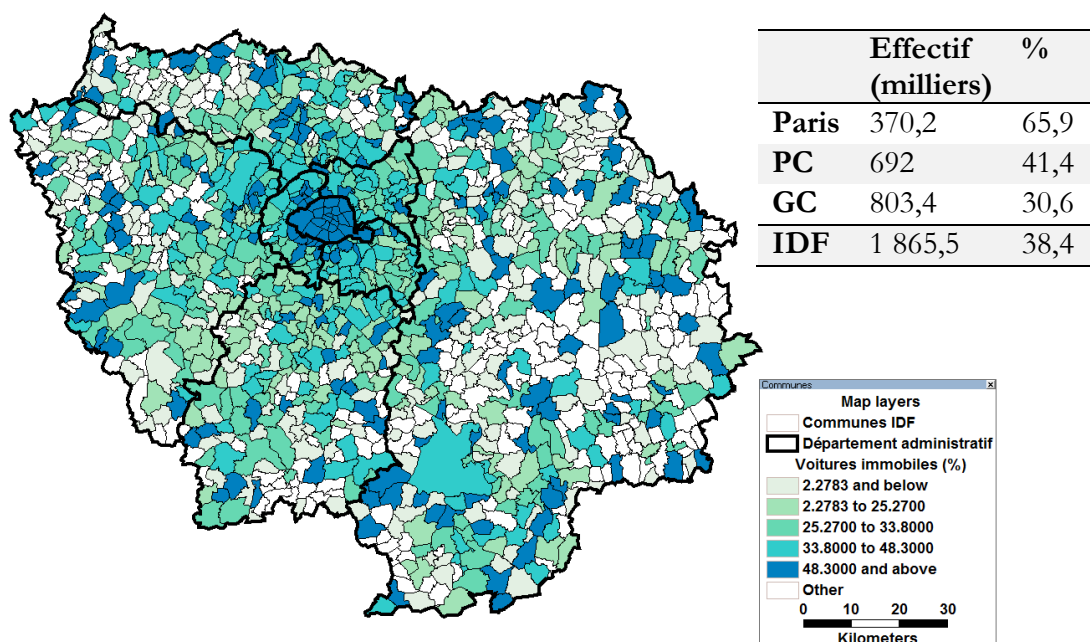


Figure 3.8 : Part et importance des véhicules immobiles par commune.

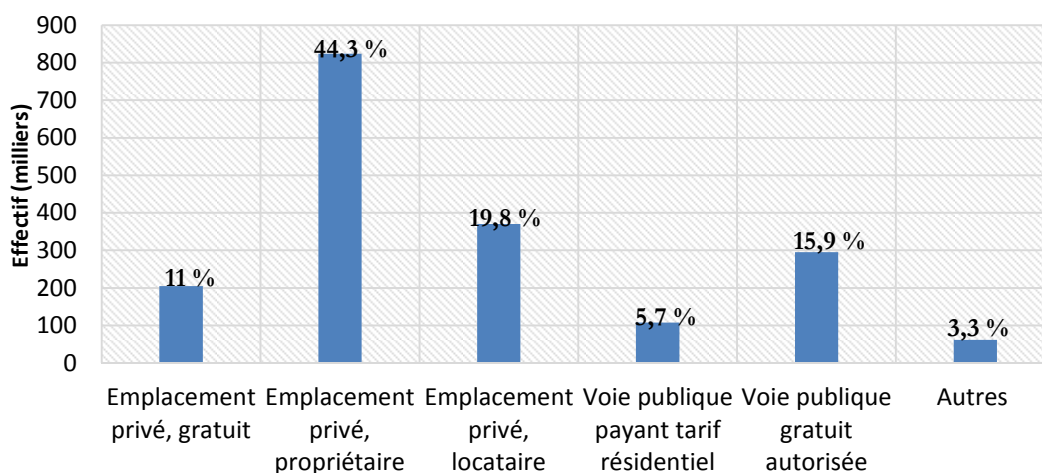


Figure 3.9 : Types de stationnement des véhicules immobiles (source : EGT 2010)¹⁰⁸.

¹⁰⁷ Dans ce parc, 20 % des véhicules sont possédés par des Parisiens, 37 % par des habitants de la petite couronne et 43 % par des résidents de la grande couronne.

¹⁰⁸ La répartition modale détaillée est présentée en annexe 3.6.

La figure 3.9 montre que les véhicules immobiles sont garés majoritairement dans des aires réservées (75 %) en tant que propriétaire (44,3 %), locataire (19,8 %) ou à titre gratuit (11 %). La voirie accueille environ 20 % de ce parc, dont 25 % en mode Payant résidentiel¹⁰⁹. On observe que ces véhicules présentent un profil d'usage des places quasiment identique à celui du stationnement nocturne des ménages déjà présentés.

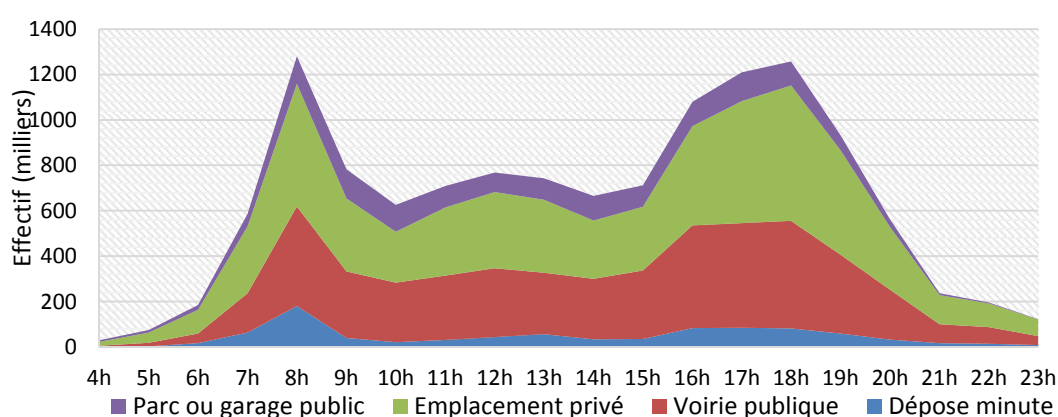
3.4.3 Où sont garés les véhicules utilisés dans la journée ?

Les 3,1 millions de voitures utilisées par les Franciliens pendant la journée engendrent 12,3 millions d'actes de stationnement consécutifs à un déplacement. Arrivés à destination, les automobilistes garent leur véhicule la plupart du temps sur des places privées (44 %) et dans une moindre mesure sur la voie publique (38 %). L'usage des parcs et garages publics ainsi que du dépose-minute¹¹⁰ est relativement faible (soit respectivement 11 % et 7 %) (Voir tableau 3.3).

Tableau 3.3 : Lieu de stationnement à destination (en %).

Voie publique	Emplacement privé	Parc ou garage public	Dépose-minute	Ensemble
38	44	11	7	100

La figure 3.10 retrace l'utilisation des places selon le lieu et l'heure d'arrivée à destination. Elle montre une forte intensité de la demande pendant la période de pointe du matin (observée entre 7 heures et 9 heures) qui marque le départ au travail, et celle du soir (observée entre 17 heures et 19 heures) qui marque le retour au domicile. La répartition des usages entre les lieux de stationnement se fait de façon équilibrée tout au long de la journée. L'attractivité des parcs publics croît de façon notable à partir de 10 heures, vraisemblablement une fois que les autres options se raréfient. En comparaison avec le stationnement nocturne, on observe que les places publiques affichent une plus importante occupation (+ 12,5 points pour la voirie et 5 % pour les garages commerciaux).



¹⁰⁹ Pour ces voitures, la part du mode Payant résidentiel dépasse 10 % dans Paris intra-muros.

¹¹⁰ Une zone de dépose-minute est une zone sur laquelle un véhicule s'arrête pour déposer ou embarquer un passager.

Figure 3.10 : Lieu de stationnement des véhicules utilisés par heure durant la journée (source : EGT 2010).

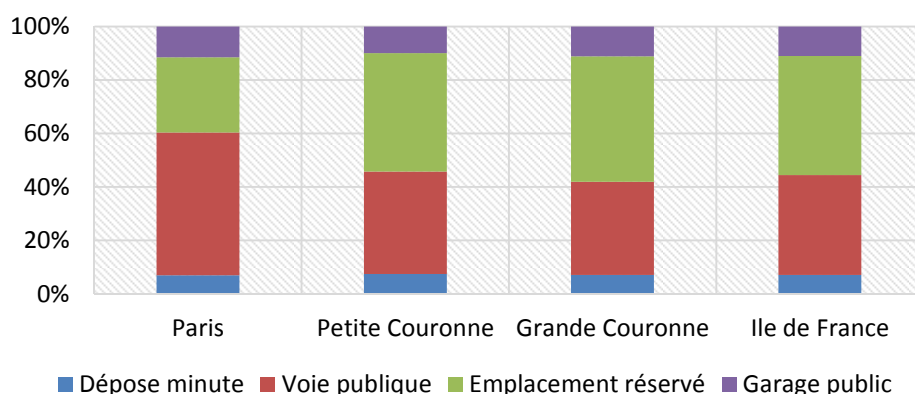


Figure 3.11 : Lieu de stationnement des véhicules utilisés selon le lieu de destination (source : EGT 2010).

La typologie urbaine affecte sensiblement le choix de place des usagers. Le stationnement sur voirie est beaucoup plus important à Paris (voir figure 3.11). Cela montre que l'offre domestique privée est en décalage avec les besoins. De même, les emplacements privés sont nettement moins importants que dans le reste de l'agglomération. Une distribution quasi identique caractérise les garages publics et le dépose-minute. Les choix individuels des lieux de stationnement sont influencés par les caractéristiques de l'offre mais aussi par la portée du déplacement, le degré de familiarité du conducteur avec cette offre et la détention d'une place réservée à la destination.

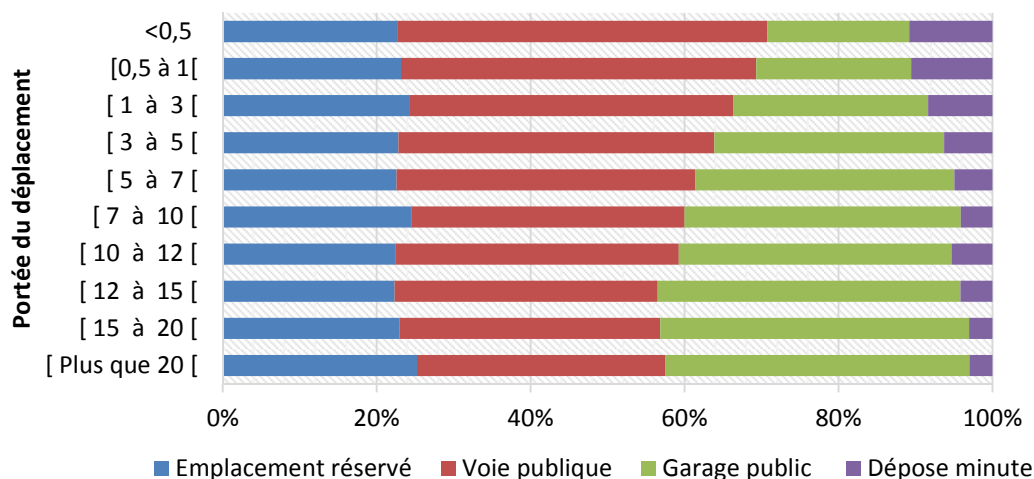


Figure 3.12 : Lieu de stationnement du véhicule par classe de distance de déplacement (source : EGT 2010).

La distance parcourue en voiture exerce un effet notable sur la répartition de la clientèle de l'offre publique (figure 3.12). On remarque que l'usage de la voirie baisse

avec l'accroissement de la distance ; en revanche, celui des garages commerciaux augmente sensiblement.

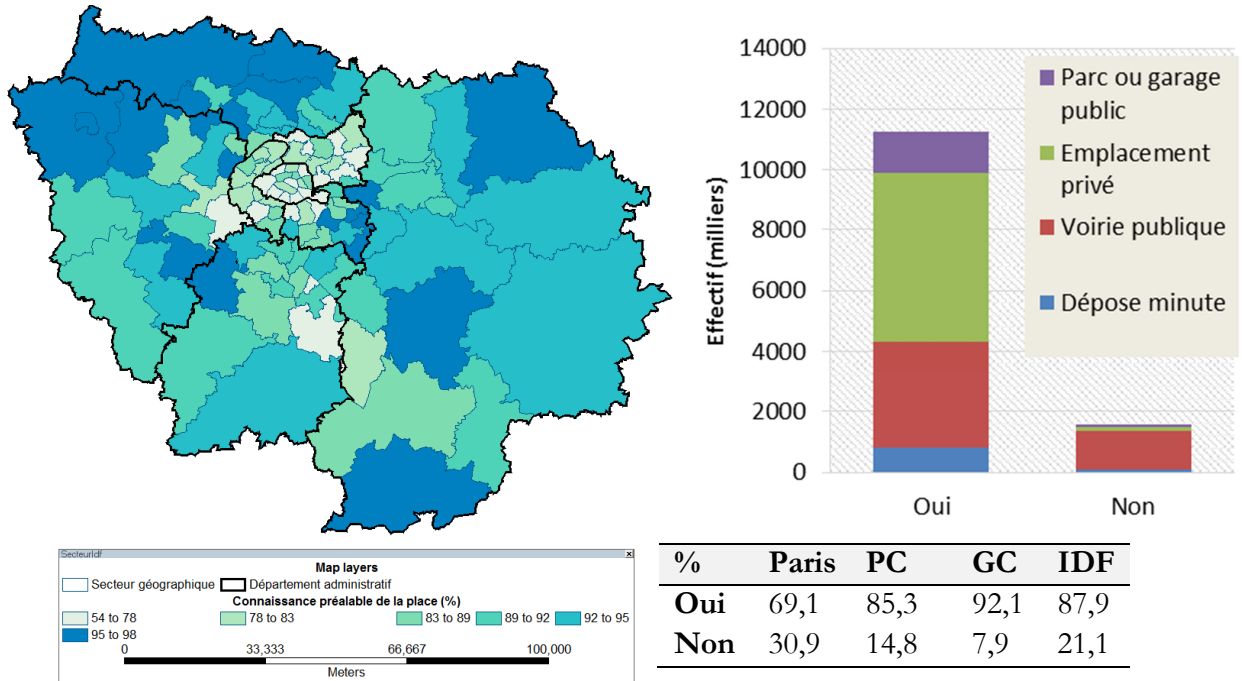


Figure 3.13 : Connaissance préalable du lieu de stationnement à l'échelle de l'Île-de-France (source EGT 2010).

L'usage des places est également structuré selon la connaissance préalable du lieu de stationnement par le conducteur. 87,8 % des Franciliens ayant utilisé la voiture en tant que conducteur ont déclaré savoir d'avance où serait garé leur véhicule (figure 3.13). Ces automobilistes utilisent souvent (80 % des cas) des places privées ou publiques hors voirie. Pour le reste, ils ont recours généralement à la voirie. Cette dernière est donc utilisée comme une variable d'ajustement de l'offre. La carte ci-dessus présente le niveau de connaissance du lieu de stationnement par secteur géographique de déplacement. Elle montre un fort contraste entre le centre de l'agglomération et le reste du territoire, sous l'effet des variations des contraintes spatiales. Notons, par ailleurs, que le degré de connaissance dépend du motif de déplacement. Il est ainsi plus élevé (< 90 %) quand il s'agit d'une activité habituelle (domicile, travail ou études)¹¹¹.

L'EGT renseigne, par ailleurs, sur la disposition d'un stationnement réservé à destination sur le lieu de travail. Elle révèle que les employeurs mettent une place à disposition pour environ 70 % de leurs employés qui viennent travailler en voiture. De même, un tiers des visiteurs professionnels bénéficient d'une place réservée. Pour le travail habituel, ce privilège tend à se rétrécir avec la centralité urbaine (figure 3.14).

¹¹¹ Une description de la connaissance préalable du lieu de stationnement selon le motif du déplacement est disponible en annexe 3.7.

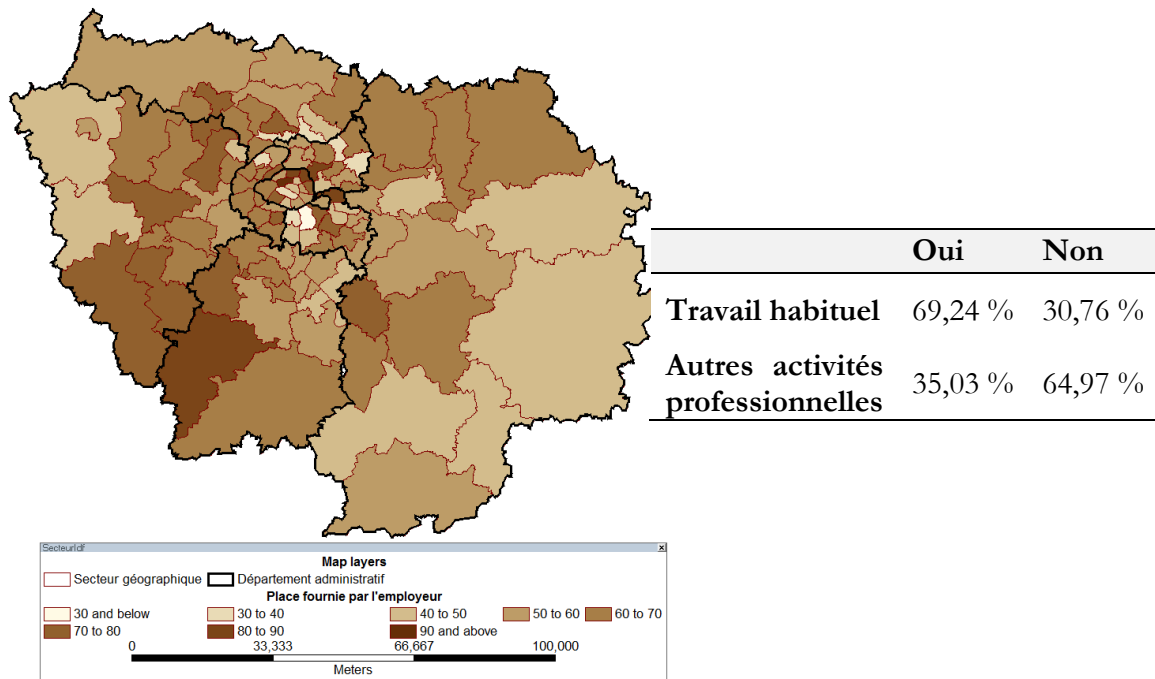


Figure 3.14 : Disposition d'un emplacement réservé lié au travail habituel à l'échelle de l'Île-de-France (source : EGT 2010).

Les études académiques antérieurs ont mis en évidence l'effet de la détention d'une place réservée sur le lieu de travail sur l'usage de l'automobile (Rennes et Orfeuil, 1997 ; Kaufman, 2003). Pour les actifs franciliens, l'EGT révèle que la propension à se déplacer en voiture augmente de 20 points quand un parking réservé est fourni¹¹².

3.4.4 Les motifs de stationnement diurne

Les déplacements se distinguent par leurs motifs, autrement dit par les activités génératrices qui déterminent leur distribution dans le temps et dans l'espace. Nous nous sommes intéressés à caractériser l'usage des places selon les activités génératrices et selon leur durée. Rappelons qu'afin de bien démarquer le stationnement diurne du stationnement nocturne parmi les 12,3 millions de déplacements des conducteurs de voiture particulière, nous avons retranché les retours au domicile en fin de journée, qui s'élèvent à 3,2 millions, ce qui donne 8,9 millions de stationnements diurnes.

¹¹² Il est à préciser que nous ne détaillons pas cette analyse car les renseignements sur la détention des places ne portent que sur les actifs qui se rendent au travail en voiture particulière.

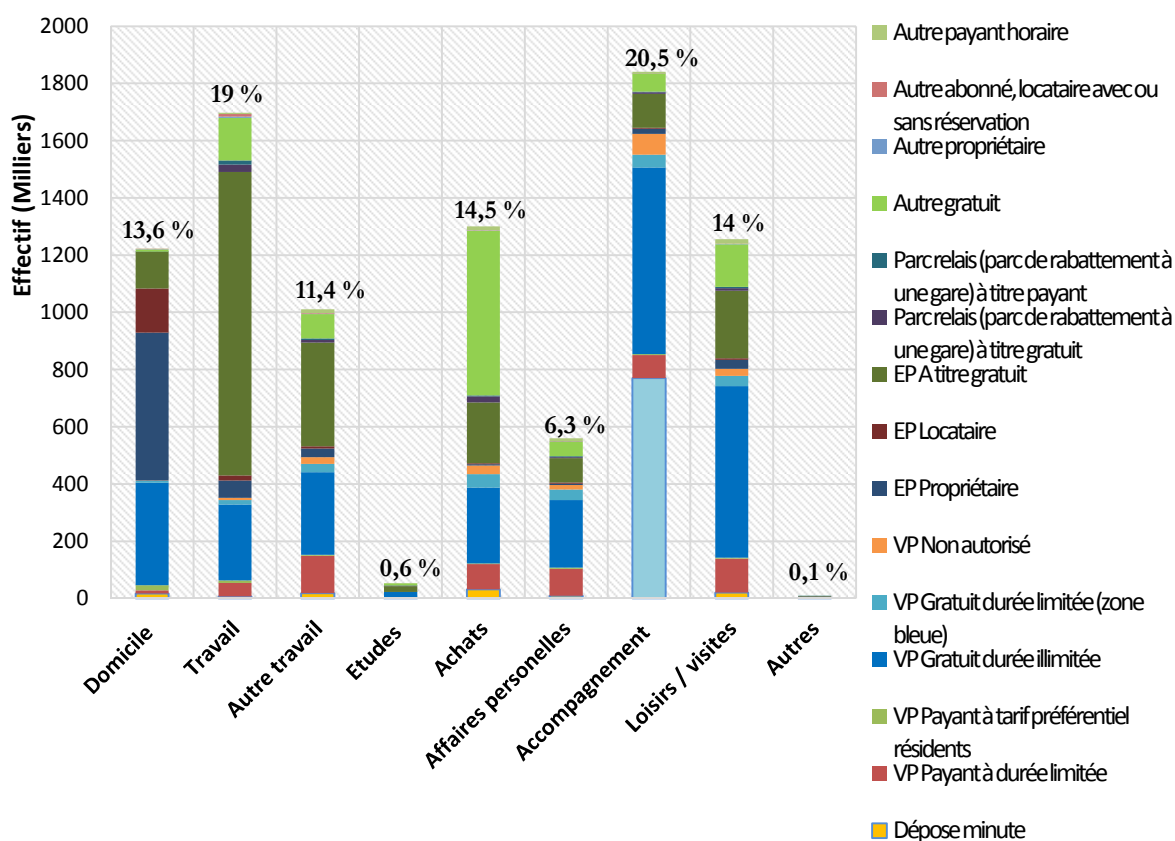


Figure 3.15 : Types de stationnement diurne selon le motif d'activité (source : EGT 2010).

La figure 3.15 révèle des pratiques de stationnement différentes selon l'activité réalisée au lieu de destination. La voirie est utilisée de façon différenciée selon les autres options présentes pour le conducteur. Le recours à la voirie gratuite domine fortement¹¹³. L'usage des emplacements réservés est très élevé et dépasse 65 % pour les motifs habituels, particulièrement le travail (parc privé gratuit) et le retour au domicile (parking propriétaire). Il est plus faible pour les autres motifs. Le recours aux parcs publics est modéré sauf pour les achats, où il représente 45 %. Il s'agit manifestement des parkings des surfaces commerciales. Enfin, le stationnement lié à l'accompagnement se fait majoritairement et à parts égales entre la voirie et le dépose-minute. Ces choix de stationnement sont dictés par les disponibilités locales des places mais aussi par la durée des activités associées.

En termes d'effectif, le travail (y compris « autre travail ») est de loin l'activité qui engendre le plus d'actes de stationnement de jour, soit plus de 30 % du total. L'accompagnement se place en deuxième position avec 20 %. Les achats, les loisirs et le retour au domicile en cours de journée représentent des parts assez proches (respectivement 14,5 %, 14 % et 11,4 %). Enfin, les affaires personnelles comptent pour une part faible limitée à 6 %.

¹¹³ Nous revenons à la fin de cette section à l'analyse des usages selon les modes de stationnement.

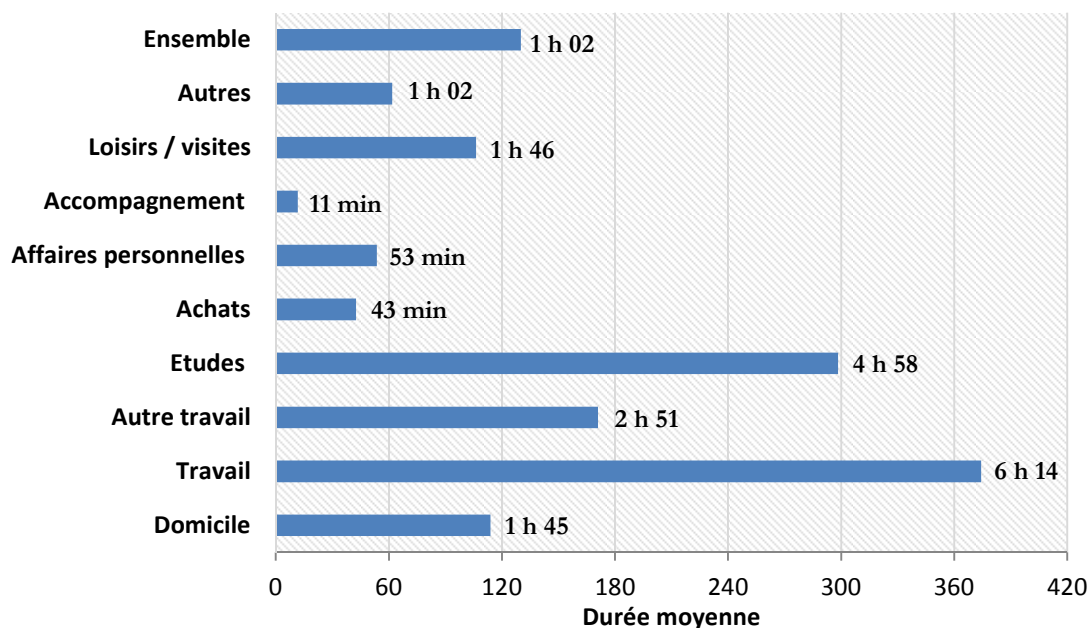


Figure 3.16 : Durée moyenne d'occupation par motif (source : EGT 2010).

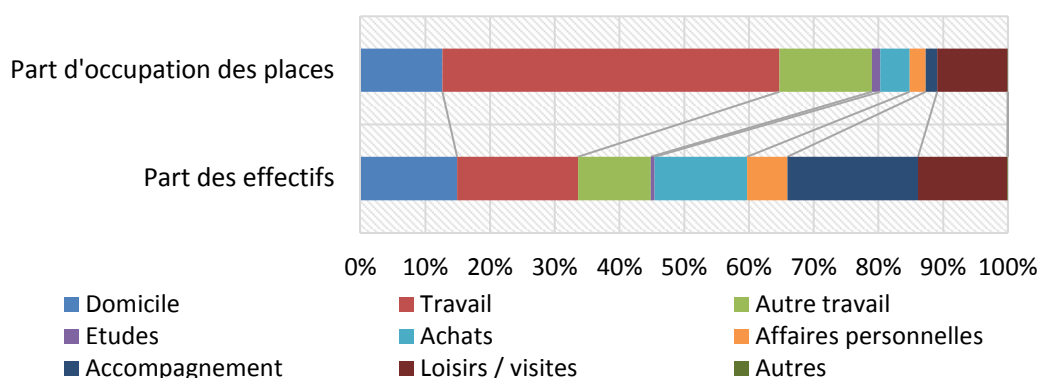


Figure 3.17 : Structure des usages et des occupations de l'offre par motif (source : EGT 2010).

Pour chaque stationnement, nous avons calculé une durée d'occupation qui représente la longueur de l'intervalle de déplacement entre l'horaire d'arrivée du déplacement donnant lieu au stationnement et l'horaire de départ du déplacement suivant, lorsque le conducteur reprend sa voiture. La durée moyenne de stationnement par activité (hors du domicile) est illustrée par la figure 3.16. Tous motifs confondus, la durée moyenne est estimée à 2 h 10. Sur le plan des occupations, les importances relatives augmentent avec la durée d'activité (figure 3.17) : le travail avec une durée moyenne de 6 h 24 est majoritaire (52 %), ce qui réduit mécaniquement la part des autres pôles. Le phénomène est inverse pour l'accompagnement, dont la durée moyenne est estimée à 11 minutes et dont la part d'occupation est la plus faible (1,7 %).

Tableau 3.4 : Répartition des stationnements selon les motifs et les durées d'occupation des places (en milliers, retour au domicile en fin de journée inclus) (source : EGT 2010).

	< 1 h	1 à 2 h	2 à 4 h	4 à 8 h	8 à 12 h	12 à 15 h	Plus de 15 h	Total
Domicile	523	351	297	164	22	3	3 248	4 608
Travail	94	59	252	431	600	24	246	1 706
Autre travail	301	193	207	133	106	5	79	1 024
Études	5	3	14	14	14	0	4	54
Achats	915	278	66	6	0	0	43	1 308
Affaires personnelles	358	105	39	10	5	0	47	564
Accompagnement	1 718	57	19	2	0	0	47	1 843
Loisirs / Visites	402	343	306	101	9	0	97	1 258
Autres	5	1		0	0	0	3	9
Ensemble	4 321	1 390	1 200	861	757	32	3 813	12 374
(%)	34,9	11,2	9,7	7	6,12	0,3	30,8	100

Le tableau 3.4 détaille les durées de stationnement par intervalle de temps et par motif de déplacement (retour au domicile inclus). On constate qu'environ un tiers des stationnements sont de faible durée (moins d'une heure) et presque autant sont de très longue durée (plus de 15 heures)¹¹⁴. Les durées intermédiaires sont représentées de façon homogène. Selon le motif, on peut distinguer trois catégories de profils d'usage des places. La première catégorie est celle des activités de longue durée (moins de 4 heures) liées à des déplacements habituels et quotidiens. Elle regroupe les activités les plus consommatrices de temps et d'espace de stationnement, soit le travail habituel et le retour au domicile en fin de journée (plus de 15 heures). La deuxième catégorie est celle des activités de courte et de moyenne durée liées à des déplacements plus ponctuels, tels que les loisirs et les affaires personnelles. La troisième catégorie est celle des activités de très courte durée, comme c'est le cas de l'accompagnement.

3.4.5 Temporalité des arrivées et de la présence

Afin de caractériser la demande de stationnement dans le temps, nous avons considéré les arrivées à destination et nous avons retracé les rythmes des activités par heure pendant la journée (figure 3.18). En débit horaire des arrivées, la pointe du matin et celle du soir sont assez marquées, presque au même niveau, tandis que celle de l'après-midi l'est un peu moins. En comptant aussi le retour final au domicile, la pointe du soir domine fortement. Le travail génère la pointe du matin et réciproquement le retour au domicile provoque celle du soir. L'accompagnement survient principalement durant les pointes et les amplifie. Les autres motifs chargent principalement la période entre les pointes du matin et du soir.

¹¹⁴ Notons que les derniers déplacements journaliers sont classés dans la tranche « > 15 h » qui rassemble le stationnement nocturne.

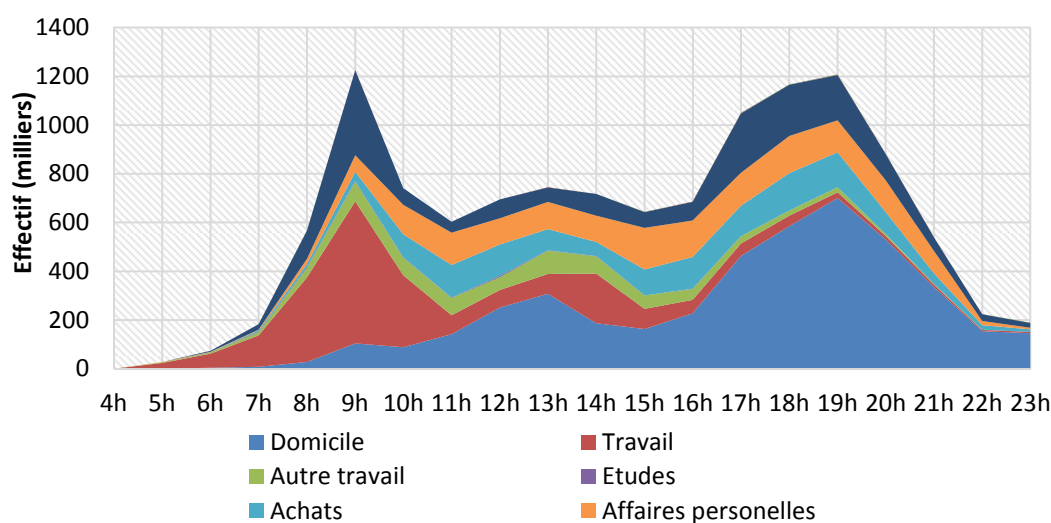


Figure 3.18 : Intensité horaire des arrivées, par motif (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).

L'occupation des places fait référence à la présence physique des véhicules dans les aires de stationnement. Cette présence dépend de la durée de l'activité exercée. Au plan désagrégé d'un individu, les activités sont réparties dans un cadre qui dépasse la journée et déborde même de la semaine, comme l'attestent notamment les achats exceptionnels. Il en est de même pour l'utilisation de la voiture particulière. Les véhicules immobiles durant une journée ne le restent pas nécessairement les autres jours de la semaine, il peut y avoir une alternance. Pour évaluer les occupations, nous avons considéré les 565 000 activités autres que le domicile dont la durée déclarée dépasse 15 heures, pour les confronter au 1,8 million de véhicules immobiles durant la journée. La répartition journalière de l'occupation du stationnement peut être déduite après pondération par la durée de chaque activité.

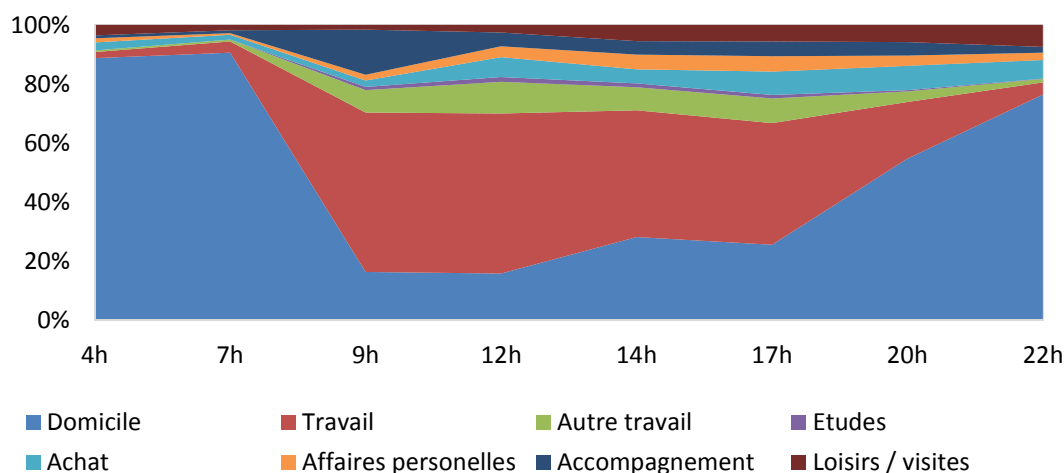


Figure 3.19 : Intensité horaire des présences (ou occupations), par motif (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).

L'occupation totale n'étant que le stock total de véhicules présents sur place entre deux déplacements successifs, nous nous intéresserons ici à la répartition temporelle des motifs d'occupation (figure 3.19). Aux heures ouvrables, le travail est dominant, suivi par le domicile qui devient très majoritaire à partir de 17 heures. Les motifs habituels se produisent en matinée et surtout l'après-midi ; en durée d'occupation, ils dépassent les motifs ponctuels, tandis que les services à passager connaissent une pointe accentuée le matin.

3.4.6 Spatialisation de la demande de stationnement diurne

Pour situer la demande de stationnement dans l'espace comme dans le temps, nous caractérisons les arrivées selon le département de destination. En Île-de-France, les arrivées se répartissent de manière remarquablement équilibrée entre les huit départements administratifs, en raison tant des masses de population et d'emploi que des opportunités en autres activités et des modes de déplacement (figure 3.20). Paris intra-muros y prend une importance limitée de par la répartition modale des déplacements qui le concernent (les transports en commun assurent plus de 50 %¹¹⁵ des déplacements mécanisés internes et d'échange).

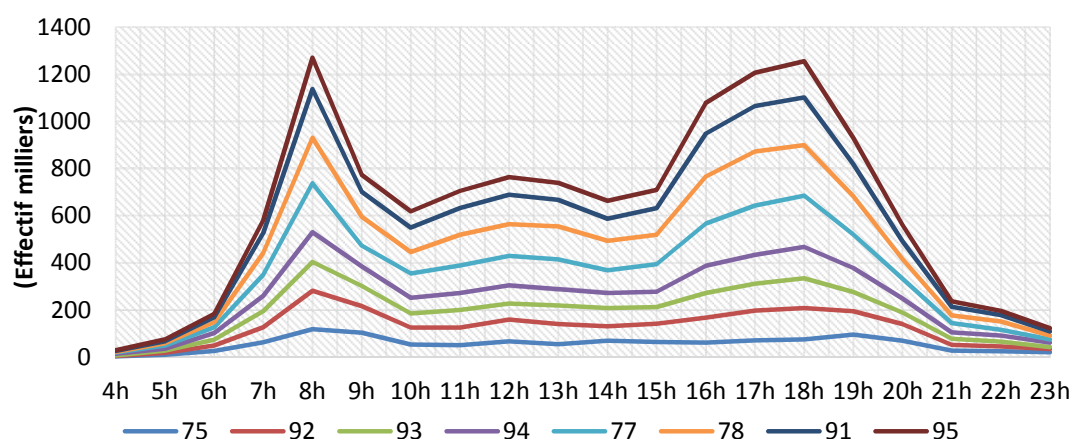


Figure 3.20 : Intensité horaire des arrivées par département de destination (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).

Le rapport entre centre et périphérie est également marqué par l'intensité des arrivées et le positionnement des pointes dans l'espace. Les profils temporels des arrivées selon les destinations se répartissent en deux types : celui d'une zone riche en emplois, avec des arrivées matinales au même niveau que celles du soir (75 et 92) versus celui d'une zone plus pauvre en emplois (les autres départements).

3.4.7 Répartition des modes de stationnement diurne

Pour étudier l'usage des places selon leur mode tarifaire, nous avons privilégié une typologie axée sur le paiement du stationnement : soit un paiement immédiat pour un

¹¹⁵ Selon Omnil (2013).

mode banalisé ou dédié (« Payant »), soit un paiement « À terme » dans un mode réservé, soit encore un stationnement « Gratuit » ou « Interdit » (avec un risque d'amende). Le regroupement des modes de stationnement est détaillé en annexe A.8.

Tableau 3.5 : Répartition des modes de stationnement selon les motifs (en milliers, hors retour au domicile en fin de journée) (source : EGT 2010).

	Dépose	Payant	À terme	Interdit	Gratuit	Total
Domicile	20	31	788	12	559	1 407
Travail	7	76	91	8	1 526	1 707
Autre travail	19	155	42	24	787	1 025
Études	1	5	0	1	50	54
Achats	33	107	10	30	1 129	1 308
Affaires personnelles	10	112	11	16	418	566
Accompagnement	771	93	22	72	887	1 844
Loisirs / Visites	21	141	39	25	1 033	1 258
Autres	1	1	1	0	7	10
Ensemble	879	718	1 002	185	6 393	9 174
(%)	10	8	11	3	70	100

Pour l'ensemble des motifs, les stationnements diurnes sont affectés très majoritairement au mode Gratuit (69 %), minoritairement au mode Payant (8 %) et au mode À terme (11 %) (voir le tableau 3.5). Ce dernier mode concerne principalement le motif du domicile (à 78 %), du travail (13 %) et divers motifs privés ou professionnels, chacun presque négligeable (< 3 %) ¹¹⁶. Le mode Gratuit attire dans l'ordre le travail (un tiers) ¹¹⁷, les motifs privés habituels (17 %) ou ponctuels (16 %), les services à passager (14 %), le domicile (13 %), les affaires professionnelles (8 %). Ce mode étant prépondérant, sa structure par motifs détermine celle de l'ensemble du stationnement diurne. Pour le mode Payant, les activités à caractère ponctuel dominant largement et représentent plus de 70 %. Les places interdites sont utilisées pour tous les motifs de déplacement, avec une légère dominance des services à passager qui sont de très courte durée. Enfin, le dépose-minute est consacré très majoritairement à l'accompagnement (88 %).

Au vu de l'importance des activités professionnelles, nous pouvons approfondir quelques traits relatifs à l'usage des modes de stationnement. En Île-de-France, l'employeur contribue aux dépenses de déplacement (incluant a priori le coût de stationnement) à raison de 16 % pour le travail habituel et de 38 % pour les autres activités professionnelles. En termes de mode tarifaire, les remboursements couvrent 20 % des déplacements payants en temps réel, un tiers des stationnements payants à terme, et jusqu'à 40 % pour un mode Interdit (et respectivement pour les autres activités professionnelles) (voir tableau 3.6).

¹¹⁶ En comparaison avec le stationnement nocturne, la part du mode Gratuit augmente fortement (31 % la nuit), tandis que celle du mode À terme baisse (60 % la nuit). Le mode Payant est légèrement plus utilisé (6 % la nuit).

¹¹⁷ Ceci s'explique par l'importance du nombre de places réservées par l'employeur.

Tableau 3.6 : Contribution de l'employeur aux dépenses de stationnement liées au travail.

	Dépose	Payant	À terme	Interdit	Gratuit	Total
Travail habituel	8,63	19,83	35,31	41,65	14,68	16,06
Autres activités professionnelles	37,90	52,13	42,56	27,12	35,37	38,19

Dans ce même contexte, l'emplacement de stationnement est préalablement connu dans 70 à 90 % des cas pour les modes Gratuit, Dépose et À terme, contre 40 à 50 % pour le mode Payant et 20 % pour le mode Interdit. Les places payantes apparaissent ainsi comme un recours involontaire imposé par la pénurie de l'offre privée.

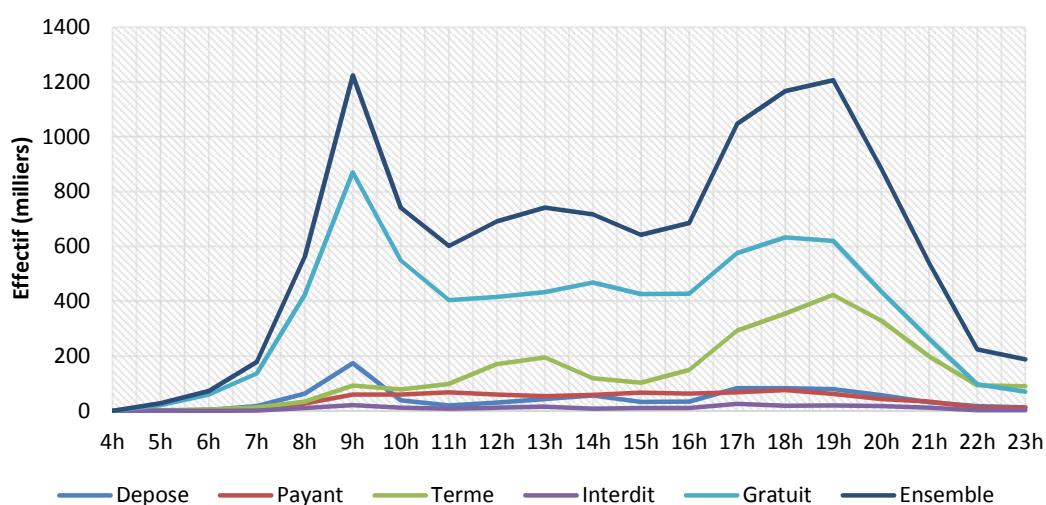


Figure 3.21 : Intensité horaire des arrivées, par mode (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).

La répartition des formules modales au cours de la journée est présentée dans la figure 3.21. Selon l'horaire d'arrivée à la destination, la structure du mode Gratuit, étant donné son importance, reproduit largement la structure horaire d'ensemble. Le recours à ce mode est beaucoup plus fort le matin, la pointe relative est atteinte en début de matinée, d'où un pic d'autant plus accusé. Le phénomène est inverse pour le mode À terme, qui présente une pointe en fin de journée avec le retour vespéral au domicile. Le mode Payant se distingue par un étalement plus régulier des arrivées et par un régime horaire légèrement décalé. Cela est valable aussi pour le mode Interdit, d'où la forte interdépendance entre ces deux modes.

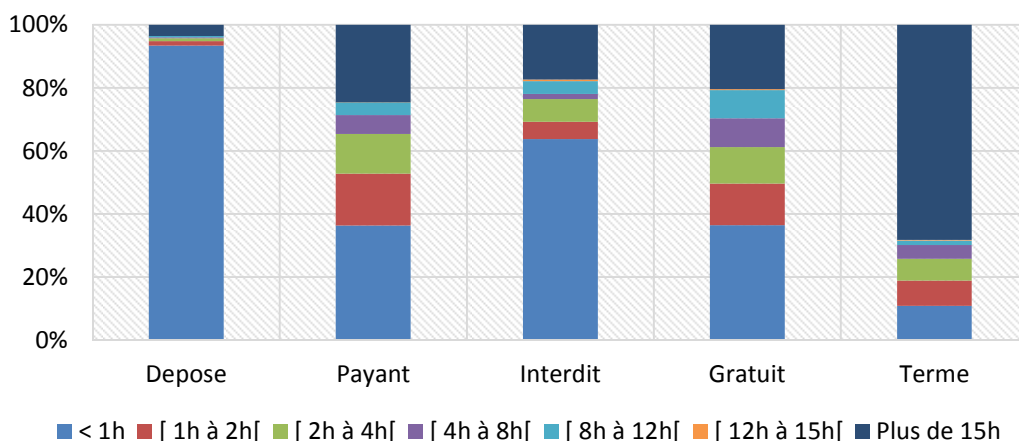


Figure 3.22 : Répartition des modes de stationnement selon les durées d'occupation des places (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).

À la connaissance des horaires d'usage des modes de stationnement s'ajoute celle des durées d'occupation (figure 3.22). Sans surprise, le dépose-minute se distingue par de très courtes durées (moins d'une heure). Le mode À terme est utilisé majoritairement pour les longues durées (plus de 15 heures). Les modes Payant et Gratuit présentent une répartition très comparable. Ils couvrent tous les intervalles d'occupation avec une prépondérance des usages de courte durée. Enfin, présentant un risque d'amende, les places illicites sont en majorité (63 %) occupées pour de courts laps de temps.

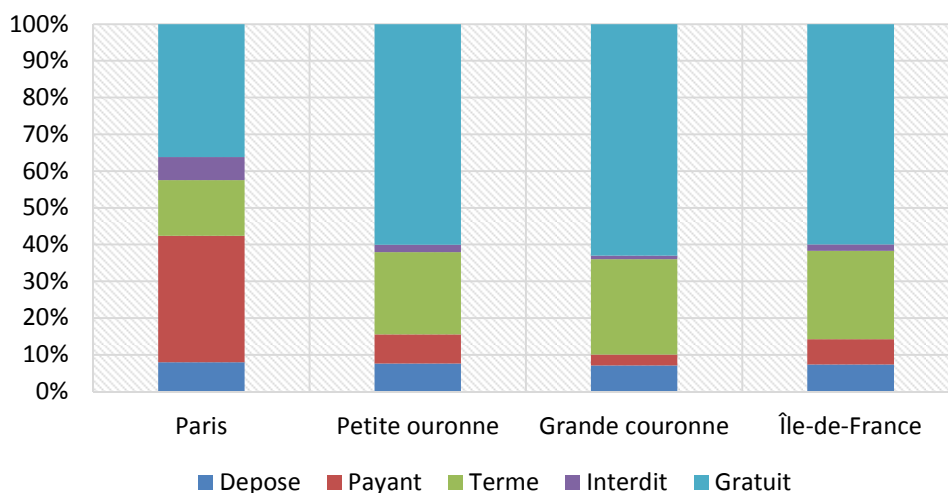


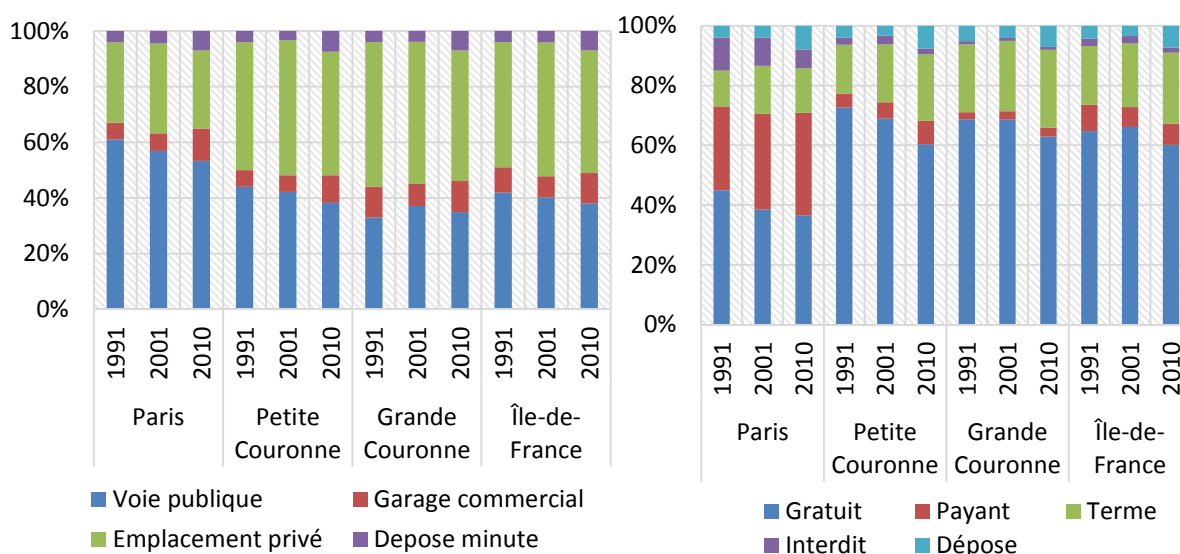
Figure 3.23 : Répartition des modes de stationnement selon le lieu de destination (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).

Notre analyse montre que la structure modale de stationnement varie sensiblement avec le degré de centralité urbaine (figure 3.23). Paris intra-muros se singularise par une plus importante part de places payantes (34 %) et par une proportion plus réduite des places gratuites (35 %) par rapport à l'ensemble de la région (respectivement 7 % et 60 %). Si la tarification des places publiques est devenue la règle dans le centre, elle est encore émergente pour les communes périphériques.

3.4.8 Évolution des pratiques de stationnement en journée

Comme pour le cas du stationnement nocturne, nous avons caractérisé l'évolution de l'usage du stationnement de jour, au cours de vingt dernières années¹¹⁸.

Sur cette période, les activités de stationnement diurne ont légèrement augmenté en termes d'effectifs (+ 7,6 % par rapport à 1991). Cette évolution n'est cependant pas homogène à l'échelle régionale (- 24 % à Paris, + 4 % en petite couronne et + 25 % en grande couronne). Les disparités territoriales sont fortes. Elles se sont maintenues, et même renforcées, entre le centre de l'agglomération et le reste du territoire. La tendance à la baisse déjà observée à Paris intra-muros depuis les années 2000 est maintenue, elle tend à se diffuser à la petite couronne où on observe, pour la première fois depuis 1976, une relative stagnation des effectifs de stationnement. Inversement, en grande couronne, les actes de stationnement ont progressé à un rythme accéléré (soit + 8 % entre 1991 et 2001, et + 16 % entre 2001 et 2010). Ces évolutions s'expliquent par les variations contrastées de la motorisation des ménages et de l'usage de la voiture particulière.



En termes de lieux (figure 3.24.a), le fait le

Figure 3.24 : Évolution des pratiques de stationnement diurne selon (a) le lieu et (b) le mode de stationnement (source : EGT 2010, EGT 200, EGT 1991).

plus marquant est, sans doute, l'évolution de la répartition des parts de marché de l'offre publique. La baisse de l'usage de la voirie se poursuit au profit d'une hausse du recours aux garages commerciaux et au dépose-minute, et ce quel que soit le secteur spatial. Cette transformation des usages du stationnement résulte vraisemblablement d'une saturation de l'offre sur voirie.

¹¹⁸ Notre analyse comparative se base sur les résultats de Leurent et Polacchini (1995) et de Leurent et Boujnah (2011) qui ont étudié les usages de stationnement à partir respectivement de l'EGT 1991 et de l'EGT 2001.

En termes de modes utilisés (figure 3.24.b), les tendances passées se poursuivent. L'utilisation du mode Gratuit continue de baisser (60 % en 2010 contre 65 % en 1991), pour autant, elle reste majoritaire sauf à Paris. La part du mode Payant continue de progresser (passant de 6,6 % en 1991 à 7 % en 2010), mais de façon plus accusée au centre de l'agglomération. Le mode Interdit a subi une forte diminution surtout au sein de Paris (avec 6 % en 2010 contre 11 % en 1991). L'évolution modale du stationnement reflète ainsi des niveaux de contrainte différents et des politiques locales de gestion spécifiques à chaque territoire.

Au vu de ces évolutions, deux tendances peuvent être dégagées sur les vingt dernières années :

- la poursuite de la baisse du stationnement sur voirie se confirme aussi bien dans le centre qu'au sein des zones périphériques. Cette évolution s'apparente à une tendance durable. Elle s'inscrit dans une politique globale de reconquête de l'espace public en zones denses.
- une transformation de l'usage des modes de stationnement s'amorce. La régression du mode Gratuit, déjà constatée au cœur d'agglomération depuis les années 1990, se généralise à l'échelle régionale. Le mode Payant croît en zones centrales denses, mais constitue un mode encore émergent sur le reste du territoire.

3.4.9 Synthèse et perspectives

En nous concentrant sur une description liminaire du stationnement, nous avons vu que la demande est révélée implicitement selon les motifs, les durées, les horaires et les lieux de sa manifestation. Elle se confond presque avec l'usage, dont témoigne plus spécialement la répartition des usages selon les lieux et selon les modes.

Les durées d'occupation sont variables mais fortement corrélées aux motifs : courtes pour l'accompagnement, longues pour les activités habituelles (travail, études), intermédiaires et de l'ordre d'une heure en moyenne pour les autres motifs. Cette grille de modulation permet de transposer une description basée sur les arrivées à destination en une description des occupations locales et modales. L'usage des places gratuites domine localement. Le mode Payant est plus usité au centre de l'agglomération, sous l'effet de la contrainte spatiale.

De nombreux aspects mériteraient un approfondissement :

- une description focalisée sur les occupations plutôt que sur la présence des véhicules ;
- la répartition du temps pour une place réservée, entre occupation et vacance, selon le type de ménage ;
- pour certains modes de stationnement, notamment les parkings publics et commerciaux, une analyse circonstanciée de l'usage, par secteur spatial et selon l'horaire, ainsi que de la clientèle, par catégorie socio-économique ;

- l'influence du type de ménage et de ses équipements sur les choix de déplacement vers une destination où le stationnement est contraint : en mode et en horaire de déplacement, et en mode de stationnement obtenu ;
- une description focalisée sur le week-end.

3.5 Évaluation de la charge journalière de stationnement

Leurent et Polacchini (1995) ont évalué la charge de stationnement et dans une certaine mesure la capacité, selon l'horaire dans la journée, par mode tarifaire et par lieu de destination, sur la base de l'EGT de 1991-1992 en Île-de-France. Nous reprenons ici leur méthode pour la généraliser, en explicitant ses principes, et nous actualisons pour 2010 la connaissance de la charge de stationnement en Île-de-France.

3.5.1 Définitions

Par lieu et par mode, à un instant donné, la capacité de stationnement est l'effectif en places « occupables » par des véhicules automobiles ; tandis que la charge de stationnement ou l'occupation de stationnement est l'effectif des places occupées, ou de manière équivalente l'effectif des véhicules présents. Ainsi, la charge de stationnement mesure la présence physique, l'occupation instantanée, c'est-à-dire le stock de véhicules présents dans un lieu et selon un mode. Par lieu, la capacité et la charge de stationnement sont les totaux respectifs pour l'ensemble des modes, à un instant donné.

3.5.2 Méthode d'évaluation

L'évaluation directe de la capacité de stationnement nécessite une observation ad hoc : une EMD est une observation indirecte. Pour la charge, il « suffirait » de connaître la position instantanée exacte de chaque véhicule, et de totaliser l'ensemble selon le lieu et le mode de la place. En l'absence d'une telle connaissance exhaustive, sur la base d'une EMD, nous procédons par échantillonnage, en retraçant la trajectoire individuelle de chaque véhicule enquêté et en agrégeant la présence des véhicules par lieu et par mode, après pondération par leur coefficient d'expansion.

Nous distinguons les voitures selon leur statut d'utilisation au cours de la journée. Les voitures utilisées sont considérées comme des véhicules actifs (mobiles, déplacés) et les véhicules inutilisés sont qualifiés de passifs (immobiles). La méthode d'évaluation comporte trois étapes :

- d'abord, l'évaluation de la présence des véhicules actifs, au travers des déplacements des individus en tant que conducteurs de voiture particulière ;
- puis le repérage des véhicules passifs : par ménage (en les agrégeant par lieu de résidence) ; connaissant d'une part, le nombre de véhicules détenus et d'autre part, le statut d'utilisation de ces véhicules, nous pouvons inférer les véhicules passifs et leur stationnement durant la journée ;

- enfin, la superposition des charges actives et passives, par période, par lieu et par mode.

3.5.3 La charge active

Dans la section précédente (section 3.4), nous avons retracé la présence des véhicules actifs par période horaire et par motif d'activité pour l'Île-de-France en 2010. De la même manière, nous pouvons retracer la présence des véhicules actifs par période et par lieu de destination ou par mode de stationnement.

Par lieu de destination (tableau 3.7), la charge active nocturne (périodes Nuit et Petit Matin) fixe une référence pour discerner les creux et les pointes. Nous constatons que les zones centrales (départements 75 et 92) subissent une pointe de charge durant les heures ouvrables sur un large milieu de journée, et un creux lors de la pointe matinale de circulation, quand les automobilistes résidents commencent leur programme d'activités et utilisent leur voiture. Le creux se retrouve pour les zones moins centrales (le reste de la petite couronne) ou périphériques (la grande couronne), pour lesquelles, en journée, la charge active ne rattrape pas la charge nocturne de référence.

Tableau 3.7 : Charge active de stationnement selon la période et le lieu (en milliers).

Période	Paris	Petite couronne		Grande couronne		Île-de-France
		92	93 + 94	77+78+91	95	
Nuit (22 h - 4 h)	257	534	1 104	1 084	391	3 371
Petit Matin (4 h - 7 h)	245	542	1 140	1 107	403	3 437
HP matin (7 h - 9 h)	142	310	532	469	156	1 609
Matinée (9 h - 12 h)	304	546	899	777	266	2 793
Midi (12 h - 14 h)	350	593	1 024	896	303	3 166
Après-midi (14 h - 17 h)	356	615	1 101	961	323	3 356
HP soir (17 h - 20 h)	298	589	1 148	1 098	382	3 515
Soirée (20 h - 22 h)	282	552	1 122	1 099	394	3 449

Par mode tarifaire de stationnement (tableau 3.8), nous constatons l'effacement relatif du mode À terme pendant les heures ouvrables, car les conducteurs s'absentent de leur domicile. Le mode Gratuit, après un léger creux lors de la pointe matinale de circulation, subit un remplissage progressif qui dépasse la référence nocturne dès le matin, et se développe jusqu'en fin d'après-midi, avant de se réduire progressivement. Pour le mode Payant, les étapes d'évolution sont les mêmes, mais de manière amplifiée : tant le creux matinal que la pointe médiane sont plus accusés, avec - 40 % contre - 15 % pour l'ampleur du creux relativement à la référence nocturne, et + 80 % contre + 70 % pour l'ampleur relative de la pointe.

Tableau 3.8 : Charge active de stationnement selon la période et le mode (en milliers).

Période	Payant	Gratuit	À terme	Île-de-France
Nuit (22 h - 4 h)	131	1 448	2 011	3 591
Petit Matin (4 h - 7 h)	119	1 488	2 041	3 649
HP matin (7 h - 9 h)	79	1 223	152	1 461
Matinée (9 h - 12 h)	198	2 208	301	2 710
Midi (12 h - 14 h)	218	2 339	552	3 113
Après-midi (14 h - 17 h)	240	2 491	565	3 300
HP soir (17 h - 20 h)	198	2 075	1 293	3 570
Soirée (20 h - 22 h)	165	1 618	1 851	3 636

Tout naturellement, les régimes extrêmes de la charge active de stationnement sont en opposition avec ceux de la circulation routière : il importe de bien préciser à quel phénomène se rapporte une pointe ou un creux.

3.5.4 La charge passive

La charge passive de stationnement est fixe, elle ne varie pas selon la période dans la journée. Nous l'avons retracée en croisant les données sur l'équipement du ménage et sur les modes de déplacement des individus qui le composent. Rappelons que 38 % des automobiles détenues par les ménages franciliens sont restées inemployées un jour ouvrable de la semaine en 2010.

Tableau 3.9 : Charge passive de stationnement selon le lieu et le mode (en milliers).

	Paris	Petite couronne			Grande couronne				Île-de-France
		92	93	94	77	78	91	95	
Payant	78	17	5	6	3	6	2	2	120
Gratuit	54	79	74	82	49	75	49	59	519
À terme	238	202	103	123	140	165	133	120	1 223
Ensemble	370	298	182	212	191	246	183	181	1 862

En retraçant par ménage enquêté les véhicules immobilisés, et en agrégeant par lieu de résidence et par mode de stationnement, nous obtenons le tableau 3.9. Nous constatons que le mode À terme, réservé par les ménages à titre privé, est très majoritaire, avec trois quarts du total. Les autres ménages stationnent en mode banalisé, principalement Gratuit, ou très minoritairement, en dernier recours, en mode Payant, qui concerne surtout la zone centrale (65 % dans Paris intra-muros et 14 % dans les Hauts-de-Seine – département 92).

3.5.5 La charge totale de stationnement

Connaissant la charge active et la charge passive, il nous reste à les superposer selon le lieu, le mode et la période pour connaître la charge totale de stationnement.

Pour l'Île-de-France en 2010, le tableau 3.10 présente la charge selon la période et le lieu, et le tableau 3.11 selon la période et le mode. Les variations de la charge totale au cours de la journée sont les mêmes que celles de la charge active : seule la charge de référence (nocturne) est modifiée, par addition de la charge passive, avec pour conséquence une réduction de l'ampleur relative des pointes et des creux de charge. Pour Paris intra-muros, le creux matinal atteint encore - 19 %, et la pointe d'après-midi est de + 20 %. En termes de répartition modale de stationnement, les modes Gratuit et À terme sont dominants (plus de 90 % du total) avec une répartition alternée. Le premier mode domine en heures ouvrables et le second pendant les autres périodes, ce qui s'explique par le mouvement journalier des flux et les activités génératrices de stationnement. Le mode Payant reproduit le profil de la charge active.

Tableau 3.10 : Charge totale de stationnement selon la période et le lieu (en milliers).

Période	Paris	Petite couronne		Grande couronne			Île-de-France
		92	93 + 94	77+7 + 91	95	Autres	
Nuit (22 h - 4 h)	673	674	1 102	2 004	546	29	5 005
Petit Matin (4 h - 7 h)	659	680	1 125	2 034	558	32	5 063
HP matin (7 h - 9 h)	548	516	735	1 219	326	16	3 336
Matinée (9 h - 12 h)	722	683	970	1 613	429	32	4 425
Midi (12 h - 14 h)	772	716	1 050	1 764	464	39	4 781
Après-midi (14 h - 17 h)	778	731	1 100	1 847	483	44	4 960
HP soir (17 h - 20 h)	716	713	1 130	2 023	538	32	5 127
Soirée (20 h - 22 h)	699	687	1 113	2 024	549	25	5 073

Tableau 3.11 : Charge totale de stationnement selon la période et le mode (en milliers).

Période	Payant	Gratuit	À terme	Autres	Total
Nuit (22 h - 4 h)	305	1 885	2 944	1	5 099
Petit Matin (4 h - 7 h)	287	1 923	2 970	1	5 146
HP matin (7 h - 9 h)	231	1 673	1 353	8	3 229
Matinée (9 h - 12 h)	400	2 602	1 481	3	4 450
Midi (12 h - 14 h)	428	2 726	1 695	4	4 817
Après-midi (14 h - 17 h)	459	2 869	1 707	3	5 002
HP soir (17 h - 20 h)	400	2 477	2 329	4	5 174
Soirée (20 h - 22 h)	352	2 046	2 808	2	5 171

3.5.6 Bilan et perspectives

L'évaluation de la charge de stationnement donne un premier indice sur la capacité disponible par lieu et par mode. Elle ne permet toutefois pas de l'estimer avec précision. De toute évidence, la capacité de l'offre dépasse l'occupation maximale observée au cours de la journée. En appliquant ce principe à l'Île-de-France en 2010, nous déduisons que la capacité totale dépasse 5,170 millions de places dont 39 % sont gratuites. L'enquête de déplacements devrait permettre d'affiner ce constat, en confrontant par lieu et par période l'état de la charge selon les modes choisis par les

automobilistes qui ne disposent pas d'une option modale dominante (spécialisée ou dédiée).

D'autres pistes d'approfondissement pourront porter sur :

- la situation de l'hypercentre de l'Île-de-France, i.e. les arrondissements 1 à 8 de la ville de Paris ;
- par secteur spatial, l'étude de la superposition des motifs d'activité résidentiels et productifs selon la période et le mode ;
- la confrontation de la charge locale instantanée de stationnement et des choix modaux de déplacement pour les individus se déplaçant à la période concernée, notamment pour les usagers qui ont choisi un mode alternatif à la voiture, bien qu'ils détiennent l'équipement automobile nécessaire ;
- une caractérisation des choix de stationnement selon les catégories de ménage, d'ordre démographique ou socio-économique ;
- l'analyse, par véhicule, du couplage entre le mode de stationnement nocturne et le stationnement diurne, et ce particulièrement pour les véhicules qui ne sont pas utilisés et restent immobiles durant la journée.

3.6 Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de proposer une méthodologie d'analyse du stationnement dans une agglomération sur la base d'une EMD pour retracer la demande, l'usage et l'offre de places. L'EMD fournit la base d'un tel diagnostic et permet de dresser une image globale de l'état du système à un moment donné. Grâce à la richesse de ses données, cette enquête permet de multiplier les croisements et les dimensions d'analyse et au-delà, d'étudier la clientèle potentielle du stationnement sur un territoire tout en le considérant comme un service de consommation courante.

L'agglomération de l'Île-de-France a été retenue comme territoire de démonstration, pour laquelle nous avons mobilisé les données de l'EGT 2010. Notre étude conduit à différentes conclusions et enseignements. Elle révèle d'abord que la structure de l'offre des places et les pratiques de stationnement varient fortement selon l'échelle spatiale. Tout au long de notre analyse, de fortes disparités ont été constatées entre le centre et le reste de l'agglomération. Nous avons observé que le stationnement privé revêt une importance considérable dans les usages tant nocturnes (73 %) que diurnes (44 %). Plus de la moitié des ménages franciliens possèdent un emplacement privé au domicile et près des trois quarts des actifs disposent d'une place réservée sur le lieu de travail. Pour ce qui est du stationnement voie publique, il joue aussi un rôle structurant. La voirie absorbe environ un quart des usages la nuit et plus du tiers la journée (38 %), mais sa part est en baisse par rapport aux décennies passées, au profit des parkings et garages commerciaux. En termes d'usage, la durée moyenne de stationnement est de 2 h 10, mais nous avons conclu que les durées sont fortement déterminées par les motifs d'activité et qu'elles structurent l'occupation des modes locaux de stationnement. Le stationnement lié au domicile et celui lié au travail dominent fortement sur une journée. En termes d'intensité des arrivées, le motif du travail marque la pointe du matin, et le retour au domicile celle du soir. Enfin, nous avons constaté que le recours aux places gratuites est de loin le plus important (70 %),

surtout aux heures ouvrables, qui sont encore plus cruciales pour le mode Payant, dernier recours en zone dense aux heures de pointe d'occupation. Ceci dit, la part du stationnement payant continue de progresser mais de façon plus accusée au Paris-intra-muros. D'une manière générale, notre analyse montre que l'état du système de stationnement et son évolution future sont fortement dépendants des caractéristiques urbaines et socio-économiques du territoire.

La méthodologie de diagnostic de stationnement présentée dans ce chapitre fournit une description globale et agrégée de l'état du système, à l'échelle de l'agglomération. Elle contribue de ce fait à répondre à l'enjeu de connaissance sur le stationnement urbain en termes de méthodes et peut servir de base d'analyse dans d'autres agglomérations. En revanche, nous admettons qu'elle présente certaines limites liées aussi bien à la méthode appliquée qu'aux données utilisées. C'est notamment le cas de l'évaluation de l'offre qui, bien qu'elle donne des ordres de grandeurs des capacités offertes à travers les profils d'accumulation des véhicules par lieu et par mode de stationnement, elle demeure discutable et nécessite une validation empirique par confrontation des résultats théoriques aux capacités effectives de l'offre locale de places reste souhaitable, ne serait-ce que pour Paris intra-muros. À cela s'ajoute les limites de représentativité et de sous-estimation que présente l'EMD et le fait que le stationnement soit considéré comme une variable d'observation de second rang. En résumé, nous insistons sur la nécessité d'un traitement plus approfondi de la problématique du stationnement des véhicules dans les EMD.

Plus généralement, une connaissance fine de la structure de l'offre, des comportements de choix de la demande et des usages des places à l'échelle d'un territoire implique de mobiliser des outils et des sources de données complémentaires (enquêtes ponctuelles, modèles spécifiques, données GPS, etc.) afin de capturer les interactions structurelles du système de stationnement et renseigner sur son état microscopique dans le temps et dans l'espace ; tels que les déterminants des choix microéconomiques des demandeurs et les caractéristiques physiques, économiques et de qualité de service de l'offre. De tels outils aideront à comprendre le fonctionnement du système de stationnement et à concevoir des plans et des politiques de stationnement à l'échelle locale. C'est le cas du modèle ParkCap développé dans le cadre de cette thèse et qui fera l'objet du chapitre 5 de ce mémoire.

Partie 2

Modélisation du stationnement

Chapitre 4

Etat de l'art des modèles de stationnement

4.1 Introduction

Ce chapitre propose une analyse bibliographique des modèles de stationnement, de façon générale tout d'abord puis focalisée sur la caractérisation de l'offre, de la demande et de leur interaction. Au vue du large spectre de modèles que recouvre le sujet abordé et des objectifs de notre thèse, notre revue de littérature sera axée essentiellement sur des modèles spatialisés de stationnement. Nous nous intéressons en particulier aux modèles qui traitent explicitement les choix de stationnement et l'équilibre Offre-demande.

L'objectif de ce chapitre est de décrire les représentations de l'offre, de la demande et de leurs interactions, dans le temps et dans l'espace dans les modèles recensés dans la littérature. Plus spécifiquement, ceci revient à établir :

- une caractérisation de l'offre par type, par localisation, par échelle spatiale, par tarification, par régulation, par interaction avec d'autres composantes du système de transport ;
- une caractérisation de la demande *via* la représentation de ses principales caractéristiques, des processus comportementaux et du couplage des choix de stationnement avec d'autres choix de déplacement (choix de l'itinéraire, du mode, de la destination, de l'heure de départ, etc.) ;

- une caractérisation de la relation et de l'interaction entre l'offre et la demande : essentiellement les types de modèle d'équilibre existants et les réponses comportementales de la demande à un changement des caractéristiques de l'offre.

Nous analyserons les fondements théoriques et méthodologiques des modèles, les hypothèses adoptées et enfin les résultats obtenus. Nous identifierons quelques pistes de recherche future.

Notre analyse s'appuie sur un large corpus de connaissances composé d'articles scientifiques couvrant différentes disciplines dont, principalement, l'ingénierie du trafic et des réseaux, l'économie des transports et les mathématiques appliquées¹¹⁹. Plus précisément, les articles analysés sont issus majoritairement d'ouvrages de référence et de revues académiques¹²⁰.

Ce chapitre est structuré en trois parties. La section 4.2 proposera une vision globale des questions afférentes à la modélisation du stationnement. Elle traitera l'évolution des problématiques dans le temps, les enjeux de la modélisation du stationnement et les portées spatiales des modèles. Nous nous intéresserons dans la section 4.3 à la représentation de l'offre et de la demande en mettant l'accent sur les aspects spatiotemporels du stationnement. La troisième section sera consacrée à l'analyse des modèles d'interaction entre l'offre et la demande, et à l'étude de l'équilibre du système.

4.2 Généralités sur la modélisation du stationnement de l'offre

4.2.1 Intérêt de la modélisation du stationnement

Le stationnement est intimement lié à l'usage de l'automobile. Il influence ainsi la performance du système de transport (Polak et Axhausen, 1990), la qualité de l'environnement (Feeney, 1989) et plus généralement le fonctionnement et le cadre de vie, particulièrement en zones denses. Toutefois, sa prise en compte dans les modèles de trafic est souvent partielle, notamment en raison de sa complexité.

Planification des transports et politiques de stationnement

Il est largement reconnu que le stationnement est une question d'importance capitale dans la planification stratégique des transports (Polak et Axhausen, 1990 ; Young et *al.*, 1991 ; Lam et *al.*, 1998 ; Wong et *al.*, 2000 ; Tong et *al.*, 2004 ; Lam et *al.*, 2006).

¹¹⁹ La recherche électronique a été basée sur une combinaison de mots-clés (stationnement, offre, demande, équilibre, modèle, modélisation...), les documents consultés incluent ceux issus de sites Web – essentiellement de ScienceDirect, Springer Link et Informaworld, du moteur de recherche Google Scholar –, ainsi que ceux en libre accès sur Internet.

¹²⁰ Par exemple : Transportation ; Transportation Policy ; Transportation planning and Technology ; Traffic Engineering and Control ; Transportation research, "Part A et B" ; Transportation Research Record ; Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research ; etc.

Concrètement, le stationnement se traduit par des politiques qui régissent la provision de places, leurs modalités d'usage et la relation entre l'offre et la demande. Les changements de structures tarifaires, de capacité ou de mesures d'exécution peuvent avoir des effets significatifs directs et indirects sur la demande de déplacement. L'action sur le stationnement influence donc directement sur les possibilités et la commodité d'usage de la voiture particulière, et même sur l'usage des autres modes de transport. De nombreuses études ont montré l'importance du stationnement comme dimension spécifique des comportements de mobilité. En effet, les choix de stationnement sont fortement liés à d'autres décisions de la chaîne de déplacement (tels que le choix de la destination, le choix de l'heure de départ, le choix de l'itinéraire et le choix du mode de transport). En conséquence, la compréhension et la prévision des comportements de stationnement en réaction à diverses mesures de politiques de mobilité d'une part, et à la dynamique de fonctionnement interne du système d'autre part, semblent être des éléments indispensables de planification des systèmes de transport. L'un des outils préconisés pour remplir cette fonction est la modélisation. Les modèles présentent un mécanisme de systématisation du processus de planification (Young et *al.*, 1991). Ils fournissent une représentation schématique, abstraite, conventionnelle et simplifiée de la réalité observée, et constituent des outils performants d'aide à la décision.

Une lecture bibliographique chronologique des modèles recensés dans la littérature nous a permis de constater que tous les modèles de stationnement partagent un même et unique objectif général : celui d'évaluer différentes politiques de stationnement et de comprendre les comportements des usagers dans différents contextes de variation des caractéristiques de l'offre et de la demande. Ces modèles servent comme support d'aide à la décision, à la conception et à l'évaluation des projets de transport (Young et *al.*, 1989).

Vision classique du stationnement dans la modélisation des transports

Le stationnement fait souvent figure de parent pauvre dans les modèles de transport. Dans la plupart des modèles traditionnels, il est soit considéré comme non significatif, soit intégré assez grossièrement. Dans les modèles de choix modal, le stationnement est souvent traité d'une façon superficielle, ou carrément négligée. La manière la plus conventionnelle consiste à le prendre en compte en incluant directement son coût dans celui du déplacement (Young et *al.*, 1991). Typiquement, cela revient à inclure le prix et, à la limite, le coût de la marche, dans la fonction du coût généralisé (Coombe, 1997). À ce propos, Feeney (1989) a effectué une revue de dix-neuf modèles de choix de mode, et a révélé que les coûts de stationnement y ont été incorporés en tant que variables distinctes seulement dans cinq modèles, tandis que treize l'ont inclus dans le coût global, et qu'il a été entièrement exclu dans un dernier modèle. Cette représentation est très limitée, surtout si on se réfère à Algiers et *al.* (1975) qui a prouvé que le coefficient du coût de stationnement est deux fois plus important que le temps du déplacement à bord du véhicule, et à Gillen (1978) qui a affirmé que les coûts de stationnement et de déplacement n'ont pas la même valeur et doivent par conséquent être séparés.

Pour ce qui est des modèles d'affectation du trafic, le stationnement reçoit très peu d'attention. La plupart de ces modèles le considèrent comme une impédance à la circulation. L'accès aux lieux de stationnement se fait à travers le réseau routier. Certains prennent en compte la capacité de l'offre mais négligent la représentation des comportements des usagers. Dans certains cas, la contrainte de stationnement est représentée par un coefficient de pénibilité. Toutefois, ces méthodes restent très empiriques et ne permettent pas de bien étudier les dimensions dynamiques du stationnement.

Ces pratiques, même si elles ont le mérite d'exister et d'améliorer la qualité de calibration des modèles, demeurent très réductrices puisqu'elles considèrent le stationnement comme un élément subsidiaire du déplacement automobile. En résumé, ces approches ont échoué à modéliser, de manière satisfaisante, la question des politiques de stationnement et de l'interaction entre la demande et l'offre dans un contexte spatial (Florian, 1980 ; Bonsall, 1991 ; Polak et *al.*, 1990, art. 36). Au cours de la dernière décennie, on a constaté une préoccupation croissante visant à intégrer l'analyse des problèmes de stationnement de façon plus approfondie et plus pragmatique dans le processus de modélisation du transport (Young et *al.*, 1990).

Le stationnement est régi par des relations dynamiques et complexes. Ce constat se justifie par la diversité des comportements de la demande et des rétroactions avec d'autres choix de déplacement, de l'inélasticité de la capacité de l'offre, de la dimension temporelle et dynamique du système, et enfin des interactions multi-échelles entre offre et demande. Cet état des lieux a poussé les chercheurs à recourir à des approches de modélisation plus appropriées. Des tentatives de développement de modèles de stationnement ont ainsi vu le jour pour apporter des éléments de compréhension du système et de ses interactions réciproques avec le système de transport¹²¹.

4.2.2 Enjeux de la modélisation du stationnement

La modélisation du stationnement se heurte au caractère particulièrement complexe de ce système (Papon, 1992 ; Bifulco, 1993). La revue de certaines recherches (Feeney, 1989 ; Young et *al.*, 1991 ; Polak et *al.*, 1990) a confirmé cette affirmation et a mis en évidence certaines considérations importantes.

La question des politiques de stationnement soulève un certain nombre d'exigences de modélisation pour l'intégration desquelles les approches classiques manquent d'aptitude (Bonsall, 1991 ; Polak, 1988). Pour Florian et Los (1980), les modèles précédents ont échoué à représenter de façon satisfaisante l'interaction entre l'offre et la demande de stationnement dans un contexte spatial. De même, Polak et *al.* (1990) ont souligné que « *A number of studies that have explored alternative ways of dealing with parking issues using a variety of conventional and/or more novel modelling approaches (Axhausen, 1990; Gur and Beimborn, 1984; May et al., 1989; Olszewski and Suchorzewski, 1987; Polak and Axhausen, 1989). However, practical experience of the model based assessment of parking*

¹²¹ Young (2000) classe les modèles de stationnement en cinq principales familles : les modèles de conception des parcs de stationnement, les modèles d'affectation du stationnement, les modèles de recherche, les modèles de choix et les modèles d'interaction.

policies is still very limited and no clear methodological guidelines have yet been established ». Les modèles existants ne sont jamais complètement satisfaisants car ils sacrifient délibérément certains aspects du problème. Ils se focalisent sur une seule facette du sujet et ne couvrent qu'une échelle spatiale et un horizon temporel déterminés. Les enjeux de la modélisation du stationnement limitent les champs d'étude d'un modèle et sont typiquement rattachés aussi bien à l'offre et à la demande qu'à leur interaction.

Du côté de la demande, certaines caractéristiques et contraintes sont à mettre en avant. La demande de stationnement est une demande dérivée de l'accomplissement d'une activité, elle est donc assez hétérogène et variable dans le temps et dans l'espace. Le modélisateur ne doit pas perdre de vue que les flux des véhicules sont loin d'être constants et uniformes durant la période de l'analyse, et qu'il est nécessaire d'analyser la demande sur des intervalles de temps séparés de courte durée, de la segmenter en classes d'usagers, et de la traiter de façon désagrégée et stochastique. Les choix de cette demande dépendent fortement du motif de déplacement, de la disponibilité de place (réservée ou non), de l'heure d'arrivée, de la durée de stationnement prévue, du type de tarif, des caractéristiques de l'individu et d'autres critères, tant objectifs que subjectifs, de choix. L'automobiliste ne dispose que d'une information partielle sur les conditions de circulation et sur l'état de l'offre sur les lieux de destination. Il peut être confronté à une recherche de place généralement de durée inconnue, et ne peut agir de manière tout à fait rationnelle.

Par ailleurs, les effets des politiques de stationnement varient dans le temps. Un modèle qui porte sur le court terme est en mesure d'évaluer les effets significatifs d'une politique de stationnement sur le système, par exemple sur les comportements de choix du type et de la localisation du stationnement, mais d'autres réactions comportementales à plus long terme, telles que les changements du mode ou de la destination du déplacement, ne pourront y être étudiées conjointement.

Du côté de l'offre, d'autres aspects rendent plus difficile la modélisation. La coexistence de différents types d'offre avec des structures tarifaires (payant, gratuit, etc.) et des statuts réglementaires variés représente une source de complexité. Le stock de places distribuées dans l'espace de façon discontinue dans des intervalles discrets (Gillen, 1978) est inélastique, et impose une contrainte de capacité. La disponibilité de l'offre est variable dans le temps, elle dépend du volume de la demande pendant une période donnée et de l'occupation des places dans le temps. Modéliser les choix de la demande selon une situation fixe d'offre revient à ignorer cette importante caractéristique.

Du côté de l'interaction offre-demande, d'autres complications s'ajoutent, en raison de la nature dynamique du système. Une dépendance structurelle marque cette relation entre les temps et les zones de stationnement. Les choix de la demande pendant une période donnée influencent la performance de l'offre pour les périodes suivantes (Bifulco, 1996). À ce niveau, le problème majeur est l'interdépendance entre les différentes périodes d'analyse. À la différence des flux de trafic qui sont instantanés et transitoires, les flux de stationnement persistent sur les lieux de stationnement pendant des durées variables et imprévisibles. La distribution spatiotemporelle de l'occupation

dépend à la fois des arrivées et des départs en cours de période, et des arrivées accumulées durant les périodes antérieures.

Le déséquilibre du système est à l'origine de la congestion de l'offre, il a pour conséquence directe d'allonger les durées de recherche de place. Par ailleurs, ces véhicules sont en circulation sur le réseau mais ne forment pas une file d'attente visible. Les effets de congestion induits par le stationnement sont donc difficilement quantifiables et exigent le traitement d'autres choix de la demande tels que le choix d'itinéraire, le choix du mode, ou encore le choix de destination. La caractérisation de la relation de cause à effet entre l'offre et la demande dans une perspective d'équilibre de stationnement concerne l'usage et les réactions comportementales selon certains scénarios.

On peut, d'ores et déjà, noter que ces considérations laissent entrevoir une des conclusions de ce chapitre : il n'existe pas de modèle « universel » capable d'étudier parfaitement le système de stationnement dans son ensemble. À ce titre, sur la base des recherches antérieures (Bonsall, 1991 ; Van der Goot, 1982 ; Polak et *al.*, 1990 ; Bifulco, 1993), un accord général sur les caractéristiques d'un modèle idéal d'évaluation des politiques de stationnement s'est établi. Un tel modèle considère explicitement la capacité et la localisation, la structure tarifaire et les restrictions d'usage de l'offre, ainsi que la perception du risque du stationnement illégal. Il répond aux exigences suivantes :

- capacité à reproduire de près la configuration de référence ;
- demande explicite/modélisation de l'interaction avec l'offre ;
- considération explicite de l'approche temporelle ;
- mise en œuvre d'une demande multiclasse ;
- approche de modélisation multimodale ;
- modélisation explicite de l'élasticité de la demande ;
- utilisation de données facilement disponibles ;
- cohérence mathématique.

Il est clair que la nécessité d'affronter l'ensemble de ces questions dans le développement d'un modèle soulève un certain nombre de difficultés. Néanmoins, l'approche de modélisation et les hypothèses de représentation du système déterminent le niveau de complexité et guident en partie les choix techniques des modélisateurs. Enfin, les considérations qui précèdent soulignent la nécessité d'une représentation explicite du stationnement comme élément de la chaîne de déplacement.

4.2.3 Contextes et évolution des modèles de stationnement

Bien que l'intérêt de l'intégration de la problématique de stationnement (et de ses aspects comportementaux, économiques, sociaux et environnementaux) dans les modèles de transport soit déjà démontré, le développement des modèles de stationnement se caractérise par une certaine intermittence. L'histoire de ces modèles

est marquée par un changement de paradigme des politiques publiques. Ces modèles sont très disparates et forment un corpus éclaté, avec diverses origines disciplinaires et divers champs et échelles d'application. Les fondements théoriques sur lesquels ils s'appuient et les techniques de modélisation utilisées sont semblables à ceux du modèle de transport à quatre étapes. Dans ce qui suit, nous retracerons, de manière chronologique, quelques tendances communes pour l'ensemble des travaux proposés

4.2.3.1 Changement de paradigme et des objectifs des modèles

Le contexte de modélisation du stationnement, corollaire de celui de la planification des déplacements urbains¹²², a subi un changement de paradigme concernant la façon dont les problèmes sont perçus et les solutions éditées. Les objectifs des modèles ont subi à leur tour un renversement de tendance pour répondre aux besoins des planificateurs.

L'ancien paradigme était centré sur la demande. Les premiers modèles avaient pour vocation d'assurer un rôle traditionnel de prévision de trafic, d'évaluation des nouvelles infrastructures et d'étude des comportements de choix. Il y eut ainsi un développement des modèles de génération, d'estimation d'usage des parcs, de conception et d'évaluation des capacités et surtout des choix de stationnement par rapport à une situation donnée de l'offre.

Au début des années 1980, avec la croissance des nuisances liées à l'automobile dans les centres urbains, les interrogations sur le stationnement ont changé de nature. L'orientation fut plutôt de dissuader la demande et d'optimiser l'offre. Des modèles de choix conjoint du mode et du stationnement, ainsi que des modèles portant sur les parcs relais, ont été fournis en réaction à la montée en puissance de l'intérêt pour le report modal de l'automobile vers les transports en commun.

Plus récemment, les modèles d'offre et d'interaction offre-demande ont attiré bon nombre de chercheurs. L'offre a, petit à petit, regagné sa place *via* la modélisation des types de stationnement, l'optimisation de la capacité des parcs, et l'analyse des effets de restriction de l'offre sur la demande. Par ailleurs, une représentation plus détaillée du système est de plus en plus souvent intégrée dans certains modèles qui essaient de tenir compte des contraintes de l'offre et de modéliser l'équilibre du système. Ces dernières années, on assiste à de timides tentatives de développement d'outils de simulation prenant en considération l'offre de stationnement (Boussier, 2007).

4.2.3.2 Évolution des problématiques étudiées

Les prémices de la modélisation du stationnement proprement dite remontent aux modèles proposés par Lambe (1969) concernant le choix de localisation du stationnement, par Ergun (1971) qui a modélisé le choix de stationnement par des modèles logit multinomiaux afin d'étudier l'effet du changement du prix sur le choix

¹²² On est passé d'une logique de préférence à une logique de restriction de l'usage de l'automobile en milieu urbain.

de localisation, par Bourton et *al.* (1971) dont le modèle porte sur la conception des parcs, et aussi par Austen (1973) qui a proposé une optimisation basée sur la minimisation du coût agrégé de déplacement, pour la distribution de la demande sur les sites de stationnement.

Depuis, si les problématiques restent variées, la modélisation des choix est prépondérante. Nous passerons en revue chronologique les modèles les plus courants, puisqu'il est impossible de les lister tous de façon exhaustive. Gillen (1978) a étudié le choix de localisation et de relocalisation selon différentes politiques de stationnement alternatives à partir d'un modèle désagrégé de choix binaire. Il a évalué les élasticités-prix de chaque alternative. Florian et Los (1980) ont utilisé un modèle de prévision de l'occupation d'un parc relais selon une approche de programmation mathématique. Le modèle de la demande était basé sur une maximisation de l'entropie alors que le modèle de l'offre considère explicitement la contrainte de capacité.

Nour Eldin et *al.* (1981) ont étudié la simulation du type et de la localisation par affectation en tenant compte des interactions entre l'offre de stationnement (selon le type et l'emplacement) et la circulation des véhicules. L'offre de stationnement a été représentée *via* une extension des réseaux qui ont été caractérisés par le type de région (CBD, banlieue résidentielle, centre du district externe au CBD et zone rurale). Du côté de la demande, une seule classe d'usagers a été représentée. Le choix d'itinéraire a été déterminé sur la base de l'algorithme du chemin minimum de Moore. L'interaction offre-demande n'a pas été modélisée comme un équilibre de l'utilisateur déterministe mais a suivi une procédure d'affectation incrémentale. Différent des modèles traditionnels d'affectation, ce modèle présente plusieurs avantages, toutefois il n'a pas été validé. Un autre modèle, s'appuyant sur la même approche, a été développé par Gur et Beimborn (1984) pour analyser l'impact des stratégies globales de gestion du transport dans les centres-villes. Il s'agit d'un modèle de simulation des choix selon une approche déterministe d'affectation à l'équilibre. Goyal (1984) a proposé un modèle théorique d'allocation optimale des parcs pour différentes classes d'usagers par le biais d'un modèle de programmation linéaire. Il a traité trois cas dans lesquels l'offre excède, est égale ou est inférieure à la demande.

En 1988, Axhausen et *al.* (1988) ont exploité les données d'une enquête de préférences déclarées pour spécifier le choix du type de localisation par un modèle logit, tout en prenant en compte la perception du stationnement illégal par l'utilisateur. Les modèles de Hunt (1988) et de Hunt et Teply (1993) avaient pour ambition de guider la conception des politiques de stationnement futures. Ils ont étudié les choix de type et de localisation *via* un modèle logit hiérarchique, à partir des données d'une enquête de préférences révélées.

Désormais, les modèles de choix de type et de localisation du stationnement forment une littérature assez riche. D'un point de vue méthodologique, ils vont de la simple régression linéaire à la simulation dynamique et microscopique du trafic, avec un recours prépondérant aux modèles de choix discret – et plus particulièrement aux modèles de type logit –, et à une estimation par le maximum de vraisemblance

(*maximum likelihood estimation*). Ces modèles se sont concentrés surtout sur l'étude de la demande des migrants. Cette tendance est moins accentuée dans les modèles récents.

Bradley et al. (1993) ont proposé un modèle de choix conjoint de stationnement et de mode, considérant explicitement les contraintes de capacité de l'offre et spécifiant des modèles logit hiérarchiques séparés pour chaque motif (travail, achats et autres). La même année, Van der Waerden et al. (1993) ont modélisé les comportements adaptatifs de la demande confrontée à un parc saturé. Ils ont distingué trois principales stratégies d'adaptation : attendre la libération d'une place, recourir au stationnement illégal ou continuer la recherche. Lambe (1996) a utilisé un probit multinomial pour l'étude des choix de localisation des parcs, tandis que Spiess (1996) a développé un modèle de choix de stationnement et de choix intermédiaire de destination avec une contrainte explicite de capacité. Il a traité le problème sous forme de minimisation convexe, avec une solution algorithmique. Van der Waerden et al. (1997) ont ensuite construit un modèle théorique de simulation dynamique de choix de destination et de stationnement, en prenant explicitement en compte les comportements adaptatifs. Le modèle a été développé selon un système d'information géographique, avec une illustration pour l'activité « achats ». Plus tard, Golias et al. (2002) ont construit un modèle désagrégé de choix entre stationnement hors voirie et stationnement sur voirie à l'échelle du centre-ville de Piraeus (Grèce).

Des modèles de choix de stationnement et de mode de déplacement ont été développés au cours des années 2000. Pour étudier les réactions des usagers dont la destination était le CBD face aux restrictions de l'offre, Hensher et King (2001) ont présenté un modèle de choix discret de type logit hiérarchique basé sur les données portant sur les préférences déclarées. Ils ont évalué les élasticités du choix de stationnement, sans pour autant inclure la capacité de l'offre. À ce niveau, le modèle de Coppola (2002) est plus prometteur. Il concerne le choix avec demande élastique pour différents motifs et plusieurs classes d'usagers. Une enquête de préférences révélées a alimenté les estimations d'un logit hiérarchique à l'échelle du centre-ville de Salerno (Italie) et des zones adjacentes. Différents scénarios de variation du prix et de la capacité de l'offre ont été mis en place. Encore aujourd'hui, les modèles de choix continuent de susciter l'intérêt des modélisateurs.

La problématique de recherche de place a reçu beaucoup d'attention depuis le milieu des années 1980. Proposé par Young (1986), PARKSIM est un modèle discret de simulation microscopique, qui permet de représenter le processus de choix du conducteur sur un réseau et sa recherche de place. Ce modèle capte différents aspects reliés à la dynamique des sites de stationnement, il peut être utilisé pour concevoir et évaluer différents types d'agencements et effectuer des mesures de performance des parcs de stationnement. Polak et Axhausen (1990) ont réalisé une revue de littérature complète sur les comportements de recherche et leur modélisation. Ils ont distingué sept stratégies, eu égard à la position de l'individu par rapport au stationnement illégal. Ils en ont conclu que ces comportements sont très complexes et qu'il y a besoin urgent d'améliorer les méthodes théoriques et empiriques de leur représentation dans les modèles. Le modèle de Thompson et Richardson (1998) peut être considéré comme un vrai progrès à ce niveau. Les auteurs ont modélisé le choix d'itinéraire et de

stationnement comme un processus de recherche composé d'une séquence de décisions liées entre elles. Leur modèle examine explicitement les aspects temporels et dynamiques du sujet pour différentes classes d'utilisateurs, segmentées selon le motif et la durée. Ce modèle a été vérifié sur un réseau hypothétique, et les résultats de cette recherche ont montré qu'une longue expérience ne conduit pas nécessairement à de meilleurs choix.

Une caractéristique importante de la modélisation du phénomène de recherche est le niveau d'information (statique et dynamique) acquis sur l'état de l'offre. Le développement technologique de collecte et de transmission de l'information en temps réel a ouvert la voie à de nouvelles pistes de modélisation. Allen et *al.* (1993) ont étudié l'impact d'implantation d'un système de guidage et d'information de stationnement (PGI) dans le centre-ville sur les comportements désagrégés des utilisateurs à partir d'une enquête de préférences déclarées. Axhausen et *al.* (1994) ont procédé à une évaluation des effets d'un système PGI pour Nottingham et Frankfurt (Allemagne) sur le plan individuel et global. Les modèles de Axhausen et Polak (1995), Asad et *al.* (1993), Benenson et *al.* (2008) portent sur ce même sujet.

Jusqu'au début de la dernière décennie, très peu d'études de modélisation conjointe de l'offre, de la demande et de l'équilibre du système ont été effectuées. Nous présenterons dans ce qui suit les principaux modèles. Développé et utilisé pour étudier un large éventail d'analyses des politiques de stationnement dans plusieurs villes européennes, le modèle CLAMP (*Computer-based Local Area Model of Parking behaviour*) a été considéré comme un modèle révolutionnaire au sens strict du terme. Il a le mérite de simuler les effets à long terme de l'occupation du stationnement sur la performance du système de transport dans le centre-ville. Les principales caractéristiques de ce modèle tiennent au fait qu'il suit explicitement une approche dynamique, puisqu'il considère les comportements de la demande pendant différents intervalles de temps consécutifs et différents jours, et les interactions qui en découlent. Ce modèle spécifie différentes classes d'utilisateurs et permet d'étudier l'élasticité de la demande pour le choix de la destination et du mode (Polak et *al.*, 1990 ; Young et *al.*, 1991). Plus précisément, l'application de CLAMP combine des éléments de modélisation détaillée de la demande et de modélisation en quatre étapes pour développer une représentation appropriée du système de stationnement¹²³.

Une autre avancée considérable, en dépit du fait qu'il demeure théorique, est celui du travail de Bifulco (1993). L'auteur a proposé un modèle dynamique d'affectation avec choix de stationnement et d'itinéraire pour une période de simulation d'une journée. La demande a été segmentée selon le motif, la durée de stationnement et la période d'accomplissement du déplacement. Elle a été calculée de manière exogène et supposée stable par période. L'offre a été modélisée par extension des tronçons d'accès et de recherche au réseau classique. Un modèle d'équilibre stochastique multi-utilisateurs a été résolu comme un problème de point fixe. L'une des spécificités de ce travail est de supposer que la demande d'une zone peut être satisfaite par les zones

¹²³ Pour plus de détails sur ce modèle, nous recommandons au lecteur de se référer aux travaux de Polak et Axhausen (1989) et de Polak et *al.* (1990).

avoisinentes. Les fondements théoriques et les développements mathématiques de ce modèle ont été largement repris dans les études ultérieures.

Plus récemment, les choix de stationnement ont été explicitement incorporés dans des modèles d'affectation à l'équilibre avec ou sans congestion. Les contributions les plus remarquables sont celles des chercheurs asiatiques. Leurs modèles permettent d'évaluer différentes politiques de stationnement. Ils sont de type réseau et concernent incontestablement le choix d'itinéraire et de stationnement, avec la possibilité d'intégrer d'autres types de choix. Néanmoins, ces modèles sont analytiques et n'ont pas été expérimentés sur des réseaux réels¹²⁴.

Un modèle déterministe d'équilibre traitant le choix de l'itinéraire, du stationnement et de la destination a été édifié par Lam et *al.* (1999). Ce modèle prend explicitement en compte les effets d'élasticité de la congestion routière et ceux du retard sur la demande de stationnement (une seule classe). Le problème a été traité sous forme de programmation linéaire à deux niveaux et a été résolu par un algorithme heuristique. L'étude était étendue sur une période d'une heure, avec une demande élastique. Les effets des trois scénarios caractérisant la relation entre l'offre et la demande ont été étudiés sans tenir compte des possibilités de stationnement illégal.

Huang et *al.* (2005) ont proposé un modèle dynamique d'équilibre déterministe de choix simultané d'une activité (localisation et durée), d'une localisation de stationnement et d'un itinéraire selon une structure hiérarchique. L'originalité de ce travail est d'avoir pour assise l'approche basée sur les activités et d'étudier les comportements de planification des activités. La méthode est basée sur la théorie d'inéquation variationnelle (*variational inequality theory*) avec des solutions algorithmiques heuristiques selon la méthode des moyennes successives (*method of successive average*).

Un modèle d'équilibre du réseau considérant conjointement le choix de l'heure de départ, de l'itinéraire, de la localisation et de la durée de stationnement avec plusieurs classes d'utilisateurs et différents types de stationnement a été développé par Lam et *al.* (2006). Le modèle est dynamique et reconnaît explicitement l'interaction spatiale et temporelle entre la circulation et la congestion du stationnement. Il a été validé par deux exemples numériques pour deux configurations de réseau différentes.

En extension de ces travaux, des modèles d'équilibre statique dans un contexte multimodal ont intégré le choix de stationnement. À titre indicatif, mentionnons que Zhi-Chun et *al.* (2007) ont modélisé l'équilibre de l'utilisateur pour un réseau multimodal avec contrainte de capacité pour le réseau et pour le stationnement. Le modèle s'intéresse au choix du mode, de l'itinéraire et de la localisation de stationnement. Un double algorithme du lagrangien a permis de résoudre ce problème. Par contre, Lam et

¹²⁴ Il nous semble opportun de mentionner que Sattayhatewa et Smith (2003) ont développé un modèle de choix de localisation de parc de stationnement pour les événements spéciaux et saisonniers en considérant aussi le choix de destination. Ils ont adopté une maximisation de l'entropie pour la distribution des déplacements et l'équilibre de l'utilisateur pour l'affectation, en intégrant la contrainte de capacité du stationnement. Les impacts du coût optimal et des coûts minimaux du système par rapport au coût du réseau ont été évalués.

al. (2007) ont évalué le choix du mode, de stationnement et d'itinéraire pour les pendulaires selon une approche d'équilibre du réseau (*super-network approach*). Le modèle incorpore explicitement les contraintes de capacité, l'élasticité de la demande et la congestion d'interaction entre les deux modes.

Pour simuler les choix de stationnement, Gallo et *al.* (2011) ont proposé un modèle d'affectation de trafic sur le réseau routier capable de simuler l'impact de la recherche de stationnement sur la congestion du trafic. Le comportement de l'utilisateur est modélisé selon la théorie du choix discret. Les lots de stationnement sont liés au réseau par des arcs spécifiques. Ce modèle se distingue par une représentation multi-couche du réseau routier (avec une couche de parcours principal, une couche de recherche de stationnement et une couche d'accès piéton). Cette représentation permet de distinguer la phase de la recherche de stationnement et les choix associés. Enfin, Boyles et *al.*, (2015) ont proposé un modèle statique d'équilibre de trafic qui simule le comportement de circuitage de stationnement et le report entre les lots en ajoutant des arcs de recherche et des arcs de transition au réseau principal. Une probabilité de trouver une place varie selon l'intensité du flux de report est associée à chaque arc de recherche de stationnement. Néanmoins, ce modèle adopte l'hypothèse d'un état stationnaire des véhicules sur les arcs du réseau. Ainsi, les fonctions du coût sur les arcs ne sont pas dépendantes du volume trafic.

Dans le champ de la simulation microscopique du trafic, plusieurs modèles de types multi-agent ont traité les interactions spatio-temporelles entre l'offre et la demande de stationnement. Avec une représentation très fine du réseau routier, ces modèles sont capables de simuler les choix de stationnement en interaction avec le choix d'itinéraire et de traiter explicitement la recherche de place sur le réseau. La considération désagrégée de la demande et de l'offre dans ces modèles permet de simuler de manière précise le fonctionnement du système de stationnement. Chaque usager est considéré comme un agent sur le réseau. Les lots de stationnement sont localisés dans l'espace et caractérisés par un type et par capacité. Le processus comportemental de l'utilisateur est segmenté en plusieurs étapes pour distinguer la phase de parcours vers la destination finale/ou le lot choisi et la phase de recherche de stationnement. Benenson et *al.*, (2008) ont développé le modèle Parkagent qui simule les comportements du stationnement dans un quartier résidentiel en heure de pointe du soir. Ce modèle permet, à l'aide d'un ensemble d'indicateur, d'analyser la performance du système de stationnement et d'étudier l'effet d'un lot supplémentaire notamment en termes de temps moyen de recherche de place libre. Dieussaert et *al.*, (2009) ont proposé le modèle Sustapark qui simule les choix de stationnement et ses effets sur le trafic routier. Waraich et Axhausen (2012) ont développé le modèle Matsim qui permet de simuler de manière explicite l'effet de la circulation de recherche de place sur le temps de parcours sur le réseau routier. Enfin, Guo et *al.*, (2013) ont proposé le modèle Transims pour la simulation des choix de stationnement dans un campus universitaire. Ce modèle est capable de quantifier les coûts environnementaux associés à la circulation de recherche de stationnement. L'ensemble des modèles précités permettent de capturer l'interaction entre l'offre et la demande de stationnement. Cependant, leur opérationnalité demeure discutable car leur application à des cas d'études réelles nécessite un grand volume de données et pose une grande complexité informatique.

Cette synthèse chronologique met en lumière les principaux développements thématiques et méthodologiques qui concernent les modèles de stationnement. Elle nous servira d'assise pour distinguer les approches de modélisation employées.

4.2.4 Approches de modélisation du stationnement

Trois principales approches peuvent être recensées dans la littérature, elles peuvent être classées selon deux grandes catégories selon qu'elles représentent ou non le réseau routier¹²⁵.

4.2.4.1 L'approche des choix discrets

Basée sur la théorie de l'utilité aléatoire (Ben Akifa et *al.*, 1985), cette approche est largement répandue pour la modélisation des choix de localisation, du type de stationnement et de la place¹²⁶. À chaque choix possible sont attribués une valeur d'utilité et un résidu aléatoire. L'individu décideur compare la valeur de ces utilités et choisit l'option optimale, il est alors considéré comme un « *homo aconomicus* » parfaitement rationnel, informé et soucieux d'optimiser son utilité.

Le recours à différentes spécifications de l'utilité et différentes hypothèses sur le terme aléatoire est possible. Le plus adopté de ces modèles est le logit¹²⁷. Ces modèles sont souvent alimentés par les enquêtes de préférences révélées et/ou de préférences déclarées, qui sont mises en scène depuis longtemps pour l'investigation des choix (Zhi-Chun et *al.*, 2007).

4.2.4.2 L'approche basée sur la théorie de probabilité

Récemment, l'approche probabiliste a été appliquée par Cassidy et Kobza (1998) qui ont élaboré un modèle pour l'étude des stratégies de sélection des places au sein d'un parc. La performance de la stratégie choisie est évaluée par la loi de probabilité totale. L'approche traite des décisions prises par le conducteur selon la disponibilité des places. Wong et *al.* (2000) l'ont mise en place pour évaluer la demande de stationnement à Hong Kong. Le concept de « *Unitgraph* » a été utilisé pour représenter la probabilité qu'une place soit occupée durant un intervalle de temps donné. En 2003, Dell'Orco et *al.* (2003) se sont basés sur la théorie de probabilité et celle des ensembles flous (*fuzzy set theory*) pour décrire l'incertitude et l'imprécision liées aux coûts perçus, et la probabilité de choix du type de stationnement. Le but était d'étudier comment l'information influence le choix des usagers.

¹²⁵ Pour plus de précisions, voir Bifulco (1996), qui a procédé à une comparaison de l'approche non-réseau et de l'approche réseau.

¹²⁶ Ergun, 1971 ; Van der Goot, 1982 ; Hunt, 1988 ; Axhausen et al., 1988 ; Polak et al., 1990 ; Axhausen et Polak, 1991 ; Hunt et Tepley, 1993 ; Bradley et al., 1993 ; Van der Waerden, 1993 ; Spiess, 1996 ; Lambe, 1996 ; Hensher et King, 2001 ; Copolla, 2002 ; Hess et Polak, 2004.

¹²⁷ À titre d'exemple : l'usage des multinomial logit models (Van der Goot, 1982 ; Polack et al., 1990 ; Lambe, 1996 ; Thompson et Richardson, 1998 ; Van der Waerden, 2003 ; Sattayhatewa et al., 2003), des nested logit models (Hunt et Tepley, 1993 ; Hensher et King, 2001), et des mixed multinomial logit models (Hess et Polak, 2004).

4.2.4.3 L'approche basée sur le réseau

Tous les modèles appartenant à cette catégorie prennent en compte explicitement la structure topologique des réseaux de transport (nœuds et arcs) et considèrent le choix de stationnement comme complémentaire de l'affectation de trafic¹²⁸ (Papon, 2002). Une extension du réseau est effectuée par des liaisons fictives (des arcs qui connectent les tronçons de route aux centroïdes) de recherche, d'accès au stationnement et de marche jusqu'à la destination finale, comme dans Nour Eldin (1981) et Lam et *al.* (2006). Toutefois, seuls les modèles d'affectation à l'équilibre permettent d'analyser l'impact de la congestion du trafic routier sur les comportements de stationnement (Zhi-Chun et *al.*, 2007).

L'usage de cette approche a été fortement influencé par la vitesse croissante des développements informatiques. Elle offre une grande capacité de simulation et un niveau de complexité algorithmique très poussé pour une mise en œuvre sur une agglomération.

Allant du statique au dynamique, ces modèles mettent en évidence la dimension temporelle du système et permettent de bien représenter l'interaction entre le stationnement et la circulation. Au cours de la dernière décennie, les modèles qui reposent sur cette approche se sont multipliés.

4.2.4.4 Limites des approches de modélisation

Malgré leurs avantages et leur incontestable contribution à la compréhension des comportements de stationnement, les deux premières approches présentent quelques limites. Elles ne prennent en compte, explicitement, ni la structure du réseau, ni les contraintes de capacité, ni la dimension temporelle du système. Les modèles développés sont donc incapables d'évaluer les effets de la congestion routière et du stationnement. En l'absence de certaines hypothèses spécifiques, ces modèles peuvent conduire à des prévisions de demande qui dépassent les capacités des itinéraires et du stationnement, et plus généralement à une instabilité des flux de trafic (Zhi-Chun et *al.*, 2007). Quant à la troisième approche, elle ne peut être utilisée que pour des études de court terme.

Après avoir pris le soin de présenter les approches de modélisation du stationnement, nous allons maintenant nous intéresser aux échelles spatiales des modèles existants.

4.2.5 Portée spatiale des modèles de stationnement

L'étude du stationnement exige de l'inscrire dans son contexte spatial. Le mouvement et le stockage des véhicules dans l'espace ont été étudiés à différents niveaux du système urbain. Néanmoins, les modèles les plus couramment utilisés se rapportent à une échelle unique d'usage du sol (Young et *al.*, 1990). Dans cette partie, nous reprendrons la classification déjà proposée par Young (2000).

¹²⁸ En conséquence, ces modèles de trafic reposent sur les hypothèses théoriques de choix d'itinéraire.

4.2.5.1 Modèles à l'échelle du parc de stationnement

Ces modèles sont, par essence, microscopiques, et considèrent le parc de stationnement comme une entité isolée. Ils permettent de reproduire en détail les mouvements des véhicules à l'intérieur du parc. Il s'agit généralement de modèles de microsimulation qui décrivent de près le mécanisme de recherche et l'effet des informations acquises au fur et à mesure que les automobilistes avancent dans leur parcours de recherche (Young, 1988 ; Young et *al.*, 1990 ; Young, 2000). L'interaction entre les véhicules garés et ceux en circulation ainsi que les probabilités de disponibilité de place sont explicitement modélisés.

Développé au milieu des années 1980, PARKSIM est un modèle typique à ce niveau (Cassady et Kobza, 1998). Il s'agit d'un modèle discret microscopique de simulation d'événements, qui saisit différents aspects reliés à la dynamique des sites de stationnement. Il peut servir à la conception et à l'évaluation de différents types d'agencement des parcs et à la mesure de leur performance¹²⁹.

4.2.5.2 Modèles à l'échelle du centre-ville

C'est dans le centre-ville que les problèmes de stationnement sont les plus récurrents ; de ce fait, la majorité des modèles appartiennent à cette échelle. Ils concernent, généralement, les choix de localisation et/ou de type de stationnement et l'affectation des flux aux localisations prévues. Ils portent le plus souvent sur un centre d'affaires (ou CBD pour *Central Business District*). À cette échelle, les sites de stationnement et les lieux de destination (un ou plusieurs) sont distribués de façon simplifiée dans le périmètre d'étude. Le modélisateur choisit aussi un ou plusieurs points d'entrée des flux de véhicules dans le centre. Une agrégation par zone et par localisation a déjà été utilisée par Bifulco (1993). D'autres choix conjoints au stationnement, comme celui de la destination ou de l'itinéraire, peuvent être étudiés à cette échelle spatiale. CLAMP est à cet égard un modèle typique, qui simule les effets à court et à long terme de l'occupation du stationnement sur la performance du système de transport dans le centre-ville. Citons aussi, à ce titre, les modèles de Bradley et *al.* (1993) et de Lam et *al.* (2006).

4.2.5.3 Modèles dans une aire urbaine ou suburbaine

Il s'agit des modèles métropolitains – ou subrégionaux – qui portent sur l'analyse des politiques de stationnement, en différenciant l'impact des différentes mesures prises, et permettent de déterminer de façon endogène la demande de déplacement par l'offre en vigueur. Ces modèles, dont le besoin a déjà été souligné par Polak et Axhausen (1989), sont susceptibles d'opérer dans des situations où la congestion se pose comme un problème important et permettent d'appréhender de manière réaliste les interactions demande-offre, et système de stationnement-système de transport. Ils ont la capacité de représenter et de distinguer des réponses comportementales de différents groupes d'utilisateurs, à court et à long terme. Cette échelle est adéquate pour

¹²⁹ Pour une revue détaillée, voir Young et Yue (1992) et Yue et Young (1993), art. 14, art. 72, art. 11.

l'étude des potentialités de report modal comme l'effet de certaines mesures de restriction du stationnement. Le modèle de Hensher et King (2001) fait partie de cette catégorie de modèles.

4.2.5.4 Modèles d'interaction entre système de stationnement et système d'occupation du sol

Ces modèles ne concernent pas directement les politiques de stationnement mais plutôt la planification stratégique du système urbain. Leur objectif est d'étudier les effets indirects du stationnement sur les choix de localisation des ménages et des entreprises à long terme. Leur degré de précision dépend des objectifs assignés au modèle.

4.2.5.5 Vers une hiérarchie des modèles de stationnement

Partant du constat qu'un modèle ne concerne qu'une seule échelle spatiale, Young et *al.* (1989), Young et Taylor (1991) et Young (2000) ont proposé le concept de hiérarchie de modèles pour mettre en relation différents niveaux, échanger les données et adresser des questions particulières de politique de stationnement à chaque niveau de ladite hiérarchie. Pour Young et Taylor (1991), « *The hierarchical approach to modelling offers a practical, integrated methodology for examining transport and parking systems models. It provides a framework by which to judge the appropriate position and use of a particular model, and its relationship to other models* ». La communication entre les modèles permet de fournir une représentation complète et réaliste de l'ensemble du système dans son ensemble.

4.3 Représentation de l'offre et de la demande dans les modèles

La modélisation nécessite une représentation structurée du système étudié afin de faire appel aux méthodes opérationnelles les plus appropriées. Dans cette section, nous mettrons l'accent sur les représentations de l'offre et de la demande de stationnement dans la littérature scientifique.

4.3.1 Caractérisation de l'offre

L'offre est l'expression de la capacité de l'infrastructure dans l'espace et dans le temps. Au sein d'un centre-ville typique, la proportion de consommation de l'espace par l'automobile, entre stationnement et circulation, est assez importante : elle est de l'ordre de 30 % de la superficie totale, dont un tiers est dédié à l'offre de stationnement (Lambe, 1996). La place est l'entité élémentaire de l'offre. Cette place se singularise par un type, un prix, un emplacement et un statut d'occupation. La qualité de service de l'offre totale dans une zone détermine la performance du système.

Les modèles de type offre s'attachent à refléter un certain réalisme physique, économique et fonctionnel de l'offre. À l'encontre des modèles de type demande qui

ont connu un essor considérable, ils sont moins fréquents et concernent essentiellement la conception (dimensionnement, agencement, orientation, géométrie et capacité des parcs)¹³⁰ et la tarification du stationnement. Précisons que l'offre est considérée plutôt comme une contrainte pour le modélisateur. Dans les modèles relevant de l'affectation du trafic, elle est représentée comme un élément du réseau et non plus uniquement en termes d'infrastructure isolée.

4.3.1.1 Attributs typologiques de l'offre

La représentation de l'offre de stationnement par types est une pratique assez commune. Ces types sont introduits dans le but de segmenter les places d'une zone en groupes homogènes. Ils peuvent faire référence à l'emplacement des places (sur voirie ou hors voirie – en surface, multi-étage, souterrain), à leur tarification (gratuites, offertes par l'employeur, payantes), à leur durée (sans limitation de durée, à durée limitée) mais aussi à leur juridiction (privée, publique). La définition du type relève du choix du modélisateur. Selon Axhausen et *al.* (1988) et Van der Goot (1982), il est indispensable de distinguer les différents types d'offre dans la modélisation du stationnement.

Pour caractériser l'offre dans un modèle de simulation de choix du type et/ou de la localisation du stationnement, Gur et Biemborn (1984), Axhausen et *al.* (1988), Polak et Axhausen (1991), Wong et *al.* (2000), ont défini trois types : le stationnement sur voirie, le stationnement hors voirie et le stationnement illégal¹³¹. Hunt (1988) ainsi que Hunt et Teply (1993) ont traité les deux premiers types et le stationnement offert par l'employeur pour évaluer l'attractivité des parcs. Ils ont constaté que le stationnement sur voirie et le stationnement offert par l'employeur sont préférés au stationnement hors voirie. D'autres auteurs ont considéré un seul type d'offre, comme Andrew et Clinch (2006) et Van der Waerden et *al.* (2006) pour le stationnement sur voirie, ou comme Van der Waerden et *al.* (1993 et 1997) et Zhang et *al.* (2009) pour le stationnement hors voirie. Golias et *al.* (2002) ont développé un modèle de choix du type entre le stationnement sur et hors voirie.

L'association de deux ou plusieurs critères de classification est fréquemment employée pour définir le type. À titre d'exemple, Thompson et Richardson (1998) ont couplé l'emplacement du stationnement avec le prix et la durée. Pour leur part, Polak et Axhausen (1991) ont représenté cinq types de stationnement : gratuit sur voirie, payant sur voirie, payant hors voirie, stationnement en étage et stationnement illégal, qu'ils ont décrits à partir de quatre attributs, à savoir : le temps d'accès, le temps de recherche, le temps de sortie et le coût de stationnement.

¹³⁰ Young (1988) a élaboré une revue des modèles de conception des parcs de stationnement, dans laquelle il a distingué différentes approches, heuristiques ou numériques. Ces modèles offrent une approximation de certaines mesures de performance des parcs de stationnement.

¹³¹ Le stationnement illégal n'est pas un type en soi, mais il présente une sorte d'occupation de l'espace liée à l'activité de stationnement et découle généralement de l'insuffisance de l'offre en quantité à proximité des lieux de stationnement ou à un prix prohibitif. Selon Gur et Beimborn (1984), il est irréaliste d'omettre le stationnement illégal dans les zones congestionnées.

4.3.1.2 Attributs économiques de l'offre

Le stationnement présente un coût pour l'utilisateur. Ce coût comporte, en règle générale, deux composantes : l'une monétaire (le tarif) et l'autre non monétaire (le temps). L'ensemble forme le coût généralisé associé à l'usage du service.

Le prix du stationnement

Considéré comme l'un des ultimes instruments de régulation des politiques de stationnement, le prix est une variable clé de caractérisation de l'offre quel que soit le type du modèle¹³². Souvent, le tarif est une variable exogène considérée comme connue. Deux cas de figure ont été relevés dans la littérature. Selon l'emplacement et l'horaire, le prix peut être fixe ou progressif en fonction (linéaire ou non linéaire) de la durée. Ce deuxième cas est de plus en plus répandu puisqu'il prend en compte la dimension temporelle. Hunt et Teply (1993) ont calculé le tarif quotidien en divisant le prix mensuel du stationnement par le nombre de jours par mois pour établir un coût équivalent par jour. Lambe (1996) a utilisé une redevance horaire de stationnement pour les véhicules, avec une durée inférieure à 4 heures – au-delà, les automobilistes paient un tarif journalier.

L'analyse des effets de variation du prix de l'offre sur les comportements de la demande est l'une des problématiques les plus anciennes de la modélisation du stationnement. En 1971, Ergun a étudié l'effet du changement de prix sur les choix de la demande. Hess (2001) a évalué l'impact de la gratuité du stationnement sur le choix du mode et de la demande de stationnement pour les migrants. Dans des modèles récents, des scénarios de changement de prix ont été étudiés. Pour Zhi-Chun et al. (2008) et Lam et al. (2006), le prix est étroitement lié au type (sur voirie et hors voirie) et à la durée moyenne du stationnement. Ces modèles le spécifient selon la classe d'utilisateurs, l'heure d'arrivée et la localisation.

Afin de tenir compte de la pression sur l'offre de stationnement, Huang et al. (2005) ont proposé un modèle d'équilibre dynamique (*a time-dependent equilibrium model*) dans lequel ils ont caractérisé les options alternatives de stationnement en fonction de leur type (sur voirie et hors voirie) et selon une structure de prix variable avec le temps (*time-varying parking charges*) prenant en compte l'heure d'arrivée et la durée de stationnement prévue.

L'effet du subventionnement du stationnement des pendulaires a suscité une littérature abondante. Dans une revue des études empiriques analysant comment l'octroi de subventions aux migrants affecte-il les choix de déplacement, Shoup et Willson (1992) ont constaté que la subvention favorise la conduite solo et que la suppression ou l'absence de cette mesure augmente significativement la part des autres modes de déplacement.

¹³² Il est à mentionner, à ce niveau, qu'on ne tient pas compte des modèles de tarification du stationnement qui étudient le prix sous une approche économique d'équilibre du marché et d'internalisation des coûts externes.

Une autre dimension du coût monétaire est relative au coût du stationnement illégal. L'insuffisance de places en quantité et/ou l'absence de contrôle favorisent le recours à cette manœuvre. Afin de refléter l'état réel de l'offre, ce type de stationnement est de plus en plus pris en compte dans les modèles. Ce coût est représenté sous la forme d'une pénalité, calculée en multipliant la probabilité d'être intercepté par la valeur de l'amende (Bifulco, 1993 ; Bates *et al.*, 1997 ; Thompson et Richardson, 1998). La probabilité d'être condamné à une amende dépend de la fréquence de contrôle et de la durée espérée du stationnement (Dell'Orco *et al.*, 2003 ; Gur et Biemborn, 1984 ; Van der Waerden *et al.*, 1993). Hess et Polak (2004) vont jusqu'à spécifier un paramètre de pénalité de coût de risque différent de celui du prix du stationnement légal, et même à y associer une fonction d'utilité spécifique, puisque selon eux, ces deux coûts ne sont pas perçus de la même manière par l'utilisateur.

Les coûts temporels de stationnement

Si le prix du stationnement est expressément configuré dans les modèles, il n'en va pas de même pour toutes les variables de nature temporelle. Nous mettrons l'accent principalement sur la représentation du temps de marche, du temps de recherche et du temps d'attente.

Le temps de marche terminal

Dans les premiers modèles développés, la seule variable temporelle reconnue comme caractéristique de l'offre de stationnement était le temps de marche ou d'accès à partir de la place de stationnement jusqu'à la destination finale (Gillen, 1978 ; Eldin *et al.*, 1981 ; Ergun, 1971 ; Austen, 1973). Généralement, ce temps est représenté par la distance et la vitesse. La distance est mesurée soit par le plus court chemin, comme pour Hunt et Teply (1993) ou Lam *et al.*, (2006), soit par la distance moyenne comme pour Bifulco (1993). La vitesse de marche varie de 1 à 1,4 mètre par seconde (Bifulco, 1993). Toutefois, certaines exceptions existent, notamment pour Austen (1973) qui a adopté l'hypothèse que ce temps est fixe, et pour Lambe (1996) qui a affecté une distance distincte pour chaque destination finale. Une bonne partie des modèles reconnaissent donc explicitement la corrélation entre le temps de marche et la localisation du stationnement.

Dans des modèles d'affectation à l'équilibre, Huang *et al.* (2005), Lam *et al.* (2006), Zhi-Chun *et al.* (2007) et Lam *et al.* (2007) considèrent ce temps comme une désutilité définie par classe d'utilisateurs et par localisation de stationnement. Dans certains modèles, cette désutilité a été calculée pour l'aller et le retour comme dans Lambe (1996). Toutefois, cette pratique est loin de s'établir comme règle universelle.

Concernant la marche, Van der Goot (1982) a employé le concept de l'accessibilité. Il a établi des facteurs d'accessibilité et distingué différents types de places (sur voirie, hors voirie) et de véhicules (voitures, camions et camionnettes de livraison). Il a alors constaté que les espaces de stationnement sur voirie sont plus attractifs car plus accessibles.

Le temps de recherche de stationnement

Le temps de recherche est la quantité de temps passée pour chercher une place disponible. Dans certains modèles, ce temps¹³³ a été intégré comme variable explicative de choix. Cette pratique a touché en premier ressort les modèles de type réseau, comme ceux de Gur et Biemborn (1984) et de Bifulco (1993). Pour les modèles de type non-réseau, la recherche était considérée comme faisant partie du temps de parcours. Malgré l'importance de cette variable, surtout en milieu à forte densité, elle n'a pas reçu l'attention qu'elle aurait méritée dans les premiers modèles. À la fin des années 1980, une reconnaissance du temps de recherche a vu le jour et des hypothèses simplificatrices ont été adoptées. Axhausen (1989b) rattache le temps de recherche au stationnement sur voirie en le considérant comme nul pour le stationnement hors voirie. Par contre, Golias et *al.* (2002) pensent que ce temps ne peut pas être nul. Une approche simpliste a été proposée par Axhausen et Polak (1991) qui ont mis en corrélation le temps de recherche avec le temps de déplacement à bord du véhicule par le biais d'une enquête de préférences déclarées menée à Karlsruhe.

Dans le modèle de Bifulco (1993), une fonction mathématique a été utilisée pour calculer le temps de recherche selon le type et le nombre de places dans les parcs concurrents, l'occupation du parc au début et à la fin de la simulation, la longueur de places et la vitesse de recherche. Thompson et Richardson (1998) ont adopté une approche similaire prenant en compte l'occupation et les caractéristiques géométriques du parking. Ainsi, certaines fonctions du temps de recherche sont dérivées des données empiriques disponibles, y compris l'occupation des capacités et le contrôle de la disponibilité de chaque place. La recherche se poursuit jusqu'au moment où l'utilité espérée passe en deçà de celle procurée par l'option actuelle. Pour Coppola (2002), une forte corrélation caractérise la relation entre capacité et recherche. L'auteur stipule qu'il existe une dépendance circulaire entre le temps de recherche et le nombre d'usagers qui choisissent un parc de stationnement, et il prend en considération, dans son modèle, l'occupation au début de la période de simulation (qui dépend du nombre d'usagers) et le nombre d'arrivées et de départs durant la période.

Pour Huang et *al.* (2005) ainsi que Lam et *al.* (2006), le temps de recherche est fonction de la capacité du parc, de l'accumulation de l'occupation des places et du flux d'accès libre au parc. Plus récemment, Balijepalli (2008) a modélisé, selon une approche d'équilibre, le choix de l'itinéraire et du stationnement. Il a aussi supposé que le temps de recherche dépend de la capacité physique du parc et de son occupation.

Le temps d'attente

Le temps d'attente correspond au temps écoulé jusqu'à l'obtention d'une place. Ce temps peut résulter du fait qu'un parc soit entièrement occupé, comme il peut représenter le temps passé pour entrer ou quitter un site de stationnement. Kawakami

¹³³ Axhausen et Polak (1991) ont défini le temps de recherche comme « The time spent searching and queuing for the parking space ». Pour Thompson et Richardson (1998), « The car park search time is the time a vehicle spends travelling within a car park in order to find a space ».

et *al.* (1994) ont évalué le temps d'attente d'une place de stationnement à l'aide de la théorie de la file d'attente. Ils ont supposé que l'arrivée du flux de stationnement suit la distribution de Poisson. Hunt et Teply (1993) ont pour leur part évalué le temps d'attente en comptant simplement le nombre de places de stationnement dans la zone d'étude. Le plus grand nombre implique un potentiel plus élevé d'attente associé à des véhicules entrants et existants au sein de l'ouvrage de stationnement.

4.3.1.3 Attributs physiques de l'offre

Localisation du stationnement

Le concept de localisation admet deux acceptions : il peut faire référence directement à la place de stationnement si le modèle est à l'échelle microscopique et porter par exemple sur les mouvements des véhicules au sein d'un parc. Si l'échelle est celle de la zone, du centre-ville ou de l'agglomération, les places sont plutôt agrégées par site de stationnement, et la localisation renvoie alors au lieu ou à l'emplacement géographique de ces places (centre, banlieue, périphérie).

Il existe une littérature assez respectable sur les modèles de choix stationnement dans lesquels l'offre est représentée par différentes localisations. Chacune est considérée comme un bien séparé caractérisé par un prix, un stock, une durée et un temps d'accès (ou de marche) à la destination (Gillen, 1978). L'ensemble forme l'univers de choix pour l'utilisateur, comme dans Hunt (1988) et Hunt et Teply (1993). Le choix de localisation est donc la variable à expliquer. Dans d'autres modèles, la localisation est incorporée comme variable explicative du choix. L'offre, non uniformément distribuée dans l'espace, est considérée comme agrégée et représentée de façon très abstraite.

Gillen (1978), dans un modèle de choix de localisation et de relocation du stationnement, a représenté l'offre par sa localisation et ce, pour différents blocs de distance par rapport à la destination finale. Cette approche avait déjà été employée par Austin (1971) qui, quand la distance est inférieure à un bloc, fusionne dans un même centroïde la localisation de stationnement et la destination finale, les différencie dans les autres cas. Tous ces modèles ou presque reconnaissent l'étroite relation entre la localisation du stationnement et la proximité de la destination finale.

Pour les modèles qui sont basés sur une approche réseau, la localisation est de plus en plus traitée comme une partie du réseau, et représentée par un ensemble de nœuds liés au réseau par des tronçons imaginaires (Gur et Beimborn, 1984 ; Bifulco, 1993 ; Van der Waerden, 1997). La topologie des services est donc mathématiquement décrite comme un réseau de nœuds et d'arcs. Chaque nœud possède une position physique. L'emplacement de chaque arc est fonction de l'emplacement de ses nœuds de connexion. Il s'agit, bel et bien, de la représentation classique du réseau utilisée dans les modèles d'affectation du trafic entre O-D.

Nour Eldin et *al.* (1981) étaient parmi les premiers à utiliser une extension du réseau par une séquence d'arcs visant à relier les localisations de stationnement aux nœuds du réseau. Des arcs artificiels de stationnement, de marche et d'accès au stationnement

ont été ajoutés à la configuration initiale du réseau. Les places ayant les mêmes caractéristiques dans la même zone sont agrégées et accumulées dans le même arc de stationnement (par le barycentre). Cette représentation a été retenue ultérieurement dans la plupart des modèles d'affectation. Lam et al. (1999) et Sattayhatewa et Smith (2003) font exception, puisqu'ils ont considéré les localisations du stationnement comme des destinations finales.

Huang et al. (2005), Lam et al. (2006) et Zhi-Chun et al. (2007) ont utilisé le concept de « *Feasible parking location* » pour capturer l'interrelation entre l'offre et la demande. Lam et al. (2006) le définissent comme « *A parking location is referred to as feasible for a certain origin–destination (OD) pair (r, s) and for a certain user class if and only if the walking distance from the parking location to the destination is within an acceptable threshold* ». L'univers de choix de l'utilisateur est déterminé par la distance de marche terminale.

Capacité de l'offre

La capacité de l'offre fait référence au stock de places fournies. D'après Tong et al. (2004), « *the capacity of a parking facility is the number of parking spaces provided in a facility* ». Les modèles de choix étudient la demande selon une situation donnée de l'offre (Young et al., 1991). À ce niveau, la capacité se présente comme une contrainte, eu égard au caractère inélastique de l'offre. Dans les anciens modèles, la capacité de l'offre n'était pas considérée de façon explicite (Ergun, 1971¹³⁴ ; Gillen, 1978 ; Austin, 1973). Ces modèles permettent donc seulement de spécifier les conditions locales et optimales (Young et al., 1991) sans traiter les cas dans lesquels la demande excède l'offre. L'hypothèse que l'offre est suffisamment disponible ou que la demande excédentaire sera réaffectée à d'autres localisations est implicitement adoptée (Gur et Beimborn, 1984). La non-intégration de la capacité de l'offre est d'ailleurs l'une des principales défaillances de ces modèles puisqu'elle remet en cause la qualité des prévisions, sauf si certaines procédures d'équilibre sont incorporées. Pour Florian et Los (1980), il est irréaliste d'étudier le système de stationnement sans tenir compte des contraintes de capacité.

Désormais, les chercheurs essaient d'apaiser cette limite. Les travaux qui ont traité de la capacité statique de stationnement et l'ont incluse comme variable exogène ont permis des améliorations considérables de la qualité et de la pertinence des modèles. Van der Goot (1982) a inclus la contrainte de capacité de l'offre dans un modèle de choix de place de stationnement. Toutefois, l'effet de l'occupation n'a pas été expliqué de façon satisfaisante. L'auteur a suggéré de séparer la capacité des modèles « demande ». Ce résultat est à prendre avec précaution puisqu'il dépend du contexte et des hypothèses sur lesquels se fonde le modèle.

Alors que Axhausen et al. (1988) et Axhausen et Polak (1991) ont carrément négligé la capacité, les modèles suivants se sont efforcés de la prendre en compte. Bradley et al. (1993), dans un modèle de choix de mode et de type de stationnement, Hunt et Teply (1993) dans un modèle de choix de localisation de stationnement, Cassady et Kobza

¹³⁴ Dans ce modèle, une hypothèse explicite sur l'autorégulation entre l'offre et la demande par le prix a été admise.

(1998) dans un modèle d'évaluation des stratégies de sélection des places dans un parc, Van der Waerden *et al.* (1998) dans un modèle de choix de stationnement et de magasin pour le motif « achats », et Dell'Orco *et al.* (2003) dans un modèle probabiliste de choix du type de stationnement, ont représenté la capacité par un stock de stationnement (variable discrète) et l'ont utilisée comme variable explicative des choix. Par ailleurs, Matsumoto et Rojas (1998), dans un modèle de choix discret de stationnement selon un processus hiérarchique et analytique, ont évalué la probabilité de choix d'une place en fonction de la capacité des parcs.

En effet, la dimension statique tend à prévaloir dans ce type de modèles. Les interactions spatiotemporelles et avec d'autres dimensions du système de transport sont quasi absentes. C'est d'ailleurs l'une des pistes de recherche préconisées pour les futurs modèles.

Dans les premiers modèles de distribution et d'affectation du trafic, qui traitent le plus souvent de l'équilibre du système, la capacité a été intégrée de façon statique. La capacité dynamique reflète la capacité effective d'un parc à un moment donné, elle est fonction de la capacité statique, du nombre de véhicules déjà garés et d'autres éléments stochastiques (Young, 1988). Le développement technologique et la forte capacité de simulation des logiciels ont permis l'intégration de la capacité dynamique qui amplifie le niveau de complexité de la modélisation. Les modèles dynamiques d'affectation du trafic se singularisent par cet aspect.

Austen (1973) a ajouté la capacité du stationnement en utilisant une procédure itérative. Florian et Los (1980) ont développé un modèle gravitaire de maximisation d'entropie à double contrainte (capacité de stationnement et du réseau) pour la provision d'un parc relais à l'arrêt de métro de Lindenwood à Montréal. Le nombre total de places de stationnement offertes était déjà connu. Gur et Biemborn (1984) ont développé un modèle d'équilibre déterministe de l'utilisateur pour simuler le choix de stationnement, et ils ont représenté la capacité par le nombre de places dans chaque localisation. Bifulco (1993) a intégré la capacité du stationnement par type comme variable exogène et comme l'un des déterminants pour le temps de recherche de place dans un modèle d'équilibre stochastique de l'utilisateur. Dans Lam et Yang (1999), la capacité minimale de l'offre a été traitée comme variable endogène déterminée à l'échelle du premier niveau d'un modèle de programmation bi-niveau destiné à la modélisation d'un équilibre offre-demande d'un point de vue stratégique.

Une contrainte de capacité a été rattachée à l'offre de transport dans Huang (2005) et Lam *et al.* (2006). Dans ces travaux, des scénarios d'extension de la capacité de stationnement et/ou du réseau ont été spécifiés. Cette contrainte de capacité est présente aussi dans les modèles de Zhi-Chun *et al.* (2007) ainsi que Lam *et al.* (2007), et ce afin de générer les conditions d'optimalité équivalentes aux exigences d'un contexte de modélisation multimodale. Mentionnons que, pour le cas de ces modèles, la contrainte touche explicitement aussi bien la capacité des parcs de stationnement que celle du réseau routier. La plupart de ces modèles consistent donc en une extension des modèles de choix d'itinéraire.

Tam et Lam (2000) ont également établi un modèle sous contrainte de capacité routière et de stationnement pour estimer la motorisation maximale dans une zone. Dans leur modèle, la demande dans la zone d'attraction doit être inférieure ou égale au nombre de places de stationnement dans la zone de destination. De ce fait, ils ont négligé le stationnement illégal puisqu'à leur sens, celui-ci ne doit pas figurer dans un modèle de planification stratégique.

Représentation formelle de l'offre de stationnement sur le réseau routier

La demande se manifeste dans l'espace et dans le temps, et pour pouvoir être modélisée, l'offre doit être représentée de manière formelle. La façon la plus commune de représentation de l'offre dans les modèles d'affectation du trafic est le réseau routier composé d'un ensemble d'arcs et d'un ensemble de nœuds. À la configuration initiale du réseau, des nœuds et/ou des arcs virtuels de stationnement, de marche et de recherche sont ajoutés pour relier les lots de stationnement au réseau. Chaque nœud a une position physique déterminée. Le positionnement de chaque arc est en fonction de l'emplacement de ses nœuds de connexion. Les coûts sur chaque type d'arc sont définis selon les caractéristiques du modèle et sont imputés au coût du déplacement. Les origines et les destinations peuvent correspondre aussi bien à des bâtiments qu'à des zones, selon le niveau d'agrégation spatiale retenu.

4.3.1.4 Attributs d'usage de l'offre

Régulation et contrôle de l'offre

Nous entendons par régulation l'ensemble des modalités de gestion de l'offre de stationnement. Elle peut se faire par la quantité (capacité de l'offre), le prix, la limitation des durées, la restriction d'accès et le contrôle. Les effets de ces modalités sont généralement évalués sous forme de scénarios de changement de l'offre.

Pour déterminer l'offre minimale qui permet de satisfaire la demande, Lam et *al.* (1999) ont étudié le scénario dans lequel l'offre en capacité est inférieure à la demande, et ils ont trouvé qu'alors le temps de déplacement sur le réseau augmente significativement et engendre des retards de stationnement. Dans le cas inverse, celui dans lequel la capacité de l'offre est plus importante que la demande totale, les gains de temps sont moins importants. Thompson et Richardson (1998) ont étudié l'effet de la limitation des durées dans le CBD, et ils ont constaté un changement significatif dans les schémas comportementaux, une réduction substantielle du temps de recherche et une augmentation du temps de marche. La restriction d'accès à certains types d'offre se matérialise sous forme de réservation des places pour certaines catégories d'utilisateurs, comme les places offertes par l'employeur ou les places pour les résidents.

Le contrôle du stationnement illégal est de plus en plus pris en considération dans les modèles. Gur et Biemborn (1984) ont montré qu'une augmentation du niveau de contrôle conduit à un report vers d'autres emplacements licites. Coppola (2002) a constaté que le doublement du prix de stationnement et du montant de l'amende influence plus les comportements des usagers de longue durée de stationnement que

ceux de courte durée. Il est généralement représenté par la fréquence de contrôle et le montant de l'infraction. Dell'Orco (2003) a souligné que la probabilité de choisir de garer illicitement son véhicule dépend de la fréquence du contrôle et de la durée prévue.

Charge de l'offre de stationnement

La charge de stationnement est représentée par l'occupation ou l'accumulation des véhicules à l'intérieur des sites de stationnement. Elle ne concerne que les modèles qui considèrent explicitement la capacité de l'offre. La représentation de la charge de stationnement diffère selon que le modèle est statique ou dynamique. Pour le premier type, elle renvoie à l'accumulation moyenne des arrivées. Van der Waerden et Timmermans (1997) ont utilisé l'occupation moyenne, les durées moyennes et le taux de rotation moyen par parc pour traiter la charge de l'offre.

Pour le deuxième type, elle dépend de l'occupation au début de la période de simulation, des arrivées et des départs pour chaque tranche de temps et de la capacité totale de l'offre. Un ratio volume/capacité définit cette charge et décrit le degré de saturation et de remplissage du parc. Le traitement du remplissage dynamique présente quelques difficultés. Prendre l'hypothèse de la stabilité du flux dans le temps permet d'atténuer la complexité mais remet en cause la pertinence du modèle, à moins que la période de simulation ne soit divisée en intervalles de temps. Puisque les parcs à forte attractivité seront choisis par les premiers arrivés et que leurs profils d'accumulation seront plus importants en début de période¹³⁵, on parlera donc de congestion de stationnement lorsque la charge totale sera de même ordre que la capacité totale.

4.3.2 Caractérisation de la demande

La demande de stationnement peut être définie comme « l'expression des besoins immédiats de garer un véhicule à un lieu donné pendant une durée déterminée pour un motif particulier ». Elle résulte de la nécessité d'accomplir une activité et est, par définition, dérivée de la demande des déplacements par le mode automobile. Elle se matérialise par des flux de déplacement entre des lieux d'origine (zones d'émission) et un lieu de destination (zone d'attraction) au sein duquel des places de stationnement sont sollicitées. La disparité géographique des zones et la variabilité temporelle des besoins se répercutent directement sur les caractéristiques de la demande.

Les modèles « demande » représentent les choix des usagers et sont assez abondants. Ils concernent généralement l'étude des processus décisionnels des automobilistes et des réactions comportementales face au changement des caractéristiques du système et des facteurs qui influencent ces décisions. Les comportements de stationnement sont caractérisés par des relations dynamiques et complexes entre la demande multidimensionnelle, les performances et les quantités de l'offre (Young et *al.*, 1991). La recherche d'une représentation réaliste des comportements a fait émerger de

¹³⁵ Hunt et Teply (1993) ont constaté que les places les plus proches du centre sont occupées en premier, puis qu'avec le temps, la ligne des places occupées s'étend vers l'extérieur du CBD.

nouvelles « logiques comportementales ». Outre celle du choix, les comportements sont de plus en plus traités comme des processus de recherche décrits, souvent, avec des comportements adaptatifs. Dans ce qui suit, nous présenterons les grandes caractéristiques de la demande puis nous passerons à l'analyse des dynamiques comportementales en matière de stationnement.

4.3.2.1 Grandes lignes de représentation de la demande

Sémantique de la demande de stationnement

La demande de stationnement est équivalente au volume des déplacements automobiles des conducteurs attirés vers une zone ; elle représente l'entrée de trafic suivie par une activité de stationnement. La représentation physique de la demande dans les modèles différencie la demande individuelle de la demande collective selon l'échelle considérée. À l'échelle macroscopique, la demande est classiquement exprimée en termes de flux de déplacement obtenus par des matrices O-D ; à l'échelle mésoscopique, elle concerne des groupes de véhicules automobiles attirés vers une zone donnée et aussi appelés « les arrivées » ; enfin, à l'échelle microscopique, elle est représentée de façon désagrégée en termes de conducteurs individuels.

Ladite demande représente donc des taux d'arrivées dans chaque site de stationnement et dans chaque destination finale. Cette dernière renvoie à un lieu déterminé – l'aire d'étude est par exemple le centre-ville (Florian et Los, 1980 ; Hunt et Teply, 1993) – et à une zone, si le modèle traite différentes destinations (Lambe, 1996) avec une certaine agrégation spatiale. Une représentation agrégée des flux selon les destinations, les modes et les catégories d'utilisateurs conduit à une estimation de la demande de stationnement pour une zone urbaine.

À un niveau désagrégé, la demande peut être représentée par l'accumulation de véhicules en stationnement et peut être estimée *via* une évaluation des arrivées et des départs tout au long des différentes périodes de la journée. Des informations sur le profil et le niveau d'accumulation des voitures, leur mode et leur durée de stationnement sont donc utilisées. Cette représentation peut servir dans des modèles statiques et dynamiques.

Demande : variable exogène ou variable endogène ?

Généralement, selon le type de modèle, la demande de stationnement peut être considérée soit comme un ingrédient connu, exogène et donné (Ergun, 1971 ; Hunt et Teply, 1993 ; Bifulco, 1993) – ce qui implique entre autres une inélasticité de la demande –, soit comme une variable endogène estimée par le modèle. L'estimation peut être réalisée par la génération du nombre de véhicules qui arrivent à la destination sur la base des matrices O-D, ou par le calcul des taux d'arrivées (Van der Waerden *et al.*, 1997). À ce titre, Austen (1973) et Gillen (1978) ont évalué le nombre de véhicules générés pour chaque bloc de distance, pour les déplacements des pendulaires.

Dimension temporelle de la demande

Selon le modèle, la demande de stationnement peut être discrétisée à partir de différents créneaux horaires allant de l'heure à plusieurs mois en passant par l'heure de pointe, une période de temps (mi-journée), une journée, des semaines. Il semble donc évident que les modèles qui se focalisent sur de courtes périodes d'observation ne permettent pas d'étudier les changements de comportement de la demande sur le moyen et le long termes.

Dimension spatiale de la demande

Selon la configuration spatiale des destinations, la demande peut concerner un parc donné ou une échelle plus grande, comme le CBD ou le centre-ville. D'ailleurs, la plupart des modèles se rapportent à ce type d'aire géographique. Les modèles relatifs aux choix de stationnement et de mode portent généralement sur une zone urbaine ou suburbaine.

Demande fixe, demande élastique

La dépendance de la demande vis-à-vis du niveau de service (élasticité)
Le coût de circulation... a un impact sur le volume global de la demande
L'hypothèse que la demande est fixe est souvent admise explicitement par les modèles. Récemment, tout comme dans les autres modèles comportementaux, on a pu noter une tendance à modéliser une demande élastique selon les conditions de l'offre. Citons l'exemple du modèle de Coppola (2002) qui traite une demande élastique pour le choix conjoint du mode et du stationnement. Pour Lam et *al.* (1999), la génération de déplacements et l'attraction de la demande sont élastiques à la congestion du trafic et la disponibilité de places.

Segmentation de la demande en classes d'usagers

Dans le but d'affiner la qualité de la modélisation et de saisir l'hétérogénéité des conducteurs, le recours à la représentation de la demande en classes d'usagers homogènes est de plus en plus courant dans la modélisation du stationnement. La segmentation de la demande est typiquement propre aux modèles « demande » (Bifulco, 1996). Elle offre de la flexibilité en termes de représentation des différentes classes de la population et des différentes dimensions de réponse comportementale. Il n'existe pas de règle universelle de ventilation de la demande, toutefois la tendance pour les modèles de stationnement penche surtout vers le motif de déplacement, la durée du stationnement, ou les deux à la fois¹³⁶.

Le recours à la segmentation des usagers ne date pas de très longtemps. La plupart des anciens modèles souffrent d'une lacune commune, celle de considérer une seule classe

¹³⁶ Selon Coppola (2002), « the model should be multi-user, since behavioral responses to changes in parking system could strongly vary with travelers' characteristics (e.g. the desired parking duration, trip purpose,...): it is rather intuitive to understand that an increase of parking fares will affect much more the choice of travellers with long parking stays than those with short parking stays ».

d'utilisateurs (Goyal et Gomes, 1984 ; Gur et Beimborn, 1984 ; Hunt et Teply, 1993). Bifulco (1993) a mis en place une segmentation tridimensionnelle selon le motif, la durée et l'intervalle horaire de début de déplacement. Cette catégorisation a été ensuite reprise dans les modèles d'affectation comme dans Lam et *al.* (2006) et Zhi-Chun et *al.* (2007). Lambe (1996) a regroupé la demande dans un premier temps par périodes de stationnement puis par destinations. Thompson et Richardson (1998) ont pour leur part utilisé le motif et la durée de stationnement. Dell'Orco et *al.* (2003) ont adopté une classification selon la durée, l'origine et la destination des déplacements. Mentionnons aussi l'exemple des modèles de Huang et *al.* (2005) dans lesquels les pendulaires étaient supposés homogènes dans leur évaluation du temps et dans leur perception de l'utilité, mais différenciés par types d'activité, localisations et durées de stationnement. Dans un modèle d'évaluation de l'effet d'un PGIS, Tatsumi (2003) a représenté les automobilistes en trois classes selon leur degré d'information acquise (fixe, guidé, non guidé). Dans certains cas, on opte pour la prise en compte d'une seule classe d'utilisateurs afin de simplifier le modèle, comme dans Lam et *al.* (1999).

Types de données utilisées

Pour investiguer en profondeur les comportements de recherche de stationnement par les usagers, les informations sur les caractéristiques de déplacement de la demande sont souvent issues des données de matrices entre des zones d'origine et de destination et celles d'autres d'enquêtes. Deux types d'enquête sont couramment appliqués : les préférences révélées (Ergun, 1971 ; Austen, 1973 ; Gillen, 1978 ; Van der Goot, 1982 ; Hunt, 1988 ; Hunt et Teply, 1988), les préférences déclarées (Axhausen et *al.*, 1988 ; Axhausen et Polak, 1991 ; Bradley, 1993 ; Van der Waerden, 1993 ; Hensher, 2001), ou une combinaison des deux techniques¹³⁷ afin de remédier aux insuffisances de l'une ou de l'autre (Tsamboulas, 2001). Il est évident que la taille de l'échantillon considéré et la méthode de collecte d'informations influencent la qualité du modèle.

Pour les modèles de choix discret, les données peuvent être proposées en séries temporelles (*time-series*) pour des observations directes des comportements pendant une période de temps ou sous forme de données transversales (*cross sectional data*) pour comparer les réponses des automobilistes à des variations de l'offre en un point dans le temps. Bien que le premier type de données semble plus approprié pour étudier les politiques de stationnement, la plupart des études de stationnement sont basées sur des données transversales.

4.3.2.2 Représentation de la dynamique des comportements de choix

La modélisation de la demande repose sur l'estimation des comportements des automobilistes. Ces comportements sont édictés par des lois qui régissent les décisions à prendre. Les modèles « demande » sont le plus souvent décrits à partir des modèles de choix (Van der Waerden et Timmermans, 1997), en particulier de localisation et de type de stationnement. L'objectif consiste à comprendre, reproduire et prévoir la

¹³⁷ Pour une comparaison détaillée des deux techniques, on pourra consulter Tsamboulas (2001).

façon dont les conducteurs choisissent leur place de stationnement et de connaître les facteurs qui influencent ces choix.

Les choix de stationnement

Les choix sont le résultat d'une interaction complexe entre les préférences individuelles des conducteurs, leur connaissance des caractéristiques de l'offre, la disponibilité instantanée d'une place et les conditions du trafic (Polak et Axhausen, 1990).

Le conducteur est classiquement confronté à un univers de choix assez large. Ainsi, les options de stationnement peuvent renvoyer à différentes localisations selon leur proximité de la destination finale (place en bordure du trottoir ou localisation intermédiaire), à différents types (stationnement sur ou hors voirie, offert par l'employeur, souterrain, illégal...), ou encore, à un niveau spatial désagrégé, à différents emplacements. Les modèles de choix de localisation et de type de stationnement sont les plus développés. Les attributs de chaque option, tels que le prix et le temps de marche, sont généralement supposés connus par le conducteur. Il est à noter que la distance de marche est le principal facteur qui délimite l'univers de choix pour un usager. Feasible parking location

Certains modèles traitent le stationnement avec d'autres choix conjoints comme le mode, l'itinéraire, la durée, etc. Dans ce cas, l'usager procède à des choix simultanés ou consécutifs selon différents ensembles de choix.

Fondements théoriques

La philosophie des modèles de choix de stationnement est fortement calée sur celle des modèles de choix du mode de transport, tant dans leurs principes, leur méthodologie que dans leurs spécifications. La modélisation de la demande est régie par des travaux ayant généralement pour assise théorique la théorie classique de l'utilité aléatoire (Ben Akifa et *al.*, 1985 ; Ortuzar et William, 1994) qui fournit un cadre conceptuel adéquat pour l'étude du stationnement. Bien ancrée dans les théories microéconomiques, elle est souvent adoptée pour la modélisation des aspects comportementaux de la demande. Le concept de base qui gouverne le processus de choix est celui de la désutilité (Gur et Beimborn, 1984), que l'on représente par un coût généralisé associé à chaque option. L'individu est considéré comme un décideur informé, parfaitement rationnel, censé sélectionner l'alternative avec le plus faible coût généralisé.

La désutilité peut être exprimée par deux composantes, dont l'une est mesurable et déterministe (attributs observables) et l'autre est constituée par un terme d'erreur stochastique (attributs non observables) (Caicedo et *al.*, 2006). Elle obéit souvent à une relation linéaire entre les paramètres. (*formule ??*)

Pour le stationnement, la désutilité dépend des attributs de chaque option de choix et se compose essentiellement de variables monétaires et temporelles, ainsi que d'autres

facteurs intangibles comme les inconvénients ou l'inconfort (Austen, 1973). Une unique unité de mesure, soit monétaire, soit temporelle, est admise pour le calcul du coût généralisé. Dans les modèles d'affectation, les coûts de stationnement font partie des coûts des arcs (Bifulco, 1996).

Les choix de stationnement peuvent se présenter comme un arbre de choix avec un ou plusieurs niveaux. Van der Goot (1982) a pour sa part employé un seul niveau. Axhausen et Polak (1990) ont adopté la même structure pour le choix du type dans quatre villes européennes à partir d'enquêtes de préférences déclarées. À l'origine, la plupart des applications étaient basées sur l'utilisation du logit multinomial (MNL) qui, bien qu'il présente des avantages importants en termes de facilité d'estimation, souffre de certains inconvénients.

En ce qui concerne la structure hiérarchique de choix, Hunt (1988) ainsi que Hunt et Teply (1993) ont examiné le choix de type et d'emplacement du stationnement. Un premier niveau a été réservé au choix entre stationnement sur voirie, hors voirie ou offert par l'employeur, et un second niveau a concerné le choix entre différents emplacements d'une même catégorie. Les options étaient, par hypothèse, complètement indépendantes et identiquement distribuées. Une fonction d'utilité composée a été associée aux groupes des options du niveau inférieur.

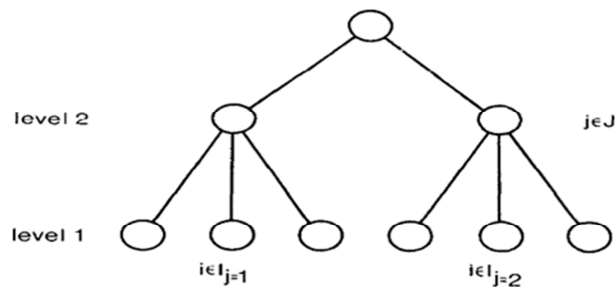


Fig. 1. Example nested structure for nested logit (NL) model.

Figure 4.1: Structure hiérarchique de choix (source : Hunt et Teply, 1993).

Le modèle logit est bien adapté pour résoudre ce genre de problème, cette spécification est d'ailleurs la plus utilisée. Le logit emboîté (*nested logit*) permet d'assembler les différentes options en sous-groupes et de rendre compatibles les éléments du choix. Dans Polak et al. (1990), dans le modèle CLAMP, pour montrer que le changement des services des systèmes de transport et de stationnement affecte le choix de destination, du mode et du stationnement des pendulaires allant vers le centre, une structure à trois niveaux a été adoptée.

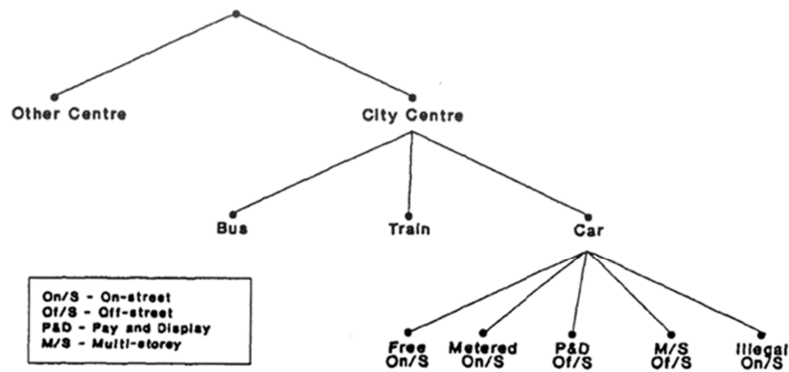


Figure 4.2: Structure hiérarchique de choix de la destination, du mode et du stationnement (source : Polak et *al.*, 1990).

Pour modéliser le choix du type de places de stationnement et de l'itinéraire, Thompson et Richardson (1998) ont utilisé une représentation hiérarchique. Cette même logique a été adoptée dans Huang et *al.* (2005) qui ont conçu une structure de choix hiérarchique tridimensionnel avec choix du type et du lieu de l'activité en premier ressort, choix de la durée de l'activité ensuite, et enfin choix conjoint de l'itinéraire et du stationnement. Pour Lam et *al.* (2006), les individus choisissent d'abord le début et la fin de leurs activités, et sélectionnent ensuite l'emplacement du stationnement qui minimisera leur coût de déplacement. En deuxième niveau, ils choisissent l'itinéraire qui présente le plus court chemin vers cet emplacement.

Hypothèses comportementales adoptées

Il serait illusoire de croire qu'un modèle peut parfaitement expliquer et reproduire les phénomènes observés. Le modélisateur doit impérativement sacrifier certains aspects du problème et énoncer certaines hypothèses simplificatrices. La fiabilité des résultats et la robustesse des modèles sont tributaires du degré de réalisme des hypothèses de base. Nous nous attacherons à expliciter quelques hypothèses relatives à la demande et à discuter leur validité empirique.

Hypothèse de l'information parfaite de l'utilisateur

Un bon nombre de modèles adoptent, implicitement ou explicitement, cette hypothèse qui présume que l'utilisateur dispose d'une information parfaite sur les composantes des coûts des différentes options de choix. Or dans la réalité, les individus, même s'ils connaissent en détail la localisation des parcs de stationnement et leurs tarifs, ne peuvent pas être certains de trouver une place à un moment donné puisque cela dépend de la disponibilité instantanée des possibilités de stationnement. Il est donc impossible d'avoir une parfaite connaissance des différents attributs de l'offre, puisqu'ils sont stochastiques par nature (Thompson et *al.*, 1998). Dans Polak et Axhausen (1990), « *During periods of peak parking demand the spatially diffuse nature of the parking stock and the competition that takes place between drivers for use of the most attractive space*

means that a given driver can never possess perfect information on the instantaneous availability of parking opportunities ». D'ailleurs, c'est en raison de cette information limitée que l'utilisateur s'engage dans une action de recherche de place.

Il est à signaler, en outre, que d'autres types d'information peuvent être alloués à cette hypothèse, tel que la configuration du réseau ou les conditions du trafic, comme dans Huang et al. (2005) et Zhi-Chun et al. (2007), qui ont présumé que l'utilisateur dispose d'une information parfaite sur le stationnement et l'état du trafic. Cette hypothèse présente, en effet, l'une des défaillances comportementales rattachées à ces modèles.

Hypothèse de la hiérarchisation de la structure des choix

Représenter le choix de stationnement comme un processus séquentiel de décisions liées entre elles selon une structure hiérarchique à plusieurs niveaux est très courant. Le recours à cette hypothèse permet de reproduire avec réalisme les comportements des usagers, surtout si le modèle étudie d'autres choix. Dans ce cas, une fonction d'utilité composée est calculée pour le premier niveau de la hiérarchie.

Hypothèse de la stabilité de la demande

La quasi-majorité des modèles de stationnement obéissent à cette hypothèse selon laquelle la demande est uniforme et dans un état stable (*steady state traffic flow*) pendant la période de modélisation. Dans la réalité, la demande est variable dans le temps. Ainsi, la pertinence de cette hypothèse varie selon la longueur de la période de simulation. Dans certains modèles, cette période est divisée en courtes tranches de temps et la stabilité de la demande par intervalles semble plus raisonnable. Les effets du stationnement peuvent être surestimés ou sous-estimés à cause de cette hypothèse.

Hypothèse de l'homogénéité des perceptions de la demande

La variation de la perception des coûts par les usagers est une source majeure de biais. Les modèles déterministes sont critiquables, à ce sujet, car la perception des coûts de stationnement est considérée comme identique pour tous les conducteurs. Or la valeur du temps, par exemple, n'est pas constante et varie d'une personne à une autre, mais aussi pour une même personne selon les circonstances. À ce titre, la segmentation de la demande en classes homogènes permet de répondre en partie à cette hétérogénéité. Les modèles stochastiques reconnaissent cette variabilité de perceptions¹³⁸ et sont bien placés pour la simuler.

¹³⁸ Hess et Polak (2004) ont pris en compte explicitement l'hétérogénéité de la demande à travers un modèle de type « mixed multinomial logit » qui permet de traiter la variation de la perception des usagers, les différences déterministes et aléatoires selon la localisation et le motif de déplacement. Des modèles séparés pour chaque sous-groupe de demande ont été évalués. Les résultats ont montré des différences significatives dans les valeurs du temps de recherche et de marche.

Les variables explicatives du choix de stationnement

À travers les modèles, les analystes essaient de réunir et de mettre en relation des variables pour l'étude des problèmes. Depuis longtemps, de nombreux facteurs, tant quantitatifs que qualitatifs, ont été explicités dans le but de comprendre les choix de type et de localisation des places de stationnement. Les études ont porté sur l'effet de certaines caractéristiques associées aux options de stationnement, au déplacement et à l'individu.

Compromis prix-temps

Les résultats des précédents modèles ont montré que le prix et le temps de marche sont les deux critères les plus décisifs : les individus préfèrent les options les moins coûteuses et situées à proximité de leur lieu de destination finale. Pour l'ensemble de ces modèles, le postulat que les usagers procèdent à un certain arbitrage entre ces deux variables est admis (Ergun, 1971 ; Austin, 1973 ; Gillen, 1978 ; Van der Goot, 1982 ; Axhausen et Polak, 1991). Ainsi, les personnes qui ont une valeur du temps forte sont plus susceptibles de payer, alors que celles qui ont les plus faibles revenus préfèrent marcher¹³⁹. Désormais, tous les modèles ou presque prennent en considération ces deux critères de choix. Il n'en va pas de même pour les autres variables, dont l'importance varie avec l'objectif du modèle.

En effet, le rôle du prix du stationnement n'est pas surprenant, dans la mesure où le tarif est souvent l'une des variables classiques de choix entre deux ou plusieurs options. Une variation du tarif engendre inévitablement un changement de comportement. Gillen (1978) a étudié l'élasticité-prix de la demande et a constaté qu'une augmentation du prix induit une relocalisation éloignée du point de destination. Le prix est placé au centre de plusieurs études, surtout économiques¹⁴⁰.

Par ailleurs, le temps de marche est perçu par les automobilistes comme une perte de temps, et il est, de ce fait, surévalué (Lambe, 1996 ; Golias, 2002). Ce temps dépend de la proximité de la destination, donc de la distance¹⁴¹ et de la vitesse de marche – qui varie d'une personne à l'autre. Hensher (1978) a indiqué que la valeur du temps de marche est deux à trois fois plus importante que celle du temps de déplacement à bord du véhicule (appelé aussi temps d'accès). Cette constatation a été confirmée par les recherches ultérieures. Pour Hess et Polak (1993), l'évaluation du temps de marche est plus élevée que celle du temps d'accès, et pour Lambe (1996), cette valeur est six fois plus importante.

¹³⁹ Selon Golias (2002), tout comme les modèles de choix de déplacement, les variables prix et temps dominent les choix de stationnement.

¹⁴⁰ Pour plus de détails, voir Kelly et Clinch (2006), qui ont étudié trois scénarios de changement du prix à Dublin, et ont constaté que les personnes qui avaient des motifs autres que « Affaires » étaient plus susceptibles de changer leur comportement en cas de hausse du prix. Par ailleurs, Hensher et King (2001) ont examiné le rôle de la tarification sur le partage des places dans le CBD, et Shoup (2006) a étudié le choix des automobilistes entre chercher ou payer.

¹⁴¹ Dans la plupart des modèles, cette distance couvre en moyenne un rayon de 400 à 500 mètres (Lambe, 1996).

Autres variables temporelles

Depuis, les chercheurs ont pris conscience du fait que le prix et le temps de marche ne sont que deux variables parmi tant d'autres, qui s'avèrent avoir des vertus explicatives quand on les intègre dans les modèles.

Pour ce qui concerne, d'abord, les variables de nature temporelle, les analystes ont constaté que le temps de déplacement, le temps de recherche, le temps d'attente, le temps d'accès et de sortie d'un parc, ont aussi un poids considérable dans l'explication des choix.

La prise en compte d'une variable ou d'une autre dans un modèle dépend de sa portée spatiale et de la nature des choix étudiés. Le temps de recherche a reçu une attention particulière, Axhausen et Polak (1990) ont souligné qu'il doit être évalué séparément du temps de déplacement dans l'estimation des modèles, puisque les paramètres de la recherche de stationnement sont significativement différents de ceux du temps d'accès. La recherche de place présente un caractère aléatoire et se heurte à l'incertitude de trouver une place, sa valeur de temps est en conséquence plus importante que celle du temps d'accès (Golias et al., 2002). Selon Polak et al. (1990), elle varie entre 1 et 10 minutes, et entre 5 % et 25 % du temps total de déplacement. Cependant, Shoup (2006) a affirmé qu'au sein des centres congestionnés, ce temps se situe entre 3,5 et 14 minutes en moyenne, et que 8 % à 74 % du trafic est dû à la recherche de place. En outre, Golias et al. (2002) ont remarqué que pour un déplacement vers le travail, le temps de marche semble moins important que le temps dépensé pour chercher une place.

Dans ce même ordre d'idées, les analyses ont révélé des différences importantes d'évaluation de la valeur des composantes temporelles selon le motif, la localisation et le type de stationnement ainsi que selon la ville. D'après Hess et Polak (2004), « *The analysis has shown important differences in the valuation of the components of travel time across different locations and across different journey purposes. Indeed, while access time was valued the lowest in Birmingham and Coventry, it was valued higher than search time and egress time in Sutton Coldfield. Also, while egress time is valued second highest in Birmingham and lowest in Sutton Coldfield, it is valued higher than access time and search time in Coventry, to such an extent that the estimated value of egress time in Coventry is actually more than four times larger than the value of search time and more than five times larger than the value of access time. As for the differences across journey-types, it was observed that workers value egress time the highest, while shoppers place more importance on search time, rating it over three times as highly as workers do (when taking into account the full distribution of the value of time)* ». Des différences substantielles semblent donc s'établir selon le motif.

Motif et durée de stationnement

Certains modèles se sont focalisés sur le stationnement des pendulaires puisqu'ils présentent certaines particularités comportementales (longue durée, fréquence de

déplacement, etc.)¹⁴². D'autres ont segmenté la demande selon le motif de déplacement (Bifulco, 1993 ; Van der Waerden et *al.*, 2003 ; Wong et *al.*, 2007) en distinguant les pendulaires des non-pendulaires (Lam et *al.*, 2006), les motifs contraignants de ceux qui ne le sont pas (Coppola, 2002) et les résidents des non-résidents (Polak et Axhausen, 1990). Les résultats de ces modèles mettent en évidence des variations significatives de valorisation du temps selon le motif. Une autre variable explicative des choix de stationnement, directement corrélée avec les motifs de déplacement, est bel et bien la durée de stationnement.

Autres caractéristiques de l'offre

D'autres caractéristiques ergonomiques et de qualité de service de l'offre interviennent, de façon non négligeable, dans l'orientation du choix des automobilistes. Il s'agit, à juste titre, du type de parc, de son emplacement, de sa position géographique, de sa capacité, de sa sécurité, de la disponibilité instantanée d'une place, de l'information disponible, de la fréquence du contrôle et du montant de l'amende associée au stationnement illicite.

Caractéristiques de l'usager

Utilisées dans certains modèles, les variables socio-économiques (âge, sexe, revenu) se sont avérées très peu, voire pas du tout significatives. Toutefois, certaines de ces variables peuvent intervenir indirectement dans le coût et les paramètres temporels des alternatives de stationnement (Ergun, 1971 ; Golias, 2002 ; Van der Waerden et *al.*, 2003). Elles peuvent aussi servir de variable proxy ou variable muette (*dummy*) pour calibrer les modèles. Pour ce qui est de l'expérience individuelle de stationnement, Thompson et Richardson (1998) ont constaté qu'elle n'a qu'un effet assez marginal : une longue expérience ne conduit pas à de meilleurs choix, ce qui peut s'expliquer en partie par l'incertitude de trouver une place libre.

Résultats de quelques modèles

Pour le choix de localisation, Van der Goot (1982) a trouvé que les individus préfèrent les parcs hors voirie avec de faibles taux d'occupation dans le but de minimiser le temps de recherche de place. Gur et Biemborn (1984) ont souligné que l'automobiliste procède à un compromis entre le temps de marche, le temps de recherche et les coûts associés au stationnement. Hunt (1988) a constaté que ce choix n'est pas influencé seulement par le prix et la proximité de la destination, mais aussi par l'orientation géographique du parc par rapport à l'axe principal de circulation, son type et le temps de recherche et d'attente d'une place. Les automobilistes préfèrent le stationnement hors voirie car il nécessite moins de temps d'accès et de sortie.

Pour Polack et Axhausen (1990) « parking choices are typically the outcome of a complex interaction between individual drivers parking preferences, their prior knowledge of the characteristics of the parking stock, the instantaneous availability of

¹⁴² Voir Hunt et Teply, 1993 ; Arnott, André de Palma et Lindsey, 1991 ; Willson et Shoup, 1990 ; Lam et al., 2007 ; Balijepalli et al., 2008.

parking opportunities and prevailing traffic conditions ». Thompson et Richardson (1998) classifient les variables de choix selon l'usage (prix, amende et temps de marche), l'attente (temps d'attente), et l'accès (temps de déplacement, temps de recherche). Bradley et al. (1993) ont conclu que le stationnement hors voirie devient plus attractif sur de longues durées.

Pour le choix du type, Golias et al. (2002) ont proposé un modèle de choix entre stationnement sur voirie et hors voirie, et le résultat indique que le prix et la disponibilité des places sont les critères les plus décisifs. Shoup (2006) a supposé que le stationnement sur voirie est gratuit mais nécessite un temps de recherche, et que hors voirie, il est payant mais immédiatement disponible et que le temps de marche est le même pour les deux types. Il a inclus les variables suivantes dans son modèle : le prix du stationnement sur voirie, la durée de stationnement, le temps de recherche d'une place sur voirie, le coût de l'essence pour la recherche, le nombre de personnes dans le véhicule, la valeur du temps, et il a calculé le temps de recherche à l'équilibre pour lequel l'automobiliste montre une indifférence entre les deux choix. Ce temps est de l'ordre de 6 minutes qui équivalent au paiement d'1 dollar.

Asad et al. (1993) ont cherché à savoir comment évaluer et mesurer la connaissance des parcs de stationnement et comment elle influence d'autres variables de choix. Cette connaissance peut être aussi bien statique (nom, localisation et taille du parc) que dynamique (occupation, disponibilité, file d'attente...). D'après les résultats de cette recherche, avec des niveaux de connaissance variables, les usagers se comportent différemment dans des situations semblables. Le choix du parc est essentiellement déterminé par le prix, la capacité et la proximité de la destination. Pour Lam et al. (2006) et Zhi-Chun et al. (2007), les comportements de stationnement sont affectés par la demande de déplacement, la distance de marche, la capacité des parcs et le prix.

Interdépendance entre les variables

On ne doit pas perdre de vue que les variables de choix ne doivent, en aucun cas, être évaluées de manière absolue puisqu'elles sont indirectement corrélées. En effet, une longue durée de stationnement légitime un temps de recherche plus considérable qu'une courte durée. La durée détermine aussi le prix du stationnement. Ce dernier peut être influencé par le revenu de l'automobiliste. La charge de l'offre se répercute sur la disponibilité de places et donc sur le temps de recherche, qui peut être déterminé à son tour par le niveau d'information acquis et l'heure de départ.

Enfin, quelles que soient les variables explicatives retenues, il est raisonnable d'admettre que le choix final est influencé, mais pas complètement déterminé, par ces variables explicites puisque, si certaines renvoient à une réalité physique facilement mesurable – comme le prix –, d'autres sont moins facilement quantifiables mais tout aussi concrètes – comme la qualité de service de l'offre. Une question d'importance cruciale est la différence de perception et d'évaluation des critères de choix par les automobilistes.

4.3.2.3 Les comportements de recherche de stationnement

Cette approche en est à ses débuts (Golias, 2002). Elle met en avant le phénomène de recherche et le considère plus comme un schéma comportemental de stationnement que comme un processus qui finit par un choix. Les modèles « recherche » tentent de remédier aux lacunes des modèles antérieurs qui ne prenaient pas en considération les aspects temporels et dynamiques des choix liés à l'incertitude sur la disponibilité d'une place.

Leur assise théorique est très similaire à celle des modèles de choix de stationnement, les différences se situent surtout au niveau des hypothèses adoptées. Ces modèles « recherche » sont souvent évalués à une échelle microscopique et nécessitent des données assez fines. Ils permettent de reproduire les comportements des conducteurs assez finement, leurs choix d'itinéraire, leurs choix de sens de la circulation, des files d'attente, l'effet sur la circulation et le réseau (Thompson et Richardson, 1998 ; Arnott et Inci, 2005). Ils sont donc désagrégés et stochastiques, et traitent les aspects aléatoires et dynamiques du système.

Polak et Axhausen (1990) ont effectué une revue de littérature sur la recherche de stationnement, qu'ils définissent comme « the process by which drivers are able to reconcile their parking intentions with the actual availability of parking opportunities. During the search process drivers inspect a succession of parking opportunities which they can either accept (and park) or reject (and continue to search) according to their evaluation of the attractiveness of each opportunity¹⁴³ ». Thompson et Richardson (1998) considèrent le processus de recherche comme un nombre de décisions liées entre elles et prises à différents points dans le temps. L'utilisateur commence sa recherche, examine et évalue les opportunités disponibles, et selon les cas accepte ou refuse l'option proposée. Dans ce dernier cas, il décidera d'attendre la libération d'une place ou de reprendre la recherche. Il s'agit ainsi d'un processus séquentiel qui fournit une excellente représentation des comportements de choix du parc dans un centre urbain.

¹⁴³ Ils ont proposé le concept de « Parking Search Strategy » pour qualifier l'ensemble des règles comportementales adoptées par l'automobiliste pour trouver une place. Ils ont fixé sept stratégies selon la perception du conducteur du stationnement illégal (voir aussi Caicedo et al., 2006).

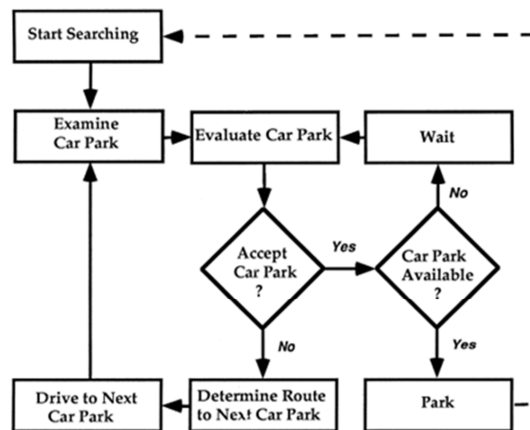


Figure 4.3: Processus de recherche de stationnement (source: Thompson et Richardson, 1998).

Thompson et Richardson (1998) ont adopté cette approche pour simuler les choix de stationnement et d'itinéraire avec une prise en compte explicite du réseau, de la capacité, de l'occupation des parcs, de la taille de la file d'attente et de la perception subjective des valeurs du temps par les usagers. Benenson et *al.* (2008) ont proposé le modèle PARKAGENT basé sur les agents pour l'étude de l'effet d'une augmentation de l'offre sur les comportements de stationnement.

Van der Waerden et *al.* (2003) se sont intéressés à la recherche à l'intérieur du parc, et ils ont constaté que la distance d'une part, entre la position de la place de stationnement et l'horodateur, et d'autre part, entre la position de la place et le point de sortie déterminent le comportement de l'automobiliste¹⁴⁴.

Sous l'égide de cette approche, le rôle de la connaissance¹⁴⁵ de l'offre et de l'information dans l'orientation des comportements a suscité un grand intérêt auprès des chercheurs. Ces dernières années, avec le développement des PGIS (*Parking Information and Guidance System*), les modèles se tournent vers l'étude de l'effet de l'information en temps réel sur les comportements des automobilistes (pour un approfondissement, voir Axhausen et *al.*, 1994 ; Allen, 1993 ; Tatsumi, 2003 ; et Zhang et *al.*, 2009).

4.3.2.4 Les comportements adaptatifs de stationnement

La non-prise en compte de la contrainte de capacité de l'offre dans les modèles de choix de stationnement admet l'hypothèse implicite que le conducteur effectue un choix libre et que l'offre est suffisamment disponible. Or ce n'est pas toujours le cas. Les comportements adaptatifs sont nés de cette discordance entre les modèles théoriques et le monde réel. Lorsque les conducteurs se trouvent face à un parc

¹⁴⁴ Voir Benenson et Martens (2008).

¹⁴⁵ Voir Asad et *al.* (1993).

occupé et à une congestion du stationnement, ils doivent adapter leurs choix en fonction des circonstances.

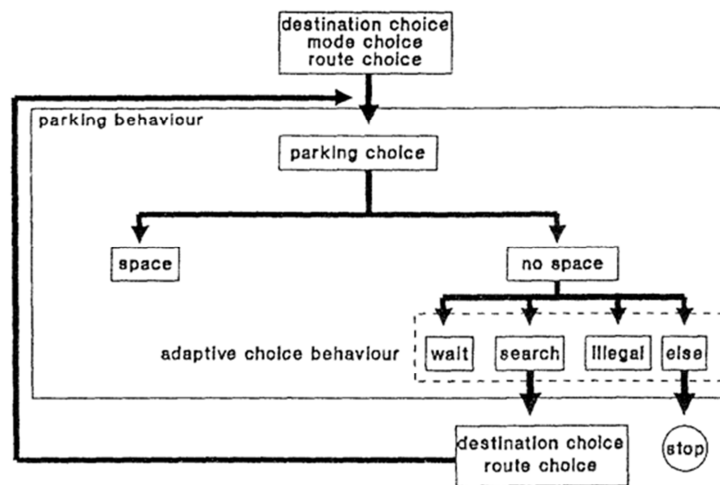


Figure 4.4: Représentation des comportements adaptatifs de choix (source : Van der Waerden et al., 1993).

Van der Waerden (1993) a proposé un modèle de choix des comportements adaptatifs. Il a modélisé les réactions des conducteurs confrontés à une saturation du parc visité par un logit polychotomique. Trois stratégies de choix adaptatif ont été identifiées : attendre qu'une place soit libérée, utiliser une place illégale, ou continuer la recherche dans un autre parc. La probabilité de choix d'une stratégie ou d'une autre dépend de plusieurs facteurs : nombre de parcs visités, temps d'attente prévu, nombre de véhicules en attente, perception du coût du stationnement illégal, probabilité de trouver une place. L'auteur a conclu que le temps d'attente maximal acceptable est de 5 minutes et que le prix n'est pas significatif dans ce type de comportement.

Le modèle ci-dessus se base sur les données d'une enquête de préférences déclarées et fait partie d'un modèle de simulation des choix de stationnement. À notre sens, la considération des comportements adaptatifs dans les modèles d'affectation est l'une des pistes de recherche future. Elle permettra de mieux représenter les comportements des conducteurs et de quantifier les effets de congestion de stationnement sur la circulation.

4.3.2.5 Couplage du stationnement avec d'autres choix de déplacement

L'importance des interdépendances entre système de transport et système de stationnement dans les processus de planification constitue le fondement de modélisation des choix de stationnement simultanément avec d'autres choix de déplacement. En effet, une bonne part des travaux modélisent les choix de stationnement de façon isolée. Dans la réalité, la demande de stationnement influence et est influencée par d'autres choix tels que le mode, l'itinéraire, la destination et même l'activité. D'ailleurs, selon Zhi-Chun et al. (2008), « *it is necessary to study the combination of*

travel and parking choices in a unified framework ». Négliger cette spécificité rend la représentation peu réaliste et peut donc conduire à une mauvaise spécification.

Choix commun du mode et du stationnement

L'usage de l'automobile est inévitablement suivi par une activité de stationnement. La modélisation conjointe du choix du mode de déplacement et du type de stationnement a connu son essor avec la naissance du concept de parc relais, considéré comme une solution intéressante pour attirer les automobilistes vers les transports en commun. D'après Young et *al.* (1991), le prix et le temps de recherche de place influencent, d'une façon ou d'une autre, le choix du mode de déplacement.

Florian et Los (1980) ont proposé un modèle agrégé de choix du parc relais sous une approche de maximisation de l'entropie en considérant la capacité de l'offre, sans pour autant modéliser explicitement le choix modal. Gantvoort (1984) a étudié l'effet de restriction de la capacité de l'offre de stationnement sur le choix modal, il a constaté des changements dans les comportements de stationnement et un report modal considérable de la voiture vers les transports collectifs, le vélo ou le covoiturage. Bradley (1993) a étudié différents segments d'offre, dont le P + R. Son modèle avait pour objectif d'étudier les effets du changement de l'offre de stationnement sur le mode de transport utilisé à court terme. Les effets à plus long terme peuvent être analysés par le modèle CLAMP (Polak et Axhausen, 1989). Coppola (2002) a utilisé un *nested logit* pour représenter les choix successifs de mode de déplacement (moto, voiture, marche et bus) d'abord, et du stationnement des pendulaires ensuite par un logit multinomial pour la ville de Los Angeles. Il en a conclu que la subvention du stationnement augmente significativement la probabilité d'aller au travail en conduite solo, et qu'il existe une relation linéaire entre le prix du stationnement et le choix modal. Citons enfin les modèles de Lam et *al.* (2007) et de Zhi-Chun et *al.* (2007), dont une description plus détaillée figure dans la section suivante.

Couplage du stationnement avec d'autres choix de déplacement

La modélisation combinée du stationnement avec d'autres choix de déplacement (heure de départ, itinéraire, destination, etc.) est de plus en plus répandue. À ce titre, le couplage avec le choix d'itinéraire se fait par les modèles d'affectation du trafic dont la structure conceptuelle offre un cadre propice à cette combinaison. Par ailleurs, les usagers peuvent différer ou anticiper l'heure de leur déplacement s'ils espèrent alors rencontrer de meilleures conditions. Les modèles dynamiques offrent la possibilité de simuler les choix qui dépendent du temps, tels que le choix d'heure de départ ou d'heure d'arrivée, et le choix des durées de stationnement. C'est d'ailleurs l'objet du modèle de Lam et *al.* (2006). D'autres exemples de travaux de ce genre sont explicités dans la section suivante.

Le choix de destination finale et du stationnement a fait l'objet de certains travaux. Évoquons à titre illustratif le travail de Van der Waerden et Timmermans (1998) dans lequel l'automobiliste choisit son stationnement et le magasin à visiter, ou de Huang

et *al.* (2005) qui ont étudié le choix d'activité (localisation et durée) et du stationnement.

4.4 L'interaction spatiotemporelle offre-demande : vers un équilibre du stationnement

Après avoir décrit de façon séparée les représentations des deux composantes fondamentales du système de stationnement, à savoir l'offre et la demande, nous pouvons nous pencher sur les modèles d'interaction qui caractérisent leurs relations.

Les modèles « demande » sont généralement dimensionnés selon une offre déterminée, ils ignorent donc les dynamiques de l'offre (le processus de chargement et d'accumulation des véhicules, la variation du temps de recherche...). Les modèles « offre » représentent de façon très abstraite la demande et négligent ses dynamiques (variabilité spatiotemporelle, comportements, choix). Bien que ces deux types de modèles jouent un rôle central dans l'étude du stationnement, leur portée demeure partielle car ils ne traitent qu'une seule face du problème et sacrifient le caractère interactif du système. Dans la réalité, la qualité de service de l'offre et les choix de la demande sont interreliés et s'influencent mutuellement dans le temps et dans l'espace. Les modèles d'interaction se prêtent à une représentation systémique du stationnement, ils caractérisent sa dynamique interne et l'ensemble des changements qui surviennent. Il importe de savoir que les effets de ces interactions s'échelonnent sur des temporalités différentes (court, moyen et long termes) et qu'ils touchent aussi bien le système de stationnement que le système de transport.

Le stationnement se caractérise souvent par un équilibre temporaire et un déséquilibre permanent. Malgré cette particularité, le concept d'équilibre est le plus approprié pour modéliser ses interactions et leurs effets. La modélisation de l'équilibre propose un cadre conceptuel approprié pour l'aide à la décision. Dans ce qui suit, après une présentation desdits effets, nous esquisserons les modèles d'interaction à court et à long terme.

4.4.3 Effets de l'interaction offre-demande

Les relations entre l'offre et la demande de stationnement sont très dynamiques. Nous distinguons trois situations différentes. La première situation relève d'une offre supérieure à la demande. Outre les faibles taux d'occupation des parcs, le gaspillage et la concurrence de consommation de l'espace¹⁴⁶, cet état de fait est contrebalancé car il induit une demande additionnelle de stationnement (Lam et *al.*, 1999). On se retrouve alors vite dans la deuxième situation où la demande excède l'offre. C'est le cas des centres urbains denses où la rareté de l'espace s'impose comme une contrainte

¹⁴⁶ Elle revient à l'occupation due au stationnement sur voirie en double file et aux manœuvres d'entrée et de sortie des espaces de stationnement hors voirie. Ce phénomène participe considérablement à la congestion routière.

majeure. Les effets de ce déséquilibre sont assez connus, principalement la congestion du stationnement et de la circulation.

La congestion du stationnement découle d'une situation de saturation de la capacité d'un parc ou de l'offre en général, avec un ratio volume de demande/capacité qui avoisine ou dépasse l'unité. Elle a pour conséquence d'allonger les temps de recherche de place et la durée des manœuvres d'entrée et de sortie des véhicules. Coppola affirmait déjà en 2002 qu'il existe une dépendance circulaire entre le volume de la demande et le temps de recherche.

La congestion de la circulation découle en partie de la demande excédentaire de stationnement qui se manifeste aussi bien par la formation des files d'attente à l'entrée des parcs que par la circulation de recherche de place entre différentes localisations. Ces véhicules se propagent sur le réseau, se mêlent au trafic existant et ralentissent les vitesses de circulation. Ce phénomène amplifie la congestion routière et prolonge les temps de parcours des conducteurs. Les conséquences de cette situation se matérialisent sous forme d'une pollution acoustique et atmosphérique, d'un gaspillage de ressources et plus généralement d'une dégradation de l'environnement et de la qualité de vie.

La gestion des interactions entre l'offre et la demande constitue la genèse même des politiques de stationnement. Aujourd'hui, la tendance revient à maîtriser la demande par l'offre, à travers une modification de ses caractéristiques comme la variation de la capacité, des prix, des types, le renforcement de la régulation et du contrôle, la réglementation d'accès et d'usage, etc. Les réactions comportementales de la demande face à ces mesures dépendent fortement du motif et des circonstances. Elles peuvent aboutir à des changements de localisation ou de type de stationnement, de l'heure de départ, du mode utilisé, de la destination finale, ou même par une annulation du déplacement (Feeney, 1989 ; Young et *al.*, 1991). Coombe et *al.* (1997) évoquent même un changement du taux d'occupation des véhicules, de la fréquence des déplacements, de la durée du stationnement et de l'itinéraire.

Il en résulte que la mise en œuvre sur le terrain de politiques de stationnement conduit à un basculement progressif des deux premières situations de déséquilibre vers une troisième qui est celle de l'équilibre, qui est optimale dans le sens où elle permet de satisfaire la demande et de garantir la performance de l'offre.

Bien que le but ultime, qui est de parvenir à l'équilibre, ne puisse jamais être obtenu dans le monde réel, le concept d'équilibre constitue la pierre angulaire pour modéliser les interactions entre l'offre et la demande, en présence ou non de congestion, de manière statique ou dynamique et avec des choix déterministes ou stochastiques.

4.4.4 Modélisation de l'équilibre de stationnement

Le concept d'équilibre est dérivé des principes fondamentaux de la théorie économique. Il fournit un cadre conceptuel adéquat pour la modélisation des interactions entre l'offre et la demande, et détermine les conditions dans lesquelles

l'utilisateur va effectuer son déplacement selon les qualités de l'offre en question. La modélisation de l'équilibre du stationnement a reçu très peu d'attention, et ce à cause d'une part, de la complexité du système et d'autre part, de la difficulté de traitement de l'axe temporel.

4.4.4.1 Intérêt des modèles d'équilibre de stationnement

Les modèles d'équilibre constituent des outils puissants de compréhension et d'évaluation des changements de comportement de la demande suite à une variation des qualités de l'offre. Ils proposent un éclairage pertinent sur les impacts de ces politiques à court et à long terme. Ces modèles admettent une grande variété d'applications et présentent un support efficace d'aide à la décision pour la planification stratégique et la conception des politiques de gestion de stationnement. La représentation conjointe des attributs de l'offre et des critères de choix de la demande dans ce type de modèle traduit le fonctionnement et l'évolution du système.

4.4.4.2 Temporalité des modèles d'équilibre de stationnement

Comme nous l'avons déjà évoqué au début de ce chapitre, les modèles de stationnement peuvent porter sur différentes échelles spatiales. Les modèles d'équilibre peuvent concerner des granularités temporelles différentes. Nous différencierons les modèles de court terme de ceux de long terme.

Modèles d'interaction à court terme

Nous nous intéresserons ici plus particulièrement aux modèles économiques et aux modèles d'affectation du trafic, qui ont été à l'origine d'avancées considérables dans l'approche de modélisation de l'équilibre du système de stationnement.

Les modèles d'affectation du trafic

Un modèle d'affectation du trafic routier simule le choix d'itinéraire opéré par un automobiliste sur un réseau routier, en fonction des caractéristiques du conducteur et du réseau (Leurent, 1995). Ce modèle présente l'avantage de relier des faits corrélés de choix des usagers, de la structure de l'offre (configuration, contrainte de capacité, volume des flux...) et d'affectation des flux sur les arcs. Il permet de simuler la réaction de la demande face à une modification de l'offre. Bien entendu, ce type de modèle est basé sur une approche réseau.

Le cadre conceptuel d'étude des problèmes d'affectation sur le réseau fournit un environnement approprié pour la modélisation de l'équilibre de stationnement. Ces modèles permettent l'affectation des véhicules aux espaces de stationnement concurrents juste avant ou en même temps que l'affectation des véhicules sur le réseau. Ils considèrent simultanément les choix d'itinéraire et les choix de localisation du stationnement, et permettent de déterminer de quelle façon les voitures se répartissent sur le réseau et dans les places des différents types de sites de

stationnement. Des arcs artificiels de stationnement et de marche sont ajoutés à la configuration initiale du réseau, engendrant des coûts supplémentaires pour l'utilisateur.

Les informations d'entrée d'un modèle d'équilibre sont constituées de deux éléments. D'une part, d'un sous-modèle de demande qui présente le résultat des processus de prise de décision des individus, considérés comme rationnels et omniscients. Le comportement de l'utilisateur suit donc une action d'optimisation qui revient à minimiser son coût généralisé de déplacement. D'autre part, d'un sous-modèle d'offre qui définit la configuration du réseau et les fonctions de chaque type de coût. Classiquement, en présence de stationnement, le coût généralisé pour un usager est composé du temps de parcours à bord du véhicule de l'origine à l'emplacement du stationnement choisi (très important, il dépend du temps de parcours à vide et de la charge du réseau), du temps de recherche de place dans le parc, du prix du stationnement et du temps de marche jusqu'à la destination finale. Chaque élément de ce coût est représenté par une fonction mathématique qui dépend des caractéristiques du modèle en question, avec une même unité de mesure et certains paramètres de pondération pour les valeurs de temps. L'estimation du coût généralisé se ramène à la somme de ses composantes.

La caractérisation de l'équilibre renvoie à un état stable soumis à des forces qui sont contrebalancées sous l'effet de la pression de la demande et de la réaction de l'offre (croissance du temps de parcours en fonction du débit et du temps de recherche de place dans un parc en fonction de son occupation). Le principe de base d'affectation à l'équilibre est la minimisation du coût généralisé pour tous les usagers. Ainsi, pour chaque paire O-D et chaque classe d'utilisateurs, l'équilibre de stationnement est atteint lorsque aucun conducteur ne peut réduire son coût en procédant unilatéralement à un autre choix, cette condition est appelée condition d'équilibre de l'utilisateur. Il en résulte qu'à l'équilibre, les coûts des options utilisées sont égaux et minimaux, inférieurs à ceux des options non utilisées. En ce sens, l'équilibre de stationnement est calqué sur l'équilibre d'affectation. L'état d'équilibre s'établit par calcul itératif à partir d'une affectation par tranches.

Les modèles d'affectation du trafic qui traitent le stationnement sont en mesure de simuler les effets de la congestion du réseau et de la congestion du stationnement, et ce par la prise en compte explicite des contraintes de capacité des arcs et des parcs. Ils peuvent porter sur un réseau monomodal ou multimodal. Bien qu'il existe une littérature de recherche extrêmement riche sur les modèles d'affectation du trafic, les modèles d'équilibre de stationnement sont assez rares.

La spécificité de modélisation du stationnement réside dans la façon de traiter son attrait temporel et sa dynamique d'incertitude de l'existence d'une place libre dans le lieu de destination. Ainsi, afin d'explicitier plus en profondeur les aspects particuliers des modèles d'équilibre de stationnement, nous avons choisi de les catégoriser d'abord comme statique et dynamique, ensuite comme déterministe et stochastique.

De l'équilibre statique à l'équilibre dynamique

La considération explicite de la dimension temporelle du système, de la variabilité de la demande et du chargement graduel des réseaux dans le temps font la différence entre un modèle statique et un modèle dynamique.

Les modèles d'équilibre statique

Un modèle statique présente l'état du système sur une période donnée, avec des niveaux de demande maintenue uniforme (*steady state traffic flow*) et en présence de conditions de trafic stationnaires (trafic moyen sans écoulement de temps) tout au long de la période de simulation. Les interactions offre-demande sont censées aboutir à une situation d'équilibre stable pendant ladite période.

Nour Eldin et *al.* (1981) ont développé un modèle différent des modèles traditionnels d'affectation en considérant l'interaction entre l'offre et la demande de stationnement par type et par localisation. Le réseau était caractérisé par type d'aire spatiale (CBD, banlieue résidentielle, centre du district externe au CBD et zone rurale). Une procédure d'affectation incrémentale a été utilisée avec chargement d'une partie de la matrice O-D dans un premier temps, ensuite des nouveaux temps de déplacement ont été calculés pour la partie restante. La procédure se poursuit jusqu'à l'équilibre. Bien que ce modèle n'ait pas été validé, sa méthode a été reprise dans les modèles suivants. Le modèle de Gur et Beimborn (1984) en fait partie. La demande était supposée uniforme pendant la période de simulation. Les temps de parcours étaient fixes et identiques pour tous les conducteurs. Un temps moyen de recherche a été calculé selon la capacité statique du parc, le volume de la demande et l'accumulation moyenne de véhicules pendant la période de simulation.

Lam et *al.* (1999) ont modélisé le choix d'itinéraire, de stationnement et de destination pour une demande élastique aux effets de la congestion routière. Les temps de parcours sur les arcs étaient continus et croissants en fonction des flux. La demande par zone a été générée à l'aide d'un modèle d'attraction pour déterminer la capacité minimale nécessaire selon les contraintes de la demande. Les coûts de stationnement dépendent du flux en libre accès au parc, du temps de recherche de place et du prix. Dans ce même ordre d'idées, un modèle d'équilibre bimodal (voiture et parc relais) a été proposé par Lam et *al.* (2007), en prenant en compte le choix d'itinéraire, de stationnement et de mode pour une demande élastique à la congestion. Un modèle d'équilibre multimodal a été développé par Zhi-Chun et *al.* (2007) pour l'évaluation des politiques de transport avec des contraintes de capacité. Dans ces deux derniers modèles, le coût de recherche dépend du flux en libre accès au parc et de la demande divisée par la capacité offerte. Pour l'ensemble de ces travaux, le temps de parcours correspond à la somme des coûts sur chaque arc emprunté. Il peut dépendre du volume des flux mais pas dans le temps. Par ailleurs, les temps de recherche sont calculés à partir d'un ratio volume/capacité. Bien qu'elle constitue un aspect primordial de modélisation du stationnement, l'accumulation des véhicules dans les parcs apparaît à la marge.

Même s'ils sont en mesure d'intégrer la congestion du trafic, les modèles statiques ne reflètent pas tout à fait la réalité, car ils ne peuvent capturer ni l'interaction entre véhicules sur le réseau, ni l'interaction entre les véhicules et l'infrastructure. La congestion du stationnement au sein des parcs ne peut donc être étudiée par ce type de modèle.

Les modèles d'équilibre dynamique

Les modèles dynamiques prennent explicitement en compte l'écoulement du temps ainsi que la propagation physique du trafic sur le réseau et le chargement des infrastructures de stationnement. Ils permettent de capturer les aspects temporels de l'état du réseau et des comportements de la demande et de prévoir les variations des flux résultant d'un changement instantané du niveau de la demande, des capacités du réseau, de la vitesse de circulation, de la congestion, ou de l'information en temps réel.

Souvent, l'intervalle d'affectation est divisé en plusieurs tranches temporelles de courte durée. Le seul lien entre deux tranches de temps successives est en rapport avec le calcul de l'occupation et le mécanisme de chargement de l'infrastructure de stationnement (Bifulco, 1993). La charge et le temps généralisé sont déterminés séparément pour chacune de ces tranches. Cette subdivision de l'intervalle de simulation illustre la variabilité des volumes de la demande de stationnement pendant la journée, même dans l'hypothèse d'une stabilité au sein de chaque tranche de temps. Les modèles dynamiques sont intéressants car ils permettent de représenter les états provisoires de saturation du réseau ainsi que l'évolution de la congestion de stationnement qui induit l'allongement des temps de recherche. Outre le choix d'itinéraire et de stationnement, un modèle dynamique peut être utilisé pour les choix de l'heure de départ ou d'arrivée et des durées de stationnement. On note enfin que dans un modèle dynamique, l'équilibre est calculé à chaque instant.

Du point de vue de la composition des fonctions des coûts de l'offre, les principales différences entre un modèle d'équilibre statique et un modèle d'équilibre dynamique concernent le calcul des coûts dans chaque intervalle de temps. On a ainsi les éléments suivants :

- le temps de parcours (*in vehicle travel time*) dépend du temps de parcours à vide, des flux sur les arcs et des retards dus aux conditions de trafic qui sont donc prises en compte ;
- le temps de recherche de place (*search delay time*) dépend du temps d'accès libre et du ratio volume/capacité, où l'accumulation totale est calculée par la différence entre les arrivées cumulées et les départs cumulés dans chaque période ;
- le coût monétaire (*parking charge*) dépend du prix horaire, de la durée de stationnement mais aussi de l'heure d'arrivée dans l'intervalle de simulation ;
- un coût supplémentaire de pénalité du temps d'arrivée (tôt ou tard) (*schedule delay cost*) est ajouté au coût généralisé dans chaque période de simulation.

La prise en compte de l'axe temporel et de la variabilité de la demande ajoute une dimension supplémentaire à la difficulté de modélisation du stationnement. En conséquence, il existe peu de références et très peu correspondent à des modèles dynamiques de stationnement.

Le modèle d'équilibre stochastique de Bifulco (1993) est le premier du genre. L'auteur a pris en compte une seule tranche de temps et a développé une fonction de recherche assez compliquée qui intègre le nombre de places par zone, le nombre de places en compétition dans une même zone, l'occupation des parcs au début et à la fin de la simulation par type d'offre (sur voirie, hors voirie), la vitesse de recherche et la longueur moyenne d'une place de stationnement, tout en différenciant les cas de sous et de sursaturation. La complexité tient au fait de considérer que la demande d'une zone peut être satisfaite par l'offre des zones voisines. Néanmoins, l'effet du trafic additionnel de recherche de place sur la congestion routière n'a pas été simulé.

Des modèles d'équilibre dynamique multi-usagers ont été proposés par Lam et *al.* (2006)¹⁴⁷ et Zhi-Chun et *al.* (2007) pour la simulation des choix d'heure de départ, d'itinéraire, de localisation et de durée de stationnement. La principale différence entre ces travaux consiste dans l'intégration de la demande fixe pour le premier et élastique au prix pour le second. Le travail de Zhi-Chun et *al.* (2008) appartient à cette même catégorie. Il se particularise cependant par la stochasticité de la demande. L'étude de Gallo et *al.* (2011) présente un modèle d'affectation à l'équilibre qui prend en compte le choix de stationnement. L'auteur a simulé le trafic additionnel de recherche de place sur les arcs du réseau. Pour ce faire, il a présenté une configuration multicouche avec une couche pour les déplacements (temps de parcours), une couche pour la recherche sur le réseau et une dernière couche pour la marche. Une application sur le réseau de la ville de Benevento (Italie) a été effectuée et le modèle semble prometteur pour la simulation des impacts de la congestion du trafic. Mentionnons enfin que les modèles d'affectation dynamique à l'équilibre qui étudient les choix de stationnement sont tous basés sur l'approche des déplacements, la seule exception étant celle de Huang et *al.* (2005) dont le modèle porte sur un paradigme basé sur les activités.

En résumé, en raison de la nature dynamique du système de stationnement et de l'incertitude sur la disponibilité de places libres, les modèles dynamiques semblent les mieux placés pour sa modélisation. D'ailleurs, la comparaison des résultats d'un modèle dynamique et d'un modèle statique a montré que ce dernier type de modèle sous-estime les durées moyennes de stationnement et surestime la rotation moyenne, l'occupation moyenne des parcs et les recettes de stationnement hors voirie – et vice versa pour le stationnement sur voirie (Lam et *al.*, 2006). Les modèles statiques définissent un état d'équilibre dont l'intérêt est de caractériser, voire de quantifier, les effets à l'origine du déséquilibre du système de stationnement sans caractériser l'interaction spatiale et temporelle entre le trafic et la congestion du stationnement. Ils sont incapables de représenter des phénomènes pertinents comme la variation de la demande au fil du temps et les effets de la saturation du réseau et du stationnement. Enfin, on ne doit pas perdre de vue que la mise en place des modèles dynamiques nécessite un travail fastidieux de construction et une quantité considérable de données.

¹⁴⁷ Les files d'attente physiques des véhicules sur les itinéraires ne sont pas prises en considération.

C'est la raison pour laquelle les modèles statiques sont les plus développés car plus simples à traiter.

De l'équilibre déterministe à l'équilibre stochastique

La distinction entre un modèle déterministe et un modèle stochastique dépend de la caractérisation des effets aléatoires. Un modèle déterministe considère que les usagers disposent d'une information parfaite sur l'état du réseau et du stationnement, qu'ils sont identiques et qu'ils choisissent en toute connaissance de cause et de façon purement rationnelle. Un modèle stochastique représente la variabilité de perception des coûts par les usagers sur le réseau. La stochasticité reflète l'incertitude de la décision ou l'incertitude reliée au monde réel. Les différences de perception peuvent être attribuées à une différence objective de définition des choix, à des différences de perception du degré d'information mais aussi aux effets de la congestion. Une caractéristique propre à ces modèles est qu'ils écartent l'hypothèse standard d'information parfaite de l'utilisateur, les choix de la demande se basent ainsi sur des utilités perçues. Une question capitale dans les modèles stochastiques est celle de la loi de distribution du terme aléatoire de l'utilité.

Hormis dans les cas d'une réservation de place ou de la disponibilité de l'information en temps réel, l'incertitude caractérise désormais le choix de stationnement. Un usager ne peut jamais être à cent pour cent certain de la disponibilité de la place souhaitée à proximité de son lieu de destination. Les modèles stochastiques explicitent bien cette particularité¹⁴⁸. Néanmoins, le développement de ce type de modèle demeure assez limité. Mis à part Bifulco (1993), Zhi-Chun et *al.* (2008) et Gallo et *al.* (2011), les modèles d'équilibre de stationnement sont tous déterministes. Cet état de fait est lié aux difficultés opérationnelles et pratiques de leur application.

Méthodes mathématiques et solutions algorithmiques de résolution de l'équilibre

Les méthodes de calcul des modèles d'affectation du trafic et du stationnement à l'équilibre sont utilisées en identifiant, généralement, des problèmes mathématiques dont les spécificités répondent aux propriétés des réseaux et du modèle en question. L'équilibre peut être formulé à travers une programmation mathématique à un seul ou à deux niveaux, souvent comme un problème de point fixe (Bifulco, 1993 ; Zhi-Chun et *al.*, 2008 ; Gallo et *al.*, 2011) ou comme un problème d'inéquation variationnelle (Gracia et *al.*, 2002 ; Huang et *al.*, 2005 ; Lam et *al.*, 2006 ; Lam et *al.*, 2007). Ensuite, des solutions algorithmiques permettent de résoudre numériquement le problème, par un processus itératif qui progresse vers un optimum global. Les algorithmes de Frank-

¹⁴⁸ Dans Zhi-Chun et *al.* (2008), l'équilibre stochastique est atteint lorsque « for each OD pair and each user class, no traveler can improve his or her perceived expected travel disutility by unilaterally changing Departure time, route or parking location », ce qui revient à dire que « at equilibrium the perceived expected travel disutilities of all of the used combinations of departure time, route and parking location are equal and minimal, and the perceived expected travel disutility of any unused combination of departure time, route and parking location is greater than or equal to the minimal perceived expected travel disutility », p.367.

Wolfe, de Monte-Carlo et du gradient, et la méthode des moyennes successives sont assez répandus. À ce niveau se posent aussi les questions de convergence et d'unicité de l'équilibre.

Développement de scénarios de politiques de stationnement

À travers des applications de cas numériques, les modèles d'affectation à l'équilibre permettent de tester les effets de différents leviers des politiques de stationnement sur le système lui-même et sur les conditions de circulation, en modifiant certaines variables d'entrée. Différents scénarios sont développés et analysés dans la littérature académique, selon l'objectif de chaque modèle.

Gur et Beimborn (1984) ont montré qu'une augmentation du volume de la demande aboutit à une saturation de l'offre de stationnement et à la formation des files d'attente. Dans une approche dynamique, ce scénario délocalise vers l'avant la pointe de départ des usagers qui cherchent à réduire les pénalités de retard d'arrivée et par conséquent la pointe de stationnement (Lam et *al.*, 2006).

L'accroissement de la capacité totale de l'offre prend deux formes, soit par l'augmentation du nombre de places dans les parcs existants, soit par l'ajout de nouvelles aires de stationnement. Dans le premier cas, on constate une réduction du coût de déplacement – temps de parcours et de stationnement – (Huang et *al.*, 2005), de la congestion du trafic (Lam et *al.*, 2006) et du stationnement illégal (Zhi-Chun et *al.*, 2008). Dans le deuxième cas, une demande supplémentaire est induite et un changement des comportements de choix est constaté (Gur et Beimborn, 1984), tandis que la désutilité des déplacements et le temps de parcours sont plus importants (Zhi-Chun et *al.*, 2007).

Le prix est une variable significative de choix de stationnement et les chercheurs n'ont pas manqué d'étudier l'effet de l'augmentation et du doublement du prix sur les comportements des conducteurs – c'est d'ailleurs le scénario le plus répandu. On a constaté que le prix influence significativement l'occupation, le profil d'accumulation et le niveau de congestion de stationnement (Lam et *al.*, 2006). Dans un contexte multimodal, il peut induire un report important vers les transports en commun (Zhi-Chun et *al.*, 2008).

La réaction de la demande face à l'augmentation du montant de l'amende du stationnement illégal ou à un renforcement du niveau de régulation et de contrôle consiste à procéder à un report vers d'autres localisations légales. Ce type de réaction touche plutôt les usagers avec de longues durées de stationnement, comme les pendulaires (Gur et Beimborn, 1984). Il est à noter enfin que le couplage entre deux leviers peut aussi être opéré.

Limites des modèles d'affectation à l'équilibre

Les modèles d'affectation à l'équilibre constituent un support considérable d'aide à la décision dans la conception des politiques de stationnement. L'intervalle temporel

observé est souvent réduit à la journée ou aux heures de pointe, la prise en compte de plusieurs jours successifs fait défaut. Ces modèles ne sont donc en mesure d'étudier les réactions comportementales de la demande face à un changement de l'offre qu'à court, voire à très court terme. Les réactions admissibles sont limitées essentiellement à un changement de type ou d'emplacement du stationnement, à la modification de l'heure de départ ou à l'annulation du déplacement. D'autres réactions à moyen et à long terme (modification de destination, du mode de déplacement...) sont étudiées de façon marginale. Une autre lacune tient dans le fait que ces modèles n'intègrent pas beaucoup de variables explicatives des choix. Enfin, dans le sens où ils sont souvent validés par des applications numériques et pas sur un réseau réel, leur portée opérationnelle demande beaucoup de données et d'efforts.

Les modèles d'équilibre économique

Sur ce sujet, la littérature est assez restreinte (Arnott et Rowse, 2009 ; Arnott, 1999, Arnott et *al.*, 1991). Ces modèles s'attachent à étudier le stationnement sous sa dimension économique. Leur structure répond aux standards de l'économie traditionnelle dans la mesure où ils représentent pleinement les mécanismes théoriques du marché. L'équilibre entre offre et demande est atteint à la fois pour les comportements des usagers et pour le marché unique de stationnement. Ils partent du constat que sans tarification, l'équilibre du marché est inefficace socialement, que les places de stationnement souffrent du problème des ressources de propriété commune et qu'à l'équilibre, l'ajustement de la demande à l'offre s'établit par un prix de marché équivalent au coût marginal¹⁴⁹.

Souvent, un modèle porte sur un motif de déplacement et un type de stationnement donnés. Une comparaison des situations d'équilibre avec et sans tarification du stationnement avec l'optimum social du système amène à proposer la politique tarifaire la plus convenable. Certains modèles étudient les effets du phénomène de recherche de places et de la saturation de l'offre sur la congestion.

Dans ce qui suit, nous résumerons, en guise d'illustration, le propos de certains modèles. Arnott et *al.* (1991) ont construit un modèle dynamique d'équilibre déterministe pour étudier les effets de la tarification du stationnement sur la congestion dans le centre d'affaires aux heures de pointe du matin sur une route étroite, avec une capacité maximale par unité de temps. Ils ont étudié et comparé l'efficacité d'un péage routier sous différents régimes, avec et sans prise en compte du stationnement, pour dégager le profil spatial optimal de tarification. Ils ont montré qu'en présence de stationnement, le coût des files d'attente peut être éliminé et les retards engendrés peuvent être minimisés par la mise en œuvre d'un péage routier variable dans le temps et d'une tarification de stationnement dépendante de la localisation des places : ainsi, l'optimum social est atteint. Le modèle a porté sur le

¹⁴⁹ La tarification du stationnement est considérée comme un moyen efficace de gestion de la congestion et de réduction de la demande de déplacement. En la comparant au péage urbain, elle semble un moyen plus acceptable et plus facile à mettre en place. Elle favorise la rotation des places et de courtes durées de stationnement.

stationnement sur voirie pour les pendulaires supposés identiques et ayant une même préférence d'heure d'arrivée. Les éléments de coût, tels que le temps d'attente, le temps de marche, le délai de retard prévu, le coût du péage et les frais de stationnement, ont été pris en considération. Les principales lacunes de ce modèle concernent la représentation du centre comme une ligne dans l'espace et le fait qu'il se focalise sur les déplacements du matin sans attacher d'importance aux déplacements des pendulaires aux heures de pointe du soir.

L'extension¹⁵⁰ de ce modèle a été réalisée par Zhang *et al.* (2008), qui ont supposé que les déplacements du matin et du soir ne sont pas symétriques et qu'il convient de les étudier différemment. Le modèle a caractérisé l'équilibre de Nash pour les déplacements du soir et le cas particulier de l'équilibre de l'utilisateur (pour lequel les coûts de déplacement sont identiques et ne peuvent être réduits de façon individuelle) pour traiter les déplacements du matin. La demande de déplacement du soir a été retenue comme fixe, et celle du matin comme élastique. Différents régimes d'équilibre ont été analysés pour le cas d'une ville linéaire simplifiée avec deux zones, l'une de travail et l'autre de résidence. Les auteurs ont conclu que le péage routier du soir affecte tous les déplacements (du matin et du soir), tandis que celui du matin est sans impact sur les déplacements du soir. Ainsi, ils ont proposé pour les déplacements matinaux un péage variable dans le temps et une tarification du stationnement dépendante des localisations, et pour le soir un péage urbain. L'optimum du système ne peut être atteint que par la mise en place simultanée d'un péage routier et de la tarification du stationnement.

Anderson et De Palma (2004) se sont intéressés à la recherche de place pour des déplacements peu fréquents et de courte durée. Ils ont trouvé que dans le cadre d'un marché de concurrence monopolistique, les propriétés privées de parcs peuvent conduire à une décentralisation de la configuration de l'optimum, si un arbitrage est fait entre le prix proposé et le volume de la demande dans un parc. Plus le prix est élevé, plus bas sera le niveau de la congestion à l'équilibre. Leur travail de 2007 a cherché à savoir comment le stationnement influence la configuration spatiale de la ville. L'optimum social a été analysé pour une offre avec et sans réservation de place, et avec des opérateurs privés de stationnement.

Conscients du fait que le stationnement n'est pas un service comme les autres, conscients également de l'incertitude qui entrave la disponibilité de place, Arnott et Rowse (1999) se sont intéressés à l'équilibre stochastique stable du marché de stationnement. Ils ont essayé de modéliser l'effet stochastique de la disponibilité de places libres et de leur externalité. L'objectif était de savoir de quelle façon les prix doivent être fixés en présence de congestion de stationnement. Une comparaison entre l'équilibre avant et après la mise en place de la tarification est élaborée. Les résultats montrent que le prix de stationnement doit être fixé au niveau de la valeur de l'externalité de la congestion et qu'un prix qui décentralise l'optimum social ne garantit pas de l'atteindre. Dans ce travail, la congestion routière a été ignorée. De même, l'homogénéité spatiale et temporelle a été considérée avec un nombre fixe de places de

¹⁵⁰ Les modèles d'Arnott et al. (1991) et de Zhang et al. (2008) constituent une extension de celui de Vickrey (1969).

stationnement par unité de distance. Ce modèle se heurte à un niveau élevé de complexité.

Arnott (2006) a traité le cas d'une demande élastique. Il a étudié la concurrence spatiale entre les garages de stationnement dans le centre-ville. Il a traité le cas de plusieurs opérateurs privés en considérant la contrainte de capacité à l'équilibre. En présence de stationnement sur voirie, le niveau de recherche de place ajuste à l'équilibre le coût des deux types de stationnement et le prix équivaut au coût marginal. Le modèle présente l'avantage de proposer un équilibre unique et en état stable. Le travail d'Arnott et Rowse (2009) se place dans cette même voie de recherche.

Limites des modèles d'équilibre économique

Le niveau de sophistication des modèles d'équilibre économique du stationnement demeure limité pour représenter la dynamique du stationnement. Les hypothèses adoptées réduisent le degré de réalisme des modèles. Souvent, la distribution de l'offre est considérée comme homogène d'un point de vue spatial et dans un état stable, ce qui est loin d'être le cas dans la réalité où elle est répartie de façon discontinue. L'offre n'est donc pas inscrite convenablement dans son contexte spatial. Par ailleurs, elle se présente plutôt comme une variable exogène, de ce fait la contrainte de capacité n'est pas toujours explicitée. Du côté de la demande, celle-ci est généralement considérée comme fixe et stable, et les individus sont considérés comme identiques avec une destination commune. Les questions de stabilité et d'unicité de l'équilibre, traitées en termes de coûts individuels et sociaux, sont d'une importance capitale. Les futurs travaux devront approfondir les questions de l'hétérogénéité de la demande et ses caractéristiques socio-économiques (motifs, valeurs du temps, durées, distances de déplacement...), mettre davantage l'accent sur la congestion routière due à la circulation de recherche de place et évaluer ses effets. Il convient aussi de considérer différents segments de l'offre du marché du stationnement, par exemple le cas de l'offre privée de stationnement réservé par l'employeur, du stationnement résidentiel ou les cas de complémentarité ou de concurrence entre stationnement sur voirie, en ouvrage et en souterrain.

Modèles d'interaction à long terme

Certaines réactions comportementales de la demande face aux changements de l'offre de stationnement surviennent à moyen et à long terme, comme le changement de destination, de localisation résidentielle ou de lieu de travail et les décisions de motorisation. La modélisation de la boucle de rétroaction offre-demande et des réponses comportementales à long terme fait défaut dans la modélisation du stationnement. On peut même parler de pénurie de modèles.

Le modèle CLAMP (*Computer-based Local Area Model of Parking Behaviour*) est un modèle typique et unique à ce titre (Polak et Axhausen, 1989 ; Bates et Bradley, 1986). Développé au cours des années 1980, ce modèle fournit une aide pour la conception et la gestion des politiques de stationnement (tarification, localisation, type, régulation)

selon l'échelle de prise de décision. Son avantage majeur est qu'il permet de capturer les différentes dimensions et de saisir les rétroactions importantes entre les politiques de stationnement et les différentes dimensions de la demande de déplacement.

Le cadre conceptuel du modèle est basé sur une représentation réaliste et dynamique de la configuration spatiale du centre-ville – où les niveaux de congestion sont les plus importants –, de la structure du réseau et des comportements de déplacement. L'offre est définie par types, capacités, prix, avec considération explicite de la congestion relative au nombre de véhicules en circulation. La demande est désagrégée par motifs, heures de départ vers le centre, durées de stationnement et par une variable socioéconomique utilisée comme variable proxy. Les comportements sont étudiés à un niveau désagrégé pour le choix du mode et du type de stationnement des automobilistes entrants dans le centre-ville, puis à un niveau agrégé pour lequel la redistribution de la demande exogène s'effectue vers le centre sur la période de temps, afin de calculer les choix par destination et par tranche de temps. Une fois que ce niveau de demande est connu pour la période de temps, une approche de microsimulation est employée pour modéliser les choix du mode et du type de stationnement (Young et *al.*, 1991).

CLAMP permet d'estimer les déplacements des individus durant des périodes successives pendant la journée et pour des journées successives. Selon Young et *al.* (1991), les interactions entre la demande, le réseau et l'offre de stationnement se manifestent à trois niveaux consécutifs :

à l'intérieur d'une période de temps : relation entre le volume de la demande et le report modal ainsi que le niveau de congestion et son impact sur le choix de stationnement ; dans l'interaction entre les périodes : cela survient lorsque les sorties d'une période affectent les entrées d'une autre, comme les arrivées et les départs des conducteurs pour le stationnement ; dans l'interaction entre les jours : pour représenter les interactions à court et à long terme des politiques de stationnement. CLAMP est considéré comme le modèle de simulation des comportements de choix de stationnement le plus complet. Il a été utilisé pour étudier un large éventail de politiques de stationnement dans des villes européennes.

En résumé, puisque le stationnement est l'un des maillons de la chaîne de déplacement et que les effets des politiques de stationnement sont variables au fil du temps, il est urgent de développer les modèles d'interaction qui traitent non seulement les interdépendances entre offre et demande de stationnement mais aussi celles entre stationnement et autres choix de déplacement. Ce besoin concerne aussi les modèles d'interaction à long terme entre le système de stationnement et le système d'usage de sol.

4.5 Synthèse et conclusion

L'objectif de ce chapitre était de proposer une revue bibliographique des modèles spatialisés de stationnement en mettant l'accent sur les représentations de l'offre, de la demande et de leurs interactions, dans le temps et dans l'espace. Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques des modèles de stationnement.

Tableau 4.1 : Principales caractéristiques des modèles de stationnement.

	Modèles comportementaux	Modèles microscopiques de trafic	Modèles macroscopiques de trafic
Approche de modélisation	Théorie de choix discrets	Modèle de types multi-agents	Modèle d'équilibre de trafic
Comportement de la demande	<ul style="list-style-type: none"> - Choix de type/localisation de stationnement - Choix d'itinéraire - Comportement de recherche de stationnement 	<ul style="list-style-type: none"> - Choix de type/localisation de stationnement - Choix d'itinéraire - Choix de recherche de stationnement 	<ul style="list-style-type: none"> - Choix de type/localisation de stationnement - Choix d'itinéraire - Choix de recherche de stationnement
Représentation de l'offre	<ul style="list-style-type: none"> - Type de places - Mode de gestion 	<ul style="list-style-type: none"> - Type et localisation - Mode de gestion - Remplissage 	<ul style="list-style-type: none"> - Type et localisation - Mode de gestion - Remplissage
Représentation de l'espace	Implicite et agrégée	Explicite et désagrégée	Explicite et agrégée
Interaction circulation-stationnement	Implicite	Explicite, sans circuitage	Explicite, avec circuitage
Principales références	<ul style="list-style-type: none"> - Hunt et Temply (1993) - Hensher et King (2001) - Thompson et Richardson (1998) - Kaplan et Bekhor (2011) 	<ul style="list-style-type: none"> - Benenson et al., (2008) - Dieussaert et al., (2009) - Waraich et Axhausen (2012) - Guo et al., (2013) 	<ul style="list-style-type: none"> - Bifulco (1993) - Lam et al., (2006) - Gallo et al., (2011) - Boyles et al., (2015)

Notre analyse révèle une grande hétérogénéité des modèles développés. La modélisation a commencé à se faire jour au début des années 1970 pour répondre au besoin de la planification des transports. Au fil du temps, les problématiques étudiées se sont diversifiées ainsi que les méthodologies appliquées. Néanmoins, aucun modèle ne semble, jusqu'à présent, être capable d'appréhender l'ensemble du système de stationnement de manière satisfaisante. Chaque modèle correspond à un problème spécifique, porte sur une échelle spatiale et temporelle déterminée et traite d'aspects limités, d'où la naissance de différentes familles de modèles. Il apparaît donc que la modélisation du stationnement n'est pas un problème compliqué mais complexe, ce qui signifie que la difficulté réside non pas dans l'appréhension et la compréhension

des mécanismes du système, mais plutôt dans ses représentations et dans la reproduction de ses interactions spatiotemporelles. Cette complexité est encore plus considérable si le modélisateur s'efforce de placer le stationnement dans le cadre de son système de transport en particulier et dans celui du système urbain en général, afin d'examiner les effets aussi bien à l'échelle macroscopique que microscopique ainsi qu'à court, moyen voire long terme. La modélisation du stationnement présente donc de multiples enjeux.

Une représentation partielle de l'offre, de la demande ou de leurs interactions entravent les modèles développés. Plusieurs conclusions pragmatiques peuvent déjà être tirées pour guider le choix d'un modèle dans le futur. Du côté de la demande, la caractérisation tend à privilégier un traitement désagrégé, qui met en lumière sa dynamique et sa variabilité dans l'espace et dans le temps, l'hétérogénéité de perception des usagers, leur sensibilité à la qualité de l'offre et aux conditions du trafic, et les mécanismes de leurs choix. Croisées avec l'incertitude sur la disponibilité des places, les considérations énumérées ouvrent la voie au développement de modèles stochastiques, qui considèrent une demande multiclasse et élastique à l'offre. Du côté de l'offre, une caractérisation abstraite a marqué les modèles existants. Si le prix, le type et la localisation sont les attributs communs de représentation, la capacité de l'offre se présente plutôt comme une contrainte pour le modélisateur. La difficulté majeure réside dans la manière représenter le phénomène d'accumulation des véhicules sur les lieux de stationnement et de modéliser l'interdépendance entre différentes périodes de temps. Le traitement dynamique de la variabilité de charge au fil du temps est si difficile qu'aucun consensus méthodologique n'a encore été trouvé qui propose une approche générale et efficace pour la modéliser.

L'interaction de l'offre et de la demande est résolument dynamique. Les modèles d'équilibre de stationnement reposent sur la confrontation des comportements de la demande aux qualités de l'offre. Une dépendance structurelle marque la relation entre l'offre et la demande dans le temps et dans l'espace. Le temps de recherche de place dépend de la capacité de l'offre et du volume de la demande, les choix des usagers sont stochastiques à cause de l'incertitude sur la disponibilité de places. La modélisation des interactions a reçu très peu d'attention et l'approche statique tend à prévaloir dans les modèles, tandis que l'approche dynamique est un sujet d'intérêt relativement récent.

Afin de garantir un certain réalisme physique, économique et fonctionnel du système simulé, les améliorations de la modélisation du stationnement doivent passer d'abord et avant tout par une meilleure caractérisation des interactions entre l'offre et la demande. C'est la clé de voûte grâce à laquelle l'étude des effets de l'interdépendance entre la circulation et le stationnement devient possible. Par ailleurs, la modélisation du stationnement exige de l'inscrire dans son contexte spatial. Les modèles ont porté sur une échelle unique d'usage de sol, il convient de développer des modèles multi-échelle.

Chapitre 5

ParkCap : un modèle offre-demande de choix d'itinéraire et de stationnement dans un territoire urbain

5.1 Introduction

Le stationnement est un point d'ancrage indispensable à tout déplacement motorisé. En milieu urbain dense, l'offre locale de places est souvent limitée en quantité et la demande est diffuse dans l'espace et dans le temps et exerce une forte pression. Une pénurie locale de stationnement se traduit par des parcours additionnels de recherche de stationnement sur le réseau routier. Ce phénomène de circuitage détériore les conditions de trafic et amplifie la congestion routière et les émissions de polluants. Pour l'utilisateur, les choix de stationnement sont souvent caractérisés par de fortes incertitudes. L'indisponibilité immédiate de places à proximité du lieu de destination finale induit un allongement du temps de parcours et ainsi une augmentation du coût généralisé de déplacement. À cet égard, Shoup (2006) a montré, à partir d'une étude comparative des résultats d'enquêtes menées entre 1927 et 2001, que la part du trafic de recherche de stationnement sur le réseau varie entre 8% et 74%, en milieu urbain dense. Selon la même étude, le temps de recherche moyen est compris entre 3,5 minutes et 14 minutes. Selon une étude d'Axhausen et *al.*, (1994), la recherche de

stationnement peut atteindre jusqu'à 40 % du temps total de déplacement, durant les heures de pointe. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la modélisation des choix de place et de recherche de stationnement en interaction avec la circulation sur le réseau routier.

Revue de littérature

La modélisation des choix de stationnement des usagers a suscité l'intérêt des chercheurs depuis le début des années 1970. La littérature scientifique fourmille de modèles relevant de différentes approches et disciplines. Trois grandes familles de modèles peuvent être distinguées. Nous les caractérisons selon leur considération de l'espace, leur représentation de l'offre et leur caractérisation de la demande.

La première famille englobe les modèles comportementaux de stationnement qui traitent explicitement les problématiques de choix de type et/ou de localisation des places (Ergun, 1971 ; Austin, 1973 ; Axhausen, 1988 ; Hunt et Temply, 1993 ; Hess et Polak ; 2004) ou en relation avec le choix du mode de déplacement (Gillen, 1978, Gantvoort, 1984, Axhausen et Polak, 1991 ; Bradley et *al.*, 1993 ; Hensher et King, 2001). Relevant de la théorie des choix discrets, ces modèles visent à expliquer le choix des usagers en fonction d'un ensemble d'attributs (de stationnement dont le coût de marche terminal, de déplacement dont le temps de parcours et le temps de recherche, et socio-économiques et de préférences individuelles) de manière déterministe en adoptant les hypothèses de l'information parfaite et de la rationalité économique de l'utilisateur. Dans la plupart de ces modèles, le temps de recherche de places est négligé ou bien considéré de manière simplifiée ou comme variable exogène, indépendamment des états d'occupation effective de l'offre. Différentes spécifications et hypothèses du terme aléatoire sont possibles, mais le logit et le logit hiérarchique sont les plus répandus (Van der Goot, 1982 ; Hunt, 1988 ; Axhausen et Polak, 1991 ; Hunt et Temply, 1993 ; Lambe, 1996). Les modèles comportementaux reposent souvent sur des études empiriques telles que les enquêtes de préférences déclarées. Bien qu'ils permettent de reproduire de manière satisfaisante les comportements de choix de stationnement, ces modèles ne sont pas très adaptés pour modéliser la stochasticité liée à l'incertitude de trouver une place libre ni pour évaluer l'effet spatial du report de stationnement sur les conditions locales de circulation. Ceci est dû à une représentation spatiale agrégée de l'aire d'étude et à l'absence de considération de la structure du réseau routier et des caractéristiques physiques et de remplissage dynamique de l'offre de places.

La modélisation des comportements de recherche de stationnement constitue un champ de recherche plus récent. Thompson et Richardson (1998) ont adopté une approche microscopique pour simuler les choix de stationnement et d'itinéraire avec une prise en compte explicite du réseau, de la capacité, de l'occupation des parcs, de la taille de la file d'attente et de la perception subjective des valeurs du temps par les usagers. Des travaux plus récents ont été dédiés à la formulation d'un cadre théorique de processus de recherche de stationnement. C'est le cas du travail de Kaplan et Bekhor (2011) qui ont examiné les décisions conjointes de choix de type de place et d'itinéraire de recherche de stationnement sur le réseau. Cette recherche repose sur l'utilisation des données GPS de la ville de Tel-Aviv.

La deuxième famille des modèles de stationnement relève de la simulation microscopique du trafic. Elle concerne principalement les modèles de types multi-agents qui traitent les interactions spatio-temporelles entre l'offre et la demande de stationnement en lien avec la circulation sur le réseau routier. C'est le cas des modèles Parkagent (Benenson *et al.*, 2008), Sustapark (Dieussaert *et al.*, 2009), Matsim (Horni *et al.*, 2011 et 2012 ; Waraich et Axhausen, 2012), et Transims (Guo *et al.*, 2013). Avec une représentation explicite et fine de l'espace, ces modèles se distinguent par leur haute résolution géographique des infrastructures concernant à la fois la structure du réseau routier, la localisation précise des parkings et la localisation explicite des destinations finales au sein de l'aire d'étude. Chaque agent dispose d'une destination spécifique et le comportement individuel de l'utilisateur est traité comme un processus séquentiel. La recherche de stationnement constitue l'une des étapes de ce processus, elle s'effectue selon des règles préétablies. Différentes stratégies de recherche sont possibles pour chaque agent. Ces stratégies obéissent à la théorie de maximisation de l'utilité. Dans ce type de modèles, la notion de point de départ de la recherche (search start point) est une caractéristique clé qui marque l'interface entre l'accès principal et la recherche locale de stationnement.

À travers le modèle Parkagent, Benenson *et al.*, (2008) et Levy *et al.*, (2013) ont étudié l'effet d'un parking additionnel sur la situation du stationnement dans une aire résidentielle (avec une application à un quartier de Tel-Aviv)¹⁵¹. Chaque agent évalue la disponibilité de places de stationnement à chaque étape comportementale et décide de se garer ou de continuer son parcours en prenant en compte un ensemble de paramètres. Les auteurs définissent une aire de recherche de stationnement de 250 mètres autour de la destination et différencient les stratégies de recherche d'une place avant d'atteindre la destination et après l'avoir dépassé. La durée maximale de recherche de places est limitée à 10 minutes. Si au bout de ce temps l'utilisateur ne trouve pas de place libre, il se dirige vers une place payante hors voirie. Dieussaert *et al.*, (2009) ont proposé un modèle qui simule les choix de stationnement et ses effets sur le trafic routier (le modèle Sustapark). Chaque agent a un programme journalier et interagit avec les autres agents. La recherche de stationnement est caractérisée par une fonction de désutilité qui croît en fonction de l'augmentation du temps de circuitage sur le réseau. Bien qu'ils traitent explicitement l'occupation des parkings et ses effets sur le temps de recherche de stationnement, ces deux modèles ne permettent pas de caractériser l'effet d'un manque de places de stationnement sur le trafic. Autrement dit, ils ne simulent pas l'impact du circuitage sur les temps de parcours sur les arcs du réseau. Le modèle Matsim (Waraich et Axhausen, 2012) permet de surmonter cette limitation. Il adopte cependant une résolution spatiale moins détaillée que les deux modèles précités. La notion d'itinéraire de recherche (search path) est explicitement considérée pour caractériser le circuitage sur le réseau. Dans cette même veine, Guo *et al.*, (2013) ont proposé un modèle de simulation des choix de stationnement dans un campus universitaire qui quantifie les coûts environnementaux associés à la circulation de recherche de stationnement. L'utilisateur essaye d'abord de trouver une place dans son parking préféré. En cas d'échec, le processus de recherche démarre et continue jusqu'à

¹⁵¹ Dans Benenson *et al.*, (2008), le processus comportemental de l'utilisateur se présente comme suit : (i) conduire vers la destination en estimant l'occupation des parkings, (ii) chercher une place avant d'atteindre la destination, (iii) chercher une place après avoir dépassé la destination, (iv) trouver une place et se garer, et enfin (v) quitter le parking et le système.

trouver une place libre. À chaque parking est associée une fonction d'utilité définie en fonction de la distance entre ce lot et la destination finale et sa capacité physique. Le processus de recherche est modélisé à l'aide d'un modèle théorique de capacité séquentielle néo-additive qui caractérise les attitudes optimistes et pessimistes des conducteurs concernant la disponibilité immédiate de stationnement dans le lot souhaité. Tous ces modèles adoptent l'hypothèse d'une connaissance parfaite de l'offre de stationnement et ils permettent de capturer l'hétérogénéité de la demande et de représenter différents types d'offre. En revanche, leur applicabilité à de grands réseaux est délicate. Elle nécessite un grand travail de programmation informatique et implique de disposer des données à forte résolution spatio-temporelle. Les enquêtes sont indispensables pour les calibrer même si certaines recherches ont tenté d'utiliser les données de type GPS qui permettent de décrire les comportements de recherche dans le temps et en termes de localisation (tels que Montini *et al.*, 2012 ; Van der Waerden *et al.*, 2012).

La troisième famille des modèles de stationnement relève de l'affectation macroscopique du trafic sur le réseau. Ces modèles considèrent explicitement le choix de stationnement en lien avec les choix d'itinéraire dans un cadre d'équilibre. Florian et Los (1980) ont proposé un modèle de maximisation de l'entropie pour prévoir l'occupation des P+R et la distribution des véhicules entre les zones d'origines et lieux de stationnement, en considérant les limites de capacités des parkings. Nour Eldin *et al.*, (1981) ont traité l'équilibre conjoint de trafic et de stationnement par une procédure d'affectation incrémentale. La structure standard du réseau est transformée par l'ajout de nouveaux arcs à capacité finie pour représenter les options de stationnement. Ce modèle considère le temps de recherche de stationnement à l'intérieur du lot comme une fonction de coût inversement proportionnelle à la capacité du lot divisé par le volume de demande (1-flux/capacité). Différentes périodes de temps sont considérées, chacune de manière statique où les capacités résiduelles des lots sont estimées à partir de la période précédente. Gur et Beimborn (1984) ont formulé un modèle d'équilibre de trafic au sein duquel les véhicules sont affectés aux parkings, dans un cadre statique et déterministe. Chaque lot de stationnement est décrit comme un arc du réseau et il est lié à la destination par un arc de marche à pied. Dans ce modèle, le temps moyen passé par l'utilisateur à attendre ou à chercher une place de stationnement est intégré comme l'un des attributs de la fonction de désutilité. Il est modélisé par une fonction d'impédance qui croît avec l'augmentation du niveau d'occupation des parkings. La recherche prend effet si l'occupation du lot est supérieure à 90 %. Bifulco (1993) a développé un modèle d'équilibre stochastique de choix simultané d'itinéraire ainsi que de localisation et de type de stationnement, de manière dynamique. Il considère une distribution uniforme des places libres au sein de la zone de stationnement. Par période, la fonction de recherche de stationnement dépend des niveaux d'occupation des lots en lien avec les choix d'itinéraire. À chaque intervalle de temps, les flux de trafic sur le réseau sont en état stable. Dans une étude ultérieure, Lam *et al.*, (2006) ont présenté un modèle plus complexe pour étudier le choix simultané d'heure de départ, d'itinéraire et de stationnement (durée et localisation), en considérant multiples classes d'utilisateurs et plusieurs types de parkings. La recherche de stationnement est caractérisée par une fonction de type BPR basée sur les niveaux d'accumulation des véhicules au sein du lot choisi. Un cadre similaire est retenu par Li *et al.*, (2008) pour étudier la fiabilité des

attributs temporels du réseau et de l'offre de stationnement sur les choix des usagers. Enfin, Li et *al.*, (2007) et Huang et *al.*, (2005) ont traité les choix de stationnement dans un cadre multimodal avec considération explicite des contraintes de capacités pour les arcs du réseau et pour les lots de stationnement. À l'équilibre, une pénalité est ajoutée à la fonction du coût généralisé de déplacement. Ces auteurs ont réussi à modéliser les lots de stationnement de manière indépendante sans les affecter à des destinations particulières en permettant à un même lot d'être partagé par plusieurs destinations et à une même destination d'être desservie par plusieurs lots. L'ensemble des modèles précités considèrent la recherche de stationnement seulement à l'intérieur des lots. En conséquence, ils sont incapables de modéliser les interdépendances mutuelles entre les choix de localisation et de recherche de stationnement et la circulation sur le réseau, ni de quantifier le trafic de circuitage de stationnement sur le réseau.

Cette problématique a été récemment abordée par Gallo et *al.*, (2011) qui ont modélisé explicitement l'impact du circuitage de stationnement sur la congestion du trafic dans l'espace. Le comportement de l'utilisateur est constitué de trois phases : d'abord un itinéraire d'accès, ensuite un circuitage de stationnement et enfin un accès piéton. Le réseau routier est caractérisé par une structure multicouche. Chaque phase comportementale est traitée par une couche spécifique. Le parcours principal se déroule sur le réseau automobile et conduit à un proxy du nœud de destination conduisant à la couche de recherche de stationnement, ou les itinéraires permettent de se rendre aux parkings et de garantir l'accès à la couche de marche à pied. Chaque parking est modélisé comme un arc de stationnement avec à nouveau une fonction de temps de déplacement qui relie un temps de recherche ad hoc au rapport de débit à la capacité résiduelle. Ce modèle améliore les modèles macroscopiques précédents en distinguant clairement les phases de déclenchement de la recherche, comme dans les modèles multi-agents. Toutefois, les auteurs soulignent que l'application de leur modèle est difficile notamment en raison de la multiplicité des couches du réseau. Enfin, Boyles et *al.*, (2015) ont proposé un modèle statique d'équilibre de trafic qui simule le comportement de circuitage de stationnement et le report entre les lots en ajoutant des arcs de recherche et des arcs de transition au réseau principal. Une probabilité de trouver une place est associée à chaque arc de recherche de stationnement, elle dépend de l'intensité du flux de recherche. Néanmoins, ce modèle adopte l'hypothèse d'un état stationnaire des véhicules sur les arcs et les fonctions du coût sur les arcs ne sont pas dépendantes du volume trafic.

Objectif du chapitre

L'objectif de ce chapitre est de développer un modèle spatialisé offre-demande pour la circulation et le stationnement en interaction dans un territoire urbain. Avec une représentation macroscopique de l'offre et une considération microéconomique de la demande, ce modèle, appelé « ParkCap » pour « Parking Capacity », simule le choix conjoint d'itinéraire et d'emplacement de stationnement sur un réseau. Il prend en compte explicitement les contraintes de capacité de l'offre de places, le phénomène de report local de stationnement et les comportements qui en résultent, ainsi que les flux de recherche de place sur le réseau. Nous appliquerons ce modèle à deux cas d'école pour tester son comportement.

Méthode et propriétés du modèle

Le modèle ParkCap se positionne dans le cadre de l'affectation statique du trafic sur un réseau, qui demeure la plus utilisée dans les études de planification des transports. Il étend le modèle classique de choix d'itinéraire en prenant en compte explicitement la localisation des lots de stationnement et en les connectant au réseau routier. Le modèle concerne une période limitée, typiquement la période de pointe du matin. Il traite tous les déplacements vers toutes les destinations de l'aire d'étude et il prend en considération toutes les places de stationnement.

Du côté de l'offre, le réseau routier est modélisé par un ensemble d'arcs et de nœuds. Le stationnement est représenté par « lots », *i.e.* par ensembles de places selon un lieu et un mode de gestion. Chaque lot se distingue par une capacité préalable au début de la période de simulation. Ces variables sont exogènes, alors que l'occupation des lots et le coût terminal de stationnement sont endogènes. Chaque lot est demandé par un certain nombre de candidats, ce qui détermine une probabilité de stationnement immédiat pour un usager donné.

Du côté de la demande, les déplacements des usagers sont modélisés selon un ensemble de segments. Chaque segment est caractérisé par une paire O-D, un volume de demande initiale, des droits d'accès spécifiques aux lots de stationnement et un comportement de déplacement spécifique selon les préférences individuelles, la qualité de service des lots et des chemins, et leur prix. Nous supposons que chaque usager procède à un choix en deux étapes : antérieurement au déplacement, il choisit un lot cible et un itinéraire depuis son origine jusqu'à ce lot cible, de manière rationnelle, sur la base d'un coût espéré. Puis, au niveau local, s'il n'obtient pas de place dans ce lot initial, il se reporte vers les lots voisins selon des probabilités de transition jusqu'à trouver une place. À partir d'un lot cible de stationnement, le parcours final est évalué par un coût espéré de stationnement et d'accès à la destination.

Les circuits de recherche sur le réseau sont explicitement considérés sur la base (i) des probabilités de trouver une place (appelées aussi probabilités de succès) qui dépendent de la capacité des lots et des volumes de candidats par lot, et (ii) des probabilités de transition (appelées aussi probabilités de report) entre lots qui sont déterminées par un modèle de choix discret. Cela donne lieu au coût de parcours vers le lot cible et à un coût espéré de recherche et de stationnement jusqu'à la destination finale. Le circuitage de stationnement induit un flux de trafic de recherche qui à la fois résulte de, et contribue à, la formation du flux de trafic sur le réseau d'une part et des temps de déplacement d'autre part. Par segment de demande, chaque lot est caractérisé par un coût terminal ex ante endogène qui se réduit au coût d'accès à pied si une place libre est disponible et qu'elle est gratuite.

L'équilibre de trafic et de stationnement est modélisé selon les principes de l'équilibre de l'usager de Wardrop (Wardrop, 1952). Il est résolu par une approche mixte dans laquelle il est formulé comme un problème d'inéquation variationnelle pour les flux de trafic sur le réseau et comme un problème de point fixe pour les probabilités de succès et les probabilités de transition.

L'une des principales caractéristiques du modèle ParkCap est son caractère opérationnel. L'étape de conception théorique du modèle a été suivie d'une étape de programmation informatique. Une première version d'un prototype de simulateur de trafic est développée au sein du LVMT. Nous présenterons les principales propriétés de ce simulateur dans la section 5.7.

Structure du chapitre

Le corps de ce chapitre est composé de huit parties. Dans les sections 5.2 et 5.3, nous exposerons les hypothèses relatives respectivement à l'offre et à la demande. La section 5.4 caractérisera les interactions entre l'offre et la demande en termes de variables basiques et d'influences élémentaires. Elle posera la structure logique du modèle et spécifiera les conditions de l'équilibre de trafic. La section 5.5 sera consacrée à la formulation mathématique, avec une discussion des conditions d'existence de l'équilibre et la proposition d'un schéma de résolution. La section 5.6 proposera deux cas d'application numérique pour tester le comportement du modèle. La section 5.7 présentera la structure informatique et le fonctionnement du simulateur ParkCap et explicitera ses principales déclinaisons opérationnelles. Enfin, la section 5.8 proposera une conclusion du chapitre et mentionnera les principales contributions théoriques et quelques pistes de développement du modèle.

5.2 Représentation de l'offre

Du côté de l'offre, les services de transport offerts aux automobilistes incluent un réseau routier qui permet d'accéder à un lot de stationnement puis à une destination finale d'activités.

5.2.1 Le réseau routier

Considérons un réseau routier représenté par un graphe orienté $G (E, A)$ dans lequel E et A désignent respectivement l'ensemble de nœuds et l'ensemble d'arcs. Chaque arc $\{a \in A\}$ est caractérisé par un temps de parcours t_a et par un coût monétaire m_a de déplacement, durant la période de modélisation. Un chemin r est composé d'une séquence d'arcs $\{a \in r\}$. Par équivalence, on peut donc écrire :

$$t_r = \sum_{a \in r} t_a \quad (5.1)$$

$$m_r = \sum_{a \in r} m_a \quad (5.2)$$

L'affectation du trafic sur le réseau routier est modélisée à l'aide d'une fonction de temps de parcours, en respectant le vecteur des flux sur les arcs, avec : $\mathbf{v}_A = [v_a : a \in A]$ en forme vectorielle pour permettre les dépendances complexes, d'où :

$$\mathbf{t}_A = \mathbf{T}_A(\mathbf{v}_A) \quad (5.3)$$

5.2.2 Les lots de stationnement

L'offre de stationnement sur un territoire est représentée de façon agrégée. Les places sont groupées par lots dénotés $\lambda \in L$, *i.e.* un lot est constitué par un ensemble de places selon un lieu et un mode de gestion. Chaque lot est connecté physiquement au réseau routier par un arc routier. Selon son mode d'exploitation, chaque lot est caractérisé par un tarif m_λ , et un temps d'accès terminal t_λ . Nous supposons que, pendant la période de modélisation, le lot dispose d'une « capacité préalable » κ_λ qui représente le nombre de places qui seront disponibles d'une manière progressive selon l'hypothèse de vacance préalable ou suite aux départs des occupants précédents.

Soit Y_λ le volume de candidats qui se présentent dans le lot λ pendant la période de simulation. La probabilité de trouver une place vide dans le lot λ est définie par :

$$\alpha_\lambda = \min \left\{ 1, \frac{\kappa_\lambda}{Y_\lambda} \right\}, \text{ où } \alpha_\lambda \text{ est égal à } 1 \text{ si } Y_\lambda = 0 \quad (5.4)$$

La probabilité de trouver une place constitue un élément déterminant de la recherche de stationnement. Elle conditionne fortement la disponibilité immédiate d'une place pour l'utilisateur, les choix de report entre lots et les boucles de recherche sur le réseau. Notons que la formule (5.4) est une approximation spécifique de premier rang, et qu'elle est adoptée pour des raisons de simplicité. Elle permet de capturer la stochasticité liée à l'incertitude sur la disponibilité immédiate d'une place, tout en reliant la capacité initiale et le volume de candidats par lot.

La variable Y_λ renseigne sur l'attractivité du lot. Ainsi, par lot de stationnement, lorsque le nombre de candidatures Y_λ dépasse la capacité initiale κ_λ au cours de la période de modélisation, alors le lot λ est saturé. Dans le modèle ParkCap, le remplissage de chaque lot dépend de la capacité locale et de la demande, en relation avec la demande à une échelle plus large et avec la capacité des lots voisins. En fonction des conditions d'accès aux lots, Y_λ peut regrouper des candidats de différents lieux de destination, ce qui est le cas, par exemple, des places de stationnement sur voirie. À notre connaissance, parmi les modèles macroscopiques d'affectation de trafic qui prennent le stationnement en considération, seul le modèle de Gallo et *ali.* (2011) permet d'intégrer différentes destinations pour un même parking.

5.3 Représentation de la demande

La demande est définie comme un ensemble d'utilisateurs qui effectuent des déplacements pendant la période de modélisation. Dans ce qui suit, nous caractériserons les segments de demande puis les options de choix et le comportement décisionnel de l'utilisateur. Enfin, nous présenterons les coûts certains liés au choix de

l'itinéraire principal, ainsi que le processus de recherche avec les coûts, les flux et les choix qui y sont liés.

5.3.1 Segmentation de la demande

La demande est représentée de manière agrégée par un ensemble \mathcal{S} de segments d'usagers homogènes s , qui ont chacun un véhicule (*a priori* une voiture) et une paire O-D, c'est-à-dire une zone d'origine i_s et une zone de destination j_s offrant une activité déterminée, qui induit le déplacement de i vers j ainsi que la durée de stationnement η_s . La diversité à l'intérieur d'un segment s est représentée par la localisation désagrégée des zones de destination, par les droits d'accès aux lots privés et par la diversité des motifs de déplacement. La segmentation permet un traitement agrégé mais réaliste des comportements de choix de la demande.

Soit q_s le volume de demande de déplacement du segment de demande s . On suppose que chaque classe de demande a des préférences économiques qui résultent d'un arbitrage entre différents facteurs de qualité de service, notamment de temps et de coût monétaire. Le temps de marche entre le lot λ et la zone de destination j_s est noté $t_{s\lambda}$. Les usagers d'une même classe de demande ont des comportements identiques ou proches.

On définit L_s l'ensemble de lots de stationnement « éligibles » aux usagers du segment de demande s , appelé aussi zone ou aire de stationnement. Cet ensemble regroupe toutes les options de lots qui se situent au sein ou à proximité immédiate de la zone de destination j_s . Il est défini en fonction d'une distance terminale acceptable par l'utilisateur. Selon les modalités d'exploitation des lots, seront exclus de cet ensemble les lots réservés et privés rattachés à d'autres zones de destination finale. Au point de vue spatial, l'ensemble L_s présente une aire de chalandise étendue de la zone de destination. Notons que le concept de lots éligibles reproduit celui de « *feasible parking location* » déjà introduit par Lam et alii. (2006).

5.3.2 Options de choix et comportements de déplacement

5.3.2.1 Définition des options de choix

Chaque lot de l'ensemble L_s constitue une option de stationnement par zone de destination. Par relation O-D, une option de déplacement est constituée de l'association d'un itinéraire principal depuis la zone d'origine jusqu'à un « lot cible initial » et d'un parcours final entre ce lot et la destination finale. Par déplacement, l'itinéraire r et le lot de stationnement λ sont choisis en fonction de la zone de destination et de la qualité de service, tant du réseau que dans les lots identifiés par lieu et par mode de gestion.

Ex post, une option de déplacement pour un usager du segment s intègre un itinéraire principal r , une option de stationnement λ comme lot *ex ante* et une éventuelle séquence de transition qui commence à partir de λ et se poursuit jusqu'au succès.

Pour ce qui est de la recherche de stationnement, on considère $\tau = (\lambda, n)$ une option de transition entre le lot $l \in L_s$ et le lot $n \in L_s$. T_s désigne l'ensemble des transitions possibles pour le segment de demande s ayant pour zone de stationnement L_s .

5.3.2.2 Comportements de déplacement des usagers

Chaque usager est supposé choisir son itinéraire selon un comportement rationnel de minimisation des coûts, en fonction de sa connaissance sur les coûts. Le comportement de choix individuel de déplacement est fondé sur les principes classiques des modèles macroscopiques de trafic, à savoir la rationalité économique de l'utilisateur et la connaissance parfaite des options de déplacement offertes, dans notre cas en termes d'itinéraires et de lots de stationnement. À ces principes généraux, deux hypothèses supplémentaires sont ajoutées :

- nous supposons que l'utilisateur accepte la première option de stationnement disponible et que le processus de recherche prend fin dans ce lot ;
- nous admettons que le choix de la zone de destination finale constitue un choix effectué par l'individu en amont du déplacement.

Le processus décisionnel de l'utilisateur est composé de deux étapes. **D'abord un choix initial** : antérieurement au déplacement, chaque usager choisit un lot cible et un itinéraire d'accès vers ce lot, de façon rationnelle. **Ensuite, un choix terminal de recherche et de stationnement** : selon l'état d'occupation du lot cible, si l'utilisateur ne trouve pas une place dans λ , il effectue un choix de recherche de stationnement et procède à une séquence de transition entre des lots voisins jusqu'à trouver une place libre. Le choix terminal sera abandonné en cas de succès de stationnement dans le lot initialement visé. La figure 5.1 illustre le processus décisionnel de l'utilisateur.

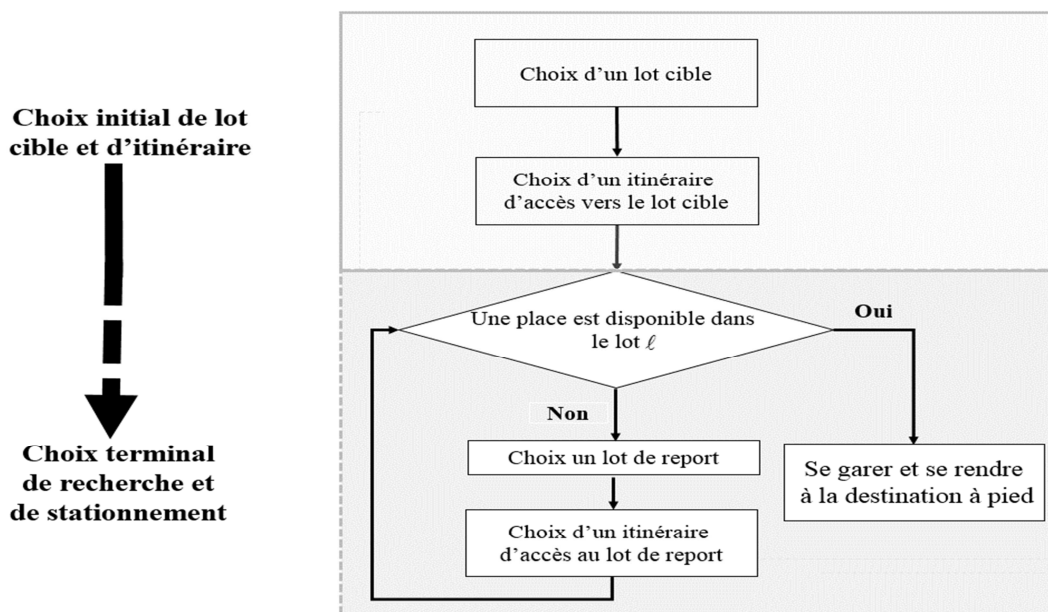


Figure 5.1 : Présentation du processus décisionnel de l'utilisateur.

Du point de vue comportemental, on suppose que le comportement de déplacement est rationnel dans les deux étapes et basé sur les coûts que l'utilisateur cherche à minimiser :

- au niveau du réseau routier, les options de parcours principal et de lot cible sont choisies au préalable de façon *ex ante*, selon un coût moyen espéré évalué de façon déterministe (une partie stochastique peut être ajoutée pour modéliser les conditions désagrégées de déplacement aux points d'origine) ;
- au niveau local, le coût est modélisé de façon stochastique, pour faciliter la détermination de l'équilibre de l'utilisateur et pour prendre en compte la localisation désagrégée des destinations finales.

5.3.2.3 Coût généralisé de déplacement

Une option de déplacement *ex ante* est caractérisée par un coût généralisé dans lequel, aux coûts monétaires, sont ajoutés les éléments de temps physique pondérés par des valeurs de temps spécifiques qui intègrent la pénibilité.

Ex post, pour un usager du segment de demande s , une option de déplacement comprend un itinéraire principal r vers un lot cible λ et une séquence de transitions qui commencent au lot cible *ex ante* et prennent fin au lot effectif de stationnement. Les caractères saillants sont (r, λ) , ou r seulement puisque λ doit être le point final de l'itinéraire principal r . Le coût espéré de déplacement englobe le coût de parcours g_{sr} à travers le chemin r , et le coût espéré de stationnement $\hat{g}_{s\lambda}$ à partir du lot λ . Le coût généralisé de déplacement peut donc s'écrire de la manière suivante :

$$\hat{g}_{sr} = g_{sr} + \hat{g}_{s\lambda(r)} \quad (5.5)$$

Tous les usagers d'un même segment de demande s seront confrontés aux mêmes options de choix et subiront les mêmes coûts de déplacement.

5.3.3 Coûts certains

Supposons qu'un usager du segment s évalue l'itinéraire l de manière déterministe, le coût généralisé de l'itinéraire choisi dépend de son coût monétaire et du temps de parcours. Ce coût s'exprime alors par :

$$g_{sr} = G_s(m_r, t_r) \quad (5.6)$$

En admettant un facteur unitaire de pénibilité pour le temps de parcours principal β_s^R pour un usager du segment s , le coût généralisé d'itinéraire s'écrit :

$$g_{sr} = m_r + \beta_s^R t_r \quad (5.7)$$

Par ailleurs, si l'utilisateur obtient une place dans le lot cible λ , alors son coût généralisé de stationnement peut être formulé ainsi :

$$c_{s\lambda} = C_s(m_\lambda, t_\lambda, t_{s\lambda}) \quad (5.8)$$

Cette formulation abstraite permet de prendre en compte les caractéristiques propres des segments de demande telles que la durée de l'activité – et donc la durée de stationnement –, et l'arbitrage entre le coût temporel subi et le coût monétaire supporté. En considérant, pour un usager du segment s , une durée de stationnement η_s et une valeur unitaire de pénibilité de la marche β_s^W , le coût généralisé de stationnement peut s'écrire :

$$c_{s\lambda} = m_\lambda \eta_s + \beta_s^W (t_\lambda + t_{s\lambda}) \quad (5.9)$$

Les fonctions de coût G_s et C_s sont considérées comme certaines dans le sens où elles sont déterminées en amont du processus de recherche, bien qu'elles soient conditionnées par celui-ci.

5.3.4 Processus de recherche, flux, coût et choix de report

5.3.4.1 Processus de recherche

Chaque usager participe à la production de la qualité de service de l'offre de déplacement, en choisissant un lot qui lui convient. L'utilisateur choisit, *a posteriori*, un lot cible qu'on désigne par λ_0 , parmi l'ensemble L_s .

Le processus de recherche se déroule à l'échelle locale. L'utilisateur vérifie la disponibilité de places dans le lot cible. Au sein d'un lot λ , la probabilité de trouver une place immédiate est α_λ . Si l'individu trouve une place, alors il gare son véhicule et la recherche de stationnement est abandonnée. Sinon, un processus de recherche de place commence par la sélection d'un lot de report $n \in L_s$, avec une probabilité de report $p_{\lambda n}^s$ (que nous spécifierons dans la suite de ce chapitre). Cette étape se répète jusqu'au succès. La dispersion de la demande de report est liée à la taille et à l'étendue de l'ensemble L_s . Un exemple du réseau de connexions est présenté dans la section 5.6.

Dans le modèle ParkCap, le processus de recherche est représenté de façon simplifiée. La notion de « **lot cible** » marque le début du processus de recherche. Elle est similaire à celle de « *search starting point* » largement utilisée dans les modèles multi-agents tels que ceux de Martens et *ali.* (2011) et de Waraich et Axhausen (2012). Dans notre cas, le lot cible est sélectionné par l'utilisateur de façon endogène et découle de l'information *ex ante* sur le déplacement, alors que dans le cas des modèles multi-agents, ce point représente le nœud le plus proche du réseau routier. Notons aussi que dans notre modèle, l'utilisateur accepte le premier lot avec une place disponible libre. L'équation (5.4) peut être facilement adaptée pour intégrer un taux d'acceptation des places par l'utilisateur. De même, la modélisation du processus de recherche pourra être sophistiquée en considérant différentes stratégies de recherche.

5.3.4.2 Flux de recherche sur le réseau

On définit comme $\mathbf{p}_s = [p_{\lambda n}^s : \lambda, n \in L_s]$ la matrice de probabilité de transition. Considérons le processus de recherche en admettant une demande *ex ante* de segment s pour l'ensemble des lots L_s , *i.e.* un vecteur de flux de trafic par lot noté $\mathbf{q}_s = [q_{s\lambda} : \lambda \in L_s]$, et en mettant l'accent sur le vecteur de volume de candidats par lot $\mathbf{y}_s = [y_{s\lambda} : \lambda \in L_s]$.

Dans n'importe quel lot λ , le volume de candidats $y_{s\lambda}$ est formé par la demande initiale *ex ante* $q_{s\lambda}$, plus le volume de candidats qui se sont reportés vers le lot λ . Le λ^e

composant de $\mathbf{y}_s \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s$, dans lequel $\mathbf{J}_{s\alpha}$ désigne la matrice diagonale du terme $1 - \alpha_\lambda$ pour $\lambda \in L_s$. D'où, sous la forme vectorielle/matricielle :

$$\mathbf{y}_s = \mathbf{q}_s + \mathbf{y}_s \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s \quad (5.10)$$

De façon équivalente, \mathbf{I}_s désigne la matrice identité pour L_s , on a alors :

$$\mathbf{y}_s (\mathbf{I}_s - \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s) = \mathbf{q}_s \quad (5.11)$$

Dans l'annexe B¹⁵², on démontre que la matrice $\mathbf{I}_s - \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s$ est convertible. Ainsi, en adoptant $\mathbf{H}_{s\alpha p}$ la matrice inverse pour L_s , l'équation 3.4 s'écrit :

$$\mathbf{y}_s = \mathbf{q}_s \mathbf{H}_{s\alpha p} \quad (5.12)$$

Soit $\tau = (\lambda, n)$ une option de transition du lot λ vers le lot n . \mathbf{T}_s désigne l'ensemble des transitions possibles pour le segment de demande s . $x_{s\tau}$ désigne le volume de transitions, et englobe d'une part la proportion de candidats initiaux $y_{s\lambda}$ qui n'ont pas pu se garer dans leur lot cible, c'est-à-dire la proportion résultant de $1 - \alpha_\lambda$, et d'autre part les flux de transition induits par le phénomène de report de places dépendant des probabilités $p_{\lambda n}^s$. Ce flux est égal à $x_{s\tau} = y_{s\lambda} \cdot (1 - \alpha_\lambda) \cdot p_{\lambda n}^s$.

Sous la forme vectorielle, \mathbf{p}_s^u est la matrice obtenue par la juxtaposition des blocs carrés indexés par $\lambda \in L_s$, toutes les lignes sont nulles sauf pour la λ^e ligne qui prend les valeurs de \mathbf{p}_s . Les flux sur le réseau sont obtenus par la formulation suivante :

$$\mathbf{x}_{sT} = \mathbf{y}_s \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s^u = \mathbf{q}_s \mathbf{H}_{s\alpha p} \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s^u \quad (5.13)$$

5.3.4.3 Coût de recherche et coût espéré par lot cible

Nous considérons le coût de recherche de stationnement à partir d'un lot cible vers n'importe quel autre lot de stationnement final, en tenant compte des coûts de transition. Nous supposons que pour un segment de demande s , pour une transition $\tau = (\lambda, n)$ entre le lot λ et le lot n , le coût de transition est composé de $t_{s\tau}$ et de $m_{s\tau}$ qui désignent respectivement un temps et un coût monétaire de transition. Les deux types de coût sont agrégés en un coût généralisé de recherche défini par $c_{s\tau}$. On peut

¹⁵² Cette annexe est extraite du travail de Leurent et Boujnah (2014).

par exemple admettre que $c_{s\tau} = m_{s\tau} + \beta_s^C t_{s\tau}$, où β_s^C désigne la valeur unitaire du temps de transition.

Selon les conditions du système, le coût de recherche subi par le vecteur de demande \mathbf{q}_s dépend des frais de report et du nombre d'usagers qui transitent. Il résulte du produit vectoriel de \mathbf{x}_{sT} et du coût généralisé \mathbf{c}_{sT} . On a ainsi :

$$\tilde{c}_s(\mathbf{q}_s, \alpha_L, \mathbf{p}_s, \mathbf{c}_{sT}) = \mathbf{x}_{sT} \cdot \mathbf{c}_{sT} = \mathbf{q}_s \mathbf{H}_{s\alpha p} \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s \cdot \mathbf{c}_{sT} \quad (5.14)$$

Un report qui commence à partir du lot λ donne lieu à une demande vectorielle $\delta_\lambda^s = [1_{\{\lambda=n\}} : n \in L_s]$, et donc à un coût particulier de recherche, décrit par :

$$\tilde{c}_{s\lambda} = \tilde{c}_s(\delta_\lambda^s, \alpha_L, \mathbf{p}_s, \mathbf{c}_{sT}) = \delta_\lambda^s \mathbf{H}_{s\alpha p} \mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s \cdot \mathbf{c}_{sT} \quad (5.15)$$

Par ailleurs, le coût « final » de stationnement dépend aussi du vecteur de demande \mathbf{q}_s à partir du vecteur dérivé de \mathbf{y}_s . Nous pouvons alors écrire :

$$\hat{c}_s(\mathbf{q}_s, \alpha_L, \mathbf{p}_s, \mathbf{c}_{sL}) = \mathbf{y}_s \text{diag}(\alpha_L) [c_{s\lambda} : \lambda \in L_s] = \mathbf{q}_s \mathbf{H}_{s\alpha p} \text{diag}(\alpha_L) \mathbf{c}_{sL} \quad (5.16)$$

À partir d'un lot cible donné $\lambda \in L_s$, le coût espéré de stationnement peut être formulé comme suit :

$$\hat{g}_{s\lambda} = \tilde{c}_{s\lambda} + \hat{c}_s(\delta_\lambda^s, \alpha_L, \mathbf{p}_s, \mathbf{c}_{sL}) = \delta_\lambda^s \mathbf{H}_{s\alpha p} (\mathbf{J}_{s\alpha} \mathbf{p}_s \cdot \mathbf{c}_{sT} + \text{diag}(\alpha_L) \mathbf{c}_{sL}) \quad (5.17)$$

Le comportement de l'utilisateur est basé sur une connaissance préalable de l'offre de stationnement et du coût de recherche qui en résulte, acquise au cours de ses déplacements antérieurs et de ses essais de stationnement. Cela est particulièrement valable pour les déplacements réguliers, notamment domicile-travail. Mais cette connaissance n'est que partielle car l'utilisateur ne connaît pas l'état du trafic en temps réel. La formulation ci-dessus sert juste à calculer la valeur du coût total espéré de stationnement.

5.3.4.4 Choix local de transition

Les choix de transition sont fondés sur la théorie du choix discret. Les options locales de report à partir du lot λ finissent dans le lot $n \in L_s$, $\tau = (\lambda, n)$, avec une désutilité de déplacement définie par $d_{s\tau} = c_{s\tau} + \hat{g}_{sn} + \epsilon_{sn}$, où ϵ_{sn} est une variable aléatoire. La distribution conjointe de $[\epsilon_{sn} : n \in L_s]$ avec les coûts généralisés de transition et les coûts espérés des lots détermine la probabilité de choix de transition :

$$p_{\lambda n}^s = \Pr\{d_{sn} \leq d_{sm} : \forall m \in L_s\} \quad (5.18)$$

Pour simplifier, nous avons utilisé un modèle logit multinomial pour les choix locaux de report. Ce modèle suppose une distribution identique et indépendante de la variable aléatoire ε_{sn} selon la loi de Gumbel, avec le paramètre θ . La probabilité de transition s'écrit :

$$p_{\lambda n}^s = \frac{\exp(-\theta[c_{s(\lambda,n)} + \hat{g}_{sn}])}{\sum_{m \in L_s \setminus \lambda} \exp(-\theta[c_{s(\lambda,m)} + \hat{g}_{sm}])}, \quad \forall n \in L_s \setminus \lambda \quad (5.19)$$

La formulation abstraite de la formule (5.18) permet de bien saisir les caractéristiques du choix local de report. Elle peut être adaptée aux caractéristiques et aux préférences des classes de demande, ainsi qu'à la configuration spatiale des lots de stationnement – par exemple en limitant le détournement local aux lots voisins ou en polarisant les probabilités pour tenir compte de la géométrie des circuits de recherche sur le réseau. Seuls les effets de mémoire semblent être hors de la portée de notre formulation. Cependant, ces effets sont amortis par la notion de « coût espéré » par lot cible, ce coût espéré étant supposé connu par l'utilisateur.

5.4 L'interaction entre l'offre et la demande

Le modèle ParkCap intègre un groupe de variables liées entre elles par un ensemble de relations et de dépendances. Les variables de la demande dépendent des variables de l'offre et vice versa, les variables de l'offre sont déterminées en fonction des variables de la demande. Dans cette section, nous caractériserons ces dépendances mutuelles et nous poserons la structure logique du modèle.

Nous pouvons décrire les dépendances de manière abstraite, par exemple $\mathbf{x}_I = \mathbf{X}_I(\mathbf{Z}_J \dots)$ où \mathbf{x} est la variable dépendante ; I un ensemble d'indices retenus à partir des chemins (\mathcal{H}), des arcs (\mathcal{A}), des lots (\mathcal{L}), des segments (\mathcal{S}) ou des transitions (\mathcal{T}) ; \mathbf{Z}_J un facteur ; et \mathbf{X}_I une fonction mathématique en notation abrégée pour résumer les influences déjà formalisées de façon détaillée précédemment.

Cette section est organisée en quatre parties : les trois premières seront consacrées à un recueil et à une formalisation des dépendances relatives à la demande (§ 5.4.1), au trafic (§ 5.4.2) et aux coûts (§ 5.4.3). Ensuite, la structure logique sera illustrée par un diagramme d'influence (§ 5.4.4).

5.4.1 Les fonctions de demande

Au niveau du réseau routier, l'affectation des clients aux lots cibles au coût minimum peut s'exprimer par le système suivant : trouver le vecteur $\mathbf{f}_{SR} = [f_{sr} : r \in R_s, s \in S]$ et les variables duales $[\mu_s : s \in S]$ tels que :

$$f_{sr} \geq 0 \quad \forall r \in R_s, \forall s \in S \quad (5.20)$$

$$\sum_{r \in R_s} f_{sr} = Q_s \quad \forall s \in S \quad (5.21)$$

$$\hat{g}_{sr} - \mu_s \geq 0 \quad \forall r \in R_s, \forall s \in S \quad (5.22)$$

$$f_{sr}(\hat{g}_{sr} - \mu_s) = 0 \quad \forall r \in R_s, \forall s \in S \quad (5.23)$$

À l'équilibre, μ_s est égal au coût minimum parmi les options d'itinéraire des usagers du segment s . Le système (5.20)-(5.23) peut être résumé comme suit :

$$\mathbf{f}_{SR} \in \mathbf{F}_{SR}(\mathbf{Q}_S, \hat{\mathbf{g}}_{SR}) \quad (5.24)$$

La demande par lot \mathbf{q}_{SL} découle des flux de trafic sur les itinéraires, de manière simplifiée : $q_{s\lambda} = \sum_{r \in \lambda} f_{sr}$, où $\{r \in \lambda\}$ indique que le lot λ est situé à l'extrémité finale de l'itinéraire r . De façon abstraite :

$$\mathbf{q}_{SL} = \mathbf{Q}_{SL}(\mathbf{f}_{SR}) \quad (5.25)$$

Concernant les comportements de circuitage local et de recherche de place libre de stationnement par segment de demande, la matrice des probabilités de transition \mathbf{p}_{ST} dépend des coûts de transition $\mathbf{c}_{ST} = [c_{st} : t \in T_s, s \in S]$ et des coûts espérés des lots $\hat{\mathbf{g}}_{SL} = [\hat{g}_{s\lambda} : \lambda \in L_s, s \in S]$, d'où :

$$\mathbf{p}_{ST} = \mathbf{P}_{ST}(\mathbf{c}_{ST}, \hat{\mathbf{g}}_{SL}) \quad (5.26)$$

5.4.2 Les fonctions de trafic

Par segment s et par lot λ , le volume de candidats $y_{s\lambda}$ dépend des entrées des flux dans les lots cibles de ce segment $[q_{sn} : n \in L_s]$, des probabilités de succès α_L et des probabilités de transition \mathbf{p}_{sL} , d'où :

$$\mathbf{y}_{SL} = \mathbf{Y}_{SL}(\mathbf{q}_{SL}, \alpha_L, \mathbf{p}_{ST}) \quad (5.27)$$

Par segment s et par transition $\tau = (\lambda, n)$ entre les lots de l'ensemble L_s , le volume de flux de transition $x_{s\tau}$ découle de (5.13). Ainsi, en forme vectorielle :

$$\mathbf{x}_{ST} = \mathbf{X}_{ST}(\mathbf{y}_{SL}, \boldsymbol{\alpha}_L, \mathbf{p}_{ST}) \quad (5.28)$$

Par segment de demande et par arc du réseau, le volume de trafic de l'itinéraire r provient des flux de trafic sur le réseau induit par tous les segments de demande et tous les chemins du réseau : $f_{sa} = \sum_{r \ni a} f_{sr}$, d'où :

$$\mathbf{f}_{SA} = \mathbf{F}_{SA}(\mathbf{f}_{SR}) \quad (5.29)$$

Au niveau des arcs, le volume de flux v_{sa} découle des flux sur les chemins principaux et des effets des flux de recherche. Supposons qu'une proportion donnée $\gamma_{a\tau}$ de $x_{s\tau}$ soit affectée à l'arc a , alors :

$$\mathbf{v}_{SA} = \mathbf{V}_{SA}(\mathbf{f}_{SA}, \mathbf{x}_{ST}, \boldsymbol{\Gamma}_{AST}) \quad (5.30)$$

Pour simplifier, n'importe quelle transition peut être affectée de façon déterministe à un itinéraire du réseau, avec $\gamma_{a\tau}$ égale à 1 ou à 0.

Par lot, la probabilité de trouver une place α_λ dépend du nombre de candidats par lot $Y_\lambda = \sum_{s \in S} y_{s\lambda}$, d'où :

$$\boldsymbol{\alpha}_L = \mathbf{A}_L(\mathbf{y}_{SL}, \boldsymbol{\kappa}_L) \quad (5.31)$$

Les temps de parcours sur les arcs sont liés aux flux sur les arcs selon les fonctions des temps de parcours :

$$\mathbf{t}_{SA} = \mathbf{T}_{SA}(\mathbf{v}_{SA}) \quad (5.32)$$

Les temps de parcours sur les chemins découlent des temps de parcours sur les arcs $t_{sr} = \sum_{a \in r} t_{sa}$, alors :

$$\mathbf{t}_{SR} = \mathbf{T}_{SR}(\mathbf{t}_{SA}) \quad (5.33)$$

5.4.3 Les fonctions de coûts

Pour un client du segment s , le coût monétaire de déplacement sur l'arc a dépend du prix exogène et du temps de parcours sur l'arc, on a alors :

$$\mathbf{m}_{SA} = \mathbf{M}_{SA}(\mathbf{t}_{SA}) \quad (5.34)$$

Les dépenses monétaires sont composées par itinéraire, d'où :

$$\mathbf{m}_{SR} = \mathbf{M}_{SR}(\mathbf{m}_{SA}) \quad (5.35)$$

Par chemin, le coût généralisé de parcours résulte du temps et des frais dépensés, d'où :

$$\mathbf{g}_{SR} = \mathbf{G}_{SR}(\mathbf{t}_{SR}, \mathbf{m}_{SR}) \quad (5.36)$$

Les coûts du stationnement dans les lots \mathbf{c}_{SL} sont supposés exogènes et peuvent varier par segment. Les coûts de transition dépendent des temps de parcours, des dépenses monétaires et des liens $\Gamma_{AST} = [\gamma_{a\sigma\tau} : a \in \mathbf{A}, s \in \mathbf{S}, \tau \in \mathbf{T}_s]$ entre les transitions et les arcs du réseau, selon :

$$\mathbf{c}_{ST} = \mathbf{C}_{ST}(\mathbf{t}_{SA}, \mathbf{m}_{SA}, \Gamma_{AST}) \quad (5.37)$$

Les coûts espérés de recherche et de stationnement des lots sont soumis à :

$$\hat{\mathbf{g}}_{SL} = \hat{\mathbf{G}}_{SL}(\alpha_L, \mathbf{p}_{ST}, \mathbf{c}_{ST}, \mathbf{c}_{SL}) \quad (5.38)$$

Enfin, le coût espéré d'itinéraire inclut le temps de parcours principal jusqu'au lot cible et le coût de recherche et de stationnement à partir de ce lot :

$$\hat{\mathbf{g}}_{SR} = \hat{\mathbf{G}}_{SR}(\mathbf{g}_{SR}, \hat{\mathbf{g}}_{SL}) \quad (5.39)$$

5.4.4 Structure logique du modèle

Les équations (5.24) à (5.39) décrivent un système interconnecté de dépendances entre les variables d'état du modèle ParkCap. La figure 5.2 présente une vue d'ensemble, elle illustre la structure logique du modèle et trace l'ensemble des influences entre les variables. Le diagramme nous permet d'identifier les sous-ensembles suivants :

- un modèle de demande de trafic principal dans lequel le vecteur des flux sur les chemins est déterminé et dépend des flux sur les arcs et des flux vers les lots cibles ;
- un modèle de demande locale pour les probabilités de transition ;
- un modèle d'offre et de demande de stationnement, qui donne lieu aux flux de recherche et aux probabilités de trouver une place selon les flux initiaux dans les lots cibles, les probabilités de transition et la capacité préalable des lots ;
- un modèle de trafic qui détermine les flux de transition, les flux sur les arcs, les temps de parcours sur les arcs et les temps de parcours sur les chemins ;
- un modèle de coût pour obtenir les coûts monétaires sur les arcs, sur les itinéraires et dans les lots, ainsi que les coûts espérés de stationnement et d'itinéraire.

Les sous-modèles de demande d'itinéraire, de trafic et de coût sont simples, dans la mesure où leurs sorties n'exercent aucune rétroaction sur les entrées. En revanche, le modèle de demande locale et le modèle offre-demande de stationnement exercent des rétroactions et des feed-back, ce qui les rend plus compliqués à résoudre. La figure 5.3 illustre les sous-modèles comme un système connecté par des flux logiques.

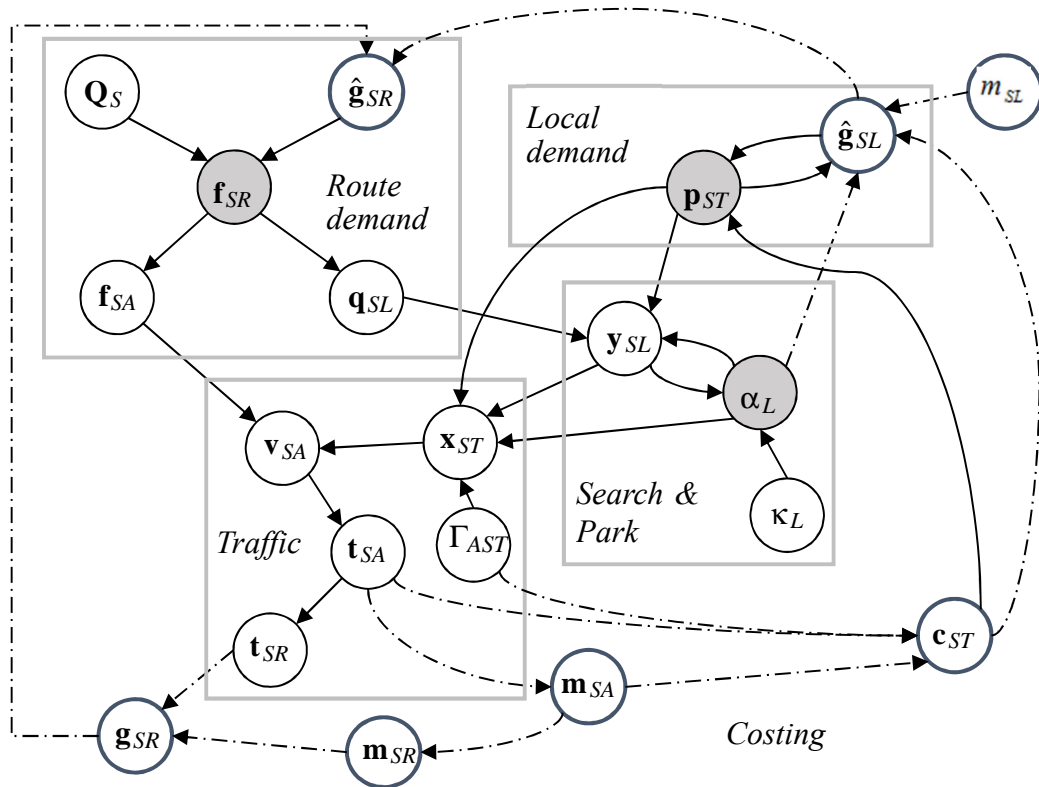


Figure 5.2 : Structure des dépendances logiques entre les variables du modèle ParkCap (le modèle de coûts est représenté par les lignes en pointillé).

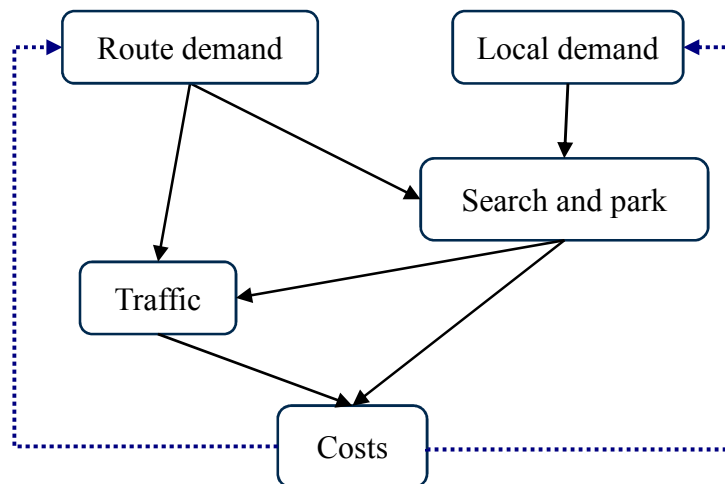


Figure 5.3 : Les sous-modèles de ParkCap et les flux logiques entre eux.

5.5 Analyse mathématique du modèle

Le modèle ParkCap établit un état d'équilibre offre-demande en conciliant des lois physiques pour le remplissage des lots et pour la circulation des véhicules avec des lois microéconomiques pour le comportement des usagers dans leur choix d'itinéraire et leur recherche de place.

Dans cette section, nous mettrons l'accent sur deux aspects importants : (i) la caractérisation de l'équilibre, *i.e.* la détermination d'un état stable du système cohérent avec toutes les influences et les dépendances, et (ii) le développement d'un schéma de résolution pour cet équilibre.

5.5.1 Formulation de l'équilibre

La plupart des variables du modèle ParkCap sont endogènes, à l'exception des volumes de demande par segment \mathbf{q}_s , des capacités physiques des lots κ_λ , des tarifs par lot et par arc du réseau, respectivement m_λ et m_a .

Parmi les variables endogènes, considérons le triplé $\mathbf{z} = (\mathbf{f}_{SR}, \mathbf{p}_{ST}, \alpha_L)$ comme les principales variables d'état du modèle. On peut vérifier, à partir du diagramme d'influence présenté plus haut (figure 5.2), que ces trois variables jouent un rôle structurant dans la hiérarchie des dépendances au sein du modèle.

5.5.1.1 Définition de l'équilibre de circulation et de stationnement

Soit $\mathbf{z} = (\mathbf{f}_{SR}, \mathbf{p}_{ST}, \alpha_L)$ un équilibre si et seulement si les conditions (4.2) à (4.17) sont conjointement satisfaites.

Le système des équations (5.24)-(5.39) équivaut à un problème de point fixe en \mathbf{z} : trouver \mathbf{z}^* tel que (5.24), (5.26) et (5.31) sont vérifiées lorsque toutes les autres variables endogènes sont basées sur \mathbf{z}^* .

5.5.1.2 Existence et unicité de la solution

Il est courant en ingénierie de trafic – et précisément dans les modèles d'affectation de trafic sur le réseau – de traiter les choix d'itinéraire sur la base du vecteur de flux sur les chemins (e.g. Sheffi, 1985). Alors, une première façon de procéder consiste à adopter cette même approche pour notre modèle, en essayant de résoudre de manière intégrée $(\mathbf{p}_{ST}, \mathbf{c}_{ST})$ d'une part, et $(\alpha_L, \mathbf{y}_{SL})$ d'autre part. Cependant, cette façon de faire est écartée car elle demande un important effort pour résoudre le premier problème et ne garantit pas de solution pour le second, particulièrement lorsqu'un

sous-ensemble L_s présente peu d'opportunités de report au moment où un lot cible est saturé.

En remplaçant le système (5.20)-(5.23) de l'affectation déterministe sur le réseau avec des conditions analogues à celles de l'affectation stochastique, alors \mathbf{F}_{SR} dans (5.24) sera une fonction continue et le système (5.24)-(5.39) aboutira à une fonction continue de \mathbf{z} . Étant donné que \mathbf{p}_{ST} et $\boldsymbol{\alpha}_L$ sont des probabilités, et puisque les flux de trafic sont non négatifs et délimités par les volumes de demande par segment, l'ensemble admissible est compact. Si l'on admet que le système est faisable, *i.e.* que la capacité totale de stationnement est supérieure au volume total de demande de déplacement et que les sous-ensembles permettent une forte dispersion de la demande locale, alors l'ensemble admissible est compact et non vide. Ainsi, si la fonction du point fixe est continue, il existe une solution d'équilibre conjoint de trafic et de stationnement.

Cette démonstration peut être étendue à l'affectation déterministe en la considérant comme un cas limite de l'affectation stochastique. L'unicité de l'équilibre de circulation et de stationnement reste un sujet ouvert, du moins pour les probabilités de succès.

La faisabilité du système peut être affirmée par la résolution d'un problème auxiliaire de « distribution possible » sur un réseau spécifique. Dans ce réseau, un nœud source est associé à chaque segment de demande s et à chaque lot de stationnement λ , un dernier nœud joue le rôle de réservoir ou d'absorption, et il y a deux types de liens : d'abord, à partir de chaque nœud de la demande s vers chaque nœud de lot de stationnement dans L_s , on a un lien orienté de capacité infinie ; ensuite, à partir de chaque nœud de stationnement λ jusqu'au nœud réservoir, il existe un lien orienté de capacité κ_λ . Le problème de « distribution faisable » consiste à trouver un flux sur ce réseau en cohérence avec les entrées et la capacité des arcs. Il peut être résolu par un simple algorithme spécifique (Rockafellar, 1984). Évidemment, la capacité totale des lots doit être supérieure au flux total de demande de déplacement. Néanmoins, cette condition est insuffisante en général pour la faisabilité du système car il peut exister un manque de capacité locale qui ne puisse pas être résolu par le report vers les lots voisins.

5.5.2 Méthodes et schéma de résolution

Pour résoudre l'équilibre de circulation et de stationnement, nous avons adopté une approche mixte dans laquelle l'équilibre est formulé comme un problème d'inéquation variationnelle pour les flux de trafic sur le réseau, et comme un problème de point fixe pour les probabilités de succès et les probabilités de transition.

Pour simplifier, nous proposons de résoudre le problème d'inéquation variationnelle par un algorithme itératif basé sur la méthode des moyennes successives, *i.e.* en admettant une combinaison convexe de l'état courant $\mathbf{f}_{SR}^{(k)}$ avec un état auxiliaire $\mathbf{f}_{SR}^{(k)}$ qui permet de résoudre (4.1) en respectant l'état courant des coûts, dans un nouvel

état $\mathbf{f}_{SR}^{(k+1)} = \mathbf{f}_{SR}^{(k)} + \zeta_k (\tilde{\mathbf{f}}_{SR}^{(k)} - \mathbf{f}_{SR}^{(k)})$, où ζ_k est une séquence décroissante de nombres dans $]0,1[$ sauf pour $\zeta_0 = 1$.

Du côté des probabilités, une combinaison convexe est utilisée pour obtenir un nouvel état, mais en optant pour des coefficients fixes, soit ω_α pour les probabilités de succès et ω_p pour les probabilités de transition.

Ce problème d'équilibre de circulation et de stationnement peut être résolu par un algorithme composé de cinq étapes distinctes.

Étape 1 – Initialisation : Poser $k := 0$, $\alpha_\lambda := 1 \quad \forall \lambda \in L$, $p_{\lambda\kappa}^s := 1/|L_s|$
 $\forall \lambda, n \in L_s$ et $\forall s \in S$, $\mathbf{f}_{SR}^{(0)} := \mathbf{0}$.

Étape 2 – Calcul des coûts d'itinéraire et de stationnement : Sur la base de $\mathbf{z}^{(k)}$, évaluer les coûts sur les arcs, les coûts sur les itinéraires, les coûts des transitions, les coûts espérés de stationnement et d'itinéraire $\hat{\mathbf{g}}_{SR}^{(k)}$.

Étape 3 – Affectation du trafic à l'état auxiliaire : Affecter les volumes de demande aux itinéraires ayant le plus petit coût espéré et donner $\tilde{\mathbf{f}}_{SR}^{(k)}$.

À partir de ça et des probabilités actuelles, induire $\tilde{\mathbf{q}}_{SL}^{(k)}$ et $\tilde{\mathbf{y}}_{SL}^{(k)}$. Puis dériver $\tilde{\alpha}_L^{(k)}$ selon (5.31) et $\tilde{\mathbf{p}}_{ST}^{(k)}$ selon les coûts actuels de transition et les coûts espérés de stationnement.

Étape 4 – Vérification de l'équilibre par combinaison convexe :

Soit $\mathbf{f}_{SR}^{(k+1)} := \mathbf{f}_{SR}^{(k)} + \zeta_k (\tilde{\mathbf{f}}_{SR}^{(k)} - \mathbf{f}_{SR}^{(k)})$, $\alpha_L^{(k+1)} := \alpha_L^{(k)} + \omega_\alpha (\tilde{\alpha}_L^{(k)} - \alpha_L^{(k)})$

et $\mathbf{p}_{ST}^{(k+1)} := \mathbf{p}_{ST}^{(k)} + \omega_p (\tilde{\mathbf{p}}_{ST}^{(k)} - \mathbf{p}_{ST}^{(k)})$.

Étape 5 – Test de convergence : Si la distance entre $\mathbf{z}^{(k)}$ et $\mathbf{z}^{(k+1)}$ est suffisamment petite, arrêter. Sinon, poser $k = k+1$ et retour à l'étape 2.

La convergence est considérée selon le critère de distance et la somme des fonctions par composant dans \mathbf{z} . Un *gap dual* pour \mathbf{f}_{SR} et les distances carrées de chaque vecteur de probabilité s'écrit comme suit :

$$DG(\mathbf{f}_{SR}) = \sum_{s,r} \hat{\mathbf{g}}_{sr}^{(k)} (\mathbf{f}_{sr}^{(k)} - \tilde{\mathbf{f}}_{sr}^{(k)}),$$

$$D_{\tilde{\alpha}}^2 = \left\| \tilde{\alpha}_L^{(k)} - \alpha_L^{(k)} \right\|^2 \text{ and } D_p^2 = \left\| \tilde{\mathbf{p}}_{ST}^{(k)} - \mathbf{p}_{ST}^{(k)} \right\|^2.$$

5.6 Applications numériques

Afin d'expliquer et de tester le fonctionnement du modèle, nous avons étudié deux applications numériques. Le premier cas d'école se veut simple et vise à illustrer la modélisation du phénomène de report et les réseaux de transition entre lots dans une zone homogène. Le second cas d'école permettra d'étudier le choix d'itinéraire et de stationnement sur le réseau routier, et d'évaluer les effets de la recherche de place sur le trafic routier et sur le coût de déplacement pour l'utilisateur.

5.6.1 Cas du réseau symétrique

Dans un premier temps, pour simplifier, nous traiterons le trafic routier de manière exogène. Nous nous concentrerons sur la modélisation des circuits de report entre lots voisins, en reprenant l'étude de cas présentée dans Laurent et Boujnah (2012).

5.6.1.1 Présentation du cas

On considère un réseau urbain de forme radiale et symétrique qui se compose d'un centre dense (anneau 0) et de deux zones autour de lui (anneau 1 et anneau 2). Chaque couronne périphérique est divisée en N zones, chacune d'elles constituant une zone de destination avec un seul lot de stationnement situé dans son centroïde. On a ainsi trois types de lot : $\lambda \in \{0,1,2\}$. Les lots d'un même anneau ont la même capacité κ_λ . La capacité totale de stationnement sur ce réseau peut s'écrire : $\mathbf{K} = \kappa_0 + N\kappa_1 + N\kappa_2$. Pour simplifier, on ne prend en compte que les lots gratuits et accessibles à tous les usagers, et les arcs du réseau routier qui connectent les lots voisins (voir figure 5.4a).

Du côté de la demande, on considère un segment d'utilisateurs par zone de destination avec une quantité de flux initiale de Q_s . Pour simplifier, le choix du lot est traité de façon exogène, en admettant que le lot cible choisi *ex ante* est celui situé au centroïde de la zone de destination. De même, la circulation de parcours principal est négligée et les zones d'origine ne sont pas représentées. La circulation de recherche locale est aussi traitée de façon exogène. Par segment de demande, l'ensemble de lots de stationnement éligibles est composé du lot central de la zone de destination et des lots situés à son voisinage immédiat. Nous admettons que les reports entre lots se limitent aux lots voisins. Les réseaux de report local par anneau sont illustrés dans la figure 5.4b.

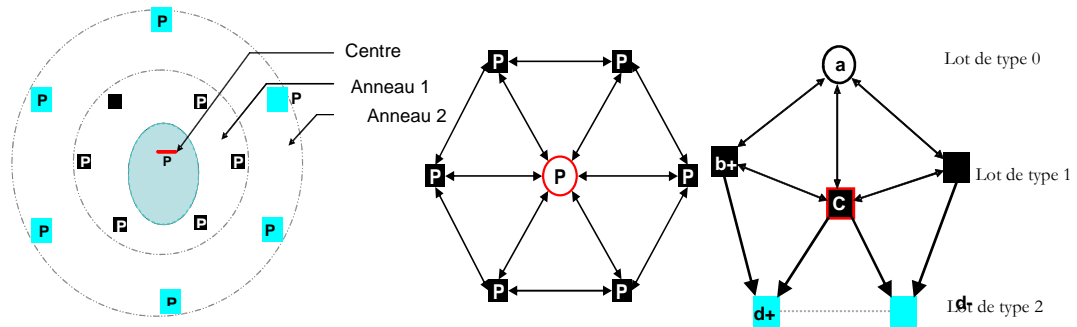


Figure 5.4 : Configuration du réseau étudié (a) ; Réseau de report local à partir du lot central (b) ; Réseau de report local à partir d'un lot de la première couronne (c).

Pour l'ensemble des lots de stationnement pour les usagers qui ont pour destination le centre (anneau 0), *i.e.* le segment 0 qui est composé des lots de l'anneau 0 ou 1 : à partir du lot 0, la probabilité de report vers chaque lot du premier anneau est de $p_{0n}^{(0)} = 1/N$; à partir de n'importe quel lot de la première couronne, la probabilité de report vers un lot du même anneau est de $p_{n,n+\varepsilon}^{(0)} = \beta$ pour $\varepsilon = \pm 1$ et 0 sinon et de $p_{n0}^{(0)} = 1 - 2\beta$. La demande Q_0 du segment 0 induit un flux de recherche équivalent à $y_0^{(0)} = Q_0(1 - 2\beta\bar{\alpha}_1)/\sigma$ vers le lot central et à $y_{1n}^{(0)} = Q_0\bar{\alpha}_0/[N\sigma]$ vers n'importe quel lot de l'anneau 1, avec $\bar{\alpha}_\lambda = 1 - \alpha_\lambda$ et $\sigma = 1 - 2\beta\bar{\alpha}_1 - \bar{\alpha}_0\bar{\alpha}_1(1 - 2\beta)$ (voir démonstration annexe B). L'hypothèse de la symétrie permet de réduire le nombre de paramètres à 10 pour 20 transitions.

Enfin, pour toute destination de l'anneau 2, la demande est Q_2 . On suppose qu'elle est entièrement satisfaite par les lots de type 2 car on considère qu'ils disposent d'une large capacité, d'où $\alpha_{2n} = 1$. De la sorte, il n'y aura aucun besoin de report depuis ces lots, comme l'illustre la figure 5.4c (nœuds d^+ et d^-).

5.6.1.2 Équilibre de stationnement et analyse paramétrique

Le choix d'itinéraire a été simplifié pour mettre l'accent sur l'occupation des lots en fonction de la demande initiale, soit Q_n/κ_n , sur les probabilités de succès α_n et sur le ratio de circuitage $y_{s\lambda}/q_\lambda$. Les principales variables endogènes sont réduites à α_0 et α_1 , étant donné que $\alpha_2 = 1$. Le vecteur des α_L , le vecteur de demande initiale par lot Q_L et le vecteur des probabilités de transition \mathbf{p}_{ST} donnent le vecteur de flux de report \mathbf{y}_{SL} et, en conséquence, le volume de candidats par lot \mathbf{Y}_L qui s'écrit comme suit : avec la symétrie, $Y_0 = y_0^{(0)} + Ny_a^{(1)}$ lorsque $Y_{1,n} = y_1^{(0)} + y_c^{(1)} + 2y_b^{(1)}$ et

$Y_{2,n} = 2y_d^{(1)} + Q_2$. Ces candidats sont confrontés aux contraintes de capacité des lots et déterminent les probabilités de succès α_L . L'équilibre de trafic se réduit à un problème de point fixe à deux variables, α_0 et α_1 .

Le tableau 5.1 présente les paramètres retenus pour le cas où $N = 6$. Cette application numérique a été résolue par un solveur sous Excel. On a fait varier le volume de demande *ex ante* pour la zone centrale entre 0 et 2 000. Pour les deux autres segments, la demande est maintenue fixe. Cela permet au lot central de passer d'un état d'absence de saturation à un état de congestion de stationnement, où le report entre lots prend tout son sens.

Les figures 5.5 à 5.8 illustrent les principaux résultats. Elles mettent l'accent sur la probabilité de succès par lot, sur le volume de candidats par type de transition et sur le coût espéré de stationnement par lot cible et par segment de demande, en fonction du paramètre Q_0 , *i.e.* du volume de demande de stationnement dans le centre.

Tableau 5.1: Paramètres de simulation.

Capacité des lots (véh./h)	Segment inflow (véh./h)	Probabilités de transition	Coût de transition sur le réseau
$\kappa_0 = 500$	$Q_0 = [0, 2\ 000]$	Segment 0 : $\beta = 0.4$	Égal à 1 quel que soit l'arc
$\kappa_n = 250$	$Q_n = 500$	Segment 1 :	
$\kappa_{2n} = 1\,000$	$Q_{2n} = 500$	$p_{ca} = p_{cb} = p_{cd} = 0.2$ $p_{ac} = 0.6, p_{ab} = 0.2$ $p_{bc} = 0.3, p_{ba} = 0.2, p_{bd} = 0.5$	

Un flux de demande totale de 2 000 de Q_0 entraîne la saturation de l'offre de stationnement sur le réseau. La figure 5.5 montre que lorsqu'on s'approche vers cette borne et que, au fur et à mesure que Q_0 augmente, les probabilités de trouver une place diminuent et tendent vers 0 pour les lots de type 0 et de type 1 qui constituent l'ensemble de stationnement et de report de la zone centrale. Cette baisse de probabilités s'explique par la croissance des volumes de candidats (figure 5.6).

Les flux de recherche pour le segment 0 sont illustrés dans la figure 5.7. On remarque qu'à partir d'une valeur de $Q_0 = 1\ 000$, les lots de type 1 accueillent le plus important flux de transition, ce qui s'explique par la forte saturation du lot central.

Le coût estimé de recherche augmente selon une forme hyperbolique pour le segment 0, tandis qu'il croît moins rapidement et de façon linéaire pour le segment 1 (figure 5.8). Les rythmes de croissance de ces coûts sont inverses de ceux des probabilités de trouver une place.

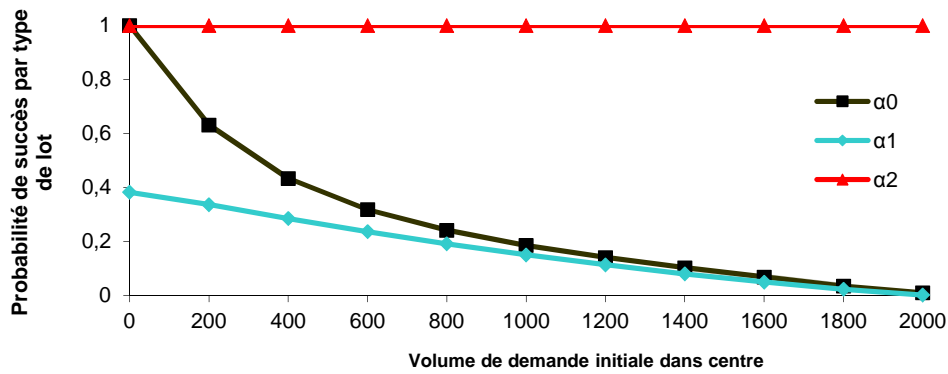


Figure 5.5 : Probabilité de succès d'une candidature par type de liaison de report, en fonction du volume de demande dans le centre.

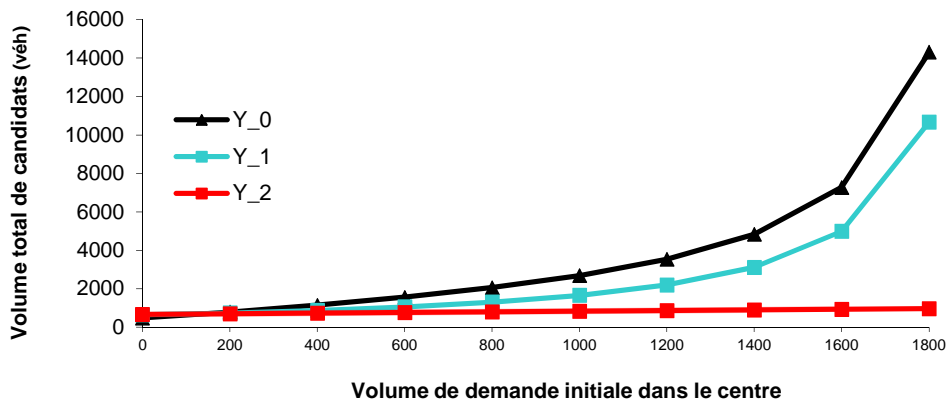


Figure 5.6 : Volume total de candidats par type de lot, en fonction de la demande initiale dans le centre.

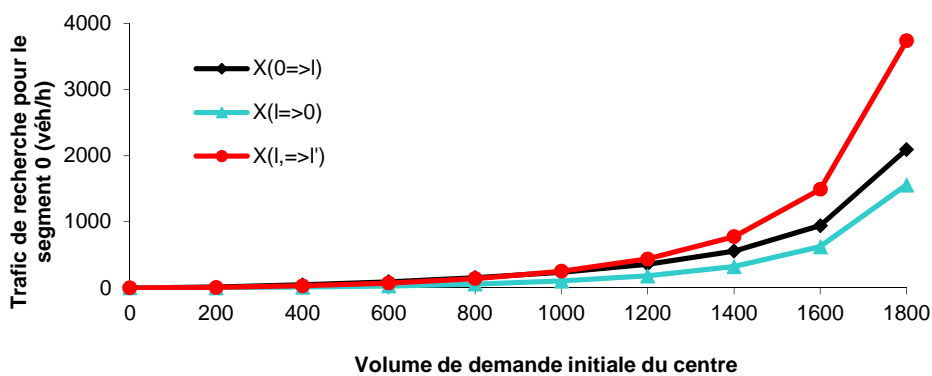


Figure 5.7 : Trafic de recherche par type d'arc sur le réseau, en fonction du volume de demande initiale pour le centre (a) pour le segment 0 et (b) pour le segment 1.

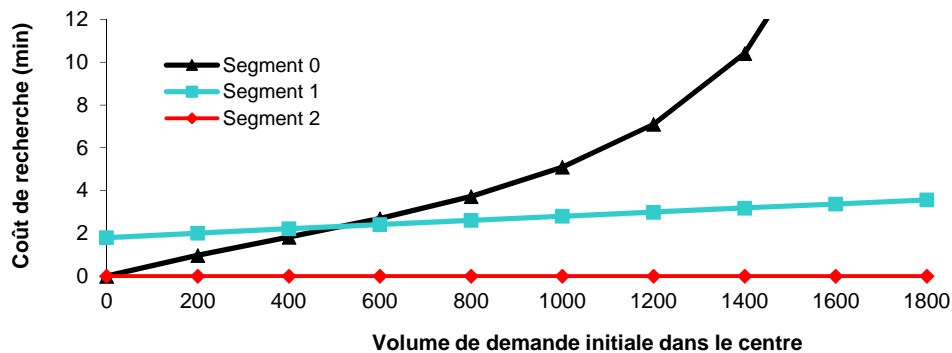


Figure 5.8 : Coût individuel de recherche par segment de demande, en fonction du volume de demande pour le centre.

5.6.1.3 Discussion

Ce cas d'école a permis d'illustrer la modélisation du phénomène de recherche locale de stationnement sur un réseau routier. Nous l'avons choisi car grâce à l'hypothèse de la symétrie, il est simple, rapide à coder et facilement reproductible par le lecteur. Toutefois, il ne peut être appliqué qu'à un nombre réduit de zones de destination pour s'aligner sur les contraintes de calcul sur Excel, notamment pour les dimensions des matrices. Pour l'étude d'un réseau plus grand, la programmation d'un code informatique est indispensable.

Par ailleurs, la pertinence des hypothèses et des résultats mérite d'être discutée. Premièrement, la définition du lot local de la zone de destination comme lot cible conduit à une surestimation des coûts de recherche et du trafic de transition. Dans la pratique, à partir d'un certain niveau de saturation du lot central, les coûts de recherche deviennent très élevés et un usager du segment 0 choisira *ex ante* un lot de type 1. Dans ce cas, son coût de recherche sera similaire à celui pour un usager du segment 1. Cela montre l'intérêt de prendre explicitement en considération le choix d'itinéraire et de lot cible. Deuxièmement, les probabilités de transition sont exogènes, ce qui influence fortement les valeurs des probabilités de succès et des volumes de flux de recherche : des probabilités endogènes devraient améliorer nettement les résultats. Troisièmement, la restriction de l'aire de stationnement du segment 0 aux lots de l'anneau 1 favorise la forte congestion du stationnement dans le centre. Dans la réalité, l'usager peut se reporter vers un lot situé plus loin pour essayer de trouver une place. Quatrièmement, cet exemple ne tient pas compte des caractéristiques des situations réelles de choix de stationnement, les coûts de stationnement sont réduits aux coûts de report, or dans la réalité, ils peuvent englober un coût monétaire et un coût d'accès terminal.

5.6.2 Cas d'un réseau routier avec une paire O-D et trois lots

Pour surmonter les limites du premier cas d'école, nous avons développé un deuxième exemple qui traite explicitement les choix *ex ante* d'itinéraire et de stationnement, et les choix de circuit de report local sur le réseau. Dans ce qui suit, nous reprendrons l'exemple présenté dans Leurent et Boujnah (2014).

5.6.2.1 Présentation du cas

Soit un réseau routier non orienté composé d'un ensemble de nœuds et d'arcs, avec un seul point d'origine, le nœud 0. Ce réseau donne accès à une seule zone de destination dans laquelle l'offre de stationnement est composée de 3 lots gratuits et de même type (P1, P2 et P3), de capacité différente (350, 850 et 1 300 places) et qui sont différemment situés par rapport à la destination finale (200 mètres, 300 mètres et 400 mètres). Au réseau routier initial (arcs 1 à 6), on ajoute des arcs d'accès aux lots (arcs 5, 6 et 7) et des arcs d'accès terminal vers la destination (voir figure 5.9).

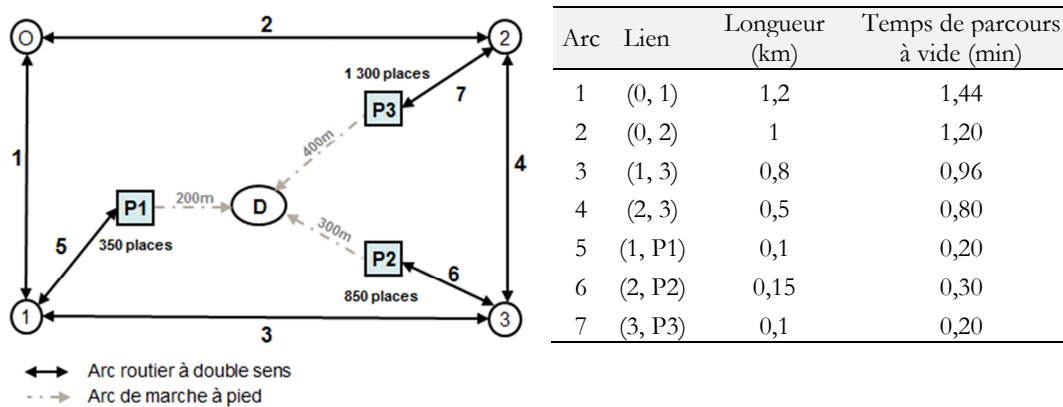


Figure 5.9 : Structure et caractéristiques du réseau routier.

Le tableau 5.2 expose les caractéristiques du réseau routier. Le temps de parcours sur chaque arc est calculé par une fonction temps-débit de type BPR qui s'écrit :

$$t(x) = t_{ff} \cdot [1 + a \frac{x}{k}]^b \quad t(x) = t_{ff} \cdot [1 + 0.4 \frac{x}{k}] \quad (5.40)$$

où :

t_{ff} désigne le temps de parcours à vide ;

x désigne le volume de trafic sur l'arc ;

k désigne la capacité totale de l'arc, fixée à 1 000 ;

a et b constituent des paramètres, établis respectivement à 0,4 et 1.

Du côté de la demande, les usagers sont groupés en deux segments homogènes : les pendulaires et les non-pendulaires, qui disposent tous d'une seule paire O-D et ont accès à l'ensemble des lots.

On considère que les usagers ont une perception différente du temps selon le segment. Le coefficient de pénalité pour le temps de recherche est estimé à 1,38 du temps de parcours. De même, pour la marche, le coefficient de pénibilité est défini à 1,5 et à 1,2 respectivement pour les pendulaires et les non-pendulaires. La vitesse de marche est fixée à 3,6 kilomètres par heure pour tous les usagers. Les choix de report entre lots sont modélisés par un modèle logit multinomial de paramètre $\theta=0,1$ par minute pour les deux segments.

5.6.2.2 Analyse paramétrique

La période de simulation s'étend sur 1 heure. Pour tester le comportement du modèle, on fait varier le volume de demande initiale entre 0 et 2 250 véhicules par heure, valeur à laquelle l'offre de stationnement sera saturée à 90 %. Cette variation se répartit de manière identique entre les deux segments de demande.

La conception de cet exemple permet de résoudre numériquement le problème d'affectation de trafic. Pour un usager donné, dans des conditions d'écoulement libre de trafic, le lot P1 est préféré car il présente un temps physique de 1,6 minute pour l'accès principal, auquel on ajoute le coût de recherche et le coût terminal de marche, d'où un coût généralisé de déplacement de $1,6 + 0 + 5,5 = 7,1$ minutes pour un pendulaire et de $1,6 + 0 + 4 = 5,6$ minutes pour un non-pendulaire. De la même manière, le lot P2 présente un temps physique de 1,6 minute, ce qui donne lieu à un coût généralisé de déplacement de 9,8 et de 7,5 minutes respectivement pour un pendulaire et pour un non-pendulaire. Le lot P3 est le moins attractif, avec un coût généralisé total respectivement de 10 minutes et de 13 minutes pour les deux segments.

Au fur et à mesure que la demande de véhicules augmente, le lot P1 se remplit, et il atteint la saturation lorsque $Q = \kappa_1 = 350$ véhicules. Le lot P2 devient alors une option de stationnement intéressante pour les pendulaires et indirectement, une option de report pour les non-pendulaires. Le lot P3 sert principalement comme lot de report induit par la saturation du lot P1 dans un premier temps mais aussi du lot P2 dans un deuxième temps. Cela se produit lorsque $Q = \kappa_1 + \kappa_2 = 1\ 200$ véhicules.

La figure 5.10 montre les probabilités de trouver une place par lot en fonction du volume de demande initiale (à droite) et du niveau d'occupation des lots (à gauche). On observe que le lot P1 est rapidement rempli et que le lot P3 ne devient intéressant qu'après saturation de P2, soit pour une demande totale de 1 250 véhicules par heure. D'ailleurs, ce n'est qu'à partir de ce niveau de demande que le volume total de candidats dans ce lot augmente sensiblement (figure 5.10). Ce constat rejoint notre analyse intuitive.

La figure 5.11 illustre l'évolution du volume de trafic sur le réseau selon le flux de demande initiale de déplacement. Elle montre que les flux de recherche augmentent sensiblement à partir de la saturation totale de P1 et de P2. Leur part passe de 10 % à 15 % puis à 30 % pour un niveau de charge de stationnement respectivement de 20 %, 50 % et 90 %. Ces constats sont confirmés par la figure 5.13, qui permet de comparer la répartition du trafic total sur le réseau et la part du trafic de recherche par arc pour différents niveaux de demande.

La figure 5.12 montre la distribution des coûts de déplacement par segment de demande selon le volume de déplacement. On observe un écart notable entre les coûts de transition des lots P1 et P2 et celui de P3. Pour P1 et P2, ces coûts augmentent sensiblement à partir du moment où les lots sont entièrement chargés, tandis que les valeurs des coûts de marche demeurent inchangées pour tous les usagers, avec des valeurs plus importantes pour les pendulaires car ils sont plus sensibles à l'accès terminal.

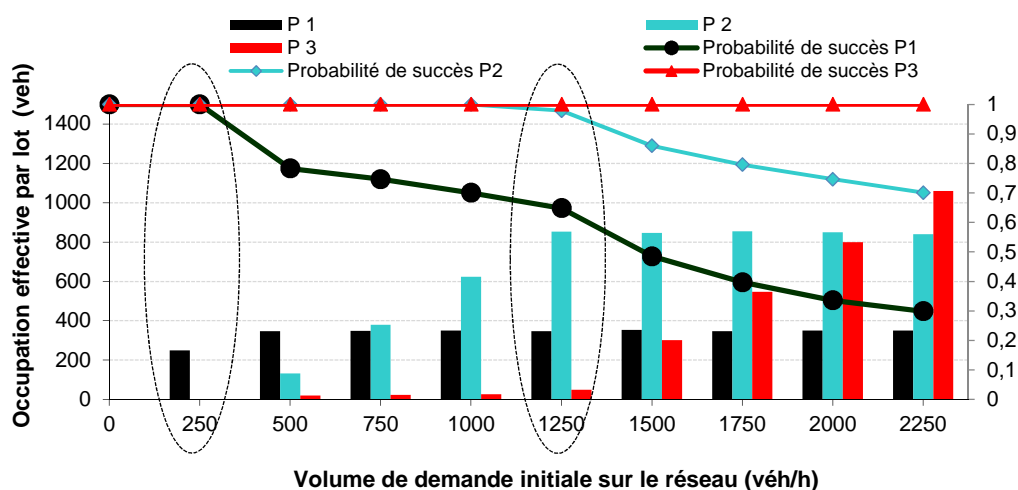


Figure 5.10 : Charge par lot et probabilité de succès en fonction de la demande initiale de trafic.

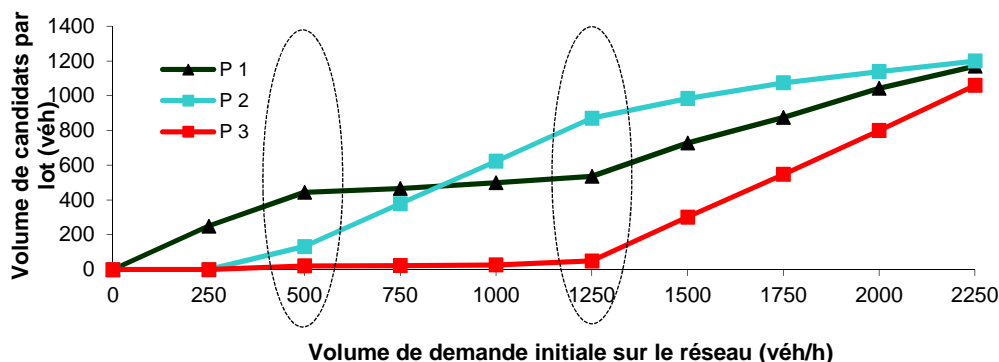


Figure 5.11 : Volume total de candidats par lot selon la demande initiale de trafic.

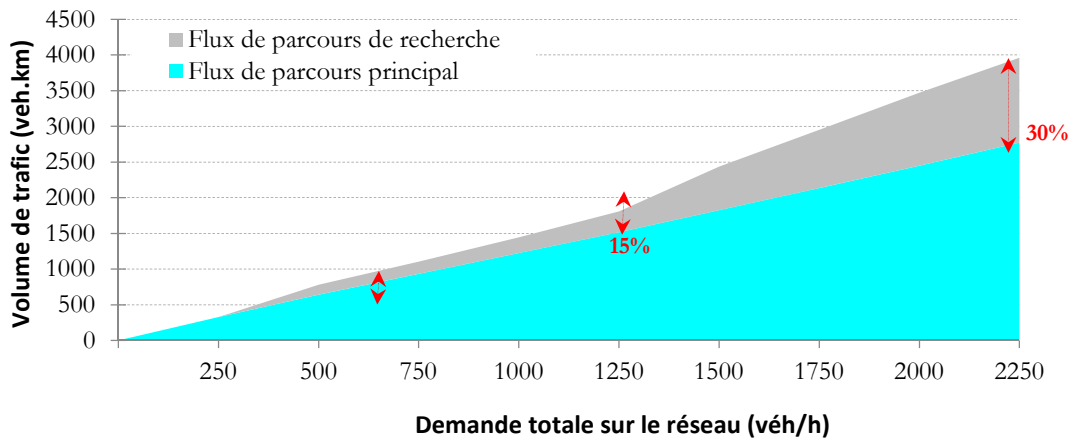


Figure 5.12 : Distribution du trafic sur le réseau routier, en fonction de la variation de la demande totale de déplacement.

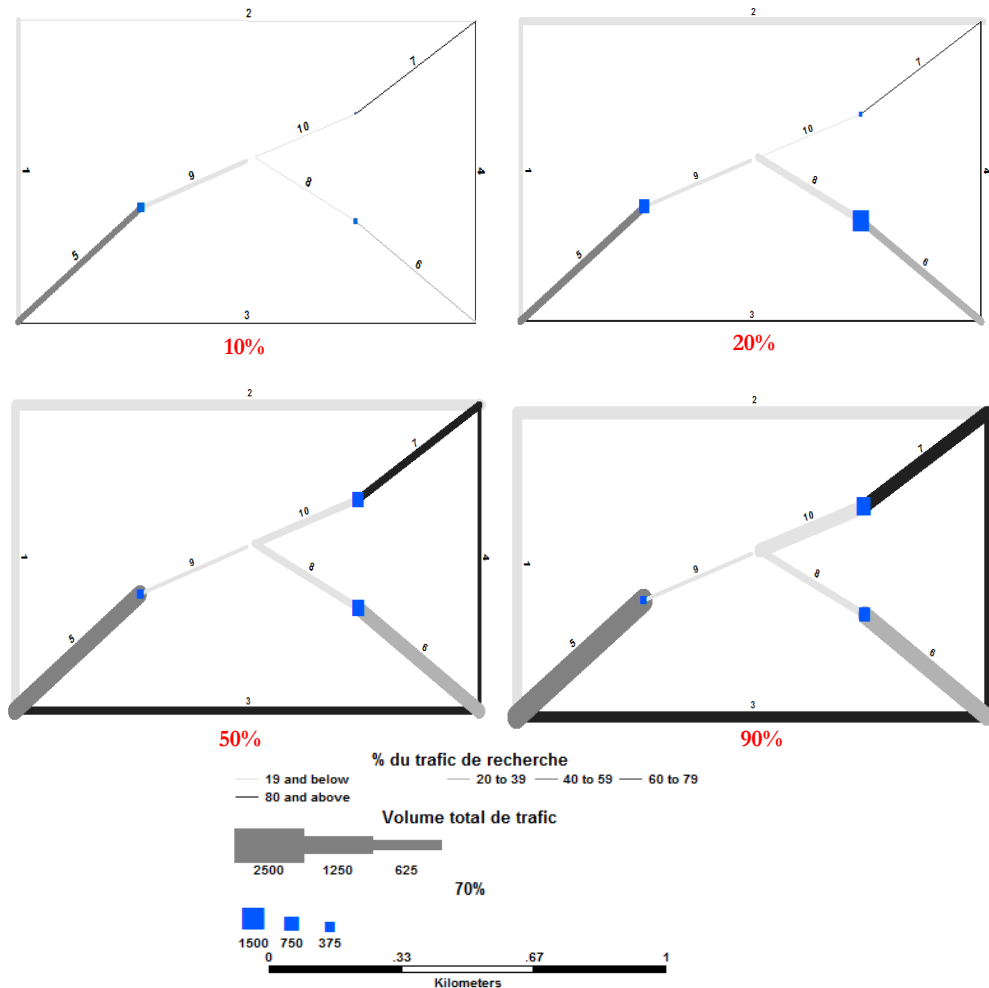
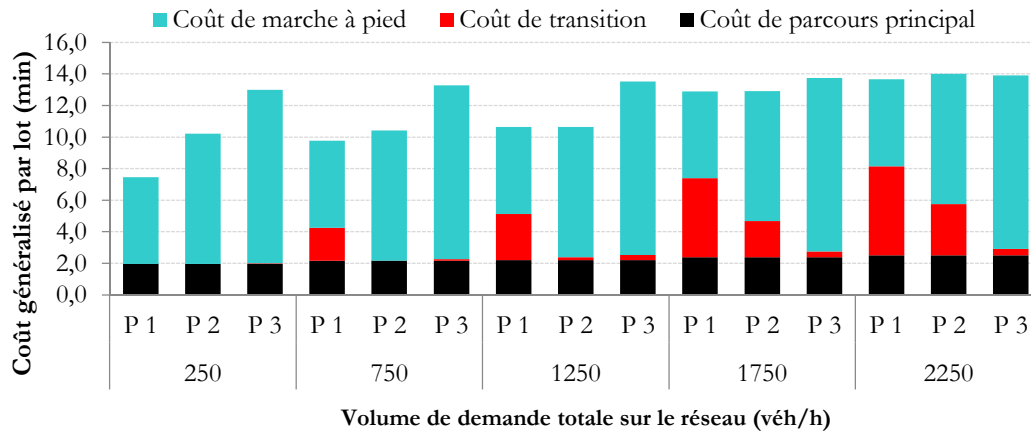
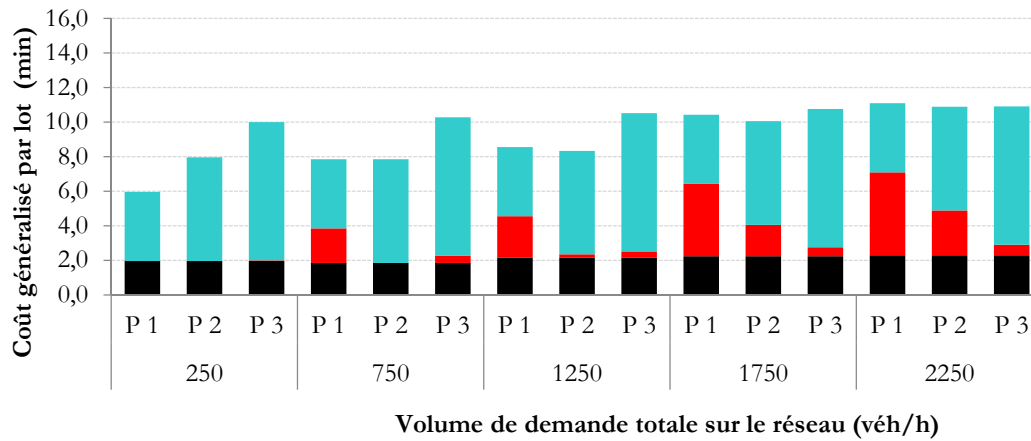


Figure 5.13 : Chargement en volume de trafic sur les arcs et part de la recherche de stationnement sur le réseau selon le niveau de charge de l'offre.



(a)



(b)

Figure 5.14 : Structure du coût généralisé de déplacement par lot (a) pour les pendulaires et (b) pour les non-pendulaires selon le volume de demande sur le réseau.

5.6.2.3 Discussion

Avec une configuration du réseau plus réaliste, ce deuxième cas d'école démontre que le modèle ParkCap est capable de modéliser l'interdépendance entre la circulation et le stationnement de façon macroscopique, de simuler le phénomène de circuitage de stationnement et d'évaluer ses effets sur le réseau. Il considère un équilibre conjoint de trafic et de stationnement. Limité à une seule paire O-D et à deux segments de demande, ce cas d'école est extensible sans problème. Bien entendu, les résultats obtenus sont sensibles aux hypothèses retenues et aux informations d'entrée. Les choix de report sont modélisés de façon simplifiée par un logit multinomial, mais un modèle plus sophistiqué peut être utilisé. De même, nous nous sommes contentés d'étudier les effets de variation de la demande initiale de déplacement, mais il serait intéressant de mener une analyse de sensibilité portant sur l'offre, notamment sur les différents attributs des lots (capacité physique, tarif, etc.).

Pour passer d'une phase de modélisation numérique à la phase d'opérationnalisation de ParkCap, un simulateur de trafic a été développé. La section suivante présente les principales caractéristiques de cet outil.

5.7 Présentation du simulateur ParkCap

Le modèle théorique a été codé en Scilab dans un premier temps, puis en C++. Le travail de programmation a abouti à une première version du simulateur ParkCap. Après une présentation sommaire de l'architecture informatique du simulateur ParkCap, nous expliciterons son fonctionnement et les principaux fichiers des informations d'entrée et de sortie. Enfin, nous détaillerons les domaines d'application de cet outil et son utilité opérationnelle.

5.7.1 Structure informatique du simulateur

Le simulateur ParkCap est programmé en langage objet C++. Il est construit autour de quatre principaux éléments. Le diagramme de la figure 5.15 montre les sous-projets qui structurent le code. Les bibliothèques sont présentées en vert, l'exécutable Win 32 en bleu. Ils seront brièvement exposés dans ce qui suit. La structure informatique du code et l'ensemble des fonctions et des variables sont décrits en détail dans Poulhès (2015).

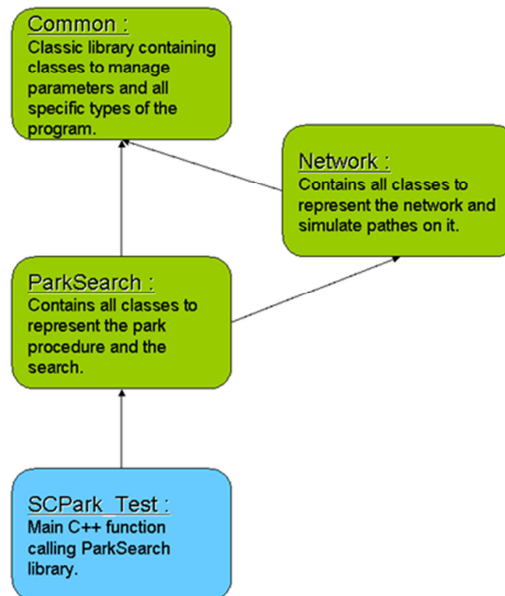


Figure 5.15 : Diagramme principal du simulateur ParkCap.

5.7.1.1 La bibliothèque Common

La bibliothèque commune, la base **Common**, regroupe l'ensemble des fonctions générales du programme, c'est-à-dire la gestion des paramètres, les types spécifiques utilisés et la bibliothèque de calcul matriciel (Cf. figure 5.15).

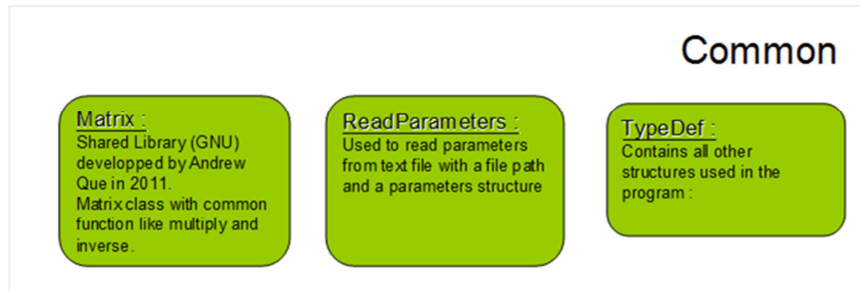


Figure 5.16 : Diagramme de la bibliothèque Common.

5.7.1.2 La bibliothèque Network

Le réseau est représenté sous la forme d'un graphe composé d'un ensemble d'arcs et de nœuds. La structure **Aminus** assure l'enchaînement entre les arcs et fournit l'ensemble des arcs entrant dans chaque nœud. L'ensemble de ces éléments constitue le **Network**. La classe **PCC** sert à calculer le plus court chemin jusqu'à une destination. Elle utilise l'algorithme du PCC de Dijkstra. Une structure en heap binaire est ajoutée pour optimiser le temps de calcul. Elle regroupe une fonction d'insertion qui renseigne sur la valeur de chaque élément et une fonction de suppression qui supprime l'élément minimum en tête de la heap (Cf. figure 5.17).

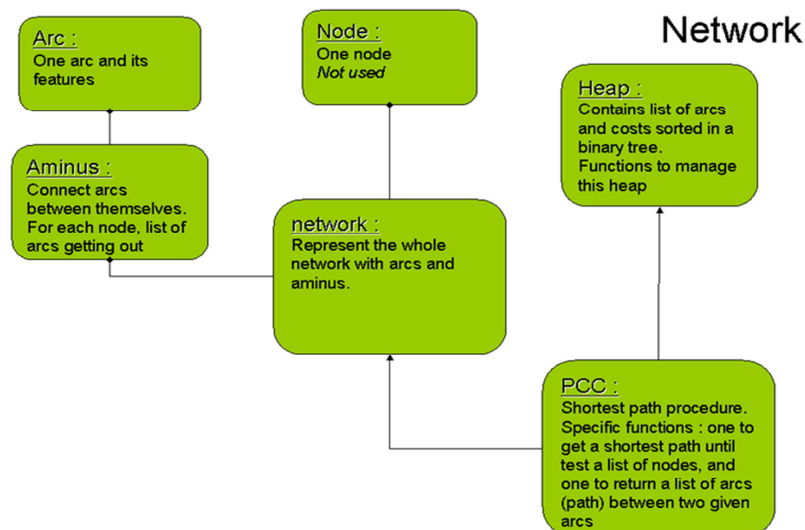


Figure 5.17 : Diagramme de la bibliothèque Network.

5.7.1.3 La bibliothèque ParkSearch

La bibliothèque ParkSearch constitue la bibliothèque principale du simulateur (Cf. figure 5.18). Elle regroupe les classes et les fonctions principales du code. Le fichier **process** gère l'appel aux constructeurs et l'initialisation pour tous les éléments du programme, la boucle des itérations de l'algorithme MSA et l'écriture des résultats dans le fichier « F_Results ». La classe ParkSet gère les lots et les zones. C'est à ce niveau qu'est géré l'algorithme principal d'appel des fonctions de la bibliothèque Network (PCC de chaque lot de destination pour chaque segment de demande, probabilités de succès et probabilités de report après affectation du flux principal par lot et du flux de report par zone de destination). La classe Zone contient la suite des calculs par zone, notamment le calcul des coûts pour chaque lot et la détermination du lot de coût minimal. La classe Transition héritée de la classe Zone regroupe l'ensemble de fonctions utilitaires pour la classe Zone liées aux transitions. La structure Segment contient l'ensemble des déterminants d'une classe d'utilisateurs, notamment les pénalités pour chaque type de temps. Enfin, la structure Lot définit les attributs de chaque lot et sert à stocker les PCC pour chaque segment à partir du lot de destination.

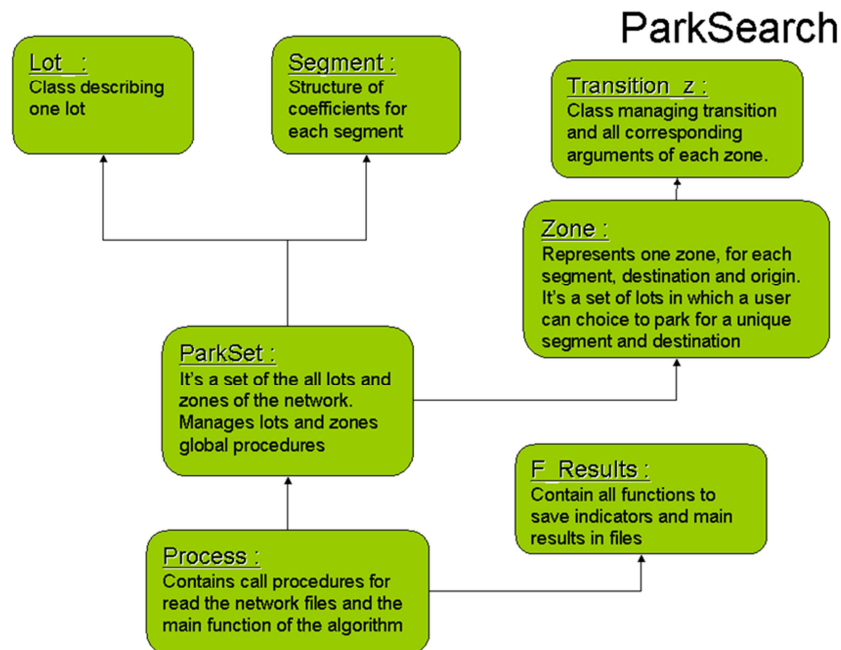


Figure 5.18 : Diagramme de la bibliothèque principale ParkSearch.

5.7.1.4 L'exécutable SCPark_Test

SCPark_Test est un exécutable Win 32, qui sert de procédure d'appel à la fonction principale de la bibliothèque ParkSearch. C'est à partir de ce fichier que l'application est lancée. L'exécutable pourra être remplacé par une interface graphique dans une version ultérieure du simulateur.

5.7.2 Fonctionnement informatique du simulateur

Une simulation consiste à affecter la demande de déplacement sur un réseau selon l'offre proposée. L'objectif de la simulation est de reproduire la distribution du trafic sur le réseau et dans les lots de l'aire d'étude. Le déroulement d'une simulation par l'outil ParkCap peut être assimilé à un processus composé de quatre étapes principales (Cf. figure 5.19). Nous décrivons ce processus en référence à la version 1.0 de ParkCap.

Étape 1 : Préparation des informations d'entrée

Dans l'arborescence du dossier logiciel (voir Poulhès, 2015), le dossier **Data** contient l'ensemble des dossiers d'entrée du simulateur qui sont au format texte. Chaque sous-dossier correspond à un exemple d'applications avec toutes les données propres nécessaires. Pour l'offre, le fichier *Ars.txt* renseigne sur la structure du réseau routier et le fichier *Lots.txt* décrit les caractéristiques des lots de stationnement (capacité physique, type et tarif). Pour la demande, on distingue trois types d'information. Le fichier *Matrice.txt* présente le flux de demande par paire O-D. Il est possible d'avoir autant de fichiers de matrices que de segments de demande. Le fichier *Segment.txt* détaille les facteurs de pénibilité et les valeurs de temps par segment de demande et le fichier *Zones.txt* définit l'ensemble des lots de stationnement par zone de destination.

Il convient de noter que la préparation des données constitue une étape déterminante dans le fonctionnement du simulateur. Elle exige un travail préalable de collecte et de traitement de l'information. Pour ce faire, nous prenons appui sur un tableur Excel et sur un SIG. Un panorama complet de la méthodologie de construction des données est présenté au chapitre 8.

Étape 2 : Définition des paramètres de simulation

Le fichier *Parameters.txt* est l'unique fichier de paramètres dans lequel sont précisés les liens vers le dossier des informations d'entrée et vers le dossier dans lequel seront enregistrées les sorties de simulation. Dans ce fichier sont aussi renseignés d'autres paramètres permettant de définir les choix de convergence, tels que le nombre d'itérations, la valeur du paramètre du modèle logit utilisé pour les choix de report et l'intitulé de la variante simulée. Pour la convergence, la simulation s'arrête quand les deux conditions du gap sont satisfaites (voir la partie mathématique pour le gap).

Étape 3 : Exécution d'une simulation

Pour réaliser une simulation, il faut lancer l'exécutable. Dans le dossier SC_Park_Test, il faut cliquer sur « SC_Park_Test ». Un exécutable fait appel au fichier de paramètres pour accéder au dossier Data et lire les informations d'entrée à partir du lien spécifié. ParkCap.sln lance la solution dans l'environnement de développement Visual Studio. Les autres fichiers et dossiers sont automatiquement générés par Visual Studio.

La simulation consiste en un processus itératif. Le suivi de l'exécution est possible via le schell qui affiche les lignes de résultats par zone de destination. Le numéro de l'itération en cours est affiché à chaque nouvelle itération. La fin de l'exécution est renseignée par un message qui propose d'appuyer sur une touche. Le temps d'exécution dépend de la taille du réseau, du nombre de zones de destination et de segments de demande, ainsi que du nombre d'itérations. Plusieurs heures peuvent être nécessaires.

Étape 4 : Affichage des résultats

Les sorties brutes de simulation sont stockées dans le dossier préalablement défini dans le fichier des paramètres. Elles incluent les résultats de la dernière itération. Nous distinguons cinq principaux fichiers de sorties. Le fichier *Donnees-simulation.txt* reproduit l'ensemble des informations d'entrée et sert à garder une trace et à archiver les variantes testées. Le fichier *Gap_iterations.txt* détaille les valeurs du gap par itération pour le flux de trafic, les probabilités de succès et les probabilités de report. Il sert à vérifier la convergence. Le fichier *Results_Arcs.txt* indique les temps de parcours sur les arcs et la réparation du flux entre trafic principal et trafic de recherche de stationnement. Le fichier *Lots.txt* indique la probabilité de trouver une place et le volume total de candidats par lot. Enfin, le fichier *Zones.txt* précise le lot choisi et expose le coût généralisé par type de coût par zone de destination. Pour éviter toute confusion, nous avons ajouté la date et l'heure de fin de la simulation à chaque fichier de sortie.

Notons que grâce à la résolution spatiale fine prise en compte dans le modèle, il est possible de visualiser les résultats sur des cartes géographiques par le biais d'un SIG. Il est aussi possible de les exporter sous Excel pour construire des indicateurs synthétiques qui décrivent le système de stationnement et de circulation. Pour les applications concrètes présentées dans ce manuscrit, trois principaux thèmes d'indicateurs d'évaluation sont retenus : l'état du trafic sur le réseau, l'état du système de stationnement, et la structure du coût de déplacement pour l'utilisateur (voir les deux derniers chapitres).

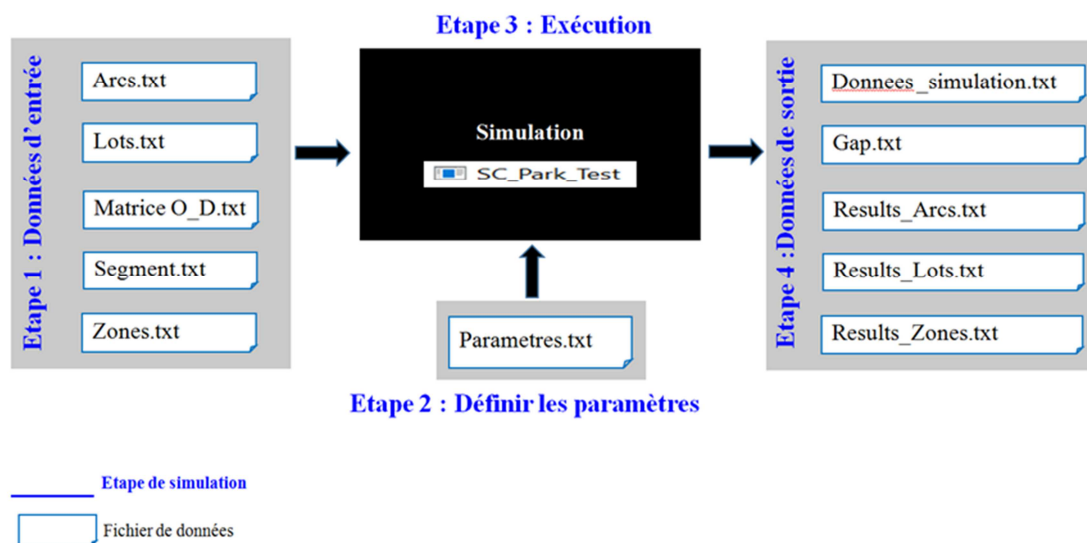


Figure 5.19 : Déroulement du processus de simulation par l'outil ParkCap.

5.7.3 Portée opérationnelle du simulateur

La principale finalité du simulateur ParkCap est de tester des variantes de politique publique d'organisation et de gestion du stationnement en ville. Cet outil s'adresse principalement aux collectivités locales et aux opérateurs de stationnement. Il peut être utilisé aussi bien (i) pour faire un diagnostic et comprendre le fonctionnement du système actuel que (ii) pour faire un pronostic de la situation future et maîtriser son évolution. Le simulateur ParkCap se présente donc comme un outil d'aide à la décision et de planification stratégique de la mobilité dans un territoire.

Au-delà de son caractère innovant, le simulateur ParkCap est un outil générique avec plusieurs possibilités d'application spécifiques. Il est capable de s'adapter à différentes réalités des systèmes de stationnement urbain. Sa grande flexibilité constitue, d'ailleurs, l'un de ses principaux atouts. Théoriquement, il est applicable à une grande agglomération, mais la disponibilité des données peut limiter son champ spatial.

Concrètement, le simulateur ParkCap peut être utilisé comme outil d'évaluation de la réaction de la demande face à une variation des caractéristiques de l'offre (tarification, réservation, accès, contrôle...). Il peut aussi servir à étudier les questions problématiques notamment de dimensionnement et de localisation spatiale des lots de stationnement, ainsi que les questions concernant les stratégies de tarification de l'offre publique. Enfin, dans la mesure où il permet de tester et de comparer différentes simulations, il peut faciliter le dialogue et la concertation entre les différents acteurs du domaine de stationnement.

Mentionnons enfin que l'utilisation du simulateur, dans sa version actuelle, nécessite un long travail de recueil et de codage des informations d'entrée. Elle implique aussi de contrôler minutieusement la validité des résultats.

5.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un modèle spatialisé d'affectation de trafic à l'équilibre qui intègre le choix conjoint d'itinéraire et de lot de stationnement. Ce modèle, nommé ParkCap pour « Parking Capacity », traite de façon explicite les contraintes de capacité des lots de stationnement, le trafic induit par la recherche de place sur le réseau et le choix de transfert entre lots en cas de saturation.

À travers deux cas d'école, nous avons pu tester le comportement du modèle et étudier sa sensibilité à des variations du volume de demande de déplacements. Les résultats démontrent sa capacité à modéliser le phénomène de circuitage sur le réseau et l'équilibre conjoint de trafic et de stationnement. À partir du modèle théorique, un simulateur de trafic a été conçu, nous avons relaté brièvement sa structure informatique, son fonctionnement et sa portée opératoire.

Dans la famille des modèles macroscopiques d'affectation statique de trafic sur un réseau, le modèle ParkCap est innovant à plusieurs titres.

- Premièrement, du point de vue spatial, notre modèle ParkCap articule deux échelles de territoire : (i) l'espace de proximité où la recherche de stationnement prend tout son sens et (ii) l'espace à franchir qui renvoie à la fonction circulatoire du réseau. L'articulation entre les deux échelles est procurée par la notion de zone de stationnement associée à une destination particulière. Le modèle permet de détecter les zones locales de congestion de stationnement et de trafic.
- Deuxièmement, à l'instar des plus récents modèles multi-agents, le modèle ParkCap permet de capturer les circuits de recherche de stationnement sur le réseau, mais avec des hypothèses simplifiées pour les comportements de choix de la demande. Notre cadre macroscopique permet aussi de capturer certains éléments de la stochasticité des interactions entre la capacité physique de l'offre de stationnement et les volumes de demande de places. L'hypothèse de disponibilité progressive des places de stationnement permet de tenir compte du caractère dynamique de ces interactions et rend possible leur modélisation en régime quasi statique.
- Troisièmement, la stochastique locale du lot de stationnement combinée avec le modèle de transition entre lots donne lieu à un coût stochastique pour l'utilisateur – réduit à un coût moyen dans l'évaluation des options de lot par un utilisateur. Par segment de demande, les coûts espérés des lots cibles jusqu'à la destination sont évalués par la résolution d'un système linéaire de petite dimension et dont la matrice est inversible. Ce système peut être considéré comme une fonction sophistiquée de temps de parcours où « l'arc » fait référence à un lot de stationnement et comprend des circuits de report, tandis que le « temps de déplacement » est composé du coût de circuitage à partir de ce lot, plus le coût de stationnement dans le lot final et le temps d'accès à pied jusqu'à la destination. Cette façon de faire permet de relaxer l'hypothèse de connaissance parfaite de l'offre.

- Quatrièmement, l'un des points forts de notre modèle est sans doute son caractère opératoire. Le simulateur développé a été appliqué à un cas concret, celui de la cité Descartes élargie, en situation de référence (chapitre 7 et en situation future (chapitre 8). Il est parfaitement adapté pour être utilisé pour d'autres territoires.

Les pistes de développement et d'amélioration du modèle sont multiples. L'accent doit être mis en priorité sur :

- une représentation plus sophistiquée des comportements de recherche de place : nous avons considéré que l'utilisateur accepte la première place libre mais dans la réalité, il peut préférer continuer sa recherche. Les choix de report local peuvent être modélisés par différentes stratégies ;
- une représentation microscopique des places dans les lots : la structure physique des lots permet de tenir compte du temps de parcours et de l'éventuel temps de recherche au sein du lot ;
- une extension au cas dynamique pour simuler l'évolution de l'occupation des lots au cours d'une journée à différentes périodes horaires : cela exige bien entendu une prise en compte explicite des arrivées et des départs de véhicules par lot, des durées de stationnement des usagers, des matrices O-D temporalisées et de la variabilité des flux de demande dans le temps.

Afin d'améliorer le fonctionnement du simulateur et de réduire le temps de calcul, une étude de la parallélisation du code a été réalisée. De même, une première esquisse d'interface est développée, mais elle est encore au stade expérimental. Dans la troisième partie de la thèse, nous nous proposons de fournir une application du modèle à la planification stratégique du stationnement dans le quartier de la Cité Descartes.

Partie 3
Étude de planification
stratégique du stationnement au
sein de la cité Descartes

Chapitre 6

Contexte territorial et diagnostic du stationnement dans la cité Descartes élargie

6.1 Introduction

Le stationnement est un élément fondamental du tissu urbain (Certu, 2008b). Il conditionne fortement l'image, l'accessibilité et l'attractivité du territoire. Avec la volonté affichée des acteurs politiques de reconquérir l'espace public et de limiter la place de l'automobile en centre-ville, le stationnement se place, de plus en plus, au cœur des stratégies territoriales et de planification urbaine. La définition de ces stratégies est souvent basée sur un diagnostic préalable qui permet de caractériser la situation existante, d'identifier ses enjeux et de discerner les objectifs de développement futur.

Dans cette perspective, l'aménageur est amené à s'interroger d'une part, sur les spécificités du territoire – Comment qualifier son processus d'urbanisation et de développement, sa démographie, son tissu économique et son accessibilité ? Quels sont ses atouts et ses contraintes ? À quels enjeux de développement est-il confronté ? – et d'autre part, sur les caractéristiques de son système de stationnement – Quelle est l'offre disponible localement, en quantité de places et par type ? Quelle est la demande, qui sont les clients, pour quels motifs de déplacement et pour quelles durées d'occupation de stationnement ? Et dans l'interaction entre l'offre et la demande, quelles sont les conditions d'usage ? Où se manifestent les plus fortes pressions et les

éventuels dysfonctionnements ? Quels sont les principaux enjeux de gestion ? Et, enfin, comment qualifier la politique mise en œuvre ?

Ce chapitre a une vocation exploratoire. Il dresse un état des lieux du stationnement, en l'inscrivant dans son contexte territorial. Notre territoire d'étude est celui de la cité Descartes élargie, l'un des sites stratégiques de l'Est parisien. Ce choix de terrain se justifie par plusieurs raisons. D'abord, l'emprise spatiale du site correspond parfaitement à la représentation d'une échelle locale fine caractérisant le modèle ParkCap. Ensuite, la structure de l'offre et de la demande de stationnement sur ce territoire et leur mode de gestion sont hétérogènes et permettant de caractériser les enjeux généraux fréquemment soulevés par l'organisation du stationnement en ville. Enfin, la cité Descartes va connaître, dans les années à venir, une grande transformation urbaine avec l'arrivée du métro du Grand Paris Express. Dans cette perspective, elle présente un terrain idéal d'éco-conception et de planification stratégique de stationnement. Le diagnostic proposé décrit la situation telle qu'elle se présente en 2010. Ce choix temporel est lié principalement à la disponibilité des données, notamment du recensement général de la population de 2009 et des différentes études territoriales qui ont alimenté le diagnostic.

En termes d'objectifs, ce chapitre vise à :

- dresser un schéma territorial du site d'étude afin de saisir ses principales spécificités et de dégager les enjeux de son développement futur ;
- caractériser l'offre de places disponibles sur ce site, sa capacité, ses caractéristiques, son mode de fonctionnement et analyser les caractéristiques de la politique de stationnement en place ;
- analyser les pratiques de la demande et identifier les besoins des usagers ;
- évaluer l'adéquation entre l'offre et la demande et discerner les principaux enjeux de développement et d'organisation du stationnement futur.

La section suivante (section 6.2) proposera un diagnostic territorial de la cité Descartes élargie. Nous nous intéresserons particulièrement à son ancrage métropolitain et local, à son profil d'urbanisation, à ses caractéristiques démographiques et socioéconomiques, de mobilité et d'accessibilité, et enfin à son mode de gouvernance. La section 6.3 établira un état des lieux du système de stationnement. D'abord, l'offre sera décrite en termes de situation, de forme, de capacités physiques et de modalités de gestion. Ensuite, la demande de stationnement sera prospectée selon les caractéristiques individuelles de déplacement et de stationnement des usagers. Enfin, l'usage et l'occupation des places seront analysés pour évaluer la pression et l'adéquation entre l'offre proposée et les besoins locaux des automobilistes. La dernière section (section 6.4) présentera la conclusion du chapitre.

6.2 Présentation générale de la cité Descartes élargie

Cette section vise à donner une vision d'ensemble de la situation de ce territoire tout en soulignant ses principales spécificités. Venant en amont de tout projet d'action,

cette phase de diagnostic mettra en avant les atouts et les contraintes du territoire et procurera au lecteur une bonne compréhension des enjeux qui guident les choix et les stratégies d'action de l'aménageur. Dans ce qui suit, nous faisons largement référence aux travaux de Boujnah et *ali.* (2013), de Leurent (2013) et de Aw et *ali.* (2013).

6.2.1 Contexte territorial et aperçu historique

La cité Descartes est un fragment urbain de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée. Elle se situe à l'interface des secteurs de la porte de Paris et du Val Maubuée, plus précisément à l'ouest de la commune de Champs-sur-Marne et au voisinage immédiat de Noisy-le-Grand côté ouest et d'Émerainville côté sud (Leurent, 2013). Statistiquement parlant, l'emprise d'étude que nous appelons « cité Descartes élargie » est formée par les IRIS Descartes et Nesles sud de la commune de Champs-sur-Marne, et s'étend sur 160 hectares environ (*idem*). Cette position géographique, à la frange de l'agglomération, constitue l'un des atouts majeurs de ce territoire, d'autant qu'il est traversé par des axes structurants de transport (RER A et autoroute A4) qui assurent sa connexion aux principaux pôles de la région parisienne¹⁵³.

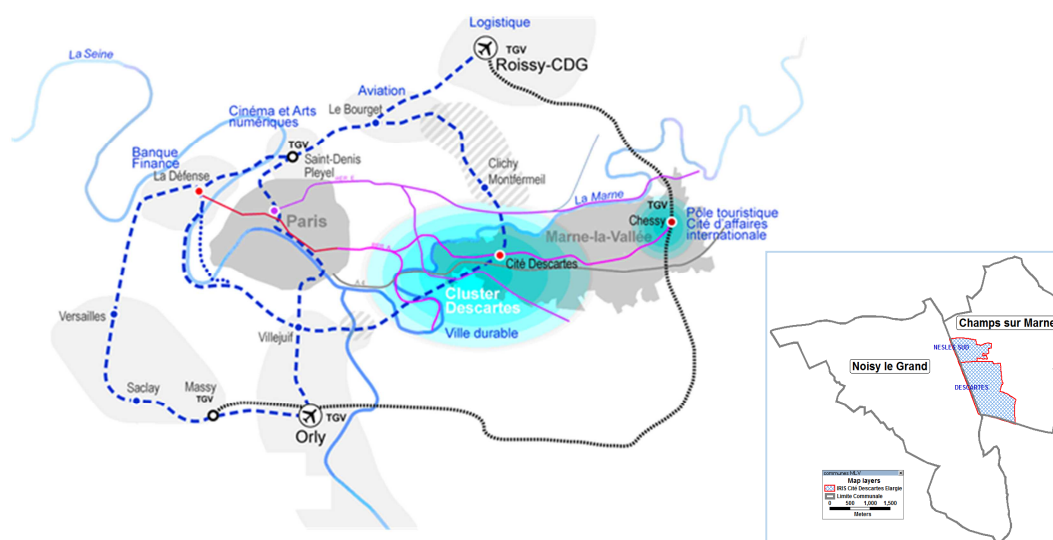


Figure 6.1 : (a) Situation géographique de la cité Descartes dans la région Île-de-France (source : EpaMarne, 2009a), (b) Périmètre de l'étude : IRIS Descartes et IRIS Nesles Sud de Champs-sur-Marne.

À l'échelle régionale, le développement de la cité Descartes avait pour objectif de contribuer aux dynamiques métropolitaines et plus particulièrement de rééquilibrer l'Est parisien et de dynamiser le développement de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée.

¹⁵³ Les conditions de desserte et d'accessibilité de la cité Descartes seront analysées plus loin dans ce chapitre.

L'histoire de l'urbanisation de la cité Descartes obéit à une séquence de décisions politiques. En mars 1983, ce territoire était officiellement reconnu comme une priorité de l'aménagement régional¹⁵⁴, et avait pour vocation principale d'accueillir des établissements d'enseignement et de formation supérieurs ainsi que des organismes scientifiques et techniques. D'importantes emprises foncières ont été ainsi allouées à l'implantation de ces établissements. En 2005, à l'occasion d'une politique nationale de compétitivité et d'attractivité du territoire, la cité Descartes est passée d'un campus universitaire à un pôle de compétitivité consacré à la ville et à la mobilité durable. Cette décision a donné un nouvel élan à ce territoire, en favorisant l'installation d'entreprises innovantes et la promotion de son dynamisme économique. Peu après, en 2008, est apparu le concept de « cluster Descartes » centré sur la cité Descartes élargie et ses quartiers voisins¹⁵⁵, soit un territoire qui s'étend sur un bassin de vie de 70 kilomètres carrés environ, comprenant plusieurs pôles d'activité (EpaMarne, 2010). Enfin, en 2010, la qualification de cœur de cluster a pris tout son sens avec la promulgation de la loi du 3 juin 2010 relative au projet du Grand Paris. La cité Descartes a été désignée comme le cœur du « cluster de la ville durable ». Elle est donc amenée à jouer un nouveau rôle dans la métropole et incarne, désormais, un territoire précurseur en matière d'innovation et d'éco-conception.

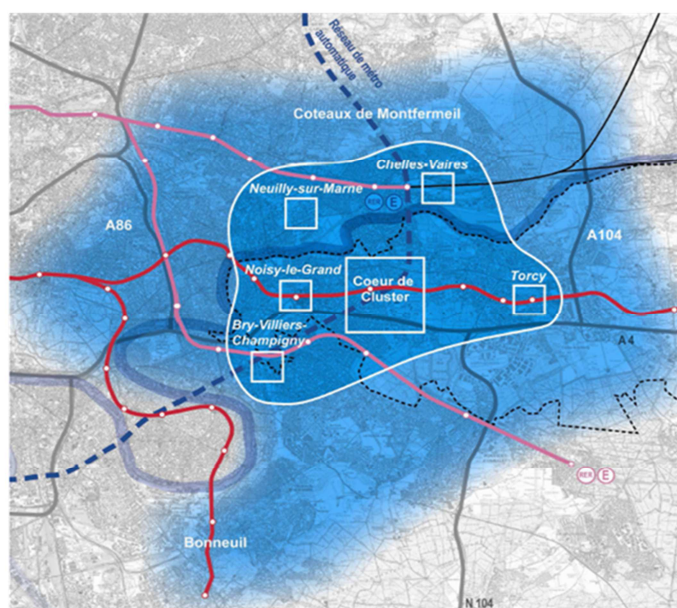


Figure 6.2 : Territoire et polarités du cluster Descartes (source : EpaMarne, 2010).

Au fil du temps, le territoire de la cité Descartes s'est vu attribuer différentes dénominations : pôle d'enseignement et de recherche, cité scientifique, pôle de compétitivité, pôle d'excellence, cluster de ville durable, etc. Toutefois, le fait que son

¹⁵⁴ Cette initiative a vu le jour au cours de la réunion du Comité interministériel pour l'aménagement du territoire (CIAT) du 6 mai 1982, au cours de laquelle la volonté de rééquilibrer l'Est parisien a été réaffirmée.

¹⁵⁵ Le cœur du cluster intègre : le centre de la cité Descartes ainsi que les quartiers de Champy à l'ouest, des Richardets au sud ; Noisy-le-Grand et les quartiers de Nesles au nord ; à Champs-sur-Marne, le château au nord-est et le bois de la Grange à l'est (EpaMarne, 2010).

développement soit souvent adossé à des projets métropolitains, même s'ils participent fortement à accélérer son urbanisation, ne joue pas forcément en faveur d'une cohérence territoriale de son tissu urbain. L'enjeu aujourd'hui est d'affirmer et de renforcer une identité propre à ce territoire et de limiter sa dépendance régionale.

6.2.2 Profil d'urbanisation et cadre bâti

L'urbanisation de la cité Descartes a commencé à la fin des années 1980 avec le bâtiment Copernic¹⁵⁶. Ensuite, tour à tour, de nombreux établissements universitaires se sont installés, notamment l'université de Marne-la-Vallée en 1990, l'IUT en 1993, l'École nationale des ponts et chaussées en 1997 et récemment l'IFSTTAR, en 2010.

La structure topographique de la cité Descartes élargie est illustrée par le mode d'occupation du sol de 2008 (figure 6.3) qui présente une photographie du territoire et distingue les espaces selon leur fonction. La configuration de ces espaces allie ensembles bâtis et trames vertes avec environ 47 % de parcelles bâties, d'où le fort potentiel de foncier encore disponible, qui constitue un atout majeur de ce territoire. On remarque, néanmoins, que la topographie de ce site est fortement marquée par les séquelles d'une urbanisation partielle, désordonnée et entrecoupée d'espaces verts et d'infrastructures de transport, ce qui laisse penser que l'urbanisation s'est faite par comblement des vides et ce, en préservant les espaces boisés et en rejoignant progressivement les noyaux urbains voisins. Le tout reflète l'absence d'une stratégie locale de développement.

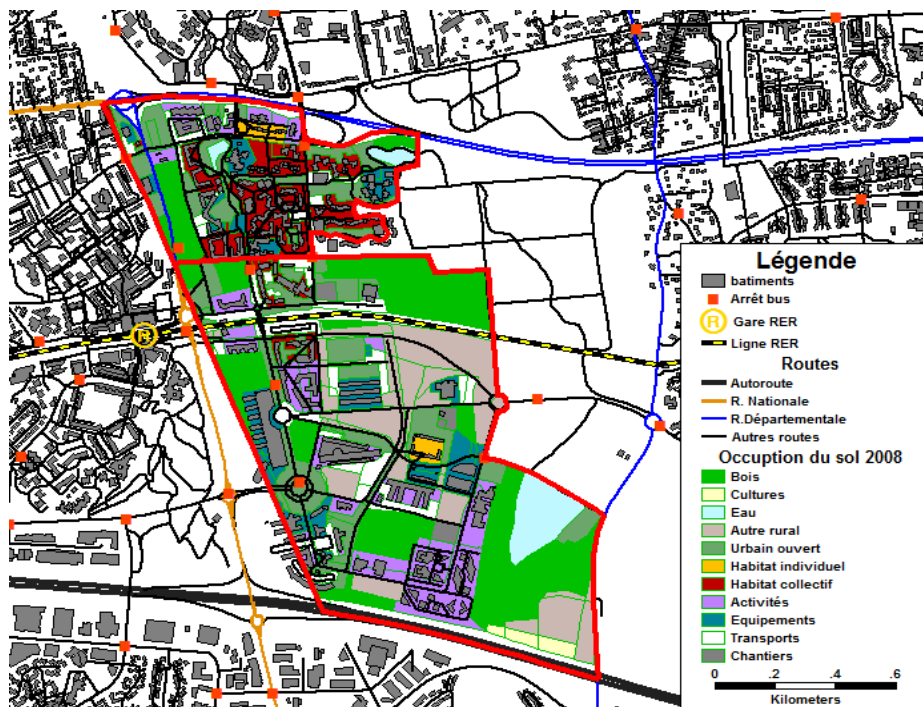


Figure 6.3 : Modes d'occupation du sol de la cité Descartes en 2008.

¹⁵⁶ Université Marne-la-Vallée, 2006, La cité Descartes, diagnostic territorial, master 2 Développement urbain durable, compte rendu, février 2006. <http://rhell.free.fr/Projet/RenduFinal/2-3%20Transports,%20d%E9placements%20et%20environnement%20sonore.pdf>.

L'analyse de la figure 6.3 montre, par ailleurs, que les ensembles bâtis présents sur la cité Descartes élargie obéissent à une distribution spatiale singulière. La répartition des trames bâties fait ressortir une structure par strates en fonction du type d'occupation des bâtiments, avec une dominance des logements au nord, des établissements universitaires au centre et une concentration des activités au sud. Cette structure explique en partie la faible mixité sociale et fonctionnelle constatée au sein de ce site. De même, on note la présence de grandes emprises qui forment des coupures urbaines et fragmentent le territoire, tant par leurs grandes dimensions que par leur insertion physique dans le tissu urbain. Il s'agit, d'une part, des infrastructures lourdes de transport qui forment des coupures artificielles linéaires est-ouest (l'axe de la RD 199 au nord, le faisceau RER A au centre et l'autoroute A4 au sud) et, d'autre part, des espaces naturels nord-sud dispersés sur plusieurs espaces¹⁵⁷.

Cette structure spatiale explique en grande partie la faible insertion locale de la cité Descartes dans son environnement voisin. Située au centre d'un ensemble de quartiers d'habitat collectif dense, riche en équipements de proximité (quartier Champy au nord-ouest et secteur Nesles sud au nord) et de secteurs mixtes à forte densité alliant activités et habitat individuel (le quartier du Luzard à l'est, des Richardets et de la Malnoue au sud), la cité Descartes se présente comme un espace atypique et cloisonné. Les discontinuités urbaines contribuent fortement à une coupure fonctionnelle et sociale et à la quasi-absence de connexions et d'échanges avec les quartiers voisins. Il s'ensuit que l'une des priorités de développement territorial de ce site est de renforcer son intégration dans son environnement local proche et d'améliorer son attractivité.

6.2.3 Structure de la population et du parc de logements

En 2009, la cité Descartes élargie compte environ 5 850 habitants, soit près du quart de la population totale de la commune de Champs-sur-Marne¹⁵⁸. La concentration de la population est comparable à celle de la commune avec une densité moyenne de l'ordre de 36,5 habitants par hectare. En revanche, la distribution de la population résidente sur le territoire est très contrastée. Le secteur nord, à dominante résidentielle, accueille 60 % de la population totale du site (0,76 habitant par hectare). Les secteurs centre et sud sont à dominante tertiaire, d'où une très faible densité (avec environ 0,14 habitant par hectare). D'ailleurs, c'est au sein de ces secteurs qu'on enregistre la densité de population la moins élevée parmi les IRIS limitrophes (figure 6.4). Cette situation résulte, entre autres, de la forte présence locale des espaces boisés.

¹⁵⁷ Notamment les emprises de l'A103 et de la Butte-Verte, du bois de Grâce, de la Haute-Maison et du bois de la Grange.

¹⁵⁸ La commune de Champs-sur-Marne a connu une phase de développement démographique très important entre 1975 et 1990 lors de la création de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée. Selon les données du recensement général de population de 2009 (Insee, « Exploitation principale »), elle comptabilise 24 271 habitants.

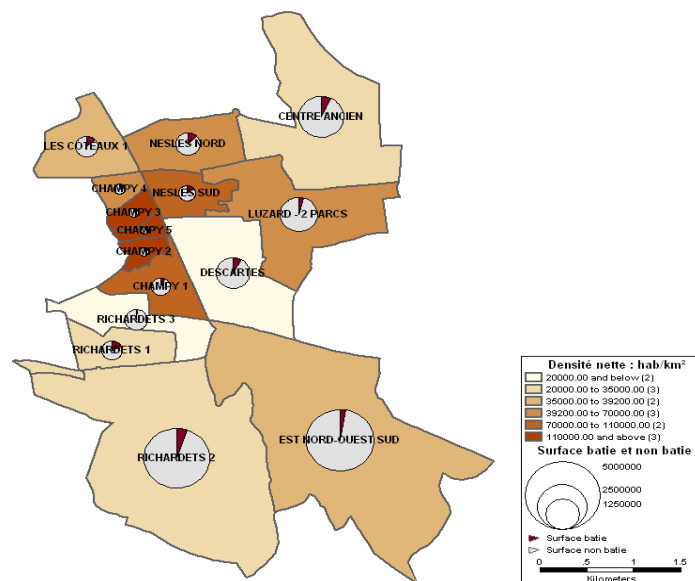


Figure 6.4 : Densité moyenne de la population par IRIS autour de la cité Descartes en 2008 (Source : Boujnah et al., 2013).

L'analyse de la répartition de la population par classes d'âge met en évidence la jeunesse des résidents (figure 6.5). En effet, la tranche des 15-29 ans est largement dominante (31,1 %), excédant de 7 points celle des communes de Champs-sur-Marne et de Noisy-le-Grand. Cela s'explique par la forte concentration des étudiants sur le campus universitaire¹⁵⁹ et, dans une moindre mesure, par la présence de jeunes actifs. De même, la part des très jeunes (0-14 ans) est relativement élevée (18 %). Cependant, la proportion des 60 ans et plus est nettement moins importante que celle des communes de comparaison. Il s'ensuit que le site de la cité Descartes élargie présente une faible attractivité résidentielle pour la population des seniors et ce, vraisemblablement à cause de l'absence des aménités urbaines de proximité¹⁶⁰.

En termes de catégories socioprofessionnelles, la cité Descartes élargie accueille une population plutôt modeste. Les employés et les professions intermédiaires représentent la part la plus importante de la population de 15 ans et plus (42,4 %). La proportion des cadres et professions intellectuelles supérieures ne dépasse pas les 14 % mais reste comparable à la moyenne de Marne-la-Vallée (14,1 % en 2010). Par contre, la classe des ouvriers est sous-représentée, elle est de l'ordre de 8 %. Il est à noter, enfin, que la jeunesse de la population va de pair avec une part importante

¹⁵⁹ Il est à noter que 39 % des étudiants résidant à Champs-sur-Marne habitent à la cité Descartes (Insee, Recensement général de population 2009, « exploitation complémentaire »).

¹⁶⁰ Pour plus de détails sur ce sujet, on pourra se référer à Boujnah et al., 2013, Activités, accessibilités et mobilités à l'échelle du quartier dans Laurent F., Peuportier B. et Roger-Estrade R. (EDS), 2013, Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures, Presses des Mines, Paris.

d'autres personnes sans activité professionnelle et une part modérée de retraités. Dans l'ensemble, la cité Descartes dispose d'un profil de catégories socioprofessionnelles

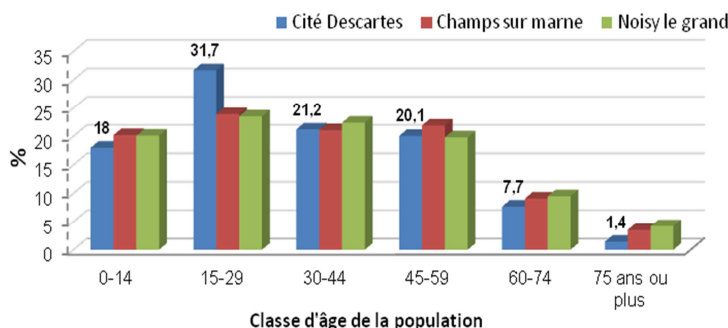


Figure 6.6 : Répartition de la population par tranches d'âge (%)
(Source : Insee, RGP 2009, « Exploitations principale et complémentaire »).

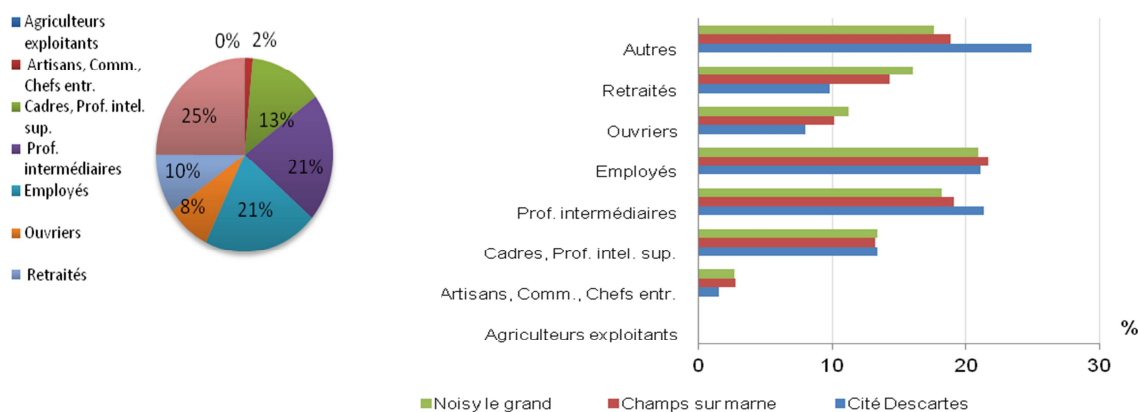


Figure 6.6 : Répartition de la population par catégories socioprofessionnelles (%)
(Source : Insee, RGP 2009, « Exploitations principale et complémentaire »).

sensiblement comparable à celui du bassin d'emploi des deux communes limitrophes.

En 2009, 2 593 ménages ont été recensés dans la cité Descartes élargie (soit 28 % des ménages de la commune de Champs-sur-Marne) pour presque autant de logements (2 793)¹⁶¹. La taille moyenne des ménages¹⁶² est équivalente à 2,25 personnes avec une forte proportion de ménages à une seule personne (environ 35 %). Cela impacte fortement la structure du parc de logements, qui est marquée par la dominance des résidences principales (92 %) et de l'habitat collectif de petite taille (un tiers des logements sont constitués d'une à deux pièces). Notons aussi que ce parc est occupé dans la moitié des cas par des locataires¹⁶³. En effet, l'offre de logements semble être tournée vers l'accueil des étudiants et des jeunes couples, et beaucoup moins vers des

¹⁶¹ Insee, Recensement général de population 2009, « exploitations principale et complémentaire ».

¹⁶² Il s'agit du nombre moyen d'occupants par résidence principale, ce chiffre est légèrement en dessous de celui de Champs-sur-Marne et de Noisy-le-Grand qui s'élève à 2,5.

¹⁶³ Insee, Recensement général de population 2009, « exploitations principale et complémentaire ».

familles nombreuses. Pourtant, elle demeure insuffisante et ne répond que partiellement à la demande des étudiants sans cesse croissante. Les résidences universitaires du site ont été majoritairement construites dans les années 1990 et sont situées le long du boulevard Copernic et de l'avenue Ampère. Ce déficit d'offre revient en partie au manque de volonté politique d'investir dans ce type d'habitat.

6.2.4 Activité économique et population active

En termes d'activité économique, la cité Descartes élargie compte environ 5 000 emplois en 2013. Ce site concentre à lui seul 54,5 % du total des emplois de la commune de Champs-sur-Marne¹⁶⁴. La densité moyenne d'emplois est évaluée à 33 emplois par hectare. Le nombre total d'entreprises s'élève à 337 établissements¹⁶⁵. L'organisation spatiale de ces établissements est caractérisée par une forte concentration au centre et au sud au niveau du parc d'activités, de part et d'autre des infrastructures de transport¹⁶⁶. La figure ci-dessous (figure 6.7) laisse présager une répartition plus élargie. Elle représente la distribution spatiale de l'emploi autour de la cité Descartes en 2010.

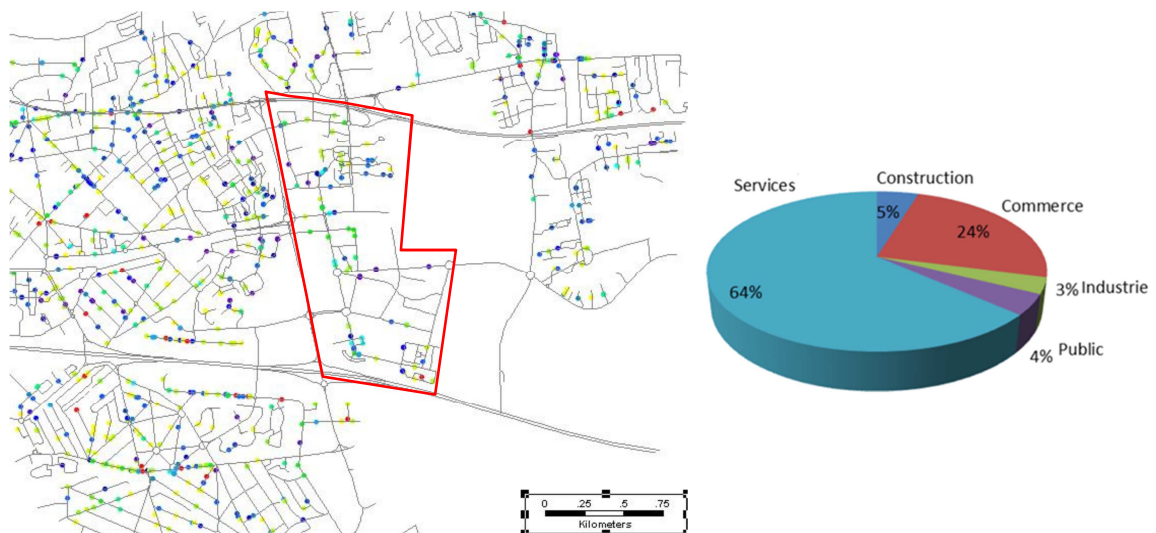


Figure 6.7 : (a) Localisation des établissements d'entreprise autour de la cité Descartes en 2010 (source : GéoSirene, Insee), (b) Répartition des établissements par secteur d'activité (source : http://www.valmaubuee.fr/wp-content/uploads/2014/12/Descartes_31.12.2013.pdf).

¹⁶⁴ En 2010, la commune de Champs-sur-Marne compte 721 établissements générant 8 307 emplois, soit 25 % des établissements et 21 % des emplois du secteur du Val Maubué.

¹⁶⁵ http://www.valmaubuee.fr/wp-content/uploads/2014/12/Descartes_31.12.2013.pdf.

¹⁶⁶ L'attractivité du site repose principalement sur sa situation dans l'agglomération et les grands réseaux de transport qui le desservent. Une enquête auprès des entreprises a indiqué que les facteurs déterminants de leur installation à la cité Descartes étaient la proximité de l'autoroute A4 et la proximité du centre de l'agglomération, devant l'accès ferroviaire et le prix du foncier, suivis par la présence locale de clients et de fournisseurs.

Au sein de ce site, le tissu économique est marqué par la prédominance des micro-entreprises (80 %), mais aussi par la présence d'importants générateurs d'emplois, à l'instar de la direction du courrier de La Poste et de l'Union des groupements d'achats publics (avec 500 emplois chacun)¹⁶⁷. En 2012, le nombre total de salariés est estimé à 6 000 (selon les données de l'Agence Descartes développement, 2012).

Les emplois offerts sur la cité Descartes élargie sont de plus en plus territorialisés. En 2009, le premier secteur employeur est celui des services avec 67 % de l'emploi local¹⁶⁸. Ce secteur regroupe surtout des entreprises spécialisées dans les nouvelles technologies de l'information et de la communication, ou bien dans les activités scientifiques et techniques. Le secteur du commerce vient en deuxième position (21 %) et regroupe essentiellement des petites entreprises de proximité (restauration, pharmacies, boulangeries...) qui répondent aux besoins de la vie quotidienne. Les autres secteurs présentent des parts faibles assez comparables à celles de Champs-sur-Marne¹⁶⁹. Retenons donc que les activités tertiaires constituent le moteur de développement du tissu économique de ce site. Dans les années qui viennent, l'ambition est de renforcer le dynamisme économique de la cité Descartes et d'en faire un pôle tertiaire de l'Est parisien. Le défi consiste à développer davantage les synergies entre les entreprises d'une part et les établissements de recherche d'autre part, afin de promouvoir l'innovation dans le secteur des hautes technologies.

Cependant, il est important de signaler que la forte tertiarisation de l'emploi local dans la cité Descartes élargie ne profite pas beaucoup à la population résidente. La population active du site est évaluée à 3 158 en 2009 (soit 35 % de celle de Champs-sur-Marne). Le taux d'activité du site est de 1,78 emploi par actif, donc relativement plus important que celui des communes de rattachement. La comparaison entre les catégories socioprofessionnelles des actifs résidents et des emplois locaux (figure 6.8) montre un fort décalage, particulièrement pour les cadres, les employés et les ouvriers. On conclut donc que le profil de la population active diffère sensiblement de celui des emplois offerts. Cet écart entre emplois locaux et qualification de la population active n'est pas sans conséquence sur la mobilité pendulaire.

¹⁶⁷ Une liste complète des plus importants générateurs d'emplois au sein du site de la cité Descartes est proposée dans le rapport Descartes développement de 2012.

¹⁶⁸ Cette proportion est beaucoup plus importante que celle des communes de Champs-sur-Marne (56 %) et de Noisy-le-Grand (51 %), et même du territoire de Marne-la-Vallée (50 %).

¹⁶⁹ <http://www.insee.fr/fr/themes/comparateur.asp?codgeo=COM-77083&codgeo=COM-93051&codgeo=REG-11&codgeo=ZE2010-1102>.

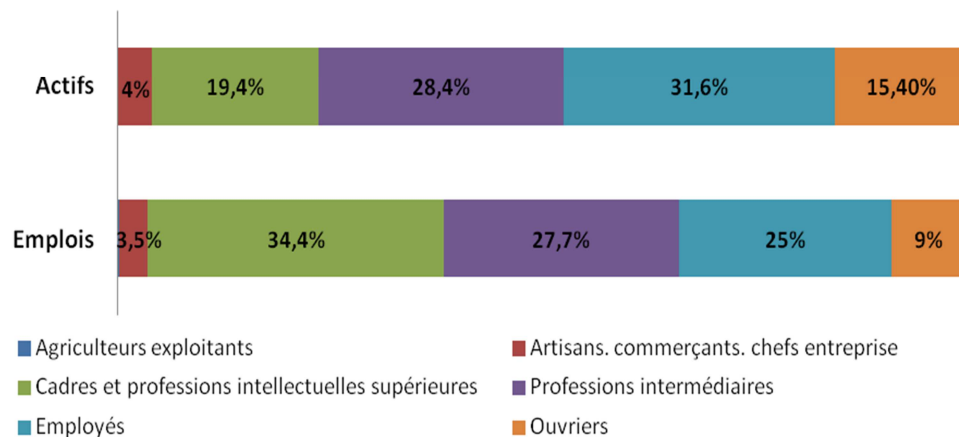


Figure 6.8 : Comparaison des catégories socioprofessionnelles des emplois offerts et de la population active à Champs-sur-Marne en 2010 (source : Insee, *RGP 2009*, « exploitations principale et complémentaire »).

La cité Descartes se caractérise par de nombreuses navettes domicile-travail dans le sens des arrivées (pour les cadres en particulier) comme des départs (essentiellement les ouvriers et les employés). En l'absence de données domicile-travail à l'échelle infracommunale, on se contentera d'analyser les migrations depuis et vers la commune de Champs-sur-Marne. On remarquera qu'en termes d'attraction, les migrants ont principalement pour origine les communes limitrophes telles que Chelles (13 %), Noisy-le-Grand (17 %) et plus généralement celles du département de Seine-et-Marne (61 %). De moindres déplacements sont observés depuis le cœur de l'agglomération, ces migrants ne représentent que 16 %. En termes d'émission de trafic, Paris attire 38 % des actifs résidents. Pour le reste, la moitié environ travaille dans le département de rattachement et 28 % dans le département de Seine-Saint-Denis, dont 60 % au sein de la commune de Noisy-le-Grand. La proportion des actifs qui résident sur place ne représente que 15 % (Aw et al., 2013). Rappelons, enfin, que l'attractivité de la cité Descartes élargie tient essentiellement à son dynamisme économique mais aussi à son implantation géographique et à ses conditions de desserte et d'accessibilité.

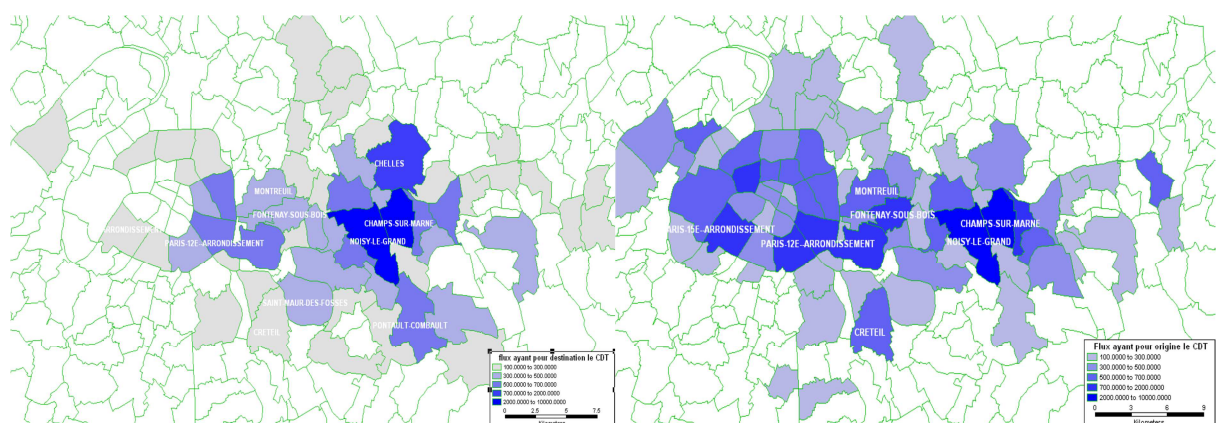


Figure 6.9 : Carte des migrations alternantes en provenance (à gauche) et à destination (à droite) de la commune de Champs-sur-Marne (source: Aw et al., 2013).

6.2.5 Conditions d'accessibilité et de mobilité

En plus de sa position stratégique au sein de l'agglomération parisienne, la cité Descartes élargie est desservie par des infrastructures de transport qui font partie des axes les plus structurants de la région, et localement d'un réseau viaire diversifié ainsi que de plusieurs lignes de transports en commun.

Au niveau routier, l'accès régional est assuré par l'axe principal qu'est l'A4, qui traverse d'est en ouest le sud du site et le dessert *via* un seul échangeur (sortie n° 10 Champs-sur-Marne-Cité Descartes). Cette autoroute canalise d'importants flux de voyageurs ainsi que de fret, et assure les fonctions de transit, d'échange et de trafic local et de longue distance (Leurent, 2013). L'ossature routière de la cité Descartes bénéficie, en outre, d'un bon maillage à l'échelle de l'intercommunalité, assurant des liaisons avec les bassins voisins. Au nord, la RD 199 (voie primaire nord) assure l'accès au boulevard de Champy-Nesles et au boulevard du Bois-de-Grâce ; à l'ouest la RD 370 borde l'axe du boulevard de Champy-Nesles-boulevard Blaise-Pascal, et donne accès au boulevard Newton et au boulevard Archimède ; enfin à l'est, la RD 51 irrigue l'avenue Blaise-Pascal, seul axe traversant le bois de la Haute-Maison. Ces axes structurent le réseau local, assurent la connexion avec l'A4 et relient la cité Descartes élargie aux villes voisines. La desserte microlocale est assurée par des liaisons secondaires.



Figure 6.10 : Les infrastructures autoroutières et ferroviaires traversant la cité Descartes
(Source : www.greencity-event.com/wp-content/uploads/PLAN_GRANDPARIS.png).

Au niveau ferroviaire, la ligne A du RER traverse le site et assure sa desserte *via* la gare RER de Noisy-Champs qui se situe en lisière du centre est de la commune de

Champs-sur-Marne et au voisinage immédiat de Noisy-le-Grand¹⁷⁰. Cette gare occupe une place importante au sein du secteur 2 de Marne-la-Vallée et irrigue un large bassin de vie. C'est la deuxième gare la plus fréquentée du Val Maubuée (la gare de Torcy se plaçant en première position), avec plus de 18 000 voyageurs journaliers en 2008 (EpaMarne, 2009b). Le rabattement vers la gare se fait majoritairement à pied (72 %) puis en bus (23 %). La part de la voiture particulière est estimée à 5 % des montants (EpaMarne, 2008).

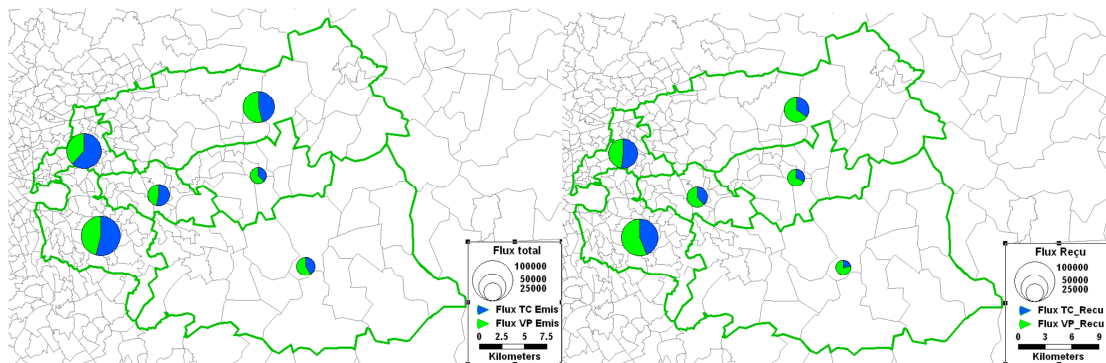


Figure 6.11 : Parts modales en sorties et en entrées du territoire Descartes en 2008
(source : Aw et al., 2013).

En termes de partage modal, l'automobile est sensiblement le mode le plus utilisé pour les déplacements depuis et vers la cité Descartes (Aw et al., 2013). L'offre de transports en commun n'est compétitive que pour certaines destinations, mis à part pour l'axe du RER A, et l'automobile reste quasiment le moyen le plus emprunté pour se déplacer dans le reste du département de Seine-et-Marne.

L'offre de transports en commun sur le site est composée également d'un réseau de cinq lignes régulières de bus qui assurent l'accessibilité aux destinations locales, relient le territoire aux deux branches du RER E (gare de Chelles et gare des Yvris) et aux villes adjacentes, et complètent le rabattement vers le RER A. L'offre de bus est composée de lignes transversales, et est structurée autour de la gare de Noisy-Champs avec les lignes RATP 320 et 310 à l'est et les lignes RATP 212, 213 et 312 à l'ouest¹⁷¹. Malgré cette offre, le site souffre localement d'une faible desserte interne. En effet, le réseau de bus qui le traverse dessert essentiellement l'axe Ampère et la gare RER. Bien que la ligne 312 pénètre au cœur du site, sa fréquence reste très faible. Certaines zones (notamment d'habitat et d'activités) sont beaucoup moins accessibles que d'autres et la fréquence de la desserte en bus est très variable.

¹⁷⁰ La ligne du RER A est un axe structurant dans la desserte de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée. Cette ligne assure les liaisons vers le cœur de la métropole parisienne ainsi que vers les départements de Seine-Saint-Denis, du Val-de-Marne, des Hauts-de-Seine et le reste du département de Seine-et-Marne, d'où une forte densité de population des communes traversées par cette ligne.

¹⁷¹ Parmi ces lignes, la RATP 213 est la plus fréquentée. Selon l'étude de l'EpaMarne (2009b), elle représente environ 77 % du poids cumulé des montants-descendants sur la gare routière du pôle (contre 14 % pour la ligne 312 et 9 % pour la ligne 212).

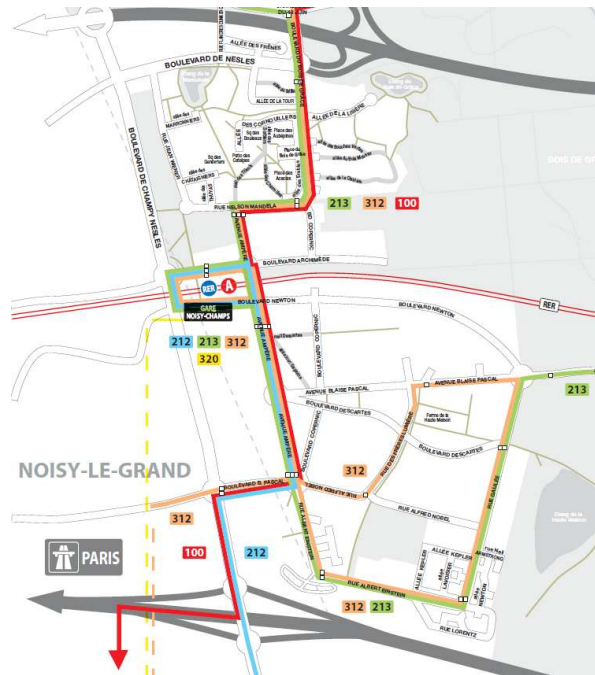


Figure 6.12 : Configuration des lignes de bus qui desservent la cité Descartes (source : http://www.ville-champssurmarne.fr/decouverte/plans_pdf.asp).

De même, les pratiques de mobilité douce sont peu favorisées sur le territoire de la cité Descartes élargie, du fait de l'absence d'aménagements spécifiques. Les quelques pistes cyclables existantes présentent un caractère discontinu et hétérogène, à cause des discontinuités et des coupures urbaines du site, ce qui génère des conditions de circulation peu confortables et des problèmes d'insécurité. Les cheminements piétonniers sont bien aménagés mais la distribution spatiale éparpillée des destinations sur le site ne joue pas en faveur des déplacements pédestres.

En conclusion, nous pouvons affirmer que le rayonnement régional de la cité Descartes est en partie imputable à ses bonnes conditions d'accessibilité. À l'échelle locale, le site souffre d'une faible desserte en transports en commun et d'un manque de modes doux de déplacement. À ce titre, l'enjeu est de favoriser un report modal de la voiture vers les modes alternatifs et de développer la desserte interne.

6.2.6 Mode de gouvernance et parties prenantes

Le développement territorial de la cité Descartes élargie obéit à un cadre de gouvernance complexe et éclaté, d'où l'importance de rappeler les différents acteurs institutionnels en jeu. Outre les communes et les départements de rattachement – à savoir Champs-sur-Marne, située dans le département de Seine-et-Marne d'un côté, et Noisy-le-Grand, située dans le département de Seine-Saint-Denis de l'autre –, les opérations d'aménagement de ce territoire relèvent de la compétence de la communauté d'agglomération de Marne-la-Vallée-Val Maubuée, de l'Établissement public d'aménagement de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée (EpaMarne) et plus généralement de la région Île-de-France. Chacun de ces acteurs joue un rôle spécifique

et poursuit un objectif particulier. Les communes veillent à ce que l'urbanisation soit conforme à leur politique d'urbanisme, qui prend forme par le biais des plans locaux d'urbanisme et des plans d'aménagement des zones, s'ils existent. L'intercommunalité Val Maubuée a comme priorité de renforcer le développement économique et gère les réseaux de transport alternatif à la voiture sur le secteur de Val Maubuée. L'EpaMarne a pour mission d'aménager, de planifier et d'impulser le développement de l'ensemble de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée. Il est propriétaire de plusieurs terrains et a été à l'origine des grandes opérations d'aménagement sur le site de la cité Descartes, telles que la maîtrise d'œuvre urbaine et paysagère du cœur du cluster initiée en 2010¹⁷².

Rappelons que la multiplicité des acteurs institutionnels se traduit par une dispersion des compétences de gestion. Elle représente une source de divergences concernant les priorités d'actions, voire de conflits d'intérêts. De même, l'inscription de la cité Descartes à différents échelons territoriaux amène à adhérer à un ensemble de documents de planification territoriale (PLU, POS, SCOT, Plan de ZAC, etc.) qui ne coïncident pas forcément. Ces faits constituent un frein majeur à l'avancement et à l'aboutissement des projets, ainsi qu'à l'instauration d'une stratégie territoriale cohérente à l'échelle locale.

6.2.7 Synthèse : vers un développement urbain durable

La cité Descartes élargie est un territoire jeune. Elle est à mi-parcours de son développement. Le rayonnement régional et l'attractivité de ce site reposent essentiellement sur sa position géographique stratégique au sein de la région Île-de-France, ainsi que sur son offre en infrastructures routières, autoroutières et ferroviaires. L'installation de grands établissements scientifiques et le dynamisme de son tissu économique ont largement contribué à la bonne image de marque du site. À cela s'ajoutent la richesse de son environnement naturel et paysager, et le fort potentiel d'emprises foncières disponibles. Si la valorisation de ces atouts ouvre des perspectives de développement intéressantes et donne de quoi concevoir et faire émerger un futur « cluster de la ville durable », force est de constater que certains enjeux et contraintes restent à surmonter.

Le développement urbain futur de la cité Descartes élargie doit, en effet, permettre :

- d'affirmer l'identité propre de ce site et son ancrage territorial dans son environnement local ;
- d'assurer une plus forte mixité sociale, générationnelle et fonctionnelle à travers le développement de la fonction résidentielle, l'orientation des emplois vers les besoins de la population résidente et l'atténuation des effets de coupure qui segmentent le territoire ;

¹⁷² Il est important de souligner que d'autres acteurs peuvent intervenir, plus ponctuellement, dans l'aménagement de la cité Descartes, tels que la Chambre de commerce et d'industrie, les différents établissements présents sur le site tels que les entreprises et les promoteurs immobiliers. De même, la société du Grand Paris Express est un acteur potentiel sur ce territoire. Une liste des principaux acteurs est fournie par Descartes développement (2012).

- de renforcer son rôle en tant que l'un des importants pôles économiques et urbains de l'Est parisien.
- De repenser son système de gouvernance.

L'ensemble de ces axes de développement feront de la cité Descartes élargie un lieu de vie à part entière. Dans cet esprit, le stationnement se présente comme une composante à part entière du tissu urbain et un élément clé de son aménagement. À la fois par la consommation et par l'occupation de l'espace, il conditionne fortement l'image et la qualité de vie au sein du territoire. Afin de bien l'intégrer dans une démarche plus large de planification urbaine, une connaissance préalable de la situation existante, de ses principaux enjeux et de la politique de gestion est indispensable. Par la suite, nous présenterons un état des lieux du système de stationnement tel qu'il se présente en 2010.

6.3 Diagnostic du stationnement à la cité Descartes élargie

Cette section caractérise la situation de stationnement en l'état de référence, soit celle d'un jour ouvrable de 2010¹⁷³. Elle vise à décrire l'offre et ses caractéristiques de gestion, à analyser la demande, les usages et l'occupation des places, et enfin à évaluer l'adéquation entre l'offre et la demande et la politique de gestion de stationnement à l'œuvre sur ce territoire.

Dans ce qui suit, nous emprunterons largement à Boujnah et Chaker (2010) ainsi qu'à Leurent et Boujnah (2013). Notre présentation se veut volontairement rapide et synthétique, plus de détails étant fournis dans la première référence. Après une présentation du périmètre et des outils du diagnostic, nous passerons à l'étude des caractéristiques de l'offre puis de la demande et de l'usage. Nous terminerons avec une synthèse des principaux constats et dysfonctionnements identifiés, et une énumération des enjeux forts d'organisation future de stationnement dans la cité Descartes élargie.

6.3.1 Périmètre et méthodes du diagnostic

Le diagnostic porte sur le site de la cité Descartes élargie présenté précédemment et qui regroupe l'IRIS Descartes et l'IRIS Nesles sud de la commune de Champs-sur-Marne. Il s'appuie, en grande partie, sur un travail de terrain sous la forme d'une enquête offre-demande, conçue spécifiquement dans le cadre de cette recherche au printemps 2010, et réalisée en collaboration avec une promotion d'étudiants du master Transport et développement durable (cours « Conception des systèmes de mobilité et innovation »). En complément, nous avons utilisé quelques résultats d'enquêtes d'occupation et de rotation, et d'études mandatées par les collectivités territoriales locales.

¹⁷³ Rappelons que le choix de cette date de 2010 s'explique par la disponibilité des données.

L'emprise d'étude a été découpée en onze zones selon leur composition fonctionnelle (résidentielle, commerciale, académique ou tertiaire), leur localisation et la trame viaire. La figure 6.13 identifie les différentes zones et leur surface, et renseigne sur les principales fonctions urbaines qui les caractérisent.

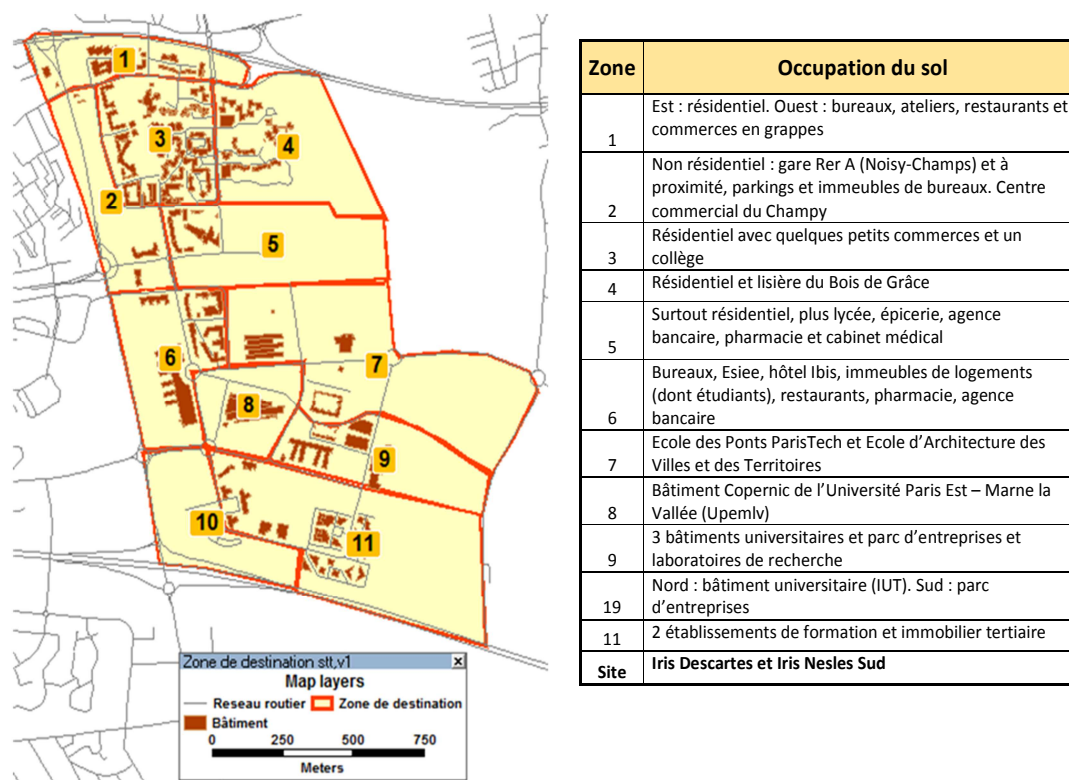


Figure 6.13 : Zonage et fonctions urbaines caractérisant le périmètre d'étude.

Du côté de l'offre, l'enquête, qui avait pour objectif de réaliser un inventaire quantitatif et qualitatif de l'existant en 2010 à l'échelle de la cité Descartes élargie, caractérise les places en termes de situation, de forme, de mode d'exploitation et de capacité physique. La situation renvoie à l'emplacement, qui peut être soit sur la voirie soit sur une aire dédiée : aire publique pouvant être liée à un commerce ou à une gare, ou aire « privative » pour un ménage ou une entreprise. La forme – en créneau, en épi ou en bataille –, détermine l'emprise en long et en travers relativement à un axe d'accès, et conditionne les manœuvres de stationnement. Le mode d'exploitation concerne des conditions d'accès (éventuellement, réservation pour handicapés ou livraisons), des conditions temporelles (éventuelle limitation de durée) et les régimes tarifaires (gratuit ou payant – « ponctuel » ou avec abonnement). La capacité renseigne sur le nombre total de places proposées. Le travail de dénombrement des places a été réalisé en deux étapes : d'abord l'examen de photographies aériennes à haute résolution (figure 6.14), puis des visites de terrain pour confirmer précisément les localisations et repérer les garages. Cet inventaire a été complété par des estimations, surtout pour les parkings des immeubles (notamment en sous-sol) qui n'étaient ni visibles ni accessibles et donc

plus délicats à recenser¹⁷⁴, tandis que les places en surface (voirie comprise) n'ont pas posé de difficulté d'enquête. Une fois collectées, les informations ont été consignées sur le SIG MapInfo, selon un modèle conceptuel de données qui distingue les tronçons de voirie et les aires traitées comme des objets polygones. Un modèle numérique exhaustif de la trame viaire, provenant du serveur Web OpenStreetMaps (qui est libre et gratuit¹⁷⁵), a été utilisé.

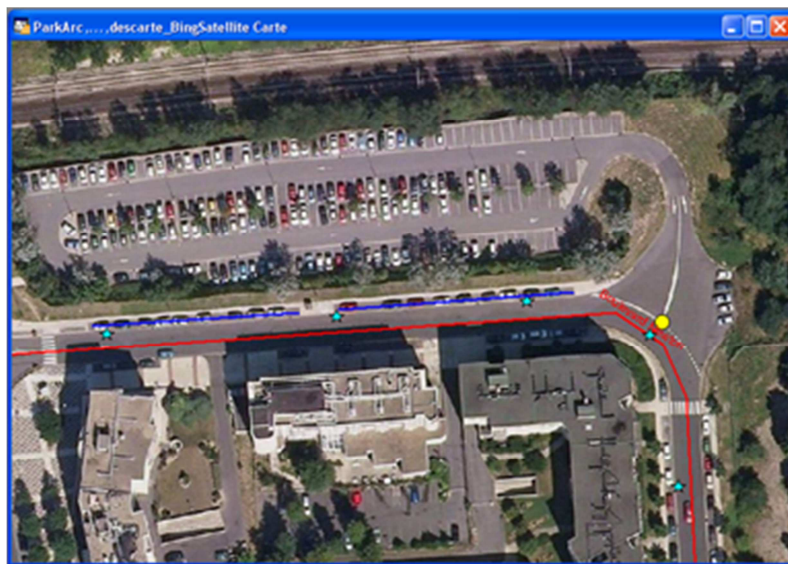


Figure 6.14 : Exemple de relevé spatial par photo satellite des caractéristiques de places de stationnement sur voirie et dans les parcs privés à partir de Google Maps.

Du côté de la demande, l'enquête menée visait à connaître les pratiques de stationnement. Elle considère les usagers en termes de comportements et de perception de la qualité de service du système, et non en termes d'accumulation des véhicules stationnés sur le site. Toujours au printemps 2010, la demande a été enquêtée de façon fragmentaire par interception et interviews d'automobilistes qui venaient de se garer ou étaient en train de récupérer leur véhicule. Le questionnaire d'enquête adressé aux usagers a été conçu en quatre volets, relatifs respectivement aux caractéristiques de l'automobiliste (classe d'âge, catégorie socioéconomique, etc.), à son déplacement (origine et destination exactes, motif, fréquence, etc.), au choix de la place de stationnement (type de place, lieu, conditions, temps de recherche...) et, enfin, à sa perception de la qualité de l'offre disponible. Une copie du questionnaire d'enquête se trouve en annexe C. Au total, près de 300 interviews ont été réalisées au sein de quatre zones aux caractéristiques locales variées (zones 2, 3, 8 et 11 précédemment présentées), considérées comme les plus stratégiques du site, en des points cibles (notamment la gare RER de Noisy-Champs, le centre commercial du

¹⁷⁴ Dans notre cas, les estimations de places privées se prêtent plus à des approximations. Elles ont été basées sur le nombre moyen de logements et d'emplois par bâtiment. Des enquêtes ponctuelles sont évidemment possibles, mais nécessitent beaucoup de temps. La connaissance des réserves de places privées liées au logement peut aussi passer par une analyse détaillée des données du recensement général de la population et des fichiers de taxe d'habitation. L'apport de chacune de ces bases est explicité dans Mathon (2008).

¹⁷⁵ <http://www.openstreetmap.org/relation/402751#map=15/48.8425/2.5898>.

Champy et le parc d'activités), un vendredi entre 7 h 30 et 19 heures. Les conditions d'enquête limitent évidemment la représentativité de l'échantillon et les résultats ont une portée surtout qualitative.

Pour une étude plus poussée de l'usage des places, nous nous limiterons à une analyse des résultats des études déjà existantes. Il s'agit surtout d'enquêtes d'occupation et de rotation des places, permettant de relever l'ensemble des véhicules garés selon leur plaque d'immatriculation sur des secteurs échantillons, de manière continue, durant toute la période de l'enquête. Ces enquêtes renseignent sur les durées de stationnement des véhicules et le profil de remplissage des lots. Elles sont la plupart du temps réalisées en régie ou par des bureaux d'études spécialisés.

6.3.2 État de l'offre à disposition des usagers

En 2010, on dénombre environ 7 560 places de stationnement dont 40 % sur voirie, 8 % en P + R et le reste hors voirie et privées. L'offre en voirie est à 54 % en créneau, 43 % en bataille et 3 % en épi. Hors voirie, il a été recensé en tout 75 aires (ou lots), avec par lot un nombre de places très variable (médiane à 30, moyenne à 60)¹⁷⁶. L'offre totale est relativement importante ; elle correspond à un ratio moyen de 0,7 place par habitant et/ou par emploi (les deux confondus). À titre illustratif, ce ratio est de l'ordre de 0,25 à Paris (Villot, 2005).

¹⁷⁶ À titre de démonstration, les places sur voirie constituent une file équivalente à 7,5 kilomètres avec, par place, 2,5 mètres de longueur.

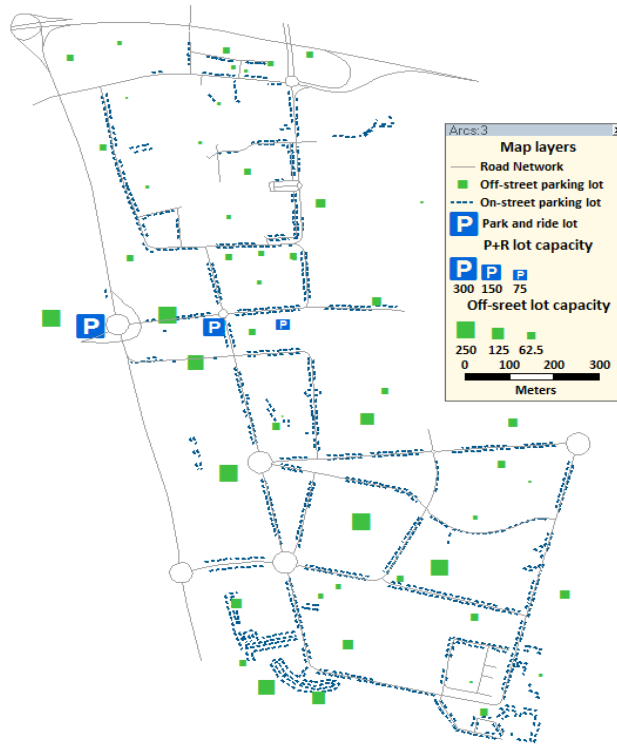


Figure 6.15 : Répartition des places de stationnement par lieu et par type dans la cité Descartes élargie en 2010.

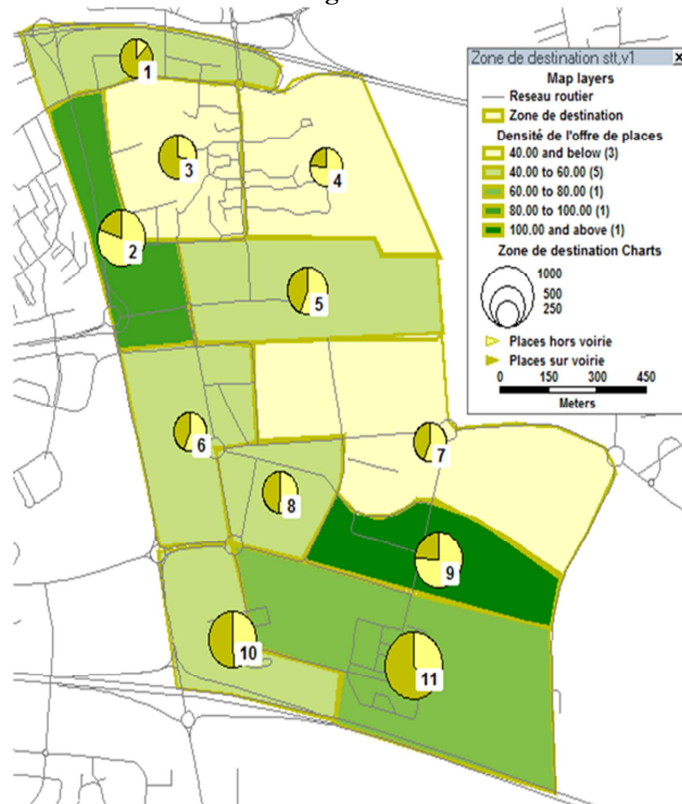


Figure 6.16 : Densité moyenne de l'offre de stationnement dans la cité Descartes élargie en 2010.

On constate que la répartition de l'offre de places de stationnement par type n'est pas homogène sur l'ensemble du site (figure 6.15). Les plus fortes densités de places sont constatées au sein des zones 9, 2 et 11 qui accueillent respectivement les bâtiments du parc d'activités et de l'enseignement supérieur, la gare RER de Noisy-Champs et des établissements de formation. Dans le même temps, cette distribution retrace l'importance de la demande d'activités par zone. De façon générale, dans un rayon de 200 mètres à pied autour d'un bâtiment, l'offre proposée est plutôt satisfaisante.

Passons maintenant à une analyse plus qualitative par type d'offre. Dès nos premières visites de terrain, nous avons remarqué que les places sur voirie sont agencées de part et d'autre de la chaussée pour quasiment tous les tronçons viaires du site. Cette configuration laisse envisager un aménagement et un dimensionnement favorables aux déplacements en voiture. Nous avons aussi constaté l'absence ou presque de réglementation de cette offre. À l'exception d'une zone bleue d'une vingtaine de places limitées à 2 heures de stationnement le long de l'avenue Ampère, à proximité de la gare RER et des principales activités commerciales du site, le stationnement reste gratuit sur l'ensemble du territoire. De même, les conditions d'accès aux places sont quasiment les mêmes quel que soit le motif de stationnement, aucune distinction entre les usagers n'est établie. Cela profite, en premier ressort, aux premiers arrivés et aux usagers de longue durée, d'autant que le contrôle du respect des durées est quasi inexistant. Notons que cette situation ne se limite pas au site d'étude et qu'elle caractérise l'ensemble des places viaires du territoire communal, dont la gestion relève de la mairie de Champs-sur-Marne.

L'absence de réglementation de l'offre à la cité Descartes, tant pour les durées que pour les tarifs, concerne aussi les deux P + R situés à droite de la gare RER (P + R Descartes 1 et Descartes 2) qui proposent respectivement 191 et 81 places. C'est d'ailleurs la cause directe de leur rapide saturation. À l'inverse, le P + R implanté du côté de Noisy-le-Grand (P+R Champy), doté d'une capacité totale de 318 places, est en sous-utilisation car il est payant (1 euro l'heure). Ces incohérences de tarification s'expliquent par des différences de rattachement administratif. En effet, la gestion des P + R se fait à l'échelle intercommunale, la gare de Noisy-Champs relève du secteur 2 de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée, sa gestion étant assurée par la communauté d'agglomération du Val Maubuée, tandis que celle de la gare de Noisy-le-Grand est entre les mains de la mairie de rattachement. Pour sa part, le parking du centre commercial de Champy, pourtant privé, propose un ensemble de 259 places qui deviennent payantes pour une occupation dépassant 30 minutes. Ce lot est accessible à tous les usagers, y compris à la demande de rabattement.

Pour ce qui est du stationnement privé, les aires sont situées en grande majorité en surface et sont généralement réservées aux entreprises et aux logements. La provision des places est régie par les documents d'urbanisme (Plan d'occupation des sols – ou POS – de 1999 de Champs-sur-Marne et Plan d'aménagement de la ZAC de la Haute-Maison de 2010)¹⁷⁷. L'examen de ces deux documents montre que les normes en vigueur sont assez élevées pour les immeubles d'habitation et les bureaux. Elles s'établissent à 1,5 place pour les maisons individuelles, 1 place pour les logements

¹⁷⁷ En règle générale, c'est l'article 12 du PLU qui réglemente les normes de construction et de provision des places privées par type de fonction urbaine. Néanmoins, pour le cas de la commune de Champs-sur-Marne, un projet de PLU étant en cours de préparation, le POS est encore applicable.

collectifs et 1,5 place pour 100 mètres carrés de SHON pour ce qui est des activités tertiaires et des bureaux. Ces normes générales correspondent à une maximisation de l'offre privée de places, elles ne tiennent en aucun cas compte du lieu exact de l'élément du bâti en question ni de sa proximité des grands axes de transports en commun.

De façon complémentaire, l'analyse des données du recensement général de la population de 2009 renseigne partiellement sur la disposition des places de stationnement résidentiel des ménages. Le nombre minimal d'emplacements de stationnement est de 1 671, ce qui correspond au nombre de ménages disposant d'au moins une place privative (64 %). En termes de motorisation, on sait qu'à la cité Descartes élargie, 64 % des ménages disposent d'au moins une voiture et que 11 % possèdent deux véhicules et plus. Ces données, même si elles donnent l'ordre de grandeur de l'offre disponible, ne permettent pas de la déterminer avec précision¹⁷⁸.

Enfin, nos visites du site de fin de journée (après le départ des pendulaires) ont montré la quasi-libération de la rue des véhicules. En conséquence, on peut en déduire que le stationnement résidentiel permet de répondre aux besoins locaux. La dimension normative de cette offre et sa quantité incitent même à un constat de surdimensionnement.

À ce stade du diagnostic, la réalité du terrain révèle l'absence de stratégie locale de gestion de l'offre de stationnement dans la cité Descartes élargie. Le manque de réglementation et de contrôle de la voirie, l'incohérence de gestion des P + R et la surestimation des besoins privés laissent présupposer une logique de préférence pour les déplacements en voiture particulière. Quels sont alors les effets de cette situation sur l'occupation des places et les comportements des usagers ?

6.3.3 État de la demande et de l'usage

Nous commencerons par analyser les comportements et les choix de stationnement des répondants. Nous passerons, ensuite, à une caractérisation de l'usage des places et, de façon plus ponctuelle, de la demande de rabattement.

6.3.3.1 Caractéristiques des automobilistes et de leurs déplacements

L'analyse des résultats de l'enquête demande a montré que la population des répondants est assez équilibrée selon le genre : masculin à 54 % et féminin à 46 %. Dans la répartition des âges, la décennie des 20-30 ans domine largement dans les zones 8 et 11 (à dominance universitaire), tandis que pour l'ensemble des zones, les trois décennies suivantes sont assez équilibrées (40-50 un peu plus fournie que 30-40, elle-même plus que 50-60). Dans la répartition par catégories socioprofessionnelles, on retrouve de nombreux étudiants en zones 8 et 11, une majorité d'employés en zone 2 (gare RER) et 10 à 20 % de cadres.

¹⁷⁸ Notons que cette situation n'est pas réservée à la cité Descartes. En fait, la connaissance des réserves de places privées liées aux logements reste l'une des problématiques majeures de l'étude du stationnement en milieu urbain.

Pour ce qui est des déplacements enquêtés, ils ont pour principaux motifs d'activité le travail (43 %) ou les études (39 %), loin devant les achats (8 %) et les affaires (7 %). Les retours au domicile sont réduits à 3 %, en raison des fonctions dominantes sur le site, des horaires et des lieux enquêtés. Les origines des déplacements se répartissent selon les départements franciliens avec une majorité depuis la Seine-et-Marne (77) qui inclut Champs-sur-Marne (57 %), avec une part forte de la Seine-Saint-Denis (93) qui inclut Noisy-le-Grand (23 %), une minorité du Val-de-Marne (94) qui inclut Bry-sur-Marne (12 %) et des contributions marginales des autres départements (Essonne avec 2,7 %, Paris avec 2,3 %, Hauts-de-Seine avec 1,6 %, Val-d'Oise avec 0,8 %, Yvelines avec 0,6 %). Toutefois, ces résultats n'échappent pas à un certain biais, puisqu'ils résultent d'un tirage aléatoire et ne garantissent pas que l'échantillon des usagers interviewés soit représentatif de la population mère de l'aire d'étude.

6.3.3.2 Situations et comportements de choix de stationnement

Selon le mode d'exploitation, les places choisies sont à 47 % gratuites sur la voirie, à 32 % en parking hors voirie – notamment d'employeurs –, et à 7 % en places payantes (parking du centre commercial). Les raisons de ces choix sont principalement la proximité de la destination finale (44 %), suivie de loin par le prix (17 %), la facilité d'accès (14 %) et le temps de recherche de la place (9 %).

Le temps de recherche moyen a été estimé à 3,5 minutes – il est évalué subjectivement. Les valeurs déclarées sont inférieures à la minute pour 30 % des répondants, comprises entre 1 et 5 minutes pour 34 %, supérieures ou égales à 5 minutes pour 32 %. Par ailleurs, l'obtention d'une place est perçue comme difficile et contraignante par 33 % des répondants. Il s'agit essentiellement des personnes qui viennent en fin de matinée ou à midi et qui se rendent dans le secteur nord du site. Le temps moyen de marche terminale entre le lieu de stationnement et la destination finale est évalué à 4 minutes. Mais il varie fortement selon la zone. Il est inférieur à 2 minutes pour 95 % en zone 8, inférieur à 5 minutes pour deux tiers des cas dans les autres zones. Ce temps est beaucoup plus important pour une minorité non négligeable (5 à 15 % selon la zone) qui déclare une durée comprise entre 5 et 10 minutes, et une autre de plus de 15 minutes (20 % en zones 2 et 3, notamment les usagers du RER).

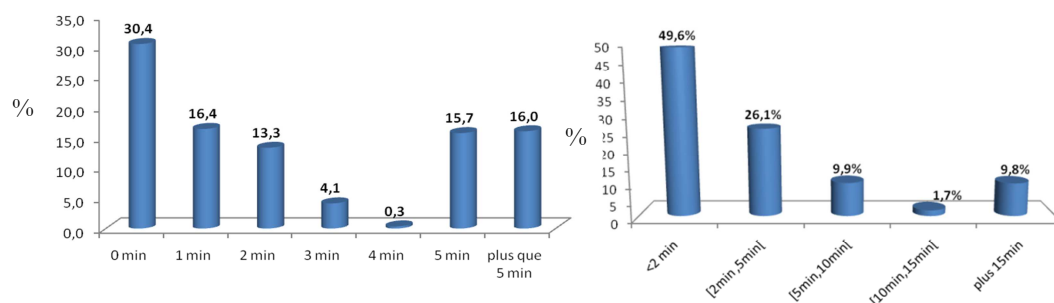


Figure 6.17 : (a) Répartition du temps de recherche d'une place, (b) Répartition du temps de marche terminale (source : Enquête offre-demande de stationnement dans la cité Descartes, 2010).

L'analyse de ces temps de déplacement par zone est intéressante dans la mesure où elle reflète la dimension microlocale des comportements de stationnement. Elle ne permet toutefois pas de traiter la dimension temporelle. Ces temps sont calculés en agrégeant les données, ils correspondent donc plus à des moyennes journalières qu'à des périodes de temps spécifiques et ne traduisent pas nécessairement des situations de pointe d'occupation. Notons, enfin, qu'ils correspondent à des valeurs subjectives déclarées par les usagers et non à des valeurs mesurées, d'où le risque d'une surévaluation.

6.3.3.3 Conditions d'usage et d'occupation des places

L'enquête demande a révélé de très longues durées d'occupation des places avec un usage pendulaire de plus de 6 heures à 80 %, contre 9 % entre 2 et 6 heures et 11 % inférieures à 2 heures. Cela corrobore l'idée d'une répartition selon le motif. Ces durées sont synonymes d'immobilisation et de peu de mouvements de véhicules, autrement dit d'un faible taux de rotation des places. Ces résultats renseignent indirectement sur le profil de remplissage des places qui se fait essentiellement le matin par des automobilistes quotidiens. Garer son véhicule devient donc plus contraignant pour les usagers qui arrivent au cours de la journée.

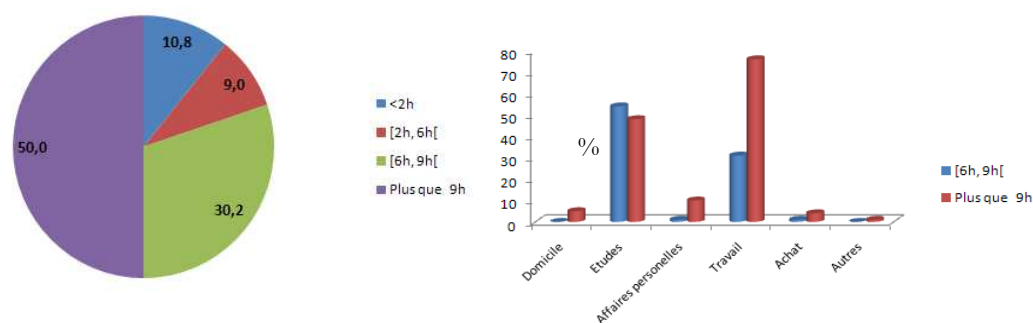


Figure 6.18 : Répartition des durées déclarées d'occupation des places (source : *Enquête offre-demande de stationnement dans la cité Descartes, 2010*).

Dans ce sens, une enquête d'occupation des places effectuée fin 2008 pour le compte de l'EpaMarne a permis de restituer les niveaux de remplissage de l'offre sur voirie le matin entre 6 h 30 et 8 h 45 (figure 6.19). Elle a montré une occupation progressive des places d'abord dans le secteur nord et aux abords de la gare RER, ensuite une diffusion vers le centre puis le sud du site. À la fin du relevé, seuls quelques tronçons de voirie restaient disponibles. La distribution des véhicules en stationnement au début de l'enquête laisse présumer qu'ils appartiennent soit aux résidents de la cité Descartes élargie, soit aux usagers en rabattement de la gare qui constitue un générateur emblématique avec un important afflux d'usagers, notamment du fait de sa localisation en limite de la quatrième zone tarifaire¹⁷⁹ des transports en commun.

¹⁷⁹ Rappelons qu'en Île-de-France, la tarification des transports était établie selon cinq zones tarifaires. Ce zonage a été abandonné en septembre 2015 au profit d'un tarif unique de 70 € par mois.

Pour analyser de façon plus ponctuelle les caractéristiques de la demande de rabattement, nous avons pris en compte les résultats d'un ensemble d'enquêtes d'occupation, de rotation et de comptage des places réalisées en janvier 2011 dans un rayon de 500 mètres de la gare RER par le bureau d'études Sareco. Ces enquêtes avaient pour objectif d'analyser et de quantifier la demande de stationnement de rabattement. Les comptages ont montré que la gare attire en moyenne 550 véhicules en heure de pointe du matin les jours ouvrables, ce qui correspond à environ 5 % du flux total des montants. Cette demande se répartit de façon déséquilibrée entre les deux communes. En effet, les parkings de Noisy-le-Grand, malgré leur grande capacité (318 places pour le P + R Champy et 259 pour le parking du centre commercial), ont une faible fréquentation parce qu'ils sont payants, ce qui constitue vraisemblablement une barrière à l'entrée pour les usagers. Ainsi, le nombre d'abonnements y est limité à 170. La demande de rabattement se situe plutôt sur la commune de Champs-sur-Marne en raison de la gratuité du service, que ce soit en P + R ou sur voirie. Ces places sont, en conséquence, saturées à partir de 8 h 30 et occupées pour de très longues périodes (environ 8 heures). Parmi ces véhicules, 16 % sont garés sur des places interdites et constituent une gêne pour les riverains. Ces études ont mis par ailleurs en évidence la présence de véhicules ventouses appartenant aux résidents, qui monopolisent environ 18 % des emplacements en zone bleue et sur voirie au nord du site.



Figure 6.19 : Progression du remplissage des places sur voirie en heures de pointe du matin un jour ouvrable de 2008 (Source : EpaMarne, 2009).

Le problème de saturation de la voirie n'est pas récent aux abords proches de la gare RER. La figure 6.20 illustre l'occupation journalière de l'avenue Ampère, qui accueille les principales offres commerciales et de services de la cité Descartes, sur une journée ouvrable de 2006. Cet axe présente une offre saturée tout au long de la journée. Il est occupé en grande partie par des véhicules de pendulaires et de navetteurs. On constate ainsi l'absence de conscience politique des effets de cette situation qui nuit fortement à l'attractivité du site et à son dynamisme économique.

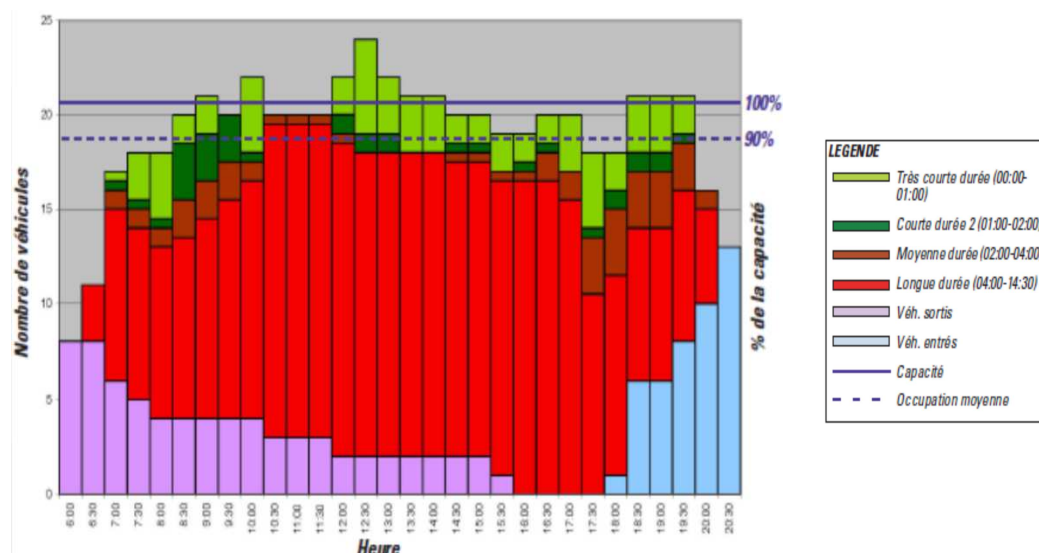


Figure 6.20 : Structure de l'occupation journalière et de l'usage des places sur voirie de l'avenue Ampère un jour ouvrable de 2006 (source : SAN Marne-la-Vallée-Val Maubuée, 2006).

De façon générale, sur un même territoire et une même période, différents motifs de stationnement sont susceptibles de se juxtaposer et, en cas de pénurie, d'entrer en compétition pour l'occupation des places. Cette concurrence est problématique dans certains secteurs de la cité Descartes élargie, à cause de l'absence de réglementation de l'offre publique. Elle joue plutôt en faveur des premiers arrivés. D'ailleurs, les automobilistes fréquentant le site depuis plus de trois ans ont déclaré une pression croissante sur l'offre, avec pour certains une difficulté grandissante à trouver une place proche de leur destination : pour y parvenir, certains partent plus tôt le matin (zones 2 et 11 de l'enquête demande). La raison invoquée est l'augmentation du nombre d'étudiants motorisés. Certains déclarent en outre que l'espace est insuffisamment utilisé pour le stationnement (Boujnah et Chaker, 2010).

6.3.4 Bilan du diagnostic

Le territoire de la cité Descartes élargie est doté d'une large offre de places de stationnement tant sur le domaine public que dans le parc privé qui est, à notre sens, en mesure de répondre correctement aux besoins locaux de la demande. Malgré l'importance de cette offre, plusieurs types de dysfonctionnements ont été constatés.

Tableau 6.1 : Principaux constats et dysfonctionnements du stationnement dans la cité Descartes élargie en 2010.

Type d'offre		Constats	Dysfonctionnements	Enjeux
Offre publique	Sur voirie	<ul style="list-style-type: none"> - Une voirie agencée pour accueillir la voiture - Une absence de stratégie de gestion des places - De très longues durées d'occupation - Une forte pression et un conflit d'usage des places 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de tarification et insuffisance de contrôle - Non-respect de la zone bleue - Faible rotation des places - Stationnement illicite en double file - Stationnement gênant 	<ul style="list-style-type: none"> - Assurer le partage de l'espace public - Hiérarchiser les usages selon les besoins de la demande - Favoriser les courtes durées pour une meilleure rotation des places - Réduire le nombre de véhicules ventouses
	Hors voirie	<ul style="list-style-type: none"> - Une offre limitée à faible densité 	<ul style="list-style-type: none"> - Absence d'options alternatives crédibles pour les arrivants au cours de la journée 	<ul style="list-style-type: none"> - Garantir le droit à stationner à l'ensemble des usagers
	En P + R	<ul style="list-style-type: none"> - Une capacité totale insuffisante et mal répartie - Une forte attractivité des lots de Champs-sur-Marne - Une faible fréquentation des lots de Noisy-le-Grand 	<ul style="list-style-type: none"> - Déséquilibre d'occupation des places - Saturation et stationnement anarchique du côté de Champs-sur-Marne - Diversité des acteurs institutionnels et dispersion des compétences de gestion 	<ul style="list-style-type: none"> - Remplir d'abord la fonction de parc d'intermodalité - Laisser des places vides en temps et en lieu - Assurer une cohérence tarifaire et institutionnelle
Offre privée		<ul style="list-style-type: none"> - Une offre bien répartie à accès réservé - Application des normes minimales qui surestiment les besoins 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficulté à connaître et à quantifier objectivement l'offre totale - Déplacements en voiture particulière favorisés 	<ul style="list-style-type: none"> - Limiter la consommation de l'espace par l'automobile

Le diagnostic a mis en évidence l'absence de stratégie locale de gestion de stationnement qui hiérarchise les usages et régleme nte l'occupation et la rotation des places. Le tableau ci-dessus (tableau 6.1) récapitule les principaux constats issus du diagnostic, les dysfonctionnements et les enjeux par type d'offre. Le diagnostic montre qu'au sein du territoire d'étude, l'offre publique (sur voirie et en P + R) est la plus convoitée, d'où sa forte saturation. Le déficit de gestion de stationnement se manifeste sous différentes formes. La gratuité et l'absence de réglementation de la voirie met en concurrence les usagers et profite plus aux longues durées d'occupation et aux premiers arrivés, qui ne sont pas toujours les plus prioritaires. De même, le défaut de surveillance favorise le stationnement anarchique et illicite en double file sur voirie, et en dehors des emplacements dédiés à cet effet. Enfin, l'incohérence tarifaire entre l'offre sur voirie et l'offre de rabattement d'une part, et entre les P + R d'autre part, est l'une des principaux écueils du système actuel. Nous avons constaté que la situation est particulièrement critique au cœur de la cité où se situent le pôle gare et les différents commerces de proximité. Ce secteur problématique concentre les plus grandes difficultés pour trouver une place et la plus importante poche de saturation et qui déborde le long des avenues avoisinantes. Ce problème est lié à l'importance du flux de rabattement et à certaines pratiques telles que l'accaparement des places par des véhicules ventouses. Inversement, l'offre privée semble répondre grosso modo aux besoins actuels. En résumé, la gestion du stationnement à la cité Descartes doit passer, en première approche, par une optimisation de l'usage des capacités disponibles. La réglementation de l'offre publique est susceptible de résoudre une grande partie des problèmes de stationnement sur ce site et de favoriser le partage de l'espace public et la rotation des places.

6.4 Conclusion

Ce chapitre caractérise la situation du territoire de la cité Descartes élargie et de son système de stationnement en 2010. Le diagnostic proposé est basé principalement sur l'analyse des données du recensement général de la population de 2009, sur une enquête offre-demande de stationnement conçue pour cette recherche et sur quelques études territoriales et de mobilité déjà disponibles. Le diagnostic révèle que la cité Descartes est à mi-parcours de son développement et qu'elle dispose d'un avenir très prometteur car elle réunit d'indéniables atouts, de quoi faire émerger un pôle urbain de qualité. C'est d'ailleurs pour ces raisons qu'elle a été sélectionnée comme « cœur du cluster de la ville durable », dans le cadre du projet du Grand Paris Express. Désormais, l'enjeu majeur pour ce territoire est d'assurer son ancrage dans son environnement local et de promouvoir un système de gouvernance plus cohérent.

Nous avons montré que, sur ce territoire, le paysage local est marqué par une forte présence des véhicules en stationnement. Malgré une forte capacité de l'offre, plusieurs types de dysfonctionnement ont été relevés. En effet, l'absence d'une stratégie locale de gestion de l'offre ne permet pas d'optimiser l'usage et l'occupation des places. Les dysfonctionnements concernent particulièrement l'offre publique sur voirie et en P + R. Les effets de la pénurie des places se manifestent aux abords immédiats de la gare RER et au sein de quelques zones voisines induisant une forte pression et une saturation de l'offre locale. Ceci permet de conclure que la gestion par

les capacités ne permet pas à elle seule de résoudre le déséquilibre quantitatif des places entre l'offre et la demande. Parallèlement, une rationalisation des usages s'impose. Nous avons mis en évidence que la politique actuelle de stationnement à la cité Descartes élargie favorise la suprématie de la voiture. En conséquence, elle ne répond pas aux objectifs de durabilité établis dans les documents de planification urbaine et des déplacements préconisant la limitation de l'usage de l'automobile en ville.

Au-delà des résultats déjà présentés, l'analyse proposée illustre comment le contexte local conditionne aussi bien la structure du système de stationnement (en termes de volume et d'agencement) que l'usage et l'occupation des places, dans l'espace et dans le temps, et réciproquement comment le stationnement affecte l'attractivité du territoire et dans quels circonstances il peut constituer une source de dysfonctionnements. Notre analyse permet aussi de mettre en évidence et de confirmer les enjeux d'éco-conception du stationnement déjà relevés dans le chapitre 1. L'enjeu de connaissance se manifeste à travers la multiplicité des sources de données et la nécessité de les compléter par un travail ponctuel et spécifique au terrain d'étude. De même, l'enjeu de gouvernance se révèle déterminant pour un bon fonctionnement du système de stationnement en particulier et du territoire en général. Par essence, le stationnement est peu consensuel. La multiplicité des acteurs et l'éclatement des compétences ne sont pas sans conséquences sur l'efficacité du fonctionnement local de stationnement. Enfin, notre analyse met en lumière l'enjeu de la cohérence et l'importance de synchroniser et de coordonner les actions et les politiques entre les segments de l'offre et à l'échelle infracommunale et intercommunale. Dans le contexte urbain actuel, il semble urgent pour les décideurs publics de changer leur conception du stationnement et de passer d'une approche orientée « outil » – qui limite le rôle du stationnement à la régulation de la circulation en milieu urbain – à une approche orientée « système » qui l'intègre comme un élément structurant des stratégies territoriales de la ville.

En conclusion, la phase du diagnostic dresse une vision détaillée de la situation de l'existant et fournit des éléments de connaissance affinée et de compréhension de ce qui se passe sur le terrain. Elle ne permet cependant pas de mesurer ni d'évaluer les impacts des choix opérés ni l'efficacité de telle ou telle stratégie d'action dans le temps. Pour ce faire, les décideurs font souvent appel aux outils de simulation. Ces outils opérationnels sont capables de reproduire une situation observée et de fournir des évaluations des projets. En ce sens, nous nous proposons, dans le chapitre suivant, de développer la méthodologie d'application du modèle ParkCap et de l'appliquer au cas d'étude de la cité Descartes élargie en 2010.

Chapitre 7

Méthode opératoire et application du modèle ParkCap au cas de la cité Descartes élargie : situation de référence et variantes en 2010

7.1 Introduction

L'élaboration des politiques locales de stationnement relève d'un savant dosage entre de nombreuses dimensions. Outre la nécessité de gérer un équilibre stable entre l'offre et la demande, ces politiques doivent intégrer des objectifs et concilier des intérêts multiples et parfois contradictoires (voir le chapitre 1). Selon le territoire, les enjeux et les arbitrages à faire ne sont pas les mêmes. Les paramètres de l'action publique sont nombreux et chaque situation est considérée comme expérimentale, laissant une large place à l'intuition (Belli-Rizet *al.*, (2000)). Au-delà de cette complexité, les acteurs en charge de définir ces politiques sont confrontés à un impératif d'efficacité. Dans ce contexte, les outils d'évaluation ex-post présentent un intérêt majeur. Ayant une visée régulatrice, ils permettent d'estimer le degré d'atteinte des objectifs poursuivis et d'apprécier les conséquences des choix opérés. Ces outils servent aussi de supports pour actualiser les objectifs et réorienter l'action de manière plus efficace. L'évaluation s'appuie souvent sur des modèles de simulation. Néanmoins, en matière de stationnement, les modèles opérationnels sont rares. C'est particulièrement le cas de

modèles qui considèrent explicitement l'interaction entre le stationnement et la circulation sur le réseau routier.

Ce chapitre traite deux objectifs de manière conjointe : d'une part établir une méthodologie applicative pour le modèle ParkCap, et d'autre part appliquer le modèle concrètement en étudiant un cas, celui de la cité Descartes élargie. Ce cas est traité à la fois pour mieux comprendre le fonctionnement de son système local de stationnement, et pour illustrer et démontrer la méthodologie applicative du modèle.

Nous décrivons le processus de codage des informations en précisant quels sont les informations nécessaires pour lancer une simulation à l'aide de l'outil ParkCap. Nous montrerons comment nous avons construits ces informations, sous quelles formes elles se présentent et quelles méthodes nous avons mobilisé. Nous traiterons l'offre, la demande et l'usage de stationnement en lien avec les activités socioéconomiques présentes sur le territoire et avec ses caractéristiques de mobilité. Pour le cas d'application de la cité Descartes élargie, nous commencerons par une reconstitution de la situation de référence, définie pour l'année 2010. Cela permet de tester la validité empirique du modèle et sa capacité à reproduire une situation observée. Puis, nous testerons et comparons trois variantes de gestion de l'offre de stationnement à court terme. Nous concluons avec quelques éléments de recommandations. Les résultats de simulation sont organisés selon trois dimensions : (i) l'état d'occupation et usage des lots de stationnement, (ii) l'état du trafic sur le réseau routier et (iii) la structure des coûts de déplacements pour l'utilisateur. Ils peuvent être interprétés aussi bien du point de vue de l'opérateur que du point de vue de l'utilisateur.

Ce chapitre est structuré en quatre parties. Dans la section suivante (section 7.2), nous détaillerons le mode opératoire et le processus de codage des informations. Nous l'illustrerons par le jeu de données et d'hypothèses utilisé pour reproduire l'état du système étudié dans la situation de référence de 2010. La section 7.3 sera dédiée à la simulation de la situation de référence du système de stationnement de la cité Descartes élargie et à l'analyse des variantes de plans de gestion de stationnement. Elle terminera par une synthèse et une discussion des résultats. Enfin, quelques éléments de conclusion et de perspective seront proposés (section 7.4).

7.2 Le passage à la simulation : codage des informations et opérationnalité du modèle

Cette section présente le mode opératoire et le processus général de codage des informations d'entrée dans l'outil ParkCap. Elle décrit les types de données utilisées, leurs étapes de prétraitement, et fournit quelques recommandations méthodologiques leur conception. Dans ce qui suit, nous traiterons successivement le codage de l'offre, le codage de la demande, l'articulation offre-demande et enfin les questions de calage et de validation du modèle. Pour illustrer, nous utiliserons les informations de simulation du cas de la cité Descartes élargie en situation de référence définie pour l'année 2010.

7.2.1 Codage de l'offre

L'offre comprend l'ensemble des infrastructures et des services auxquels les usagers peuvent accéder. Dans le modèle ParkCap, l'offre se compose de trois principales catégories : (i) le réseau routier, (ii) l'offre d'activités et (iii) les lots de stationnement. Le codage de l'offre repose sur une description fine et précise de ces éléments dans l'espace. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel TransCAD, un système d'information géographique orienté transport qui permet de traiter et d'analyser à la fois des données spatiales organisées en couches et des données alphanumériques organisées en bases de données. Cette boîte à outils est utilisée également pour cartographier les résultats de simulation. La figure 7.1 présente la configuration des éléments de l'offre dans la cité Descartes élargie, pour la situation de référence. Nous y ferons référence dans la suite de cette partie.

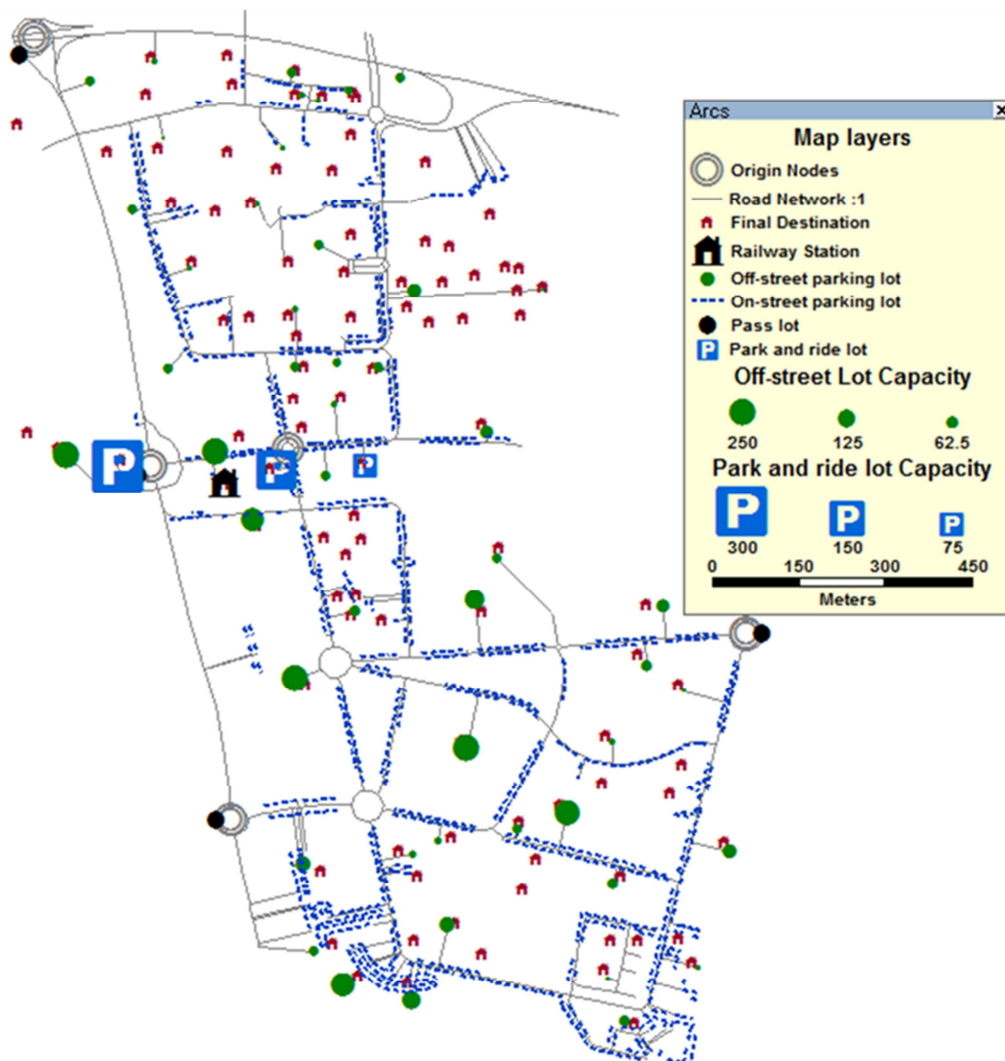


Figure 7.1 : Configuration de l'offre dans la cité Descartes élargie (situation de référence).

7.2.1.1 Codification du réseau routier

La structure physique du réseau routier est codée sous la forme d'un graphe composé d'un ensemble d'arcs et d'un ensemble nœuds. Les arcs représentent les sections d'infrastructure sur lesquelles ont lieu les déplacements. Ils sont identifiés par leurs caractéristiques techniques et de fonctionnement du réseau. Chaque arc est caractérisé par les attributs suivants : longueur (en kilomètres), type de voirie (principale, secondaire, locale), capacité maximale (en véhicules-kilomètres), temps de parcours à vide (en minutes), direction et vitesse maximale (en kilomètres par heure). Les nœuds représentent les extrémités des liens ; ils permettent de garantir la connexité du réseau et sont caractérisés principalement par leurs coordonnées spatiales. Dans l'outil ParkCap, le réseau routier doit être codé de façon très fine, tout en adoptant une classification hiérarchique de l'ensemble des voiries¹⁸⁰.

Pour le cas d'étude, nous avons commencé par extraire le réseau routier à partir de la base de données géoréférencées BD TOPO de l'IGN. Aux données déjà codées dans le réseau routier du modèle Modus, nous avons ajouté manuellement les tronçons qui assurent la déserte locale (absents de Modus). Le réseau considéré regroupe l'ensemble des boulevards, avenues, routes principales et secondaires et carrefours de la zone d'étude. Sa longueur totale est de 15,7 kilomètres. Le nombre d'arcs s'élève à 170 et celui des nœuds à 133, parmi lesquels cinq constituent des nœuds d'accès local au site, autrement dit des points d'origine¹⁸¹. Les principales caractéristiques du réseau routier de la cité Descartes élargie pour la situation de référence de 2010 sont illustrées par le tableau 7.1.

Tableau 7.1 : Caractéristiques du réseau routier de la cité Descartes (situation de référence).

Éléments du réseau	Nombre	Vitesse maximale (km/h)
Nœuds	133	–
dont nœuds d'origine	5	–
Arcs	170	
Voies rapides	15	70
Voies primaires	40	50
Voies secondaires	115	30

Les paramètres de charge du réseau ont été déterminés comme suit : les temps de parcours à vide ont été calculés à partir de la vitesse maximale du lien. Par simplification, les capacités des arcs ont été définies pour être toujours supérieures à la charge du trafic, avec une valeur de 1 500 véhicules/heure. Les paramètres de Volume/Capacité de la fonction de temps de parcours ont été établis respectivement à 1,1 et à 5 en référence aux valeurs recommandées pour les routes urbaines dans le *Highway Capacity Manual* (HCM, 2000, Appendix C).

¹⁸⁰ Les propriétés du réseau modélisé sont ensuite récapitulées sous la forme d'un fichier d'informations intitulé « Network ».

¹⁸¹ Notons que nous avons définis cinq points d'origine locaux à l'intérieur du site, les nœuds correspondants sont illustrés par la figure 7.1.

7.2.1.2 Codification de l'offre d'activités

Le deuxième volet de l'offre concerne les activités locales disponibles au sein du territoire d'étude. Cette offre se modélise par les générateurs fonctionnels correspondant aux destinations finales de déplacement pour les usagers. Chaque générateur accueille une ou plusieurs fonctions urbaines qui motivent des activités individuelles particulières et génère ainsi une demande de déplacement. Coder les générateurs revient à les désagréger par élément spatial – comme une parcelle ou un îlot urbain –, et à les identifier selon leurs coordonnées x-y, ce qui donne lieu à un centroïde par élément. Une fois définis, ces générateurs doivent ensuite être différenciés selon les caractéristiques d'occupation du sol (habitat, emplois, études, commerces...). Nous nous attachons à qualifier les générateurs « spécifiques » qui marquent le territoire – comme les gares ferroviaires, les établissements universitaires et hospitaliers ou encore les centres commerciaux.

Ce travail aboutit à un zonage très fin où chaque centroïde correspond soit à un point physiquement localisé, soit à un groupe de bâtiments. Ce mode de représentation répond aux objectifs de l'étude, mais il a des conséquences importantes sur les sorties de simulations car la localisation des activités influence les choix des lieux de stationnement. De même, le zonage désagrégé nécessite des données de localisation extrêmement précises (à l'adresse)¹⁸².

Pour le cas d'étude de la cité Descartes élargie, nous avons utilisé d'une part, la base de données topographiques de l'IGN (BD TOPO) qui localisent chaque élément du bâti avec une précision métrique dans l'espace géographique, et d'autre part, la base de données GéoSirene de l'Insee qui localise l'adresse postale de chaque établissement d'entreprise au sens large, incluant administrations et associations. Pour la situation de référence, le territoire présente 98 générateurs répartis comme suit : une gare ferroviaire, 20 établissements universitaires – incluant l'université de Marne-la-Vallée –, 17 parcelles de logements et 60 parcelles d'entreprises dont 10 commerces. La figure 7.1 montre l'ensemble des générateurs fonctionnels qui soutiennent la réalisation d'activités au sein du site d'étude dans la situation de référence. Il est à mentionner, enfin, que nous avons procédé à un regroupement des bâtiments situés à proximité immédiate les uns des autres jusque dans un rayon de 50 mètres, ayant le même type d'activité génératrice et attirant un faible volume de demande de déplacement. Cette opération vise à réduire le nombre des nœuds d'activité et in fine le temps de calcul au cours de la simulation.

7.2.1.3 Codification des lots de stationnement

L'offre de stationnement est représentée par un ensemble de lots répartis sur le territoire. On entend par lot un ensemble de places juxtaposées de caractéristiques

¹⁸² L'ensemble de ces informations est récapitulé sous la forme d'un fichier intitulé « Générateurs » comme couche de données avec le logiciel TransCAD.

identiques destinées au stockage des voitures. Du point de vue spatial, chaque lot est représenté par un nœud et est caractérisé par les attributs suivants :

- sa localisation géographique exacte ;
- son type (privé, public, P + R, autre) ;
- sa capacité physique (nombre total de places offertes) ;
- ses modalités de gestion (notamment conditions d'accès, tarifs, durée de stationnement permise, probabilité de contrôle et montant de l'amende en cas d'infraction).

Parmi ces attributs, la capacité physique représente l'élément primordial car elle détermine la qualité de service du lot et son attractivité instantanée pour l'utilisateur. Il est donc important pour le modélisateur de considérer, pour chaque lot, le nombre de places disponibles au début de la période de simulation et de bien la distinguer de la capacité totale¹⁸³.

Il est intéressant de rappeler ici que la connaissance précise de l'offre de stationnement disponible au sein d'un territoire est l'une des principales difficultés lors de la construction des informations. À notre connaissance, il n'existe pas à ce jour de base nationale exhaustive en France qui fournisse des données géospatialisées sur la question. Le modélisateur doit donc prendre soin de recueillir puis de mettre en forme les informations nécessaires à la simulation¹⁸⁴. Nous revenons à la question de la disponibilité des données à la fin de cette section.

Le codage de l'offre de stationnement dans la cité Descartes élargie, dans la situation de référence de 2010, a pris principalement appui sur les observations directes effectuées sur le terrain d'étude et sur les résultats de l'enquête offre-demande de 2010. Cette enquête restitue les caractéristiques principales et les capacités physiques totales des lots, fournit des résultats quantitatifs sur le remplissage des parkings publics (P + R inclus) et des segments de voirie au début de la période de simulation. Nos hypothèses d'estimation de l'offre disponible en début de période de simulation distinguent les lots par types. Pour les parkings privés hors logements, nous avons supposé que l'occupation des places ne dépassait pas 5 % de la capacité totale. Cette hypothèse est fondée sur le fait que la simulation porte sur la période de pointe du

¹⁸³ Dans ParkCap, les informations d'entrée décrivant les caractéristiques détaillées de l'offre de stationnement sont récapitulées dans un fichier d'informations intitulé « Lots ».

¹⁸⁴ La collecte des informations prend différentes formes. Les visites de terrain permettent d'observer et de faire un inventaire de l'offre. L'analyse des rapports d'étude et des résultats d'enquête disponibles chez les collectivités et les opérateurs locaux de stationnement permet d'approfondir la connaissance et de compléter les informations à disposition. Les bases de données d'informations géographiques telles qu'OpenStreetMap et Google Maps, disponibles en libre accès, peuvent apporter une aide précieuse au modélisateur. Elles fournissent des images en haute résolution et précisent la position géographique des parkings et leur répartition spatiale. Dans certains cas, elles permettent également de caractériser les types de lots et leurs modalités de gestion. La connaissance des capacités des lots est beaucoup plus délicate. Les informations disponibles sont souvent agrégées par types ou par zones et ne correspondent que très rarement aux besoins de modélisation. Cela dit, la connaissance sur le stationnement est amenée à s'améliorer grâce au développement des mouvements d'ouvertures des données publiques (*l'Open Data*).

matin (de 7 heures à 10 heures). Pour la voirie, quelques segments, aux abords de la gare, sont considérés comme occupés à hauteur de 30 %¹⁸⁵. Ce remplissage correspond aux véhicules des résidents qui restent stationnés sur place au cours de la période de simulation et aux véhicules de rabattement garés depuis le petit matin. Il concerne essentiellement les tronçons viaires figurant au nord du site et situés au voisinage immédiat de la gare RER de Noisy-Champs. Enfin, pour les P + R, la proportion des places occupées est établie à 10 %.

De façon complémentaire, les résultats de l'enquête d'occupation fournis par la mairie de Champs-sur-Marne et par l'EpaMarne¹⁸⁶ ont été utilisés pour vérifier et améliorer la qualité des informations d'entrée. Les caractéristiques quantitatives de l'offre de stationnement sont résumées dans le tableau 7.2. La localisation explicite des lots sur le territoire est indiquée plus haut dans la figure 7.1.

Tableau 7.2 : Caractéristiques de l'offre de stationnement (situation de référence).

Type d'offre	Capacité totale	Capacité disponible en début de simulation
Places sur voirie	3 062	2 820
Places privées	3 908	3 664
Places lots publics	0	0
Offre en P + R	590	530
P + R Descartes 1	191	172
P + R Descartes 2	81	73
P + R Champy	318	286
Lots d'absorption^(*)	10 000	10 000
Total hors lots d'absorption	7 560	7 014

(*) Les lots d'absorption correspondent à des lots fictifs destinés à accueillir les véhicules qui n'effectuent pas d'activité de stationnement sur le site. C'est le cas par exemple du trafic de transit.

7.2.2 Codage de la demande

La modélisation de la demande a pour objectif de caractériser et d'établir les comportements de choix des usagers. Elle exige de connaître avec précision les caractéristiques de déplacements (telles que l'origine, la destination finale, le mode, l'heure et le motif de déplacement). Dans notre cas, la codification de la demande prend forme par (i) la segmentation des usagers en classes selon leurs lieux de destination et selon leurs motif d'activités, (ii) la génération des matrices O-D qui reproduisent les volumes et la distribution spatiale des déplacements émis et attirés par chaque zone au cours de la période de simulation, et enfin (iii) la spécification des paramètres de demande.

¹⁸⁵ D'après EpaMarne (2009b), Étude de la desserte de la cité Descartes à Champs-sur-Marne : étude de la cité Descartes en tant que PGD et d'intégration du PST, phase 1/2 diagnostic et enjeux, version 2 janvier 2009.

¹⁸⁶ Plus précisément, nous avons eu recours aux résultats des Travaux de l'EpaMarne (2009b, 2012) et de Sareco (2011).

7.2.2.1 Segmentation des usagers selon les lieux et les motifs d'activité

La segmentation est une pratique courante dans la modélisation de trafic. Elle a pour finalité de renforcer le caractère explicatif du modèle et de relier plus aisément les caractéristiques individuelles et les comportements de déplacement (Bonnell, 2001). Concrètement, elle consiste à classer les usagers en groupes homogènes selon un ou plusieurs critères importants. Dans notre cas, une double segmentation est établie. Elle consiste, dans un premier temps, à classer les usagers selon les motifs de leurs déplacements puis, dans un second temps, à affiner ces classes selon la distribution spatiale des extrémités des déplacements au sein de la zone d'étude, c'est-à-dire des points d'origine (déjà définis par des nœuds du réseau routier) et des lieux de destination finaux (qui correspondent aux offres d'activités).

La segmentation selon le motif de déplacement vise à réduire la variabilité des comportements des usagers. Le motif constitue un déterminant clé des choix des lieux de stationnement¹⁸⁷. La sélection de cette variable est aussi justifiée par sa forte corrélation avec la dimension perceptive et subjective, ce qui se traduit par les différences de perception des individus, notamment concernant les valeurs de temps (temps de parcours principal, temps de recherche à bord du véhicule, temps d'accès terminal ou de marche vers la destination finale). Ceci illustre l'importance de considérer différents coefficients de pénibilité pour chaque type de temps passé. Cet aspect est crucial en matière de choix de stationnement, il détermine les coûts généralisés des options de stationnement pour l'utilisateur. La segmentation spatiale vise à décrire les variations géographiques de la demande. Elle présente l'avantage de saisir la distribution des véhicules sur le réseau routier et de mieux représenter les choix de circulation et de stationnement sur le réseau, et localement les comportements de recherche de place de stationnement. Cette phase de segmentation donne lieu à autant de classes que de motifs de stationnement et, pour une même classe, à autant de paires O-D (ou de sous-segments) que de destinations finales dans la zone d'étude. Un même couple O-D peut être associé à deux ou plusieurs segments lorsque le générateur regroupe de nombreuses activités¹⁸⁸.

Au vu des types d'activités génératrices sur le site de la cité Descartes élargie et des objectifs de cette étude, nous avons défini six principaux motifs de déplacement donnant lieu aux segments de demande suivants :

- employés (travail habituel) ;
- étudiants (études supérieures et formation) ;

¹⁸⁷ Souvent, la définition des motifs de stationnement se fait selon le type d'activité à la destination. Mais la segmentation de la demande de stationnement peut se faire selon d'autres critères, tels que la détention d'une place privative ou encore le fait de disposer d'une information en temps réel sur l'occupation des parkings.

¹⁸⁸ L'ensemble des segments de demande est récapitulé dans un fichier d'informations intitulé « Segments ».

- visiteurs (incluant les achats, les affaires professionnelles, les loisirs, l'accompagnement et autres) ;
- navetteurs (c'est-à-dire la demande de rabattement vers la gare RER de Noisy-Champs) ;
- résidents sortants ;
- transit.

Les quatre premiers segments correspondent à la demande effective de stationnement en voiture particulière. Tandis que, les deux derniers segments n'effectuent pas une activité locale de stationnement. En effet, les résidents sortants représentent les habitants locaux qui travaillent en dehors du site et qui se rendent en voiture sur leur lieu de travail. De même, le trafic de transit correspond aux usagers motorisés qui traversent le site pour se rendre ailleurs. La prise en compte de ces deux catégories de demande vise à refléter de façon réaliste les conditions de trafic sur le réseau routier en termes de volume de flux et de temps de parcours sur les arcs. Notons, enfin, que les résidents entrants sont exclus de notre simulation en raison du manque de données fiables permettant de les quantifier et de l'horaire de notre période de simulation car très vraisemblablement ils se trouvent chacun à son domicile en début de période.

7.2.2.2 Génération de la demande et distribution selon les O-D

La seconde phase du codage de la demande consiste à caractériser les flux selon leur volume (nombre d'usagers) et leur distribution spatiale au sein de l'aire d'étude, ce qui revient à construire les matrices de flux selon les relations O-D, et ce pour chaque motif.

Traditionnellement, la construction des matrices O-D se base sur les données de comptage et/ou d'enquêtes disponibles (enquête cordon, enquête ménages déplacements, recensement général de la population, etc.). Pour des raisons de simplification et de coût, elles offrent souvent une résolution spatiale grossière, les lieux ponctuels étant regroupés en zones d'origine et de destination. Ces données permettent d'étudier les déplacements de façon agrégée à l'échelle de la commune ou, au mieux, de l'IRIS, mais pas au niveau des lieux précis de destination. En conséquence, elles sont trop agrégées et elles ne sont pas satisfaisantes dans notre cas. En même temps, les informations fines dont nous avons besoin pour notre simulation font souvent défaut et leur production est très onéreuse.

Face à cette carence, nous avons opté pour le développement d'un modèle de génération de demande de stationnement qui permet d'estimer des matrices O-D désagrégées. Le schéma général du modèle retenu est celui d'une approche ascendante (dite « *bottom-up* ») qui implique, *de facto*, de partir des éléments désagrégés pour reconstituer les informations agrégées¹⁸⁹. Notre modèle s'inspire à la fois des modèles

¹⁸⁹ Dans notre cas, l'approche descendante (ou « *top-down* ») s'est révélée inappropriée pour reconstituer les matrices O-D. La désagrégation des données disponibles doit précéder l'estimation proprement dite des matrices. Dans ce cas, il faut d'abord décomposer ces données par élément spatial afin de déterminer combien de véhicules sont attirés par une activité spécifique, puis procéder à une désagrégation temporelle afin de quantifier le nombre exact de véhicules attirés vers ce lieu à des

zonaux de génération dans le schéma classique à quatre étapes et des approches usuelles de génération de la demande de stationnement. Elle repose sur le concept de taux (ou ratio) de génération de stationnement, déjà établi dans la littérature scientifique. Ce ratio est couramment utilisé pour calculer le nombre total de places associées à la construction d'un bâtiment ou d'un projet immobilier¹⁹⁰. Nous expliciterons, dans ce qui suit, les différentes étapes d'estimation de la demande.

Étape 1 : désagrégation de la demande de stationnement par destination

La première étape consiste à déterminer le volume total de flux de stationnement pour chaque destination. Ce volume est généralement relié à la demande d'activité car le nombre de déplacements attirés par une zone est directement lié à l'intensité de ses fonctions urbaines. C'est sur ce principe que nous nous sommes basés pour déterminer le nombre total de véhicules attirés par un générateur donné pendant la période de simulation, nous retenons donc la formulation suivante :

$$D_j = X_j * PR_j \quad (7.1)$$

Avec :

D_j : le volume total de demande de stationnement générée par le bâtiment j ;

X_j : le nombre total d'occupants journaliers du bâtiment j (correspondant à la demande locale d'activités) ;

PR_j : le taux de génération de stationnement du bâtiment j au cours de la période de simulation.

La notion d'occupant fait référence à la demande selon le type d'activité. Il peut s'agir des employés mais également des visiteurs pour une entreprise, des étudiants pour les établissements universitaires, ou des clients et des fournisseurs pour les surfaces commerciales et les restaurants. Le modélisateur se charge de préciser les typologies d'occupant par unité d'usage de sol en cohérence avec la segmentation des motifs d'activité.

moments précis de la journée. Au-delà du fait qu'elle soit compliquée à mettre en œuvre et à manipuler, cette méthode fournit en sortie des résultats approximatifs et entachés d'un important risque de biais et d'incertitude. Pour ces raisons, nous l'avons écarté.

¹⁹⁰ Il s'agit d'un ratio statique qui représente x le nombre (minimale ou maximal) de places à fournir par unité. Cette unité est une variable significative de mesure de la demande, elle dépend du type d'activité. Elle fait souvent référence à la surface du bâtiment ou au « nombre d'occupants » qu'ils attirent en heure de pointe. En France, ce taux représente la norme de provision de stationnement qui est établie en fonction de l'accumulation maximale des véhicules par unité d'usage de sol et ce pour répondre à la demande maximale.

Aux Etats Unis, le ITE (Institute of Transportation Engineers) a publié en 2010 la 4^{ème} édition du « Parking generation manual » qui propose des taux de génération de stationnement pour différentes fonctions urbaines par plages horaires et par type de site (urbain, suburbaine, périphérique,..) afin d'aider les collectivités à estimer la demande de pointe de stationnement, par plages horaires et par type de site (urbain, suburbaine, périphérique,..).

Pour les générateurs mixtes¹⁹¹, une estimation séparée est opérée pour chaque segment s de demande selon les types d'activité présents. La demande totale est déterminée comme suit :

$$D_j = \sum_{s=1}^n D_{sj} \quad (7.1)$$

Pour évaluer l'accumulation totale de véhicules par bâtiment pendant la période de simulation, nous avons estimé des taux de génération spécifiques, affinés par segment de demande. Nous avons alors :

$$PR_{sj} = \frac{(Y_{sl} * \alpha_{sl} + Y_{so} * \alpha_{so})}{\mu_s} * \beta_{sj} * \lambda_{sj} \quad (7.2)$$

Avec, pour le segment de demande s :

- PR_{sj} : le taux de génération pour le générateur j ;
- Y_{sl} : la proportion d'occupants locaux (qui résident sur place) ;
- Y_{so} : la proportion d'occupants non locaux (venant de l'extérieur) ;
- α_{sl} : le taux d'usage de la voiture particulière à l'échelle locale ;
- α_{so} : le taux d'usage de la voiture particulière ailleurs ;
- μ_s : le taux moyen d'occupation du véhicule ;
- β_{sj} : le taux de présence journalière pour le générateur j ;
- λ_{sj} : le taux de présence des occupants en période de simulation pour le générateur j .

Cette formulation distingue les usagers selon le lieu de génération du déplacement. Ce critère est déterminant dans le choix du mode de transport et, en particulier, dans l'usage de la voiture particulière. La pondération par le taux de présence sert à mieux discerner la demande effective de stationnement pendant la journée β_{sj} et, en période de simulation, λ_{sj} est considéré comme un facteur de répartition horaire. Précisons aussi que le taux d'occupation du véhicule μ_s est utilisé pour convertir les matrices de déplacements individuels en matrices de déplacements des véhicules.

Le modèle de génération de demande méthode présenté ci-dessus est intéressant à plusieurs égards. La prise en compte explicite des différentes catégories d'occupants permet de traiter l'ensemble des fonctions urbaines existantes. De même, la représentation désagrégée et la différenciation des générateurs en termes d'intensité et de densité des activités présentes permettent de refléter l'attractivité microlocale et d'estimer de manière fiable les volumes de demande de stationnement. Enfin la prise en compte des caractéristiques de mobilité (loi du partage modal et taux d'occupation

¹⁹¹ Rappelons que le concept de générateur mixte renvoi aux destinations offrant diverses activités et fonctions urbaines.

des véhicules particuliers), qui reflètent implicitement la qualité de service de l'offre routière et des transports publics, présente l'avantage de traiter le stationnement dans un cadre plus large de déplacement. En revanche, si elle est bien adaptée pour l'estimation de la demande de stationnement en début de journée et de façon statique, le modèle proposé s'avère peu pertinente pour reconstituer des matrices O-D au cours de la journée ou de manière dynamique car sa fiabilité dépend de la stabilité des flux journaliers et des rythmes quotidiens des usagers. En ce sens, elle semble peu appropriée pour intégrer les flux de déplacements ponctuels et irréguliers.

Étape 2 : génération des matrices O-D

Une fois les volumes de flux de demande déterminés pour chaque fonction urbaine, la seconde phase de l'estimation revient à générer la structure des matrices O-D. Il s'agit de dériver les couples O-D correspondant aux déplacements motorisés et de répartir ensuite pour chaque destination le flux total entre les différentes origines possibles. La répartition est basée sur la règle de la proportionnalité. À cet égard, les enquêtes de comptage routier et/ou les enquêtes cordon, qui traitent généralement de l'échelle locale, sont fort utiles au modélisateur pour définir la part de génération de chaque point d'origine. C'est aussi le cas des enquêtes déplacements (enquêtes O-D ou enquêtes ménages déplacements) qui constituent une source d'information intéressante. Au final, une matrice O-D est établie pour chaque segment de demande¹⁹².

Pour le cas d'application de la cité Descartes élargie, quelques précisions méritent d'être apportées. Afin de générer les matrices de demande de stationnement, le modèle de génération de demande présenté ci-avant a été utilisé pour les segments des employés, des étudiants, des demandes de rabattement et des résidents sortants. Pour les deux autres segments, ce modèle est peu adapté, c'est pourquoi, nous les avons traité différemment. Dans ce qui suit, nous expliciterons davantage les types de d'informations utilisées et les manipulations effectuées.

La procédure de calcul a été réalisée à l'aide d'un classeur Excel pour chaque segment de demande. Les différents paramètres utilisés proviennent de plusieurs sources de données. Ils sont issus d'interpolations, d'extrapolations ou d'un jeu d'hypothèses imposées par le manque de données précises. Pour la situation de référence de 2010, les principaux paramètres sont indiqués dans le tableau 7.3.

¹⁹² L'intitulé de chaque matrice est composé du mot matrice suivi du nom du segment, par exemple « Matrice_transit » pour le trafic d'échanges.

Tableau 7.3 : Paramètres d'estimation du taux de génération de stationnement par segment de demande.

		Segment de demande					
		Employés	Étudiants	Rabattements	Visiteurs	Résidents sortants	Transit
		s	s	t	s		
<i>Références occupantes</i>		Nombre d'emplois	Nombre d'étudiants	Voyageurs journaliers	Véhicules entrants	Population active occupée	Véhicules entrants
Paramètres	Y_{sl}	0,15 ⁽¹⁾	0,06 ⁽¹⁾	–	–	–	–
	Y_{so}	0,85 ⁽¹⁾	0,94 ⁽¹⁾	–	–	–	–
	α_{sl}	0,3 ^(2**)	0	0,05 ⁽⁴⁾	–	–	–
	α_{so}	0,7 ^(2**)	0,13 ^(2*)	–	–	–	–
	μ_s	1,1 ^(2**)	1,3 ^(2*)	1 ^(2**)	–	1,1 ^(2**)	–
	β_{sj}	0,9 ⁽⁶⁾	0,8 ^(2*)	0,7 ^(2**)	–	0,9 ⁽⁶⁾	–
	λ_{sj}	0,9 ⁽⁷⁾	0,7 ^(2*)	–	–	0,9 ⁽⁷⁾	–
Flux total (véh.)		2 694	1 593	589	136	787	815⁽⁴⁾

Sources des valeurs :

- (1) Insee, 2009, Recensement général de la population de 2009, bases de données emploi-population active, <http://insee.fr/fr/basesdedonnees/default.asp?page=recensement/resultats/2009/donnees-detaillees-recensement-2009.htm>.
- (2) DREIF (2010), Enquête globale transport de 2010 [à l'échelle de (*) l'Île-de-France, (**) de la couronne de résidence ou de destination], exploitation personnelle.
- (3) EpaMarne (2009b), Étude de desserte de la cité Descartes à Champs-sur-Marne : Étude de la cité Descartes en tant que PGD et d'intégration du PST, phase ½ diagnostic et enjeux, janvier 2009.
- (4) Communauté d'agglomération de Marne-la-Vallée-Val Maubuée (département Urbanisme-Foncier) (2012), Nombre et caractéristiques des établissements d'entreprises à la cité Descartes.
- (5) Boujnah et Chaker (2010), Enquête offre-demande du stationnement à la cité Descartes, rapport d'étude, juillet 2010.
- (6) Fondation européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail (2005), 4^e enquête européenne sur les conditions de travail (EECT), http://congres.afse.fr/docs/2010/985458congres_afse_proposition_chaupain-guillot.pdf.
- (7) Insee, Enquête sur l'emploi du temps 2009-2010,
- (8) http://www.insee.fr/fr/insee_regions/idf/themes/faits_et_chiffres/fc234/fc234.pdf.

Pour l'évaluation du volume de demandes de stationnement liées au travail, nous avons choisi le nombre d'emplois comme variable de référence. Le nombre total d'emplois au sein de chaque établissement d'entreprise (selon ses coordonnées spatiales en x-y) a été fourni par la communauté d'agglomération de Marne-la-Vallée-Val Maubuée (département Urbanisme-Foncier). La distinction entre les employés habitant sur leur commune de résidence et ceux venant d'ailleurs a été réalisée à

l'échelle de la commune, à partir du recensement général de la population de 2009. Les informations sur les caractéristiques de déplacement en termes d'usage et d'occupation de la voiture particulière sont issues des résultats de l'EGT 2010 selon fonction de la couronne de résidence de l'usager. Le taux de présence journalier a été déduit des résultats de la quatrième enquête européenne sur les conditions de travail (EECT), réalisée en 2005. Le taux utilisé a été dérivé du taux d'absentéisme pour la France (qui est de 10,6 en moyenne). Le taux de présence en période de simulation a été fixé à 0,86 à partir de l'Enquête sur l'emploi du temps 2009-2010, par soustraction de la part des personnes qui travaillent la nuit en Île-de-France (part égale à 16 %)

Nous avons appliqué le modèle de génération de demande pour l'estimation des flux de stationnement des étudiants. Le nombre d'occupants enregistré se base sur l'effectif total d'étudiants inscrits administrativement en 2010 au sein de chaque établissement universitaire du site. Le nombre d'étudiants résidant sur place a été estimé à partir des données de « logement » de la communauté d'agglomération de Marne-la-Vallée-Val Maubuée (département Urbanisme-Foncier) et vérifié à partir du recensement général de la population de 2009, qui fournit l'information à l'échelle de la commune. Les paramètres sur les déplacements sont issus de l'EGT 2010 à l'échelle de la grande couronne, du même que pour les paramètres de présence sur le site d'étude. Pour les étudiants locaux, nous faisons l'hypothèse qu'ils se rendent sur leur lieu d'étude à pied ou en transport collectif.

Concernant la demande de rabattement, ne disposons pas d'information sur l'origine exacte des usagers, nous avons limité notre recherche à la proportion de ceux d'entre eux qui se rabattent en véhicule privé. Selon l'étude de l'EpaMarne (2009b), le nombre total des entrants et des sortants de la gare RER de Noisy-Champs est de l'ordre de 29 900, soit en moyenne 16 800 entrants journaliers dont 5 % en voiture. En effet, notre propre exploitation des données de l'EGT 2010 a établi que le taux moyen d'occupation du véhicule est égal à l'unité et que la part des usagers du rabattement, entre 6 heures et 12 heures, est équivalente à 70 % en grande couronne.

La prospection de la demande des visiteurs était plus délicate à mener. En effet, en l'absence d'information sur le volume total de déplacements de ce segment, et face à l'irrégularité inhérente à ce motif de mobilité, le recours à notre modèle de génération de demande tels que pour les autres segments est peu pertinent. Dès lors, nous nous sommes basés sur les résultats de l'enquête Offre-Demande de 2010 (Boujnah et Chaker, 2010) qui a montré qu'en moyenne 1 usager sur 50 vient en visite à la cité Descartes pendant la plage matinale. Par ailleurs, l'estimation de la demande liée aux résidents sortants se base sur l'effectif total de la population active occupée de la commune de Champs-sur-Marne, en fonction de leur lieu de travail. À l'exception du taux d'usage de la voiture particulière, qui est estimé à partir de l'EGT 2010, les autres paramètres d'estimation sont calés sur le segment des employés. Enfin, pour le trafic de transit, aucune estimation de demande n'a été effectuée. Nous nous sommes contentés d'utiliser les résultats d'une enquête O-D réalisée aux heures de pointe du matin (de 8 h 15 à 9 h 15) à la cité Descartes fin 2008. Cette enquête analyse les flux automobiles par relevés de plaques minéralogiques et comptages directionnels aux principaux carrefours du site, et faisant ressortir le transit et le flux ayant pour

destination la cité Descartes. Pour simplifier, nous supposons que le flux recensé représente 90 % du trafic total de la période matinale, telle que nous l'avons considérée dans notre simulation.

Après avoir présenté la démarche et les informations construites pour l'estimation des flux pour l'ensemble des segments de demande, donnons quelques précisions sur l'affectation des flux selon les origines locales d'accès au site. Pour simplifier, nous avons opté pour la règle de proportionnalité. Les valeurs ont été extraites principalement des résultats de l'enquête O-D citée plus haut (EpaMarne, 2009b). Une vérification de la pertinence de ces données a été opérée par comparaison aux origines des flux pour l'ensemble du bassin d'attraction de la commune de Champs-sur-Marne selon les lieux de résidence des usagers, à partir du recensement de la population de 2010. En tout, nous distinguons cinq nœuds d'origine locaux, à savoir :

- un accès nord, qui garantit l'accès au boulevard du Rû-de-Nesles (notamment à partir de la RD 199) ;
- un accès est, qui assure l'accès à l'avenue Blaise-Pascal (notamment à partir de la route de Malnoue) ;
- un accès ouest, *via* la RD 370, qui borde l'axe du boulevard du Champy ;
- un accès sud, *via* le boulevard Blaise-Pascal, qui assure la connexion avec l'autoroute A4 ;
- un accès central, réservé aux résidents sortants¹⁹³.

Les quatre premiers points d'origine correspondent à des nœuds réels du réseau et le dernier point correspond à une origine fictive que nous avons ajoutée manuellement au réseau pour accueillir le flux de transit. La localisation physique de chacune de ces origines est illustrée dans la figure 7.1 qui figure au début de ce chapitre.

7.2.2.3 Spécification des paramètres du coût généralisé

Les choix de déplacement des usagers sont souvent modélisés selon la théorie de maximisation de l'utilité aléatoire à travers le concept de coût généralisé de déplacement. Ce coût représente la désutilité de déplacement telle qu'elle est perçue par l'utilisateur. Il intègre l'ensemble des variables (mesurées chacune dans sa propre unité) qui entrent en jeu pour la détermination du coût de déplacement d'une option (Ortúzar et Willumsen, 2011). Il est souvent exprimé en unités de temps ou d'argent, au moyen d'un facteur de conversion. La formulation du coût généralisé tient souvent compte des caractéristiques individuelles. Ainsi, chaque variable de coût est pondérée par un coefficient afin de représenter les différences de perception et les préférences des usagers. Ce coefficient détermine le poids de cette variable dans la fonction du coût total. Pour cette raison, un coefficient de pénibilité a été défini pour chaque composante du coût généralisé, à savoir : le temps de parcours principal, le temps de recherche, le temps de marche terminale et le tarif payé pour se garer. Dans notre cas, les coefficients retenus font référence au temps de parcours principal, et le coût

¹⁹³ Face à l'absence de données sur le nombre total de résidents par logement, nous avons décidé d'appliquer une origine unique pour l'ensemble des résidents sortants afin de simplifier le codage des données.

généralisé est exprimé en temps. La conversion est effectuée par la définition de valeurs de temps spécifiques pour chaque segment de demande.

De toute évidence, le choix des valeurs de ces paramètres est déterminant dans un modèle de déplacement. Le mieux serait d'extraire à partir d'une enquête de terrain qui soit conçue pour la zone d'étude et représentative de la population étudiée. Or ce genre d'enquête est coûteux et long à mener. Pour cette raison, nous nous sommes basés sur des coefficients établis dans la littérature¹⁹⁴. Les valeurs retenues au cours des simulations du cas de la cité Descartes dans la situation de référence de 2010 sont détaillées dans le tableau 7.4.

Tableau 7.4 : Valeurs des coefficients de pénibilité retenus pour la simulation.

<i>Segment de demande</i>	<i>Coefficients</i>				<i>Valeur de temps (€/h)</i>	<i>Durée souhaitée (h)</i>
	<i>Temps de parcours</i>	<i>Temps de recherche</i>	<i>Temps de marche</i>	<i>Tarif</i>		
Employés	1	1,4	2	2,5	12,6	3
Navetteurs	1	1,4	2	2,5	12,6	3
Étudiants	1	1,4	1,65	1,5	12,6	3
Visiteurs	1	1,4	1,65	1,5	8,6	2
Résidents sortants	1	1	1	1	12,6	3
Transit	1	1	1	1	12,6	3

Les coefficients du tarif de stationnement ont été fixés en se basant sur les travaux de Hess et Polak (2004) et Axhausen et Polak (1991)¹⁹⁵. Ils reposent aussi sur l'hypothèse que les segments qui passent le plus de temps en stationnement sont plus sensibles à son prix. Les valeurs du temps ci-dessus correspondent aux valeurs de référence en milieu urbain tous modes confondus, pour l'Île-de-France, en 2010. Elles sont issues du tome 2 du Rapport sur l'évaluation socio-économique en période de transition de

¹⁹⁴ Nous avons constaté qu'en matière de stationnement, la littérature scientifique ne fournit pas de valeurs de coefficients de référence. Ceci s'explique par la forte influence du contexte urbain et des motifs de déplacements sur les choix de stationnement. Hess et Polak (2004) se sont intéressés à l'hétérogénéité de perception des différentes composantes du coût en matière de choix de stationnement. Ils ont estimé et comparé, à partir de données d'enquêtes de préférence déclarée, les valeurs des coefficients pour trois villes britanniques (Birmingham, Sutton Coldfield et Coventry) et ont distingué deux motifs (travail et achats) par un modèle logit multinomial mixte et un modèle logit hiérarchique. Ils ont constaté que la pondération du temps d'accès principal est la plus faible. Le ratio entre le coefficient du temps de recherche et celui du temps d'accès terminal est variable selon les cas, ce qui incite à considérer ces valeurs avec précaution. Selon Axhausen et Polak (1991), les coefficients du temps d'accès terminal sont légèrement supérieurs à celui de la recherche de place et ce, quel que soit le motif. Dans ce même contexte, Abrantes et Wardman (2010) ont fourni des pondérations moyennes du temps hors véhicule au Royaume-Uni, qui s'élèvent respectivement à 1,38 pour la recherche, à 1,7 pour l'attente et 1,65 pour la marche, tous motifs confondus. Cette étude couvre 1 749 évaluations monétaires obtenues à partir de 226 études britanniques. Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer à Abrantes et Wardman (2010), « Meta-analysis of UK value of time: an up-date », Transportation Research, Part A 45 (2011), pp 1-7.

¹⁹⁵ On suppose que l'utilisateur a la même perception du tarif et de l'amende à payer en cas d'infraction.

2013b¹⁹⁶ présenté par le Commissariat général à la stratégie et à la prospective. Enfin, les durées correspondent à l'amplitude horaire de la période de simulation, sauf pour les visiteurs qui sont censés stationner moins longtemps.

Enfin, un dernier paramètre, qui intervient indirectement dans la fonction du coût généralisé et qu'il convient aussi de coder, est celui du modèle de report. En effet, dans l'outil ParkCap, les choix de transfert sont modélisés à l'aide du modèle logit multinomial¹⁹⁷. En posant $\mu = 1$, nous avons implicitement normalisé l'échelle des utilités des options de report¹⁹⁸. En présence de données d'enquête, le mieux sera d'estimer ce paramètre d'échelle par la méthode du maximum de vraisemblance ou par la méthode des moments, afin d'obtenir des ajustements de qualité.

7.2.3 Association spatiale et articulation de l'offre et de la demande

La confrontation entre l'offre et la demande exige quelques opérations supplémentaires de codage pour caractériser des typologies de nœuds, définir les zones de chalandise pour chaque lieu de destination et assurer la connectivité du réseau. Pour des raisons techniques, nous recommandons aux futurs utilisateurs de l'outil ParkCap d'effectuer ces opérations dans l'ordre dans lequel elles sont présentées. La figure 7.2 donne un aperçu des résultats de ce codage pour une zone de destination donnée.

¹⁹⁶ Les valeurs de temps de référence présentées dans ce rapport distinguent la région Île-de-France du reste du territoire national. Les valeurs de temps sont classées en fonction du motif de déplacement. Elles sont, pour l'Île-de-France, de 22,3 pour les professionnels, de 12,6 pour le domicile-travail/étude/garderie, de 8,7 pour les autres motifs (achats, soins, visites, loisirs, tourisme, etc.). La valeur moyenne est équivalente à 10,7 contre 7,9 (€/h) pour la France entière (Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 2013), (p.12).

¹⁹⁷ Ce modèle est fondé sur une loi de distribution particulière des résidus : la distribution de Gumbel de paramètres (β, μ) , avec β , un paramètre de localisation et μ , un paramètre d'échelle strictement positif. La valeur de μ détermine la dispersion de la distribution de la fonction de densité de probabilité. La loi de Gumbel standard a pour paramètres (0,1).

¹⁹⁸ Il s'agit principalement d'un facteur multiplicatif, une grande valeur de μ aplatit la forme de la fonction de densité et conduit à une distribution étalée, et vice versa, une petite valeur conduit à une distribution concentrée.

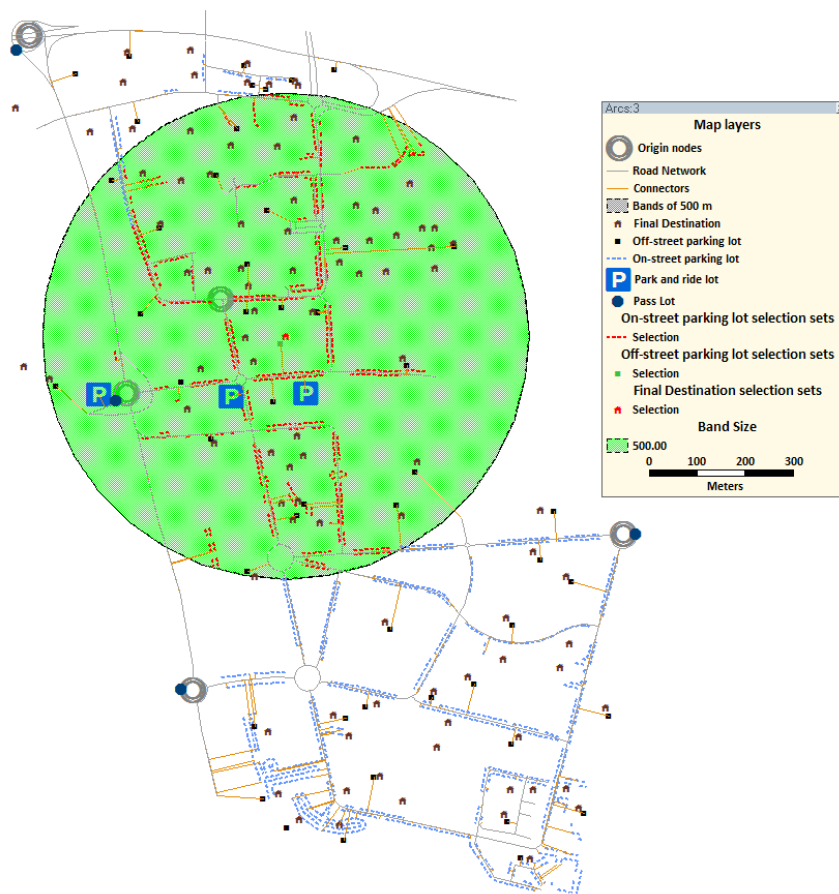


Figure 7.2 : Configuration de la connexion des lots de stationnement au réseau routier (liens en orangé) et exemple de zone de chalandise sur un rayon de 500 mètres pour le cas de la gare RER de Noisy-Champs (situation de référence).

7.2.3.1 Spécification des typologies des nœuds

Le principe de fonctionnement d'un système d'information géographique (SIG) repose sur la gestion intégrée de plusieurs couches géographiques et des données correspondantes. Ainsi, au sein de chaque fichier de données, les objets spatiaux sont caractérisés par des identifiants numériques qui suivent souvent le même ordre chronologique. Mais ceci peut poser problème pour le codage des informations d'entrée de ParkCap en ayant plusieurs objets avec un même identifiant. Pour résoudre ce problème, le modélisateur doit intégrer l'ensemble des données sur une même base de données et attribuer un identifiant unique à chaque élément spatial tout en le distinguant selon son type. Cette opération présente l'avantage de réduire la marge d'erreur pour les manipulations qui suivent¹⁹⁹.

Les typologies des nœuds considérés pour la cité Descartes élargie sont présentées dans la figure 7.2. Ils se déclinent en huit classes : destination finale (1), nœud du réseau (2), nœud d'origine (3), lot sur voirie (4), lot public hors voirie (5), lot privé (6), lot P + R (7) et lot d'absorption (8).

¹⁹⁹ Elle donne lieu au fichier d'information intitulé « Node_type ».

7.2.3.2 Définition des zones de chalandise

La confrontation entre la demande et l'offre exige de définir pour chaque segment de demande l'ensemble L_s des options de lots possibles. Pour ce faire, le modélisateur doit discerner l'ensemble des lots éligibles et tenir compte des contraintes d'accessibilité liées à la demande (caractéristiques et préférences de l'utilisateur) et à l'offre (conditions d'accès et mode de gestion du lot).

Nous avons caractérisé une zone de chalandise pour chaque lieu de destination finale, que nous avons appelée « zone de destination ». Cette zone correspond à une aire géographique locale, centrée sur le lieu précis de destination. Pour la déterminer, il faut, dans un premier temps, définir un rayon d'une valeur correspondante à une distance d'accès terminal jugé acceptable par l'utilisateur. Cette opération permet de générer automatiquement l'ensemble des lots situés dans cette zone. Dans un second temps, il convient de considérer les conditions d'accès par type de lots, et ce pour exclure les lots non accessibles et enfin établir la liste finale des lots réellement éligibles par segment de demande. Cette liste regroupe l'offre effective de lots pour cette zone de destination. C'est dans cet ensemble que l'utilisateur va choisir son lot cible et les éventuels lots de report. La figure 7.2 précédemment présentée illustre un exemple de zone de chalandise à un rayon de 500 mètres. Pour cette zone, l'ensemble L_s regroupe les lots de stationnement sur voirie (en rouge) et un seul lot hors voirie (en vert).

La densité de l'offre de stationnement est déterminée par le rayon de couverture de la zone de destination. Toutefois, un large rayon ne garantit pas la disponibilité de places libres, étant donné qu'un même lot peut appartenir à plusieurs zones de destination. D'un point de vue technique, la définition des ensembles L_s est très importante car elle permet de générer la matrice de connexion entre les lots voisins d'une même zone de destination, de définir les aires de circulation de recherche de place, et d'estimer la matrice des probabilités de report²⁰⁰.

Pour le cas de la cité Descartes élargie, le rayon de chalandise autour de chaque zone a été établi à 900 mètres. Pour les règles d'accès au lot, nous avons supposé que les parkings publics (sur voirie, en surface) sont éligibles à tous les usagers, et que les parkings privés sont réservés aux usagers du ou des bâtiments concernés. Ainsi, chaque zone de destination admet un et un seul lot privé, exception faite de la gare RER de Noisy-Champs qui est dotée de trois P + R. Toutes les zones de chalandise ont été générées automatiquement à l'aide du SIG TransCAD. Un exemple de zone de destination est proposé *infra* dans la figure 7.3. Dans cette application, la distance de marche à pied retenue est relativement importante : elle correspond à 15 minutes de marche en retenant une vitesse de 3,6 kilomètres heure. Ce choix d'une distance élevée reflète les fortes contraintes de capacité sur l'offre²⁰¹. En effet, le fait que les zones

²⁰⁰ La caractérisation des zones de chalandise a donné naissance au fichier d'informations intitulé « Zones_de_destination ».

²⁰¹ Au cours des premières simulations réalisées, le rayon de marche avait été établi à 500 mètres, ce qui a posé un problème de convergence des probabilités de trouver une place pour certains lots et de coûts

partagent en partie les mêmes lots met ces derniers en concurrence et affecte la capacité totale disponible dans la zone d'étude. Un rayon étendu permet de s'assurer que pour une même zone, toute la demande sera absorbée par les lots locaux. Mais, si ce choix peut éviter des problèmes de convergences du modèle, dans notre cas, il faut garder à l'esprit qu'il peut également impacter la qualité des résultats et augmenter sensiblement les temps de calcul, notamment pour les matrices de connexion et de coût de report.

7.2.3.3 Création de connecteurs spécifiques

Les connecteurs sont des liens spécifiques servant à relier différents éléments spatiaux au réseau routier. Leur fonction est donc d'assurer la connexité du réseau (Bonnel, 2001). En ce sens, trois principaux types de connexion doivent être créés préalablement au lancement d'une simulation à l'aide de l'outil ParkCap. Il s'agit de :

- connecter les lots de stationnement au réseau viaire pour permettre aux véhicules de rejoindre et de quitter les lots à partir du réseau. Ces connecteurs permettent de restituer les itinéraires empruntés aussi bien pour le parcours principal que pour les éventuels circuits de recherche de place²⁰² ;
- connecter chaque destination finale à l'ensemble des lots de la zone. Cette opération donne lieu à la table des distances de marche terminale ;
- connecter les parkings d'une même zone de destination entre eux pour construire les matrices de report de la zone en question. Cette opération donne lieu à la matrice de connexion des lots voisins par zone de destination.

Pour le premier cas, les connecteurs créés font désormais partie des liens du réseau (dans la figure 7.2, ils sont représentés en couleur orange). Dans les derniers cas, l'opération de connexion est complètement virtuelle : il n'y a aucun connecteur à créer physiquement. Les opérations sont effectuées pour répondre aux besoins de calculs. Mentionnons aussi qu'un même connecteur est complètement automatisée, cette opération de connexion doit impérativement être suivie de quelques vérifications et que des manipulations manuelles additionnelles peuvent s'avérer nécessaires.

7.2.4 Vers un modèle opérationnel : opérations de calage et de validation

Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité. Sa fiabilité repose sur sa capacité à reproduire correctement la réalité ou une partie de la réalité. En ce sens, les étapes de construction théorique et de formulation mathématique sont souvent suivies d'un travail de calage et de validation visant à garantir la qualité du modèle. C'est seulement après ces étapes que le modèle peut être considéré comme un outil

de recherche énormes pour certaines destinations. C'est pourquoi nous avons opté pour un élargissement de l'étendue des zones de chalandise.

²⁰² Le positionnement et la disposition des connecteurs sur le réseau est un élément à ne pas négliger dans les études de trafic (Sétra, 2010).

opérationnel, et qu'il devient utile dans un contexte d'aide à la décision. Le besoin, en termes de données, ne se limite pas aux informations nécessaires pour lancer des simulations, il concerne aussi les étapes de calage et de validation du modèle.

Avant de présenter les opérations de calage et de validation menées et les données associées, nous jugeons utile de discerner d'abord ces deux concepts souvent confondus dans la pratique. Selon Leurent (1997), « *le calage consiste à l'ajustement numérique des inputs afin de reproduire les observations* ». Il s'agit d'un processus itératif et continu d'amélioration qui permet d'approuver les hypothèses et les paramètres retenus lors de la phase de conception des informations. D'autre part, « *la validation consiste à s'assurer que le modèle réagit correctement à des variations de données d'entrée et qu'il est apte à fonctionner en projection* » (Sétra, 2010). Elle intervient après la phase de calage et vise à crédibiliser les résultats du modèle. Une fois validé, le modèle peut servir à tester des politiques de transport, ou en prévision. Pour le modélisateur, la complexité de l'exercice est liée aussi bien à l'absence de procédure standard de calage et de validation qu'au manque de données nécessaires pour mener à bien ce travail.

7.2.4.1 À propos du calage du modèle

Le calage du modèle ParkCap a pour objectif de reproduire l'état du système de stationnement de la cité Descartes élargie pour la situation de référence de 2010. Il a été constitué par un processus itératif de vérification, de correction et d'ajustement des variables d'entrée, pour minimiser les écarts entre les résultats de simulation et la situation observée. Ce processus peut être décomposé en deux grandes étapes.

La première étape vise à s'assurer de la cohérence et la plausibilité des sorties du modèle, et à détecter les erreurs éventuelles de codage qui peuvent poser problème. Elle consiste à réaliser scrupuleusement des tests et des vérifications préliminaires sur les résultats. Plus spécifiquement, ceci consiste à examiner :

- la convergence du flux, des probabilités de succès et des probabilités de transfert ;
- la répartition du flux principal et de report sur les arcs du réseau ;
- la validité des valeurs de la probabilité de trouver une place et des volumes de la demande de stationnement pour chaque lot ;
- la plausibilité du poids des différentes composantes du coût généralisé de déplacement pour chaque lieu de destination.

Cette série de vérifications globales des sorties de simulation a été très instructive, dans la mesure où elle a permis de déceler et d'éliminer des problèmes de calcul et de gagner du temps par la suite.

La deuxième étape a pour but d'améliorer la qualité des résultats. Elle donne lieu à des opérations de correction, de modification et d'ajustement des paramètres et des variables d'entrée proprement dites. Pour ce faire, nous confrontons à chaque fois les résultats obtenus aux données d'observation à notre disposition. Ces dernières englobent les résultats de l'enquête offre-demande de stationnement de 2010 (Boujnah

et Chaker, 2010), les résultats de l'étude de l'EpaMarne (2009b) et ceux du comptage de places et de la mesure du niveau d'occupation menés par le bureau d'études Sareco début 2011. Bien qu'elles soient peu précises, ces données demeurent les seules sources d'information sur l'usage et l'occupation du stationnement dans la cité Descartes élargie.

Concrètement, la procédure de calage a porté essentiellement sur :

- le codage du réseau routier : il s'agit d'apporter des corrections à la structure physique du réseau, de modifier les capacités de quelques arcs et d'ajouter un connecteur lorsqu'un nœud n'est pas connecté au réseau routier ;
- le codage des lots de stationnement : il s'agit de vérifier la localisation du lot, de corriger ses attributs (notamment le type et le tarif) et d'actualiser la capacité disponible au début de la période de simulation, notamment pour les places sur voirie ;
- le codage des matrices de connexion pour chaque zone de destination : il s'agit d'ajouter ou de supprimer un lot de l'ensemble L_s de la zone en question pour se rapprocher de la situation observée. C'est notamment le cas du parking du gymnase Descartes qui, bien qu'il soit privé, est accessible et peut être utilisé par tous les usagers ;
- le codage des matrices de flux de demande : il s'agit d'une part, de faire des ajustements des volumes de flux au sein du couple O-D et d'autre part, de modifier les nœuds d'origine pour améliorer localement la qualité de la matrice et les faire mieux correspondre aux flux observés vers ces destinations. C'est par exemple le cas des visiteurs des commerces.

Par ailleurs, différentes valeurs ont été testées pour certains paramètres du modèle. Ces tests concernent notamment les valeurs de temps pour chaque segment de demande, les différents coefficients de pénibilité liés à la perception du tarif de stationnement et du temps de recherche et de marche, et les paramètres des courbes débit-vitesse (coefficients de la fonction BPR). Toutefois, ces tests n'ont pas permis d'améliorer sensiblement la qualité des résultats. L'absence d'observations réelles et de données adaptées a fortement limité la portée et la fiabilité de ces vérifications.

Nous présentons, à titre illustratif, les résultats de deux exemples de calage pour la situation de référence, dont le choix a été guidé par la disponibilité des données. Le premier exemple concerne l'occupation moyenne des lots sur voirie pour les places situées à 300 mètres de la gare RER de Noisy-Champs. La situation modélisée fait ressortir quasiment les mêmes niveaux d'occupation que ceux issus des données à notre disposition (voir tableau 7.5). Nous observons des écarts très faibles entre les taux d'occupation prédits et observés, ce qui montre que le modèle restitue correctement les occupations moyennes des places sur voirie. Le second exemple de calage porte sur les temps de déplacement perçus par les usagers. Les différences constatées montrent une sous-estimation des temps perçus calculés par le modèle

(voir tableau 7.6). Ceci renvoie à la fois à la question des coefficients de pénibilité qui doivent être choisis avec vigilance, et à la question de la représentativité de l'enquête demandée et plus généralement aux éventuels biais qui peuvent entacher les données d'observation. La vérification de la fiabilité des données est donc primordiale.

Tableau 7.5 : Occupation moyenne des places dans un rayon de 300 mètres de la gare RER de Noisy-Champs.

	Situation observée*		Situation modélisée		Écart (observé – modélisé)
	Demande totale (véh.)	Taux d'occupation	Demande totale (véh.)	Taux d'occupation	
Voirie non réglementée	467	98	478	100	- 2 %
Zone bleue	46	100	46	100	0 %
P + R	272	100	272	100	0 %

*(Les informations détaillées de l'occupation des places sont présentées en annexe D.)

Tableau 7.6 : Comparaison des temps de déplacement perçus pour la situation de référence.

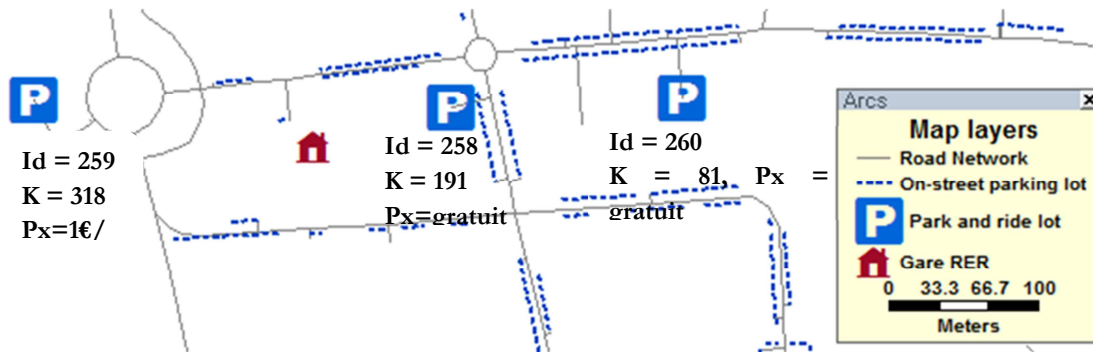
	Données observées	Données modélisées	Écart (observé – modélisé)
Temps moyen de recherche	2,14 min	1 min	+ 53 %
Temps moyen de marche terminale	2,76 min	2,17 min	+ 21 %

En résumé, notre travail de calage a permis de reproduire la situation de référence et d'obtenir des résultats cohérents. Il est guidé principalement par le bon sens et par la disponibilité des données. Nous admettons qu'un calage plus poussé serait souhaitable pour améliorer la qualité des résultats. Certains affinements méritent d'être poursuivis, notamment pour mieux caler les conditions de trafic sur le réseau et les paramètres comportementaux. Pour le premier cas, cela revient notamment à comparer les temps de parcours et les débits sur les arcs pour la simulation à la situation observée, bien que l'hypothèse d'écoulement stationnaire ne reflète pas la réalité en raison de l'uniformité de la distribution de la demande durant la période de simulation. Pour le second cas, des estimations économétriques doivent être réalisées, en particulier pour les valeurs de temps, pour les coefficients de pénibilité pour chaque segment et pour le paramètre d'échelle du modèle logit pour les choix de report. En ce sens, des enquêtes spécifiques sont nécessaires à cet effet pour mieux comprendre et ensuite pouvoir reproduire la situation observée.

7.2.4.2 À propos de la validation du modèle : résultats des tests de sensibilité

Une validation du modèle ParkCap au sens propre du terme n'a pas été réalisée, faute de disposer de données d'observation pour une situation alternative. En revanche, nous avons effectué des tests de sensibilité en faisant varier les informations d'entrée de la situation de référence. Ces tests, qui consistent à faire jouer un seul paramètre

d'entrée à la fois, permettent d'observer comment réagit le modèle avec un jeu de données différent de celui du calage, d'évaluer l'impact de chaque paramètre et/ou donnée, et de mesurer son effet sur les sorties de simulation.



Places sur voirie : Id = de 1 à 185, K = 2 820 (places disponibles), Px = 0.

Figure 7.3 : Rappel des attributs des lots (P + R et sur voirie) pour la situation de référence.

Dans ce qui suit, nous présentons quelques résultats des analyses réalisées et qui ont permis d'évaluer la sensibilité de la demande à deux paramètres importants : la capacité et le prix du lot. La figure 7.4 rappelle les attributs des lots utilisés pour les deux exemples de calage.

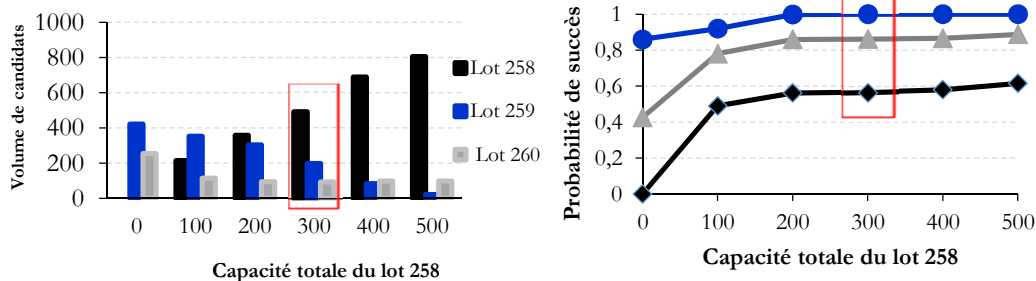


Figure 7.4 : Résultats d'analyse de sensibilité de la demande à la capacité offerte.

La figure 7.4 présente les résultats d'une variation de la capacité d'un lot de type P + R (lot 258) situé au voisinage immédiat de la gare RER de Noisy-Champs. Nous observons que l'augmentation du nombre de places offertes au sein d'un lot modifie sensiblement la répartition de la demande (volume des candidats) entre les lots. Nous remarquons, par ailleurs, qu'à capacité équivalente (environ 300 places chacun), les lots 258 et 259 ont des probabilités de succès très différentes. Cela s'explique par le fait que la capacité n'est qu'un critère de choix de lot parmi d'autres et que l'attractivité d'un lot est fonction d'autres caractéristiques, telles que sa proximité de la destination finale de l'utilisateur et le prix horaire. Le modèle est donc sensible aux variations des capacités physiques des lots.

L'effet du prix de stationnement sur le comportement de choix de la demande est illustré par deux tests. Le premier concerne le lot 258 que nous venons de présenter (figure 7.4). Nous observons que la demande est inversement proportionnelle au tarif. La baisse significative du volume de candidats du lot fait tendre sa probabilité de succès vers 1. Les lots voisins subissent également un effet indirecte, et néanmoins moins considérable. Le second test porte sur la variation du prix des places sur voirie. À tarif égal, le lot avec la plus forte capacité (soit le lot 259) est plus attractif que le lot 258.

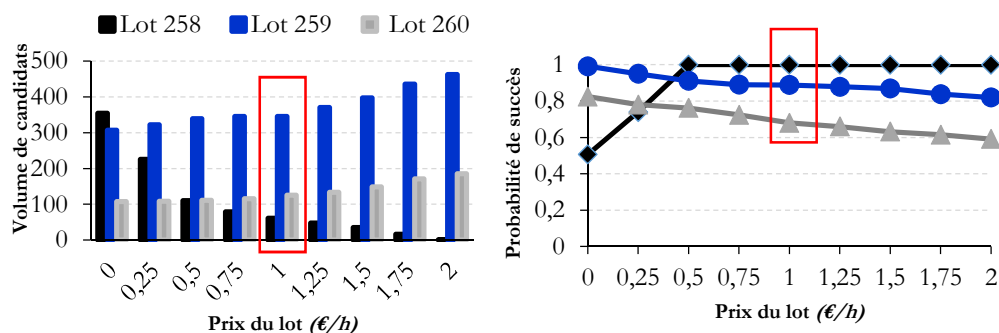


Figure 7.5 : Résultats d'analyse de sensibilité au prix du lot 258.

La figure 7.5 présente les probabilités de succès de chaque lot pour chaque tarif testé. Elle montre que l'introduction de la tarification affecte substantiellement les profils de probabilités et que l'augmentation du prix fait tendre les valeurs de probabilité vers 1. Autrement dit, elle contribue à libérer des places sur voirie. Ces résultats mettent en évidence que la demande est élastique par rapport au tarif.

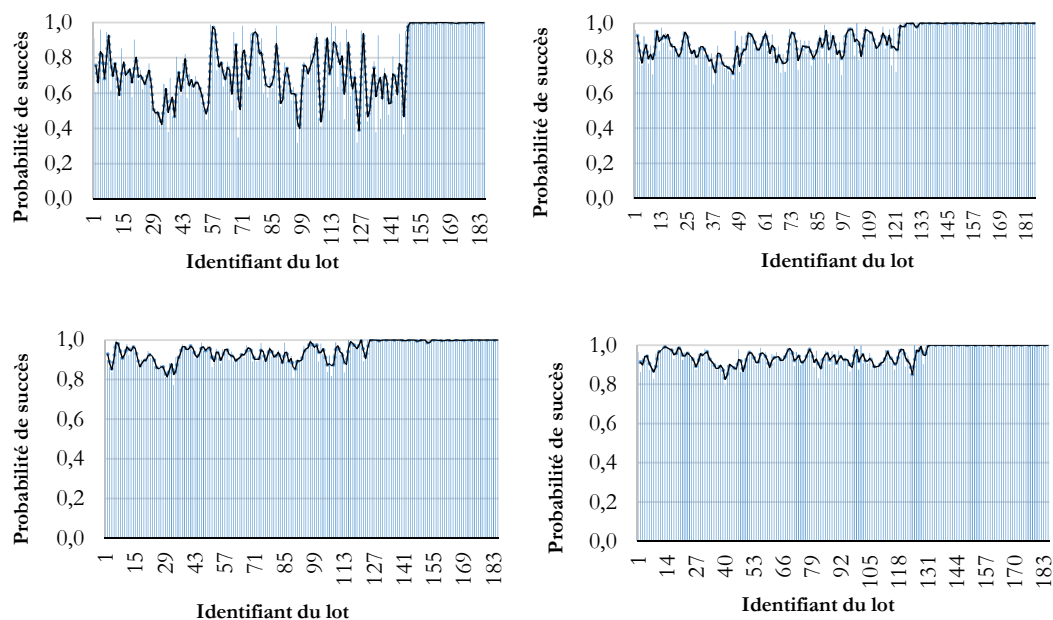


Figure 7.6 : Résultats d'analyse de sensibilité au prix des places sur voirie.

Les quelques tests de sensibilité réalisés montrent que le modèle fonctionne correctement et qu'il est capable de produire des résultats pertinents. Cependant, ces tests demeurent insuffisants car effectués de façon anecdotique, sans couvrir l'ensemble des analyses nécessaires pour valider le modèle. Une validation plus rigoureuse est indispensable, ne serait-ce que pour mieux discerner l'effet des variables endogènes du modèle et tester l'impact d'une variation des volumes de la demande initiale par segment.

Dans cet esprit, nous avons tenu à appliquer le modèle à un cas d'étude concret, celui de la cité Descartes élargie. Outre la reproduction de la situation de référence du système de stationnement en 2010, nous avons conçu, testé et comparé trois variantes alternatives d'offres de stationnement. Pour chaque variante, nous avons varié les tarifs, la capacité et les modalités de gestion de quelques lots, tout en maintenant les mêmes volumes de demandes par segment que pour la situation de référence. Annonçons dès à présent que les valeurs obtenues par nos principaux indicateurs sont jugées « raisonnables ». Les résultats détaillés de ces tests seront présentés lors de la section 7.4.

7.2.5 Éléments de conclusion

Le codage des informations est une opération indispensable pour pouvoir utiliser l'outil ParkCap. Il implique un travail de recueil, de mise en forme et de vérification de l'information, ce qui renvoie à la question redoutable de la disponibilité et de la qualité des données. Retenons que :

- La connaissance de l'offre et de la demande de stationnement au sein d'un territoire n'est jamais exhaustive, en raison de la diversité de l'offre, de l'hétérogénéité spatiale et temporelle de la demande et de la multiplicité des acteurs impliqués. Le modélisateur doit se saisir de la phase préalable du diagnostic pour recueillir le maximum d'informations.
- La nécessité d'alimenter du simulateur en informations d'entrée pousse fréquemment le modélisateur à manipuler et à combiner différentes sources d'information parfois divergentes en termes d'objectif, de périmètre, de temporalité, de date et de méthode d'échantillonnage. Néanmoins, cette combinaison semble inévitable, ne serait-ce que pour compléter, vérifier ou actualiser les bases de données à sa disposition. En cas d'absence d'information nécessaire, le modélisateur est amené à construire lui-même les informations.
- Pour le calage et la validation, la disponibilité de données d'observation adéquates constitue un enjeu fort.
- La disponibilité des données est une condition nécessaire mais non suffisante. Nous insistons sur l'importance de s'assurer de la fiabilité et de la pertinence des données disponibles, et de leur adéquation avec l'échelle de modélisation, à la fois en termes de finesse spatiale et de période temporelle.

7.3 Simulation du système de stationnement de la cité Descartes élargie en 2010

7.3.1 Démarche de simulation

La simulation proposée dans ce chapitre poursuit un double objectif : d'une part démontrer la capacité du modèle ParkCap à reconstituer une situation concrète, et d'autre part tester la sensibilité du modèle et son comportement avec un jeu d'informations et d'hypothèses différent. Notre terrain d'application est celui de la cité Descartes élargie. La période de simulation concerne la plage matinale entre 7 heures et 9 heures, un jour ouvrable de 2010. Nous commençons par une reproduction de l'état de référence du système de stationnement étudié. Puis, nous comparons et évaluons trois variantes de politiques de gestion de l'offre publiques de stationnement dans le territoire d'étude, à court terme. Nous nous contentons de faire varier les caractéristiques de l'offre et nous utilisons les mêmes jeux d'informations pour la demande que dans la situation de référence²⁰³. Les variantes ont été conçues à partir des constats et des enjeux relevés lors de la phase du diagnostic (voir le chapitre précédent).

Les caractéristiques de chaque variante sont résumées dans le tableau 7.7. Elles se présentent comme suit :

- **La variante A** (situation de référence) décrit la situation du système de stationnement en l'état de référence. Elle se traduit par une absence de réglementation de l'offre sur voie publique, une offre privée gratuite et réservée aux usagers des zones de destination et une tarification partielle des P + R. Les P + R Descartes 1 et Descartes 2 sont gratuits et accessibles à tous les usagers et celui de Champy est payant (avec un tarif de 1 euro l'heure).
- **La variante B** (réglementation partielle de l'offre de stationnement sur voirie) a pour but de dissuader les longues durées d'occupation des places au sein du secteur réglementé. Elle suggère d'établir une limite de durée de deux heures pour les places situées dans un rayon de 300 mètres de la gare RER Noisy-Champs, avec une probabilité de contrôle de 0,5²⁰⁴ et une amende d'un montant de 11 euros.
- **La variante C** (tarification unique de l'offre de stationnement sur voirie) vise à améliorer la rotation et l'occupation des places sur voirie. Elle propose d'appliquer une tarification unique de 1 euro l'heure pour l'ensemble de cette offre, tout en conservant les mêmes caractéristiques pour les P + R et pour l'offre privée.
- **La variante D** (gestion globale de l'offre publique de stationnement) privilégie d'établir une cohérence tarifaire et quantitative de l'offre publique. Le même tarif

²⁰³ Rappelons que nous considérons six segments de demande : les employés, les étudiants, les visiteurs, les navetteurs, les résidents sortants et la demande de transit.

²⁰⁴ Soit une chance sur deux d'avoir une amende en cas d'infraction.

horaire de 1 euro est appliqué pour les places sur voirie et pour les trois P + R du site. Cette variante propose également de construire un nouveau parking public payant (1 euro l'heure) d'une capacité de 400 places situé sur l'avenue Blaise-Pascal (voir tableau 7.7). Cette nouvelle offre sert à absorber l'excédent de demandes, notamment de rabattement, non satisfaites par les P + R déjà en place.

Ces quatre variantes permettent de mettre en exergue différentes lignes de conduite en matière de gestion de stationnement, en esquissant des positions politiques contrastées. Dans une perspective d'aide à la décision, elles contribuent à alimenter les débats sur les effets des mesures d'action choisies, et plus généralement à approfondir les réflexions sur l'organisation du stationnement en milieu urbain.

Tableau 7.7 : Caractéristiques des variantes de gestion de stationnement simulées.

		Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
Type d'offre	Mesures	Situation de référence	Zone bleue	Tarification de la voirie	Gestion globale de l'offre publique
Stationnement public sur voirie	Zone bleue	× 45 places avenue Ampère	× 350 places à 300 m de la gare	–	–
	Contrôle	× Prob. contrôle : 0,001	× Prob. contrôle : 0,5	–	–
	Tarification	–	× Amende : 11 €	× 1 €/h	× 1 €/h
Stationnement public hors voirie	Localisation	–	–	–	× Cœur Descartes (voir ci-dessous)
	Capacité	–	–	–	× 500 places
	Tarification	–	–	–	× 1 €/h
Stationnement en parc relais	Aménagement	–	–	–	–
	Capacité	–	–	–	–
	Tarification	× 1 €/h, lot de Noisy-le-Grand	× 1 €/h, lot de Noisy-le-Grand	× 1 €/h lot de Noisy-le-Grand	× 1 €/h pour les 3 lots P + R

7.3.2 Résultats de la situation de référence

Sont ici présentés les résultats de simulation du système local de stationnement de la cité Descartes élargie en situation de référence de 2010. Nous analyserons, en premier ressort, l'état d'occupation et l'usage des lots. Ensuite, nous étudierons la répartition du trafic sur le réseau, en distinguant le trafic principal du trafic de recherche de stationnement, et les impacts environnementaux associés. Enfin, nous examinerons la structure du coût généralisé de déplacement de l'utilisateur.

7.3.2.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement

Dans le modèle ParkCap, la probabilité de trouver une place dans un lot renseigne sur son état d'occupation et indirectement sur son attractivité pour l'utilisateur. La figure 7.7 montre que la répartition de ces probabilités varie fortement selon le secteur spatial et selon le type de lot. Au nord du territoire, les lots aussi bien sur voirie que privés affichent les plus fortes valeurs de probabilité ($> 0,7$). Cette situation résulte des caractéristiques d'usage de sol de ce secteur qui est essentiellement résidentiel. Inversement, au centre et au sud du site d'étude, l'occupation des places est nettement plus importante. On observe une forte pression sur l'offre sur voirie dont certains tronçons sont déjà saturés. Ceci s'explique par la proximité immédiate des places aux lieux de destination et par leur gratuité. Pour les lots privés, la situation est plus contrastée en termes d'occupation et de volume de demande du fait de leur caractère réservé. Enfin, pour l'offre de stationnement de rabattement, les deux P + R Descartes 1 et Descartes 2 présentent de probabilités de succès moins élevées que celle du P+ R Champy qui présente également un fort volume de demande de stationnement mais sans être saturé. Ce fait résulte de sa tarification et de sa localisation par rapport à la gare RER.

La saturation de stationnement est un problème très localisé dans l'espace. La figure 7.7 (*supra*) fait ressortir deux principales zones de saturation de stationnement. La première se situe aux abords de la gare RER (zone A) et la deuxième (zone B) aux alentours du campus universitaire (précisément autour de l'université de Marne-la-Vallée et des établissements d'enseignement supérieur voisins). Au-delà de l'importance des flux (navetteurs et étudiants) qu'attirent ces générateurs spécifiques, notre analyse montre une inadéquation locale entre les volumes de demande de stationnement attirés par ces établissements et les capacités de places privées offertes. Le manque de places privées explique également la forte pression exercée sur la voirie publique.

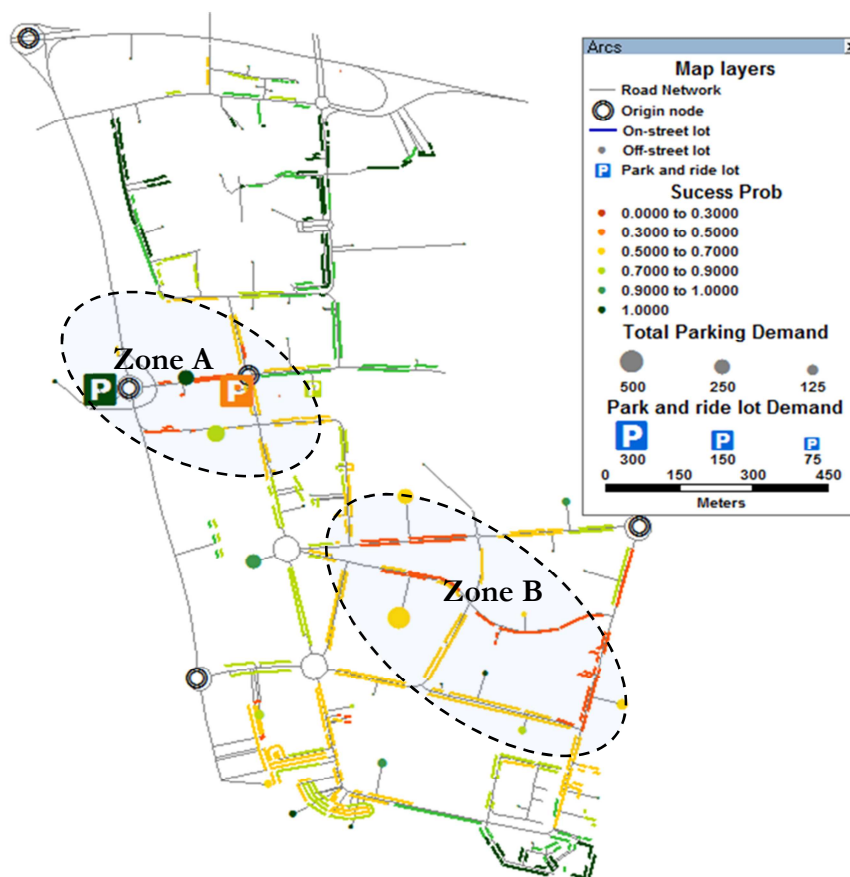


Figure 7.7 : État d'occupation des lots de stationnement par type et localisation des zones de saturation

Tableau 7.8 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type.

Type de lot	Capacité totale offerte	Volume total de candidats	Total de places occupées*	Occupation moyenne (%)**	Degré de pression (%)***
Lots sur voirie	2 820	4 097	2 600	92,2	145,3
Lots privés	3 664	2 441	2 095	57,2	66,6
P + R	530	769	505	95,3	145,1
Total	7 041	7 308	5 200	74	

* Cet indicateur correspond à la somme des places occupées calculée par la multiplication de la probabilité de succès par le volume de candidats par lot.

** Cet indicateur correspond au ratio entre le nombre total de places occupées et la capacité physique totale de l'offre.

*** Cet indicateur correspond au rapport entre le volume total des candidats et la capacité physique totale de l'offre.

Pour une évaluation globale des performances du système de stationnement de notre territoire d'étude, nous avons calculé des indicateurs agrégés par segment d'offre. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.8. On observe de fortes disparités entre l'occupation moyenne de la voirie et des P + R d'une part, et celle des lots privés

d'autre part. L'offre publique est de loin la plus usitée. D'ailleurs, un même degré de pression de la demande sur l'offre est constaté pour les deux segments. Ce résultat montre les effets de l'absence de réglementation de l'offre publique sur son usage et sur la disponibilité ultérieure de places publiques pour les nouveaux arrivants au site d'étude. Les lots privés sont à moitié vides. Ceci confirme le constat de sous-utilisation déjà établi lors de la phase du diagnostic. Au-delà de ces résultats, notre analyse illustre les conséquences d'une gestion distincte des différents segments de l'offre de stationnements sur un territoire.

7.3.2.2 État du trafic sur le réseau

Pendant la période de simulation, le volume total de trafic sur le réseau est estimé à 9 305 véhicules-kilomètres, dont 7 % lié à la recherche de stationnement. Cette faible proportion du trafic de report s'explique par la prise en compte de l'ensemble des arcs dans le calcul. Dans un rayon de 300 mètres autour de la gare RER, la recherche de stationnement augmente sensiblement et sa part dans le trafic total passe à 38%.

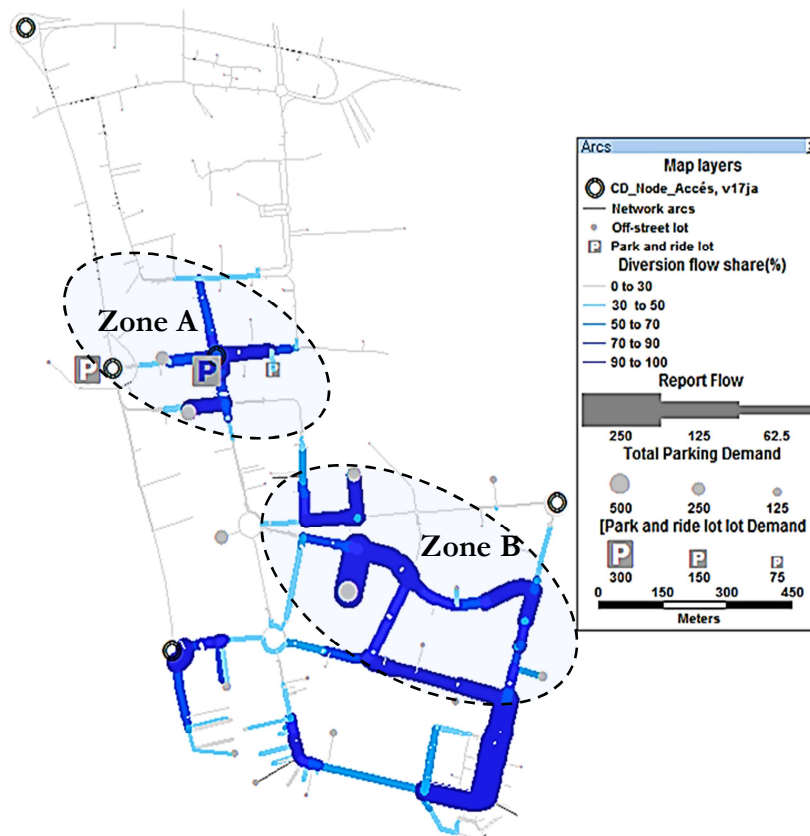


Figure 7.8 : Localisation et volume des flux de recherche sur le réseau (situation de référence).

La distribution spatiale et les volumes du trafic total de stationnement sur le réseau routier sont illustrés sur la figure 7.8. On remarque que la recherche de place se manifeste de façon plus marquée au sein des deux zones de saturation de

stationnement (zone A et zone B) identifiées précédemment. Au sud du site, des boucles de report s'étendent sur le parc d'activités, avec une intensité variable selon le tronçon. Ce trafic peut également être rattaché à un allongement des parcours recherche, d'où une surestimation de son volume. On observe par ailleurs un important volume de trafic de report sur les arcs d'accès de quelques parkings privés, comme celui de l'université de Marne-la-Vallée, du fait de leur saturation. On conclut que les zones de saturation de stationnement canalisent le flux de recherche et déterminent sa répartition spatiale et que la propagation du flux de report sur le réseau s'opère dans l'espace par une diffusion de proximité. Ceci s'explique par le caractère local des activités de stationnement.

Au-delà des problèmes de congestion routière qu'il accentue, la circulation de recherche de stationnement constitue aussi une source de dégradation de la qualité environnementale à l'échelle locale. À titre illustratif, nous avons estimé la quantité de CO₂ émise pendant la période de simulation. Nous avons multiplié pour chaque arc du réseau le volume de flux de trafic (véhicules-kilomètres) par un facteur d'émission unitaire à chaud (gramme par kilomètre) qui varie selon la vitesse de circulation²⁰⁵. Pour la période de référence, la quantité totale de CO₂ émise est estimée à 1,43 tonne dont 8 % environ liée à la recherche de stationnement. Cette part est presque identique à celle du trafic de report le réseau. Cette quantification, même grossière, permet de donner un ordre de grandeur des émissions de CO₂ lié au trafic de report et de comparer ces quantités ultérieurement par variante.

7.3.2.3 Structure du coût généralisé de déplacement

L'analyse du coût généralisé de déplacement présente un indéniable intérêt dans les études de trafic. Dans le modèle ParkCap, nous considérons le coût moyen tel qu'il est perçu par l'utilisateur. Ce coût est composé d'un coût de parcours principal et d'un coût de stationnement. Ce dernier englobe le tarif acquitté, le temps de marche du lot de stationnement jusqu'au lieu de destination finale et un éventuel temps de recherche de place en cas de report.

²⁰⁵ Les facteurs d'émission unitaire retenus sont estimés selon le modèle COPERT IV (computer programme to calculate emissions from road transport). Pour simplifier, nous admettons que les véhicules en circulation dans la cité Descartes élargie en période de simulation ont les mêmes caractéristiques qu'un parc de véhicules roulant en milieu urbain considéré dans le modèle COPERT IV.

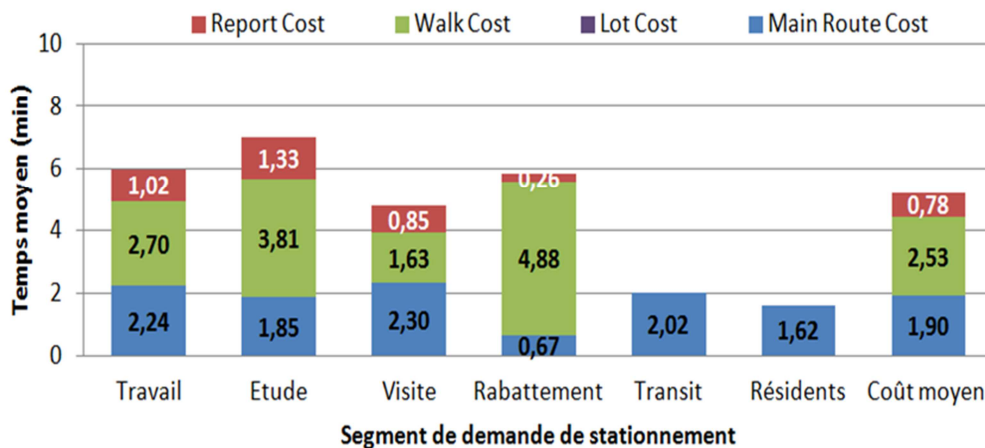


Figure 7.9 : Coût généralisé de déplacement par segment de demande.

La répartition du coût généralisé de déplacement par segment de demande est présentée par la figure 7.9. Le coût moyen est évalué à 5 minutes, mais il est sensiblement plus élevé pour les motifs habituels de stationnement (travail, étude et rabattement). Le temps moyen de parcours principal s'élève à environ 2 minutes, sauf pour les navetteurs en raison de la situation géographique du pôle gare dans le site d'étude. Il est nettement inférieur au coût de stationnement, quel que soit le segment de demande. Ceci s'explique principalement par la portée locale de notre territoire de simulation. Le coût moyen de marche à pied (2,5 minutes) domine fortement. Le coût de recherche est beaucoup plus faible, il ne dépasse pas 1 minute, en moyenne. On constate que ce sont les navetteurs qui subissent le temps de marche le plus élevé et qui bénéficient du temps de report le plus faible. Ceci peut s'expliquer par leur bonne connaissance de l'offre de stationnement disponible sur le territoire. Enfin, l'importance des coûts de stationnement et plus particulièrement de la marche à pied reflète l'indisponibilité d'offre à proximité immédiate des lieux de destinations finales.

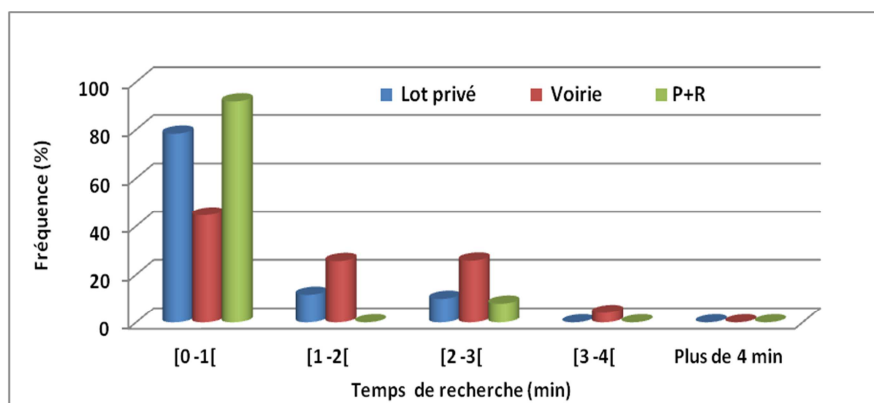


Figure 7.10 : Distribution du temps de recherche perçu par type d'offre.

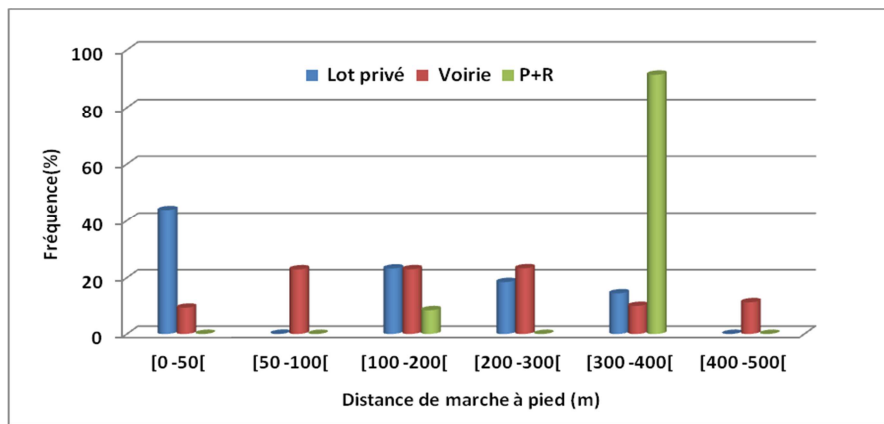


Figure 7.11 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre.

Nous nous sommes intéressés à la distribution des coûts de stationnement pour l'ensemble des usagers par type de lot. La distribution des temps généralisés de recherche de stationnement par type de lot est illustrée par la figure 7.10. On remarque que ces temps sont inférieurs à 1 minute pour 90 % des usagers des P + R, 74 % des usagers des lots privés et 40 % des usagers de la voirie. Ces résultats se justifient par l'horaire de notre période de simulation. Les temps de recherche augmentent sensiblement au cours de journée quand les lots atteignent des niveaux de charge maximale (voir le chapitre 3, section 3.5). On remarque que les clients de la voirie subissent des temps plus importants qui peuvent atteindre 3 minutes en raison de la dispersion spatiale de cette offre mais surtout parce qu'elle est très convoitée. De même, la distance moyenne de marche à pied terminale est estimée à 130 mètres. L'analyse de la répartition des distances parcourues à pied jusqu'aux lieux de destination finale (figure 7.11) montre que l'offre sur voie publique induit des distances relativement plus élevées que les lots privés (dont plus de 40 % se situent à moins de 50 mètres des zones d'activité). Les P + R se distinguent par des distances d'accès terminal plus élevées soit plus de 300 mètres dans 90 % des cas.

La comparaison des résultats de simulation de la situation de référence aux données d'observation à notre disposition montre des écarts notables. En effet, selon les résultats de l'enquête offre-demande de stationnement de 2010, les temps moyens de recherche de stationnement et d'accès terminal s'élève respectivement à 3,5 minutes et à 4 minutes. Ces valeurs sont nettement supérieures aux sorties de simulation (soient 0,78 minute pour le report et 2,53 minutes pour la marche à pied). Les écarts peuvent être expliqués par les différences des échelles spatiales et temporelles des deux études. Notre simulation concerne la période matinale tandis que l'enquête de stationnement s'étale sur toute la journée. En conséquence, dans notre cas, la pression locale sur l'offre et les contraintes de stationnement sont sensiblement moins considérables.

7.3.2.4 Éléments de synthèse

La simulation de la situation de référence a permis de démontrer l'intérêt opérationnel du modèle ParkCap et sa capacité à caractériser un cas d'étude réel. Pour le territoire de la cité Descartes élargie, nous avons montré que :

- l'occupation des places de stationnement est fortement différenciée sur le territoire. L'offre publique (voirie et P + R) subit une forte pression et une forte occupation contre une sous-occupation des lots privés ;

- la saturation de stationnement est très localisée dans l'espace : notre analyse met en exergue un déficit local d'offre au sein de certains secteurs, notamment aux alentours de la gare RER et du campus universitaire ;
- les zones de saturation structurent et déterminent la propagation du flux de recherche sur le réseau routier ;
- le coût de la marche à pied est de loin le plus important dans la composition du coût de stationnement.

Ces résultats permettent de mieux comprendre le fonctionnement du système étudié et d'évaluer son efficacité. Ils viennent compléter et approfondir la connaissance du stationnement au sein du territoire d'application. À ce stade, nous pouvons affirmer que notre premier objectif de simulation est atteint. Nous nous interrogeons, dans la suite de cette section, sur la manière d'optimiser les performances du système de stationnement étudié à travers la simulation de trois variantes.

7.3.3 Résultats des variantes

Rappelons rapidement au lecteur le fil conducteur de chaque variante. La première (variante B) correspond à la mise en place d'une zone bleue contrôlée dans un rayon de 300 mètres autour de la gare RER. La deuxième (variante C) suggère une tarification unique des places sur voirie (1 euro l'heure) sur l'ensemble du site d'étude. La troisième (variante C) propose d'étendre cette tarification aux places en P + R et de construire un nouveau parking public payant de 400 places. Dans ce qui suit, nous analyserons les résultats et les comparerons à ceux de la situation de référence.

7.3.3.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement

Une cartographie des probabilités de trouver une place par lot et des volumes de candidats pour les lots hors voirie pour les trois variantes est présentée dans la figure 7.12. On remarque des variations notables par rapport à l'état de référence et qui se présentent comme suit :

- Pour la variante B, l'occupation des lots est contrastée. On observe des probabilités de succès plus faibles sur voirie au nord de site (au niveau du quartier résidentiel) pour certains segments viaires. De même, les probabilités des P + R baissent légèrement (notamment pour le P + R Descartes 1 et Descartes 2, qui sont supérieures à 0,5), ce qui traduit une augmentation de leur attractivité. Pour les lots privés, les probabilités de succès sont quasi-stables. Cette variante montre que la réglementation *via* une zone bleue permet de libérer quelques places et d'atténuer la pression sur l'offre située aux abords de la gare RER, notamment le long de l'avenue Ampère et du boulevard Newton. En revanche, elle conduit à une diffusion de proximité de la demande vers les places périphériques. Ces effets de bords et de report sont nettement plus marqués autour du secteur réglementé.
- Pour la variante C, la situation est différenciée selon le type de lot. Comme le montre la figure 7.12, les probabilités de succès des lots privés baissent

significativement car ces options deviennent plus attrayantes que les places en surface. De même, les volumes de candidats des P + R augmentent sensiblement. Ceci s'explique par leur mode de gestion. Demeurant gratuits et accessibles à tous les usagers, ces lots représentent l'incontournable alternative à l'offre sur voirie. Cette variante montre donc que la tarification de la voirie permet de la libérer en partie et de renvoyer les usagers vers les lots privés.

- Pour la variante D, le schéma d'occupation des lots change profondément. On observe des probabilités de succès nettement plus élevées sur voirie, notamment dans le secteur nord où elles atteignent une valeur de 1 pour certains tronçons. Le même constat est valable aux alentours de la gare RER, avec des probabilités minimales de 0,7. Les P + R présentent aussi de fortes probabilités de trouver une place, mais supérieures à celles de la variante C, ce qui semble plausible avec leur mode payant. On constate par ailleurs que le nouveau parking public absorbe une partie de la demande mais il reste sous-occupé, d'où une probabilité de 1. Inversement, la plupart des lots privés affichent d'importants volumes de demandes et présentent en conséquence de faibles probabilités. On peut déduire que la tarification unique de l'offre publique entraîne une plus forte demande vers les lots privés et une situation d'occupation plus équilibrée de l'offre des places dans son ensemble.



Figure 7.12 : État d'occupation des lots de stationnement par type et par variante.

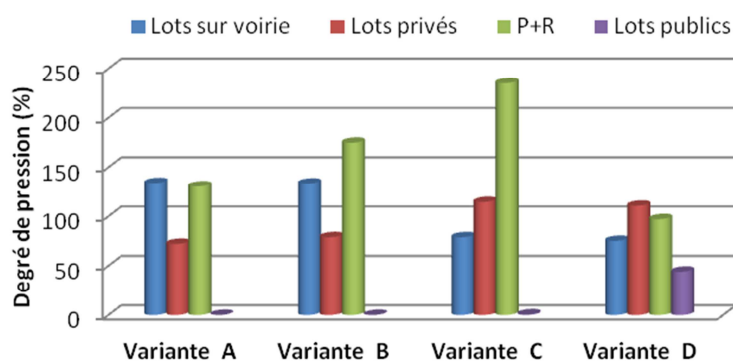


Figure 7.13 : Degré de pression par type de lot et par variante.

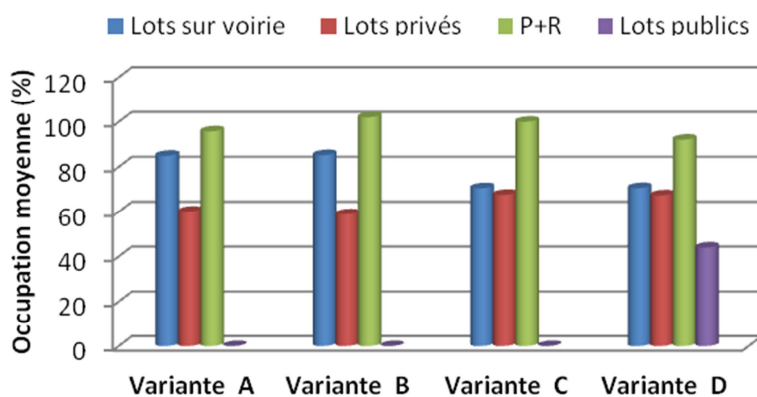


Figure 7.14 : Occupation moyenne par type de lot et par variante.

Dans la lignée des résultats présentés ci-dessus, nous analysons de manière agrégée le fonctionnement du système de stationnement étudié et nous comparons le degré de pression et l'occupation moyenne par type d'offre (figures 7.13 et 7.14) pour les trois variantes. Les résultats confirment nos précédentes conclusions. La réglementation partielle de la voirie *via* une zone bleue autour de la gare RER (variante B) ne réduit pas la pression sur la voirie (130 %) ni l'occupation moyenne de l'offre (85 %). Mais, elle augmente fortement la pression sur les P + R (174 %). La tarification unique des places sur voirie (variante C) permet d'abaisser les volumes de candidats. Cependant, elle favorise les reports plus vers les P + R (avec une pression moyenne équivalente à 237 %) que vers les places privées (dont l'occupation moyenne passe de 58 % pour la situation de référence à 67 % pour la variante C). La dernière variante (D) aboutit à une situation plus équilibrée. Les volumes de candidats sont légèrement supérieurs aux capacités offertes et les niveaux d'occupation sont nettement plus homogènes. L'avantage principal de cette variante est de laisser quelques places libres sur voirie et en parking public pour les nouveaux arrivants dans la zone d'étude. Ces résultats mettent en évidence le caractère systémique du stationnement et montrent les effets des interactions entre les différents segments de l'offre.

7.3.3.2 État du trafic sur le réseau

Les variations du volume total de trafic sur l'ensemble du réseau routier par variante sont illustrées par la figure 7.15. On remarque que le trafic varie à la hausse pour les variantes B et C et à la baisse pour la variante D. Le volume du flux de parcours principal est quasi-stable : quelle que soit la situation, il est de l'ordre de 8 000 véhicules-kilomètres. Ceci se justifie d'une part à la structure physique et la taille du réseau de la cité Descartes élargie et d'autre part à la stabilité des volumes de demande initiale de stationnement par segment. En revanche, les écarts sont remarquables en termes de volumes de trafic de recherche qui, pour les variantes B et C, augmentent pour atteindre respectivement 864 et 899 véhicules-kilomètres (soient une hausse de 32 % et de 42 %, respectivement) et, pour la variante D, diminuent de manière significative pour atteindre 555 véhicules-kilomètres (soit une baisse de 12%). Ces variations s'expliquent dans le premier cas par un circuitage plus important en raison de la réglementation de la voirie et, dans le deuxième cas, par la gestion intégrée de l'ensemble de l'offre publique. Ces résultats mettent en évidence l'intérêt d'une approche de gestion intégrée et globale de l'offre de stationnement dans un territoire.

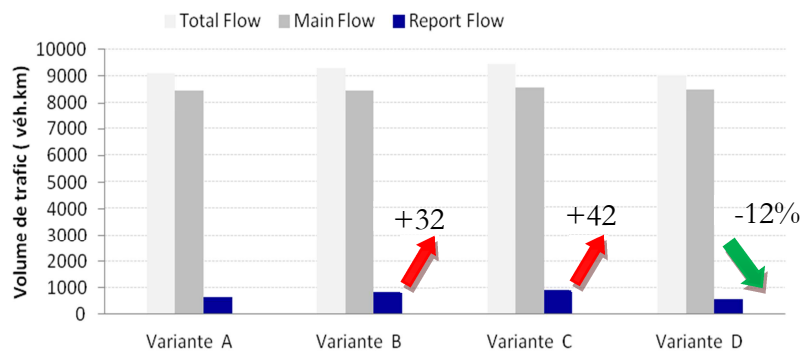


Figure 7.15 : Répartition du volume de trafic sur le réseau par variante.

Durant la période de simulation, la quantité des émissions de CO₂ liée à la circulation routière a peu variée. Dans la variante B, elle est légèrement plus élevée que dans la situation de référence et elle s'élève à 1,47 tonne. Dans la variante C, elle connaît une variation à la hausse et atteint 1,49 tonne. Enfin, dans la variante D, elle diminue de manière plus significative pour atteindre 1,17 tonne. La part des émissions rattachées au trafic de recherche de stationnement est de 9,7 %, 10,2 % et 8,4 % respectivement pour chacune des variantes. Ces proportions sont assez comparables aux parts du trafic de report dans le flux de trafic total sur le réseau. Pour autant, en termes de quantité, les émissions de CO₂ induites par trafic de circuitage diminuent de 44 % pour la variante D par rapport à la situation de référence.

La figure 7.15 situe le trafic de recherche sur le réseau et renseigne sur son volume. Elle montre que, quelle que soit la variante, le flux de trafic de stationnement est localisé principalement au centre et au sud du site d'étude. Autour du pôle gare, l'intensité du trafic de recherche varie de manière différenciée selon la variante. Présentant des volumes importants dans les trois premières variantes (A, B et C), le volume de trafic de report diminue fortement dans la variante D. Cela est vraisemblablement dû à l'application d'une tarification unique pour l'ensemble des

places publiques. Pour le reste du territoire, la distribution du flux de report sur le réseau est comparable à la situation de référence. D'une manière générale, on observe une concentration des flux de recherche dans les bassins de proximité des lots saturés.

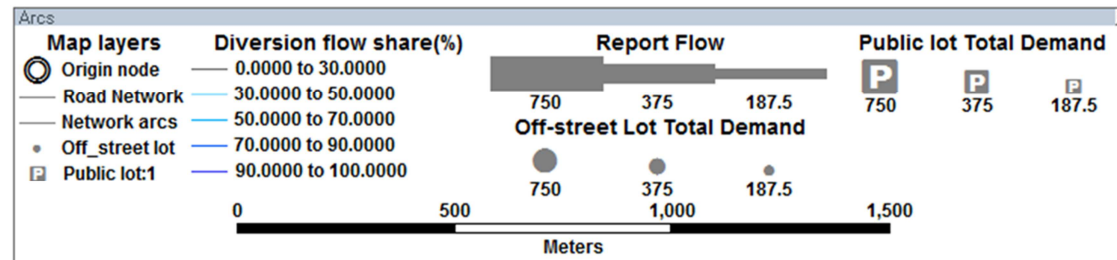


Figure 7.16 : Localisation du flux de recherche sur le réseau par variante.

7.3.3.3 Structure des coûts pour l'usager

Les comportements de déplacement des usagers sont influencés par les coûts des options disponibles. La figure 7.17 donne un aperçu des variations des coûts généralisés de déplacement par segment de demande et par variante. Les résultats montrent que l'utilisateur est sensible aux caractéristiques physiques et tarifaires de l'offre et que cette dernière influence fortement le coût qu'il subit. La figure ci-dessous révèle que les temps d'accès principal demeurent constants. En revanche, les coûts de stationnement augmentent fortement pour les variantes C et D sous l'effet de la tarification et dans une moindre mesure pour la variante B.

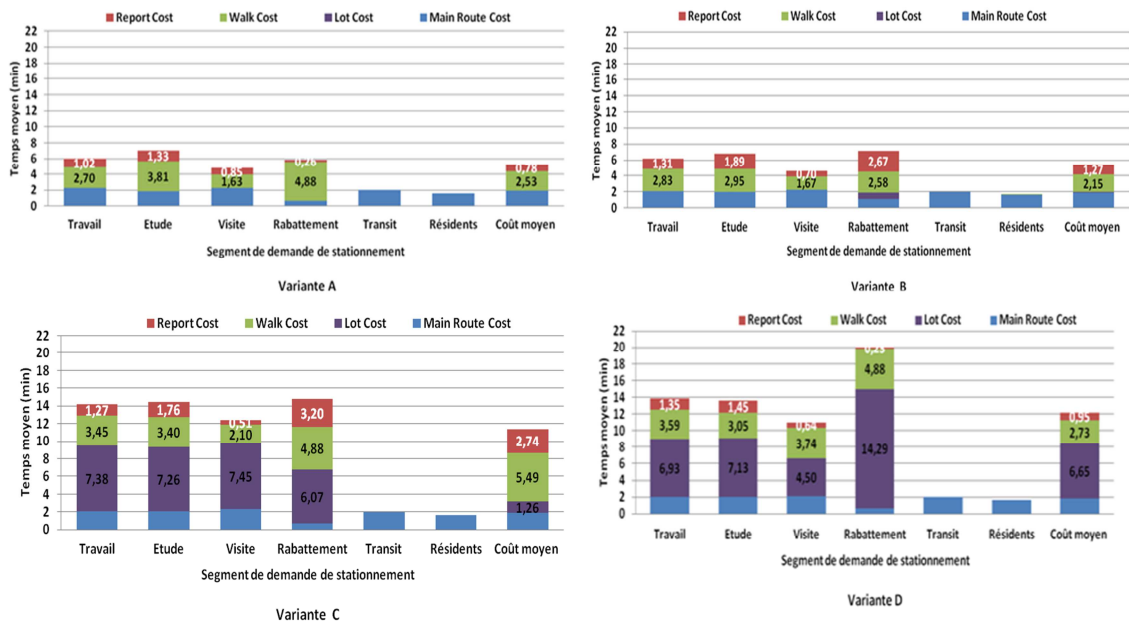


Figure 7.17 : Composition du coût généralisé moyen de déplacement par segment de demande et par variante.

La variante B a pour principale conséquence d'augmenter le temps moyen de recherche de stationnement pour l'ensemble des classes de demande, à l'exception des visiteurs qui voient leur temps diminuer de 15 secondes. On en conclut donc que même si elle permet d'augmenter la rotation de places, la réglementation partielle de la voirie peut induire de la recherche de stationnement. Plus précisément, la limitation des durées de stationnement dans un rayon de 300 mètres autour du pôle gare joue en faveur des visiteurs, au détriment des navetteurs qui subissent une hausse de temps de recherche de plus de 2 minutes, mais aussi un coût monétaire relativement élevé et qui peut s'expliquer par des éventuels dépassements des durées autorisées d'occupation des places. Cette augmentation est compensée par de plus courtes durées de marche terminale. Une raison à cela pourrait être le fait que les usagers préfèrent d'abord vérifier la disponibilité de places dans les P + R situés à proximité de la gare RER avant de se rabattre vers les lots voisins.

La tarification unique de la voirie (variante C) se traduit, comme prévu, par un accroissement du coût total subi par l'utilisateur. Le coût monétaire perçu (transformé en valeur de temps dans notre cas) représente la composante principale du coût généralisé de déplacement, et avoisine les 7 minutes (soit l'équivalent de 1,40 euro). En comparaison avec la situation de référence, on remarque que le coût de report croît légèrement pour les pendulaires (employés et étudiants), diminue pour les visiteurs qui gagnent 30 secondes en moyenne, et augmente sensiblement pour les navetteurs, pour qui il passe de 26 secondes à plus de 3 minutes. Par ailleurs, les temps de marche terminale connaissent une évolution à la hausse. Ceci semble irréaliste à première vue, mais il peut se justifier par la forte occupation des lots privés.

Pour la variante D, le coût monétaire est largement dominant. La tarification unique de l'offre publique affecte fortement les navetteurs qui présentent le coût le plus élevé. Ceci met en évidence la saturation de l'offre de rabattement. L'importance des coûts monétaires pour la demande de rabattement va à l'encontre de politiques d'intermodalité, d'où l'intérêt d'une tarification différenciée selon la classe de demande. Un autre effet marquant de cette variante est la réduction des temps de recherche, aussi bien pour les visiteurs que pour les navetteurs, contre une hausse modérée de ce coût pour les pendulaires. Enfin, on observe que les temps de marche varient de manière différente selon le segment de demande.

Cette analyse des coûts généralisés de déplacements par classe de demande permet de tirer deux constats supplémentaires : (i) les mesures de gestion de stationnement impactent différemment les usagers selon leur motif de stationnement, ce qui s'explique par la variabilité de leurs objectifs et de leur champs spatial de mise en œuvre ; (ii) pour l'ensemble des variantes analysées, le coût de la marche représente un poids important, qui dépasse souvent le coût moyen de recherche. Cela montre qu'une augmentation de l'un ne va pas forcément avec une baisse de l'autre. Le fait d'avoir le choix entre une option gratuite et une option payante peut pousser l'utilisateur à commencer par tester les options les plus favorables et à effectuer des boucles de recherche de place en cas de saturation, sans avoir de garantie pour se garer près du lieu de destination finale.

7.3.4 Synthèse et discussion des résultats

La simulation du cas de la cité Descartes élargie qui précède montre l'utilité concrète et la portée opératoire de l'outil ParkCap en matière d'étude et d'aide à la décision en matière d'organisation du stationnement dans la ville. Dans cette partie, nous fournirons une synthèse et une discussion critique des résultats précédemment présentés et de la méthodologie employée.

L'analyse du fonctionnement du système de stationnement étudié a été effectuée selon différents indicateurs d'évaluation interprétables aussi bien du point de vue de l'opérateur (collectivités publiques ou gestionnaire de parking) que du point de vue de l'utilisateur (consommateur du service de stationnement). Dans la littérature scientifique, très peu de modèles abordent l'ensemble de ces indicateurs, d'où l'originalité de notre recherche. Le tableau 7.9 compare les sorties de simulation par variante. Des caractéristiques communes se dégagent. Elles se récapitulent en (i) une forte

occupation de l'offre publique (voirie et P + R), (ii) une sous-occupation des lots privés, (iii) une proportion modérée de trafic de recherche de place (qui ne dépasse pas les 10 %) sur le réseau, et (iv) une dominance du coût de marche à pied terminal dans le coût généralisé de déplacement. Toutefois, des différences notables peuvent être constatées par rapport à la situation de référence, particulièrement pour les variantes C et D. Ces résultats doivent être pris en compte par les décideurs pour fonder une politique de stationnement plus efficace et répondre aux enjeux de gestion du stationnement à la cité Descartes.

Tableau 7.9 : Indicateurs d'évaluation du fonctionnement du système de stationnement par variante.

Thèmes	Indicateurs	Référence	Variante B	Variante C	Variante D
État d'occupation des lots de stationnement	Occupation moyenne de la voirie	84,9 %	85,2 %	70,5 %	70,6 %
	Occupation moyenne des P + R	95,8 %	95,80 %	100 %	92,1 %
	Occupation moyenne des lots publics	-	-	-	43 %
	Occupation moyenne des lots privés	60 %	58,8 %	67,6 %	67,4 %
État du trafic sur le réseau	Volume total de trafic (véh.km)	9 103	9 305	9 463	9 051
	Volume du flux de recherche (véh.km)	632	836	898	554
	Part du trafic de recherche	7 %	9 %	9,5 %	6,1 %
	Emissions totales de CO ₂ (tonnes)	1,43	1,47	1,49	1,17
	Emissions de CO ₂ lié au circuitage	8 %	9,7 %	10,2 %	8,4 %
Structure des coûts pour l'utilisateur (moyenne)	Temps de parcours principal (min)	1,9	1,9	1,9	1,8
	Temps de recherche (min)	0,78	1,27	2,74	1
	Temps de marche à pied (min)	2,53	2,15	5,49	2,73
	Tarif payé (€)	-	-	1,26	6,65

La variante B propose une réglementation partielle des places sur voirie, elle reflète l'image d'une politique volontariste mais peu restrictive. La limitation des durées de stationnement sur voirie dans un rayon de 300 mètres de la gare RER aboutit à une augmentation du trafic de recherche sur le réseau (+ 32 %) sans optimiser l'occupation moyenne des lots ni le coût moyen pour l'utilisateur. Bien qu'elle permette de réduire la pression sur la voirie et de libérer quelques places en surface, cette politique de gestion ne fait que déplacer le problème de saturation vers les zones périphériques, et ne constitue certainement pas une option durable.

La variante C reflète l'image d'une politique dissuasive, en proposant une tarification unique de l'offre de stationnement sur voirie. Son implémentation permet d'équilibrer l'occupation des lots et d'atténuer la pression de la demande sur l'offre viaire, mais elle provoque en contrepartie une hausse du trafic de recherche (+ 7,4 %) et multiplie par deux le coût généralisé de stationnement pour l'utilisateur, en raison de l'augmentation des coûts de marche à pied. Ce résultat est un peu surprenant car la tarification de la

voirie ne se traduit pas par une augmentation du tarif payé. Mais ceci peut se justifier par une plus forte sensibilité des usagers à la tarification du stationnement plus qu'à la marche à pied.

La variante D incarne l'image d'une politique volontariste qui favorise une gestion coordonnée entre les différents types d'offre. Cette variante permet d'amortir en partie le déséquilibre d'occupation entre les types de lot, tout en laissant quelques réserves de places pour les arrivants ultérieurs au terrain d'étude. Elle aboutit également à une baisse importante du trafic de recherche (- 38 %) et des quantités des émissions de CO₂ (- 22 %) sur le réseau. Cette variante présente donc les résultats les plus prometteurs pour le cas d'étude. La tarification intégrée joue en faveur de l'internalisation des coûts de stationnement, elle fait subir à l'utilisateur les coûts et les conséquences de ses choix de mobilité.

La confrontation des résultats de simulation aux données de terrain et aux résultats des travaux de recherche antérieurs démontre leur plausibilité. Dans la littérature scientifique, différentes valeurs peuvent être recensées. À ce titre, Shoup (2006), en se basant sur les résultats des études menées dans plusieurs grandes villes, déclare que la durée de recherche de stationnement est évaluée à 8 minutes en moyenne, la valeur la plus faible est enregistrée à Londres et la plus forte à New York. Le partage de trafic de recherche sur le réseau varie de 8 % à 74 %. Dans ce même contexte, l'enquête de préférences déclarées, menée par Van Ommeren et *al.*, (2012) pour l'étude du stationnement au sein de la ville d'Amsterdam, montre que 70 % des usagers ne cherchent pas de place et qu'en cas de report, le temps de circuitage dépasse rarement les 2 minutes. Enfin, King (2010) a étudié les circuits de recherche sur différentes périodes à Westwood Village à Los Angeles, et il a constaté que pour la période d'avant 10 heures, le trafic de recherche s'élève à 3,8 %, avec une durée moyenne de 3,18 minutes. Les différences constatées en termes de temps moyen de recherche de stationnement et de marche s'expliquent par la variation des perceptions des coûts par usagers, de leurs valeurs de temps et des contextes spatiotemporels dans lesquels les études ont eu lieu ainsi que de leurs méthodologies respectives. Le même constat s'applique au partage de trafic sur le réseau entre parcours principal et parcours de recherche. Pour notre cas, une comparaison des sorties du modèle aux jeux de données empiriques pour la même période temporelle et le même terrain de simulation serait souhaitable pour évaluer de manière plus précise la performance du modèle.

Nous admettons que les sorties de simulation doivent être interprétées avec précaution car elles dépendent fortement des hypothèses de départ, de la qualité des informations d'entrée, du régime statique du modèle et de la plage horaire caractérisant la période de simulation. De même, comme toute recherche scientifique, nos résultats de simulation présentent quelques limites. D'abord, le fait que les simulations soient effectuées en régime statique et qu'aucun véhicule ne soit autorisé à quitter sa place ne permet pas d'appréhender certains aspects clés liés au fonctionnement du système de stationnement, tels que la rotation des places, la proportion du stationnement illicite et le volume du stationnement de très courte durée (tel que celui lié au dépose-minute). Ensuite, nous avons fait abstraction de la dimension éminemment politique de gestion du stationnement en ville. Ainsi, nous

n'avons pas analysé les conditions concrètes de mise en place des politiques de gestion modélisées. Or, ces conditions déterminent fortement l'efficacité et les effets de chaque variante. À ce titre, le couple tarification et contrôle illustre bien cette corrélation. C'est aussi le cas des questions de l'acceptabilité sociale des politiques de stationnement, d'équilibre budgétaires et de gouvernance auxquelles sont confrontés les décideurs publics. Par ailleurs, le tarif horaire de stationnement a été défini de manière simplifiée et établi à 1 euro. Il ne s'agit certainement pas du tarif optimal. Ce dernier doit être déterminé de manière plus précise pour être suffisamment dissuasif, équitable socialement et garantir la rentabilité économique des parkings publics. Enfin, les problématiques de dimensionnement et de localisation des parkings ont été traitées de façon caricaturale, elles méritent une étude plus approfondie.

Sur le plan méthodologique, notre étude présente l'avantage d'être fondée sur une représentation réaliste du système de stationnement étudié. Du côté de la demande, plusieurs motifs de stationnement sont considérés et plusieurs segments de demande sont caractérisés. Les matrices O-D ont été générées à partir des caractéristiques des zones de destination et de leur potentiel d'attraction, ce qui limite le risque d'erreur et procure des estimations relativement fiables. Du côté de l'offre, différents types de lot sont représentés en respectant leurs caractéristiques physiques, économiques et leurs modes de gestion. Du côté de l'usage, grâce à la grande finesse du découpage spatial qui caractérise le modèle ParkCap, l'occupation désagrégée de chaque lot est analysée, la part du trafic de recherche sur le réseau et les quantités des émissions de CO₂ sont évalués, et l'importance des coûts de stationnement dans le coût généralisé de déplacement est estimée. Toutefois, nous reconnaissons que certaines limites subsistent. Premièrement, la simulation a porté sur l'heure de pointe du matin, et ne traite pas des périodes critiques de saturation de l'offre de stationnement qui surviennent généralement en début d'après-midi. L'efficacité des politiques de gestion proposées doit être évaluée en référence à cette période d'occupation maximale des places. Deuxièmement, nous admettons que le travail de calage et de validation doit être poursuivi pour améliorer la qualité des résultats. Troisièmement, nous considérons que la dimension environnementale du stationnement a été traitée de manière rapide, la prise en compte d'un nombre plus important de polluants est souhaitable.

7.4 Conclusion

L'un des défis de cette thèse était le passage d'un modèle théorique à un prototype de simulateur numérique. Ce chapitre a montré la portée opératoire du modèle ParkCap. Il a permis de présenter la méthodologie applicative du modèle dans un contexte pré-opérationnel et de l'utiliser pour la simulation du cas de la cité Descartes élargie en 2010.

Dans la première section, nous avons montré que le codage des informations d'entrée constitue une phase incontournable du processus de simulation. Nous avons établi la méthodologie de construction des informations en détaillant les étapes de traitement des données, leurs types et leurs sources. L'originalité de notre démarche réside dans le traitement conjoint de l'offre et de la demande de stationnement en lien avec les caractéristiques du réseau routier et l'offre locale d'activité dans le territoire. Pour

répondre au besoin de la représentation spatiotemporelle fine qui caractérise le modèle, nous avons développé des méthodes spécifiques. Plus spécifiquement, en considérant la génération des déplacements par motif et la répartition modale et temporelle de la demande, le modèle de génération de la demande de stationnement proposé permet de construire des matrices O-D spatialisées et désagrégées par classe d'utilisateur et de prévoir les volumes de flux de manière localisée. Il présente un intérêt particulier pour les aménageurs urbains et peut servir comme support de prévisions des besoins de stationnement dans le cadre des projets d'aménagement et de renouvellement urbain. Pour autant, nous restons conscients des limites de la méthodologie développée. Le travail de calage du modèle et les opérations de vérification et d'ajustement déjà effectuées ont permis d'améliorer sensiblement la qualité des résultats de simulation, mais ils gagneraient à être approfondies. De même, les tests de sensibilité ne sont pas suffisants pour valider le modèle. Une validation plus rigoureuse est indispensable.

Dans la deuxième section, nous avons évalué le fonctionnement du système de stationnement de la cité Descartes élargie pour démontrer la capacité de notre modèle à reconstituer une situation concrète et tester son comportement avec un jeu d'informations et d'hypothèses différent. La simulation de la situation de référence a permis d'affiner les résultats issus du diagnostic (chapitre 6). Nous avons constaté que les occupations des lots de stationnement sont structurées par la densité des activités urbaines. Le cas spécifique du pôle gare constitue une illustration de ce résultat. La représentation des sorties de simulation sous forme cartographique a permis de localiser les zones de déséquilibre entre l'offre et la demande et les lieux de congestion du stationnement. Nous avons pu confirmer la forte pression exercée sur les places publiques gratuites et la sous-occupation des lots privés. Nous avons aussi conclu que les circuits de recherche de places sont canalisés par la saturation de l'offre et que le flux de report présente une part modérée du trafic total de circulation (moins de 10 %). Du point de vue de l'utilisateur, c'est le coût de marche terminal qui présente la part la plus importante du coût généralisé de déplacement. La simulation des variantes alternatives a permis d'évaluer des mesures de gestion de stationnement à court terme. Elle a conduit à deux principaux résultats : (i) les actions sectorielles de gestion de stationnement sont de nature à déplacer les problèmes de saturation sans forcément les résoudre (c'est le cas des variantes B et C) et (ii) la gestion coordonnée des différentes catégories d'offre présentes dans un même territoire, principalement au sens d'une plus grande cohérence tarifaire et spatiale, est susceptible d'améliorer sensiblement l'efficacité du fonctionnement du système (en termes d'usage des lots, de conditions de trafic et de coûts de stationnement pour l'utilisateur). Ces résultats rappellent le caractère systémique du stationnement et illustrent l'inefficacité des approches sectorielles de gestion de stationnement en ville.

En conclusion, le simulateur ParkCap offre de nombreuses perspectives d'application concrète et d'amélioration. La représentation spatiale et quantitative des sorties de simulations permet d'évaluer les conséquences des choix effectués et de comparer un grand nombre de modalités de gestion de stationnement. En termes d'aide à la décision, cet outil novateur présente un intérêt majeur pour les collectivités locales, il peut être utilisé aussi bien pour établir un pronostic de la situation qu'en phase décisionnelle de planification stratégique. C'est dans cette perspective que nous

proposons, dans le chapitre suivant, une simulation prospective du stationnement dans la cité Descartes élargie à l'horizon de 2030 (chapitre 8). Enfin, pour faciliter la prise en main de l'outil par d'autres utilisateurs plusieurs pistes de développement sont envisageables. Ceci concerne notamment l'automatisation du codage des informations d'entrée et le développement d'une interface graphique de saisie des informations et d'affichage des résultats.

Chapitre 8

Simulation prospective du stationnement dans la cité Descartes élargie à l'horizon de 2030

8.1 Introduction

Au cours des dernières décennies, la problématique environnementale s'est imposée comme un nouvel enjeu de l'action publique. En matière de politique de transport, la volonté accrue de réduire l'usage de la voiture particulière en ville au profit des modes alternatifs s'est traduite par un renforcement du rôle du PDU. Cet outil de planification stratégique de la mobilité définit les principes d'organisation régissant le transport de personnes et de marchandises, la circulation et le stationnement, à l'échelle d'agglomération. Au fil des évolutions réglementaires, le champ d'action des PDU sur le stationnement a été étendu pour intégrer des orientations volontaristes liées à la fois à la gestion de l'offre publique et à la provision de l'offre privée. Or, la déclinaison et la mise en œuvre des préconisations du PDU dans un contexte opérationnel nécessitent une évaluation *à priori* pour discerner les effets probables des mesures envisagées et/ou optimiser les moyens d'action. À cet égard, les modèles de simulation de déplacements constituent des outils incontournables qui viendraient en

appui à l'élaboration des PDU et à l'application concrète de leurs principes dans les territoires. Ces outils proposent des éléments d'évaluation quantitative par la modélisation. Dans une perspective de planification urbaine, ils permettent de tester différents scénarios d'offre de transport et servent comme support d'aide à la décision.

Ce chapitre a pour objectif de fournir une application du modèle ParkCap à la planification stratégique d'un territoire. Plus précisément, nous proposons une étude de simulation de l'évolution potentielle du système de stationnement futur dans un territoire en le considérant à la fois comme ingrédient clé de la planification de son système de mobilité et comme un élément de son aménagement urbain. Placée dans une perspective d'aide à la décision, cette étude permet de tirer des enseignements pour asseoir une démarche soutenable de planification du stationnement en ville.

Notre terrain de démonstration est celui de la cité Descartes élargie. Dans les années à venir, ce territoire connaîtra une transformation profonde, aussi bien en termes d'urbanisation et de dynamique territoriale que d'offres et de pratiques de mobilité. Identifié comme cœur du « cluster de la ville durable » dans le cadre du projet urbain du métro Grand Paris Express (GPE), ce territoire constituera le laboratoire d'une urbanisation exemplaire fondée sur des principes forts de densification, d'intensité urbaine, de mixité fonctionnelle (CTD Noisy-Champs, 2013). Son développement futur sera structuré autour de trois secteurs dont le quartier de la gare qui accueillera trois lignes de métro du GPE. Dans ce contexte à forts enjeux stratégiques, les questionnements sur la planification du système de stationnement futur au sein de la cité Descartes sont de plusieurs ordres : Comment évoluera la demande locale de stationnement ? Comment l'offre future doit-elle accompagner la production des logements et des entreprises tertiaires, en particulier dans les programmes mixtes ? Quelle stratégie de tarification adopter pour l'offre publique ? Quelles capacités de places construire et pour quels usages ? Quelle politique de stationnement favoriser autour du pôle gare ? Les réflexions à ses problématiques visent à éclairer les choix des décideurs publics en discernant les principaux enjeux stratégiques et en identifiant les leviers d'action pour un avenir souhaité.

Notre démarche de simulation sera fondée sur l'approche prospective par scénario. Nous développerons trois scénarios d'offre future reflétant chacun une stratégie spécifique d'organisation du stationnement²⁰⁶. Le premier scénario reproduira la situation au fil de l'eau. Le deuxième scénario présentera une situation intermédiaire, il mettra l'accent sur la gestion de l'offre publique et de l'offre privée liées aux emplois. Le troisième scénario sera le plus volontariste, il reflètera une situation de rupture et incarnera un développement plus soutenable du système de stationnement. L'horizon temporel de simulation correspond à l'année 2030. La détermination des caractéristiques spatiales et physiques de l'offre de stationnement futur sera basée sur les données de programmation urbaine du terrain d'étude (notamment en termes de croissance de la population, du parc de logements et de nombre d'emplois). Pour la prévision des besoins de la demande, nous ferons appel au modèle désagrégé de génération de demande présenté dans le chapitre précédent. Précisons que les scénarios étudiés dans ce chapitre se basent tous sur les mêmes hypothèses spécifiques

²⁰⁶ Par stratégie, nous faisons référence à un mode d'action publique qui combine à la fois des leviers de planification et des leviers de gestion de stationnement.

de projection de la demande. Autrement dit, les mêmes matrices O-D de flux de stationnement seront identiques pour les trois scénarios. Enfin, l'évaluation des scénarios simulés portera sur l'analyse de leurs effets (i) sur l'état d'occupation et d'usage des lots de stationnement, (ii) sur l'état du trafic sur le réseau routier et (iii) sur la structure des coûts de déplacements pour l'utilisateur.

Ce chapitre est structuré autour de cinq parties. La section 8.2 sera consacrée à la présentation du contexte et des projets d'aménagement urbain du terrain d'étude. Dans la section 8.3 nous expliciterons notre approche méthodologique et nous présenterons le codage des informations d'entrée de simulation et le jeu hypothèses retenu. Dans la section 8.4, nous analyserons puis nous discuterons les résultats des trois scénarios simulés. Enfin, nous proposerons quelques éléments de conclusion et de perspective (section 8.5).

8.2 Contexte et projets d'aménagement futurs de la cité Descartes

Les dynamiques urbaines des métropoles sont souvent portées par des projets d'aménagement. C'est le cas de la région Île-de-France dont le développement futur est adossé à un ambitieux projet de transport, celui du métro du Grand Paris Express (GPE). L'aménagement métropolitain repose désormais sur un modèle urbain favorisant l'équilibre économique, territorial, social et environnemental. Il sera structuré autour des pôles stratégiques de la région. À l'échelle locale, la programmation urbaine future sera fondée sur des principes forts de densification et d'intensification urbaine en articulation avec le tissu existant, et par la reconquête d'anciennes infrastructures routières et de terrains disponibles. C'est le cas de la cité Descartes, dont l'évolution urbaine sera axée autour de trois projets d'aménagement.

8.2.1 Aperçu du projet du Grand Paris Express

Selon la loi du 3 juin 2010, le Grand Paris est « *un projet urbain, social et économique d'intérêt national qui unit les grands territoires stratégiques de la région Île-de-France [...], et promeut le développement économique durable, solidaire et créateur d'emplois de la région capitale. [...] Ce projet s'appuie sur la création d'un réseau de transport public de voyageurs dont le financement des infrastructures est assuré par l'État. Ce réseau s'articule autour de contrats de développement territorial, définis et réalisés conjointement par l'État, les communes et leurs groupements. Ces contrats participent à l'objectif de construire chaque année 70 000 logements géographiquement et socialement adaptés en Île-de-France et contribuent à la maîtrise de l'étalement urbain* ». Nous retenons de cette définition que le rôle assigné au réseau du Grand Paris dépasse largement l'amélioration de l'efficacité du seul système de transport.

À l'échelle régionale, la volonté affichée est celle de restructurer l'espace métropolitain. Le développement urbain s'articule autour de deux principales dimensions : d'une part, il s'agit de renforcer et d'affirmer les pôles stratégiques porteurs de potentiel de croissance en les transformant en « *clusters* » afin d'incarner un modèle de développement porteur et durable pour l'ensemble de la métropole. D'autre part,

L'objectif est de renforcer le maillage entre ces pôles, éléments clés pour une meilleure accessibilité régionale. L'ambition est de maîtriser et d'orienter la croissance de la population et des emplois, de réduire les disparités territoriales et sociales, et plus généralement d'améliorer le cadre de vie des habitants.

L'objectif de la région est de tirer profit des opportunités de densification et d'urbanisation qui existent et d'orienter le développement urbain vers l'intensification autour des gares. Les projets de développement s'appuient sur un contrat de développement territorial (CDT) établi conjointement entre les collectivités territoriales et l'État pour une durée de quinze ans. Ce document fixe les objectifs, les orientations fortes et les priorités pour le territoire en matière d'aménagement de l'espace, de logement, de transport et de développement économique. Il définit aussi les programmes d'action et les outils de programmation nécessaires à la concrétisation des objectifs, ainsi que leurs conditions de mise en œuvre²⁰⁷. Enfin, une autre des ambitions du projet du GPE est de désenclaver certains territoires aujourd'hui marginalisés.

En termes de mobilité quotidienne, le GPE répond à trois objectifs majeurs. Le premier consiste à améliorer l'accessibilité régionale et à réduire les temps de déplacement en transports en commun. Le métro automatique va contribuer à une meilleure desserte, touchant aussi bien les territoires traversés par le réseau que ceux à proximité et ce, grâce à la création de liaisons de banlieue à banlieue, inexistantes auparavant ou jusqu'à présent mal desservies. Le second objectif revient à décongestionner le réseau dans l'hypercentre. Le futur réseau absorbera un report de trafic et contribuera ainsi à alléger les charges de trafic du réseau actuel, notamment pendant les heures de pointe, d'autant que les voyageurs ne seront plus obligés de transiter par le centre de Paris pour les déplacements de banlieue à banlieue. Le troisième objectif est de favoriser un report modal depuis l'automobile vers les modes alternatifs (transports collectifs, modes doux, marche...), en particulier pour les liaisons en rocade et au sein des bassins de vie. La densité urbaine est favorable à un tel report, notamment pour les déplacements de petite portée.

Le projet du GPE propose une nouvelle conception de la gare, en lui assignant le rôle de générateur de développement et de renouvellement urbain (SGP, 2015). En effet, les gares ne sont plus considérées comme de simples éléments d'infrastructure de transport, elles cristallisent un objectif stratégique à part entière, au même titre que les lignes du réseau, et constituent, de fait, un équipement structurant des territoires desservis. La gare accompagne désormais le développement territorial de la ville et intègre des fonctionnalités urbaines et des services à l'usager. Elle se présente ainsi comme un lieu majeur de centralité du territoire (*idem*).

²⁰⁷ Il s'agit d'un nouvel outil d'urbanisme qui porte sur tout ou partie du territoire d'au moins deux communes, avec au moins une gare du réseau du Grand Paris Express. Ce document, dont le contenu est précisé par décret du 24 juin 2011, prévu à l'article 21 de la loi relative au Grand Paris, est la déclinaison locale des objectifs de mise en œuvre du Grand Paris. Il assure la cohérence des objectifs entre le schéma directeur de la région d'Île-de-France (SDRIF) et les plans locaux d'urbanisme.

Le schéma d'ensemble du métro du Grand Paris repose sur la construction de quatre lignes nouvelles et sur le prolongement de deux lignes existantes. Au total, 72 gares existantes ou à créer seront desservies (SGP, 2014). La mise en service des premiers tronçons du réseau est envisagée pour 2022.

8.2.2 De la cité au cluster Descartes

Déjà considérée comme un campus d'excellence et comme un pôle de recherche majeur de l'Île-de-France, la cité Descartes continuera dans les années à venir d'accueillir des activités créatrices d'emplois et de développement. À l'aune du projet du GPE, la cité Descartes a été identifiée comme l'une des polarités stratégiques de développement de l'Est parisien. Elle incarne désormais le cœur du « cluster de la ville durable », qui s'étend sur un bassin de vie élargi incluant trois départements (Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne, Seine-et-Marne) et une quinzaine de communes. Rappelons, à ce titre, que le cœur du cluster se situe à cheval sur les communes de Noisy-le-Grand et de Champs-sur-Marne et qu'il s'étend sur environ 1 500 hectares.

Les opérations d'aménagement et de renouvellement urbains au sein de ce cluster sont régies par le CDT Noisy-Champs. Ce document définit les principes de programmation à l'œuvre et explicite les caractéristiques des aménagements futurs en termes d'emprise spatiale et de fonctions urbaines caractérisant chaque projet. Pour la cité Descartes, qui constitue notre terrain de simulation, trois secteurs de développement stratégique sont programmés : le quartier de la gare, le boulevard du Rû-de-Nesles et les délaissés de la RD 199, dont la localisation est précisée dans la figure 8.1.

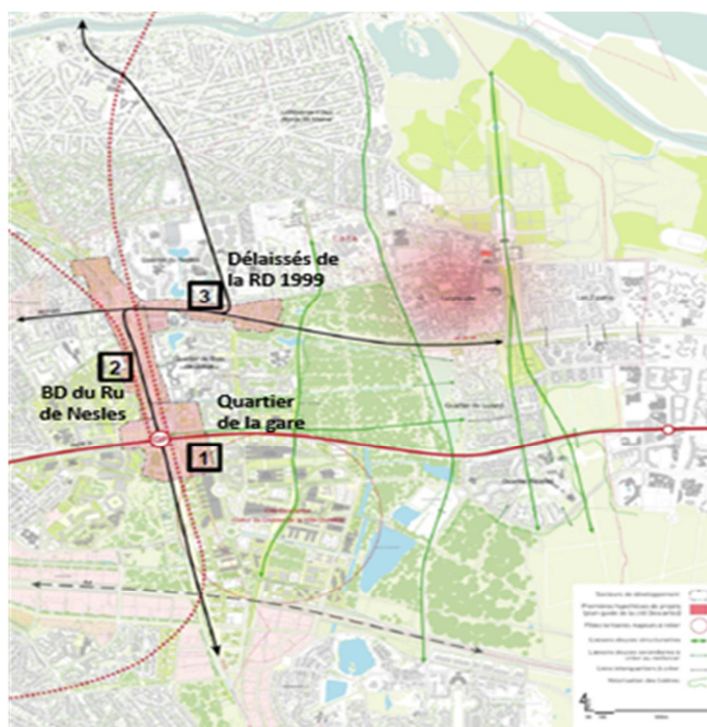


Figure 8.1 : Secteurs de développement stratégique au sein de la cité Descartes (source : Ateliers Lion, mairie de Champs-sur-Marne, 2012).

8.2.2.1 Renouveau du quartier de la gare : une nouvelle polarité mixte, à dominante tertiaire

Le quartier de la gare est situé à cheval sur les communes de Noisy-le-Grand et de Champs-sur-Marne. Il constitue le lieu d'intensité urbaine le plus fort de la cité Descartes. La gare, équipement structurant de ce secteur, en fait un lieu idéal d'implantation pour toutes les fonctions urbaines.

La programmation future de ce quartier sera mixte, à dominance tertiaire. Elle repose sur une densification forte des espaces et une utilisation de l'ensemble des fonciers mutables. Précisons que le potentiel du foncier utilisable est évalué à 210 120 mètres carrés de SHON dont 25 % seront réservés aux logements, 69 % aux bureaux, 5 % aux commerces et 1 % aux équipements (CDT Noisy-Champs, 2013). La figure 8.2 décrit l'état actuel de ce quartier et présente son plan programme.

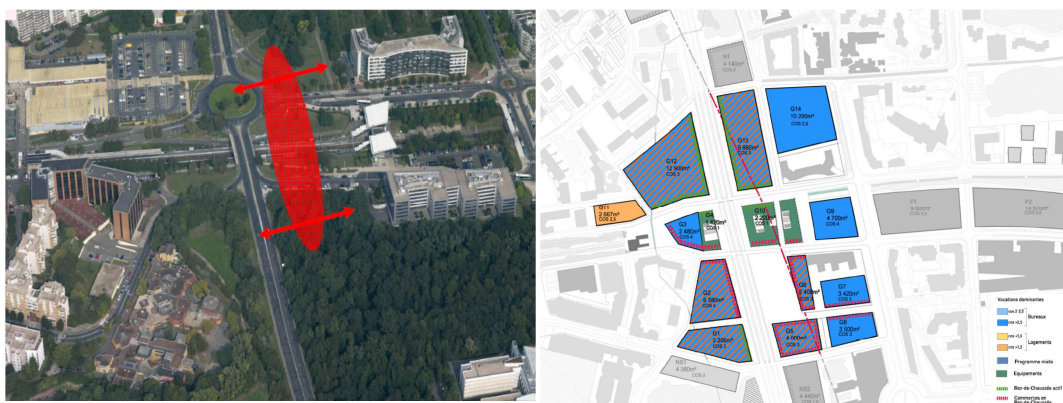


Figure 8.2 : (a) État actuel et zone d'implantation de la gare (source : SGP, 2012), (b) Son plan programme (source : Ateliers Lion, avril 2013).

Ce projet constitue une incontournable opportunité de renforcer le maillage nord-sud et la connexion avec les quartiers environnants (le Champy, les Hauts-Bâtons, la Butte-Verte, le bois de Grâce). Par ailleurs, transformé en hub multimodal, la gare de Noisy-Champs sera au carrefour de trois axes de transport majeurs : le RER A (réseau actuel), la ligne rouge (tronçon Pont-de-Sèvres-Noisy-Champs à partir de 2020, tronçon Noisy-Champs-Le-Bourget à partir de 2025), et la ligne orange du réseau du GPE (reliant la Plaine Saint-Denis à la cité Descartes à partir de 2025). Positionnée à l'extrémité sud-est de la boucle du Grand Paris, la gare Noisy-Champs constituera un élément clé de ce territoire et une véritable porte d'entrée au réseau du GPE pour l'ensemble des communes limitrophes.

8.2.2.2 Aménagement du boulevard du Rû-de-Nesles : épine dorsale et axe structurant est-ouest

Aujourd'hui friche boisée entre des quartiers d'habitation, le boulevard du Rû-de-Nesles sera désormais un axe nord-sud structurant de la cité Descartes élargie. Ce boulevard conserve une largeur constante d'environ 50 mètres sur la totalité de son

linéaire. Il s'organise en deux secteurs : un secteur situé en majorité sur la commune de Champs-sur-Marne, au nord de la jonction de la RD 199 avec la RN 370 et à la lisière nord du quartier de la gare, et un secteur sud majoritairement situé sur la commune de Noisy-le-Grand, compris entre la lisière sud du quartier de la gare (dans la continuité de la rue de la Butte-Verte) et la jonction avec l'échangeur de l'autoroute A4.

L'aménagement de ce boulevard s'inscrit dans la continuité urbaine et végétale avec les quartiers connexes, et obéit à différents objectifs de mixité fonctionnelle et de densification. Le projet urbain du Rû-de-Nesles nord sera consacré au développement de logements en adéquation avec la demande exprimée par la commune et en lien avec la typologie des quartiers alentour, et au développement de bureaux à proximité de la gare. L'emprise du projet englobe 116 200 mètres carrés de SHON, elle sera répartie à raison de 81 % en logements, 7 % en bureaux, 6 % en équipements, 3 % en commerces et 3 % en activités (CDT Noisy-Champs, 2013). La programmation pour ce boulevard est détaillée dans la figure 8.3.

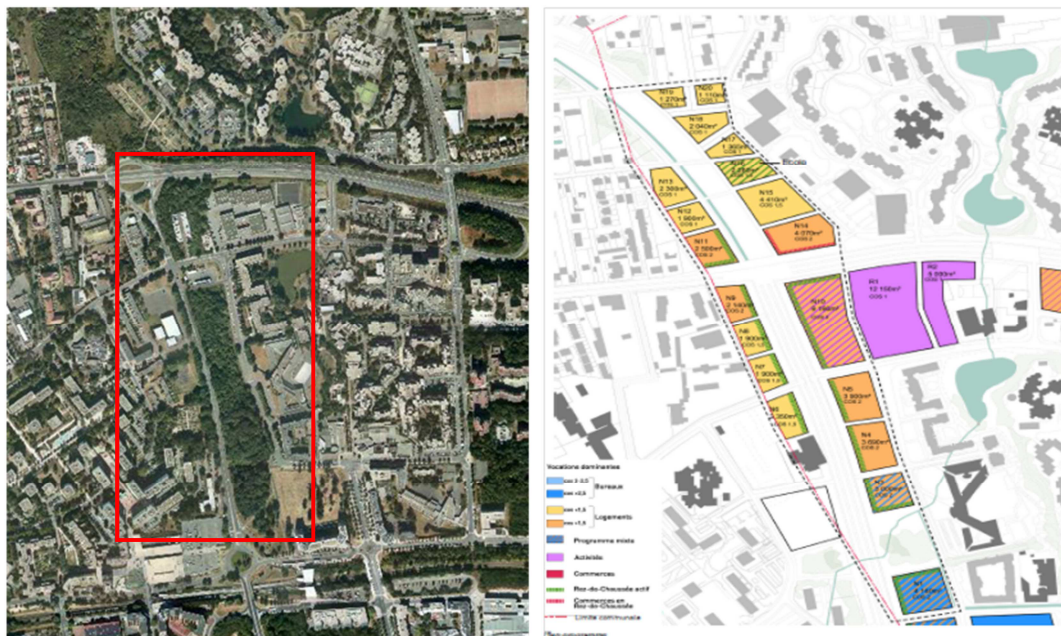


Figure 8.3 : (a) État actuel du boulevard du Rû-de-Nesles et (b) son plan programme (source : Ateliers Lion, *Étude en vue de l'élaboration du contrat de développement territorial*, avril 2013).

Cette opération d'urbanisation porte aussi sur la transformation du carrefour de la RD 199 en carrefour vivant, avec une offre de commerces et d'équipements à proximité et à long terme. Ainsi, depuis la gare jusqu'à ce carrefour, le boulevard conservera une intensité urbaine forte avec des rez-de-chaussée « actifs » accueillant commerces, services et activités, une programmation tertiaire aux abords immédiats de la gare, puis une dominante résidentielle. Au nord du carrefour, un parc linéaire de logements prendra place (Ateliers Lion, 2013). Enfin, le parc de la Butte-Verte sera réaménagé pour ne plus former une limite entre les deux communes et connecter davantage les quartiers voisins.

Pour résumer, le projet urbain du Rû-de-Nesles sud a pour ambition de renforcer la continuité de la trame urbaine, de gérer les densités en fonction des ambiances urbaines environnantes, et de créer un front urbain aux abords de l'A4. L'urbanisation au sud du boulevard doit assurer un équilibre bâti de part et d'autre de l'axe.

8.2.2.3 Transformation de la RD 199 en un boulevard urbain : support d'accueil de nouvelles populations

Les délaissés le long de la RD 199, au profil quasiment autoroutier, constituent aujourd'hui une véritable coupure nord-sud qui segmente la ville de Champs-sur-Marne et participe au désenclavement du site et à la discontinuité des espaces boisés. La RD 199 est reliée à l'autoroute A4 par le boulevard du Rû-de-Nesles en passant par la gare de Noisy-Champs. Elle offre de grandes possibilités de développement urbain. La figure 8.4 présente l'emprise de la RD 199 et localise les fonctions urbaines à venir.



Figure 8.4 : (a) État actuel de la RD 199 et (b) son plan programme (source : Ateliers Lion, *Étude en vue de l'élaboration du contrat de développement territorial*, avril 2013).

Le projet d'urbanisation de la RD 199 propose de transformer cet axe en un boulevard urbain traversant, contribuant à créer les liaisons nécessaires entre les quartiers situés au nord et ceux situés au sud (quartier du Nesles nord et quartier du Bois-de-Grâce) et à restructurer et redynamiser la ZAE du Nesles. Le long de la RD 199, la programmation urbaine future mêle secteur à dominante d'activités à l'ouest du boulevard et quartier résidentiel à l'est, à proximité du bois de Grâce. Au centre, des typologies mixtes, en adéquation avec les caractéristiques des tissus et des bâtiments voisins, proposeront des activités et des commerces en rez-de-chaussée et des logements dans les étages. L'aménagement envisagé prévoit, en outre, une transformation radicale de l'échangeur (Ateliers Lion, 2013). Pour ce projet, le potentiel foncier disponible est évalué à 87 300 mètres carrés de SHON qui seront utilisés pour construire des logements (68 %), des activités (30 %) et des commerces (3 %) (CDT Noisy-Champs, 2013).

Ce rapide tour des projets permet de souligner les grandes lignes d'urbanisation future de la cité Descartes élargie. Ces projets s'inscrivent dans des dynamiques de long terme et sont porteurs de l'identité future de ce territoire. Ils accéléreront certainement son développement et impulseront de grandes transformations liées notamment au parc de logements, à la structure de la population, aux activités économiques, et plus généralement au cadre de vie local. La gare de Noisy-Champs, en tant qu'élément structurant du site, renforcera l'attractivité et l'accessibilité de ce territoire et desservira, grâce à sa connexion au réseau du GPE, un bassin d'emploi plus étendu. Ces évolutions auront sans aucun doute des effets sur les choix de déplacement individuels et les comportements de mobilité des usagers.

8.2.3 Enjeux du stationnement futur au sein de la cité Descartes élargie

Le stationnement constitue un élément structurant de la mobilité future mais aussi une composante importante des projets d'aménagement, tant par son ancrage dans le paysage urbain que par sa consommation de l'espace. Le diagnostic de la situation en 2010, établi dans le chapitre 6, a fait ressortir plusieurs dysfonctionnements liés essentiellement à l'absence de stratégie de gestion de l'offre au sein de la cité Descartes élargie. Le renouvellement urbain que connaîtra ce territoire constitue donc une précieuse occasion de repenser sa politique de stationnement, de mettre en avant des principes d'éco-conception et de promouvoir un système plus durable qui soit à la hauteur du « cluster de la ville durable ».

Prenons l'exemple du CDT Noisy-Champs, qui est la déclinaison locale des ambitions du projet GPE à l'échelle de la cité Descartes. Au sein de ce document, la volonté est clairement affichée en faveur d'une mobilité durable, en favorisant le report modal, l'usage des modes doux ainsi que la limitation du recours à la voiture particulière. En matière de stationnement, cet outil de planification et de programmation incite à gérer l'offre et à mettre en place un modèle économique viable, permettant de répondre aux besoins des résidents, des pendulaires et de rabattement, afin d'éviter la saturation du système. Il préconise notamment de dimensionner les places au plus juste dans un souci d'économie de l'espace, de privilégier les courtes durées d'occupation et d'améliorer le stationnement des vélos. Ces prescriptions donnent une idée des objectifs à atteindre, mais ne renseignent pas sur les moyens à mettre en œuvre ni sur les mesures de gestion à prévoir. En ce sens, le CDT ne constitue qu'un schéma d'ensemble, qui devra être prolongé par des études plus approfondies et plus thématiques. C'est dans cet esprit que nous nous proposons de réaliser une simulation du système de stationnement futur à la cité Descartes.

Pour les décideurs publics, l'enjeu est de taille : assurer un juste équilibre entre l'offre et la demande, ni trop de places ni trop peu mais juste assez. Cet équilibre est à envisager par type et pour l'ensemble de l'offre, pour l'ensemble des catégories de demande et localement par secteur spatial. La réflexion sur la situation future du stationnement met en évidence différents enjeux et pose de multiples questions sur l'évolution de l'offre, de la demande et de l'usage des places sur le territoire. Portant sur le long terme, le champ d'action des acteurs publics dépasse les grands principes et

instruments de gestion de l'offre publique, car il implique aussi de repenser les modalités de planification et de provision de places privées et ce, en considérant l'ensemble des objectifs futurs établis par les CDT. Dit autrement, il s'agit de hiérarchiser les priorités de la demande, de garantir l'accessibilité à la gare et aux commerces, de réduire la consommation de l'espace et d'améliorer le cadre urbain, tout en s'alignant aux préconisations et aux objectifs généraux affichés à l'échelle de l'agglomération.

La forte croissance des emplois, du parc de logements et des activités sur le site s'accompagnera incontestablement d'une augmentation de la demande de stationnement. À ce titre, les questions qui se posent sont de plusieurs ordres : Comment va évoluer la demande locale ? Comment l'offre future doit-elle accompagner la construction des logements et des emprises tertiaires, notamment dans les programmes mixtes ? L'offre publique doit-elle être payante ou gratuite ? Combien de places offrir ? Quels types de parking sont les plus appropriés ? Comment se feront l'usage et l'occupation des places ? Quelle politique de stationnement mettre en œuvre sur ce territoire, notamment aux abords du futur pôle gare ?

Notre travail s'attache à répondre à certains de ces questionnements. En utilisant l'outil ParkCap, nous proposerons une simulation du stationnement au sein de la cité Descartes élargie en heure de pointe du matin, un jour ouvrable de 2030. Dans ce qui suit, nous présenterons notre approche méthodologique et les informations de simulation.

8.3 Approche, informations et hypothèses de simulation

8.3.4 Mettre la simulation au service de la prospective

La simulation proposée au cours de ce chapitre s'inscrit dans une réflexion globale sur l'aménagement futur de notre site d'application, celui de la cité Descartes élargie. Nous poursuivrons cette réflexion de façon thématique en mettant l'accent sur l'évolution du système de stationnement en 2030. En s'appuyant sur une démarche prospective, nous étudierons et comparerons trois scénarios futurs.

8.3.4.1 Aperçu de l'approche prospective

La prospective offre « *un regard sur l'avenir destiné à éclairer l'action présente* » (Hatem, 1993, cité par Plassard, 2004), en dessinant différentes images des futurs possibles. Elle consiste en une démarche d'exploration et de construction du futur qui permet de réduire, autant que possible, l'incertitude, de prendre des décisions qui vont dans le sens de l'avenir souhaité (Godet, 1991) et, le cas échéant, d'atteindre des objectifs préalablement fixés. La prospective « *a pour but de structurer la vision de l'avenir* » (Hatem, 1993, *op.cit.*), elle « *prépare l'action par l'anticipation et la motive par l'appropriation* » (Godet,

1991). En d'autres termes, son objectif n'est pas tant de prévoir les événements à venir que d'anticiper les enjeux et d'identifier les leviers d'action pour y faire face²⁰⁸.

La prospective se positionne sur un horizon de moyen et long terme. Elle peut être appliquée à des champs d'étude très divers. Selon F. De Jouvenel (2009), la prospective vise à apporter des réponses à trois principales questions :

- que peut-il advenir ? L'avenir est multiple et pas nécessairement programmé, différents futurs sont possibles à la lumière des changements prévisibles.
- que voulons-nous faire ? Il revient aux acteurs de définir les objectifs à atteindre et de construire une vision souhaitable du futur.
- que peut-il être fait et comment ? Il s'agit de recenser et d'identifier les outils et les moyens d'action à mobiliser pour atteindre les objectifs fixés.

Il en résulte que la prospective se place à l'interface de l'anticipation et de l'action. Elle se prête à une démarche intellectuelle qui sert à nourrir une réflexion rigoureuse et structurée à caractère politique ou stratégique.

Dans cet ordre d'idées, P. Papon (cité dans Plassard, 2004) affirme que « *la prospective est avant tout une attitude, un art, dit-on parfois, qui permet de projeter dans le futur une situation donnée ou d'évaluer les possibilités de mutations profondes ou, encore, de "ruptures" qui bouleversent les champs de recherche. Elle a donc pour rôle d'interroger la science et la technologie en identifiant, par exemple, les paradigmes qui vont émerger (les grands schémas théoriques, les concepts dominants), les mutations possibles (en particulier dans le domaine de l'instrumentation), les voies prometteuses* ». On peut conclure alors que la prospective se situe plutôt du côté du questionnement que du côté de la proposition de solutions, et qu'elle constitue un puissant outil d'aide à la décision.

Placée en amont de l'action, la prospective donne une idée de ce qui peut être fait et aide à discerner les conséquences de chaque stratégie d'action. De ce point de vue, le recours à l'approche prospective est très utile pour alimenter les réflexions, orienter les choix et les décisions, notamment en matière d'aménagements urbains et de conception de politiques de mobilité. Pour toutes ces raisons, nous avons opté pour cette approche pour notre simulation du stationnement futur dans la cité Descartes.

²⁰⁸ Le terme de prospective vient de *prospicere*, verbe latin qui signifie « *regarder au loin ou regarder de loin, discerner quelque chose devant soi* ». En France, la prospective a été introduite dans les années 1950 par Gaston Berger considéré désormais comme le père français de cette approche. Pour ce philosophe en action, la prospective est une attitude qui se résume en cinq points : « *voir loin, voir large, analyser en profondeur, prendre des risques, penser à l'homme* » (Godet et Durance, 2011). La prospective cherche alors à s'affranchir de toute conception déterministe de la réalité et de son évolution, ainsi que de toute tentative d'explication hasardeuse. La naissance de la prospective a fait passer les réflexions d'une attitude passive face au futur à une attitude active et innovante qui met en avant le caractère imprévisible de l'avenir (*idem*).

8.3.4.2 Construction des scénarios

La simulation proposée au cours de ce chapitre repose sur la méthode des scénarios. Cette méthode permet d'explorer différents futurs probables dans lesquels chaque scénario représente une vision de l'avenir. Elle correspond à une mise en scène d'une part des tendances lourdes et d'autre part, des changements prévisibles pour illustrer les différentes voies que peut emprunter le cours des événements et révéler les principaux choix stratégiques qui seront déterminants pour l'avenir. Elle est particulièrement adaptée pour clarifier les enjeux majeurs et les leviers d'action pour des situations complexes dont l'avenir paraît difficile à cerner, notamment à cause de la multitude des interactions, des facteurs en jeu et des acteurs impliqués (Jouvenel, 2009).

Les scénarios reflètent différentes options stratégiques. Ils sont conçus en prenant en compte les variables clés qui caractérisent le système étudié et par enchaînement d'un jeu d'hypothèses. Ils sont destinés à explorer le champ des possibles. Au cours de cette simulation, la construction de l'ensemble des scénarios a été axée autour d'un même fil conducteur. Chaque scénario reflète un choix de politique publique, autrement dit une stratégie d'organisation du stationnement futur. Ces stratégies prennent effet sur le long terme et s'articulent autour de deux dimensions : la planification et la gestion de l'offre de places. La première dimension relative aux outils de planification de stationnement concerne principalement la provision, la localisation et le dimensionnement des places aussi bien privées – liées notamment aux logements et aux activités économiques – que publiques – liées au rabattement et à la voirie. La deuxième dimension concerne les mesures de gestion de l'offre, qui sont destinées à organiser l'usage et l'occupation des places à court et moyen terme, et à garantir l'équilibre entre l'offre et la demande. Cette gestion peut prendre forme à travers les tarifs, les durées, la réservation d'accès, ou le cas échéant la combinaison de différentes mesures. Il convient de préciser que les scénarios d'offre développés dans ce chapitre se basent tous sur les mêmes hypothèses de projection et d'estimation de la demande, qui seront présentées dans la suite de ce chapitre.

Trois principaux scénarios d'évolution de l'offre du système de stationnement futur de la cité Descartes ont été analysés. Ils se présentent comme suit²⁰⁹ :

- Le scénario A reflète la situation au fil de l'eau. Il correspond à la poursuite des tendances actuelles, sans véritable stratégie de gestion de l'offre. Ce scénario préconise l'adoption de normes minimales de provision de places et une absence de tarification pour la voirie et les P + R. Pour répondre à la demande additionnelle de rabattement, la capacité du P + R central de Champs-sur-Marne est augmentée de 500 places. Ce scénario s'inscrit dans la logique d'adaptation de la ville à l'automobile.

²⁰⁹ Les caractéristiques détaillées de l'offre proposée dans chaque scénario seront présentées dans la suite de ce chapitre.

- Le scénario B reflète une situation intermédiaire. Il table sur la gestion des places publiques sur voirie et en P + R, et suppose qu'elle permet à elle seule de limiter les problèmes locaux de stationnement. En plus de la tarification et la limitation des durées sur la voirie, la construction de deux nouveaux parkings publics est envisagée. Pour la provision de places privées, ce scénario propose de limiter les normes à une place pour 60 mètres carrés de SHON pour les bureaux, et de maintenir les normes actuelles pour les logements. Il s'agit d'un scénario volontariste mais peu restrictif.
- Le scénario C reflète une situation de rupture. Il marque le renversement des tendances actuelles et propose de mettre en place des normes maximales de fourniture de places pour les logements (une place par logement) et les bureaux (une place pour 100 mètres carrés de SHON) et de mutualiser les lots privés. Pour l'offre publique, une centaine de places sur voirie sont supprimées, deux parkings publics de 500 places chacun sont construits, et une tarification unique est appliquée (1 euro l'heure). Ce scénario s'inscrit dans la logique de réduction de l'importance de l'automobile en ville.

Les scénarios étudiés sont volontairement contrastés. Ils obéissent à des logiques politiques différentes. Le scénario tendanciel favorise le stationnement sur le site et plaide en faveur d'une libre régulation entre l'offre et la demande. Le scénario intermédiaire privilégie le stationnement privé mais tient à limiter la congestion et la concurrence d'usage des places publiques. Le scénario de rupture traduit une volonté forte de minimisation de la consommation de l'espace par la voiture et profite implicitement de la complémentarité modale. Ces images des « *futurs possibles* » rappellent que l'avenir n'est pas déterminé d'avance et qu'il est à construire.

L'horizon de simulation est celui de 2030. Ce choix se justifie pour deux raisons. D'abord, il prend en compte une mise en service complète du réseau du GPE et une certaine stabilisation des comportements de mobilité quotidienne et de choix modal des usagers. Ensuite, il tient compte des dates d'achèvement des projets d'aménagement planifiés sur le site d'étude.

Précisons, enfin, que la simulation est réalisée en régime statique et que la période horaire considérée correspond à l'heure de pointe matinale, soit entre 7 heures et 9 heures.

8.3.5 Informations d'entrée et hypothèses

Au cours de cette partie, nous emprunterons largement au chapitre précédent (section 7.2). La démarche de construction des informations d'entrée est la même que celle pour la simulation en 2010 – cette méthode a été présentée de façon détaillée au cours du chapitre précédent. Dans ce qui suit, nous nous limiterons à la présentation des informations d'entrée de simulation à l'horizon de 2030. Pour mieux caractériser la situation future, nous utiliserons les jeux de données et d'hypothèses de croissance sociodémographique et de mobilité telles qu'exprimés par la loi du 3 juin 2010 relative au GPE.

8.3.5.1 Codage de l'offre

Rappelons que, dans le cadre du modèle ParkCap, l'offre regroupe trois principaux éléments : (i) le réseau routier, (ii) l'offre d'activités et (iii) les lots de stationnement. La représentation de l'offre se fait par une description spatiale et quantitative de chacun de ces éléments.

Le réseau routier est codé sous forme d'un graphe composé d'un ensemble d'arcs et de nœuds. Il sert de support physique pour les itinéraires d'accès principal et les circuits de recherche de place des automobilistes. Pour simplifier, le même réseau routier que celui de 2010 a été utilisé²¹⁰. Il regroupe l'ensemble des boulevards, des avenues, des routes principales et secondaires du territoire d'étude. Ce choix tient au fait que les projets d'urbanisation ne conduiront pas à une grande restructuration du réseau. Les seules conséquences possibles seront la construction de quelques voies secondaires et d'accès local, sur de faibles distances, donc sans effet notable sur les choix d'itinéraire des véhicules. Ainsi, pour la simulation du stationnement à l'horizon de 2030, le plus grand travail de codage de l'offre a porté sur l'offre d'activités et sur les lots de stationnement.

Évolution de l'offre d'activités

L'offre locale d'activités correspond à l'ensemble des générateurs fonctionnels qui concordent avec les destinations finales des déplacements des usagers. Le codage de ces générateurs consiste à les désagréger par unité élémentaire d'espace (une parcelle, un îlot urbain, etc.) et à les identifier selon leurs coordonnées, ce qui donne lieu à un centroïde par élément.

L'ensemble des bâtiments déjà présents sur le site en 2010 a été extrait d'une part à partir des bases de données topographiques de l'IGN (la BD TOPO) qui situe chaque élément du bâti avec une précision métrique dans l'espace géographique, et d'autre part de la base de données GéoSirene établie à partir des données de l'Insee et qui localise chaque établissement d'entreprise à son adresse postale. Le nombre total de ces générateurs s'élève à 98. Dans un souci de simplification, nous avons repris l'ensemble de ces données et avons gardé tous les générateurs. En effet, l'urbanisation de la cité Descartes élargie se fera par densification et par comblement du vide. Ainsi, nous pouvons faire abstraction des îlots qui sont amenés à disparaître ou à se transformer, et nous supposons qu'il n'y aura aucun réaménagement des entités urbaines déjà en place.

Le codage des générateurs futurs a été effectué à partir des esquisses des projets d'aménagement énoncées dans le CDT Noisy-Champs (2013) et en nous appuyant sur l'étude des Ateliers Lion réalisée en vue de l'élaboration du contrat de développement territorial (avril 2013). Ce dernier document représente finement la programmation de chaque entité des îlots du bâti dans l'espace (voir figures 8.2, 8.3 et 8.4 *supra*). Il décrit avec précision, pour chaque projet, l'emprise au sol, le COS moyen, la surface en

²¹⁰ Une description détaillée de ce réseau se trouve au chapitre 7 (tableau 7.1).

SHON et le type de fonction urbaine qu'il accueillera. Pour simplifier, nous avons procédé à un rassemblement des quelques générateurs à proximité immédiate (jusqu'à 50 mètres de distance) tout en respectant le type d'activité proposé. En tout, 21 nouveaux générateurs sont ajoutés, soit 9 pour le projet de la gare, 8 pour le boulevard du Rû-de-Nesles et 4 pour le futur boulevard urbain de la RD 199 (voir figure 8.5). Trois types de fonction urbaine sont considérés : l'habitat, l'emploi et les services (incluant les commerces et les activités), auxquels il faut ajouter la gare qui demeure un générateur emblématique.

Mentionnons à cet égard que l'ajout des générateurs futurs implique, en termes de codage de informations, de définir la zone de chalandise qui correspond à chaque générateur.

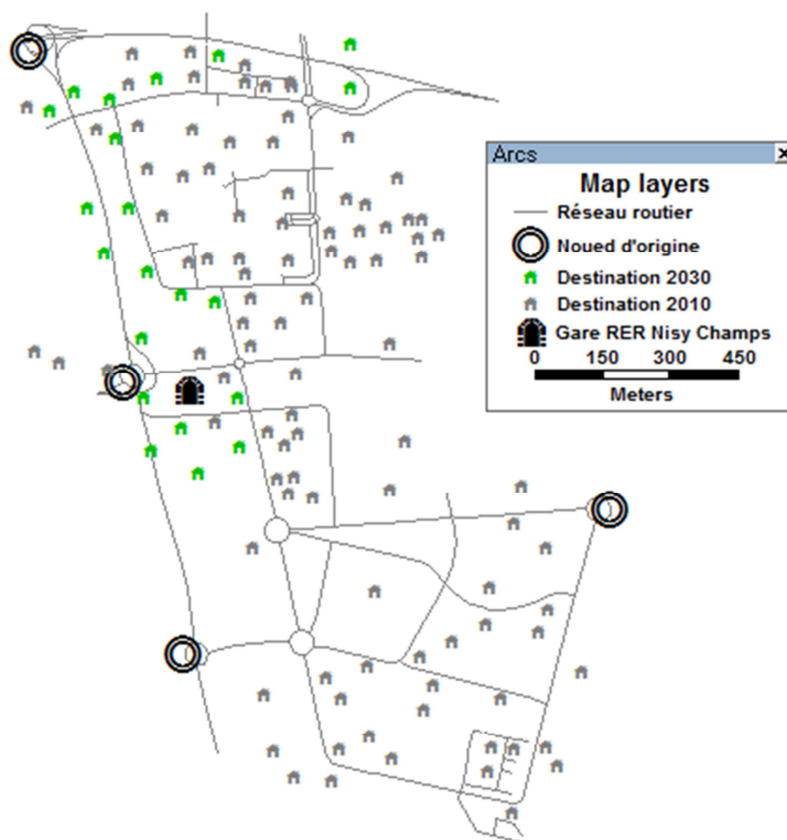


Figure 8.5 : Configuration spatiale des destinations au sein de la cité Descartes élargie.

Évolution de l'offre de lots de stationnement

L'offre de stationnement est représentée par un ensemble de lots distribués dans le territoire. Chaque lot correspond à un ensemble de places juxtaposées, de caractéristiques identiques, destinées au stockage des voitures. Il est représenté par un nœud et se caractérise par un ensemble d'attributs dont la localisation, le type, la capacité physique et le mode de gestion.

En distinguant les lots par type, on obtient d'une part, l'offre privée qui concerne principalement les places liées aux logements et aux activités, et d'autre part, l'offre publique qui rassemble les places sur voirie, les parkings publics accessibles à tous les usagers et les P + R. Le tableau 8.1 donne un aperçu des caractéristiques de chaque type d'offre codée pour chaque scénario traité.

Tableau 8.1 : Caractéristiques de l'offre de stationnement par type de lot et selon le scénario.

		Scénario tendanciel	Scénario intermédiaire	Scénario de rupture
Type d'offre	Mesures	(A)	(B)	(C)
Stationnement public hors voirie	Normes de provision	× 1,5 place par logement × 1 place pour 25 m ² de bureaux	× 1,5 place par logement × 1 place pour 60 m ² de bureaux	× 1 place par logement × 1 place pour 100 m ² de bureaux
	Mutualisation			× Logements et emplois
Stationnement public sur voirie	Capacité	–	–	× Suppression de 100 places à 200 m de la gare
	Zone bleue	× 45 places avenue Ampère	× 350 places à 300 m de la gare (2 h)	× 350 places à 300 m de la gare (2 h)
	Contrôle	× Prob. contrôle : 0,001	× Prob. contrôle : 0,5 × Amende : 35 €	× Prob. contrôle : 0,5 × Amende : 35 €
	Tarification		× 1 €/h	× 1 €/h
Stationnement public hors voirie	Localisation	–	× 1 lot au Rû-de-Nesles et 1 lot au centre Descartes	× 1 lot au Rû-de-Nesles et 1 lot au centre Descartes
	Capacité par lot	–	× 350	× 500
	Tarification	–	× 1 €/h	× 1 €/h
Stationnement en parc relais	Aménagement	× P + R Descartes	× P + R Descartes	× P + R Descartes
	Capacité	× 500 places supplémentaires	× 500 places supplémentaires	× 500 places supplémentaires
	Tarification	× 1 €/h lot de Noisy-le-Grand	× 1 €/h lot de Noisy-le-Grand	× 1 €/h partout

Pour le codage de l'offre privée, nous nous sommes limités à ajouter un nouveau lot à proximité immédiate de chaque centroïde des bâtiments futurs et à estimer la capacité totale de places selon la surface de SHON de l'élément bâti et les types de fonction qu'il offre à l'utilisateur. Ainsi, les normes de provision de places sont minimales pour le premier scénario et établies à 1,5 par logement (à l'exception des logements sociaux limités à 1 place) et à 1 par 25 mètres carrés de SHON d'emploi. Elles sont maximales

pour les deux autres scénarios : 1,5 place par logement et 1 place par 60 mètres carrés de SHON d'emploi dans le deuxième ; 1 place par logement et 1 place par 100 mètres carrés de SHON d'emploi dans le troisième. La diminution des capacités privées sera palliée par la mise en œuvre de la mutualisation entre les logements et les emplois pour les nouvelles constructions mixtes. La figure 8.6 ci-après présente la localisation spatiale des lots et renseigne sur leur capacité physique pour le scénario de référence.

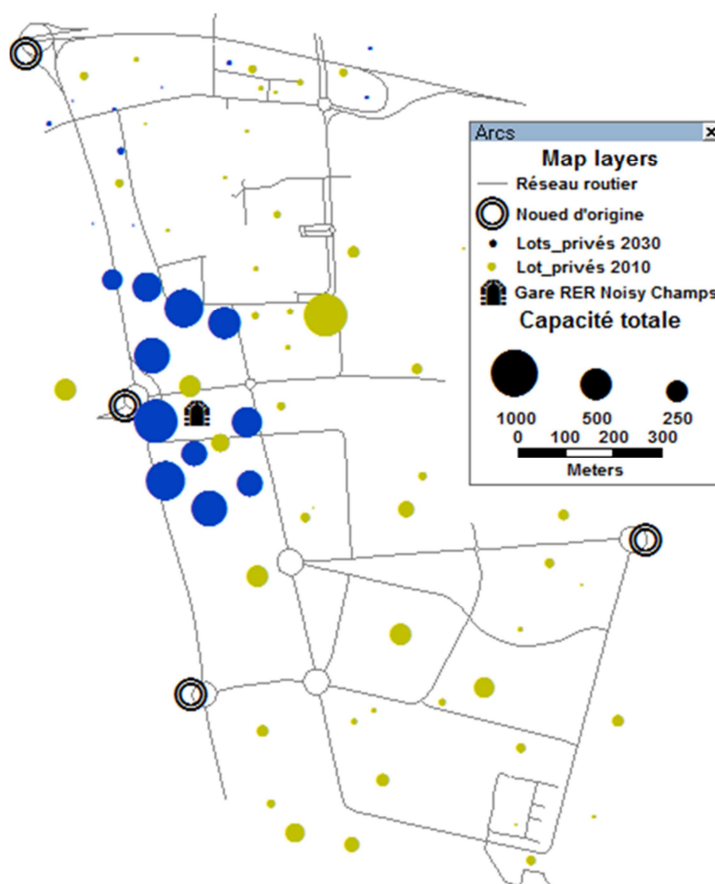


Figure 8.6 : Configuration spatiale et capacité totale des lots privés (scénario tendanciel).

Pour la voirie, nous avons utilisé les mêmes fichiers d'informations que pour la situation de référence de 2010, en termes de localisation et de capacité, sauf pour le troisième scénario dans lequel une centaine de places ont été supprimées aux abords du pôle gare. Par ailleurs, d'un scénario à l'autre, les modalités de gestion varient. Elles se limitent à une restriction par la durée dans un rayon de 200 mètres de la gare, puis à une généralisation de la tarification sur l'ensemble des places pour le deuxième et le troisième scénario.

La construction de nouveaux parkings publics, dont l'un situé au cœur de la cité et l'autre le long du Rû-de-Nesles, a été proposée pour les deux derniers scénarios. Ces lots se caractérisent par une capacité moyenne de 350 places chacun pour le scénario B et de 500 places chacun pour le scénario C, avec un tarif horaire de 1 euro.

Concernant l'offre de P + R, elle sera augmentée grâce à une extension de la capacité du parking Descartes, localisé à proximité immédiate de la gare (500 places supplémentaires). Ces places seront gratuites pour le scénario tendanciel et payantes pour les autres scénarios, avec un tarif variable selon le lot et selon le scénario.

Ces jeux de données et de choix de scénarios constituent les éléments de base pour mettre en place une simulation. Ils doivent subir, néanmoins, un dernier traitement pour estimer le nombre de places disponibles par lot au début de la période de simulation. Pour ce faire, nous avons appliqué, au début de la période de simulation, les hypothèses d'occupation suivantes : pour les places sur voirie, l'occupation moyenne sera de 30 % dans un rayon de 300 mètres de la gare et 10 % ailleurs ; pour les lots publics, dont les P + R, elle s'élèvera à 10 % ; pour les lots privés rattachés aux logements, elle sera de l'ordre de 40 % (les individus étant censés se déplacer davantage en transports en commun) ; enfin, pour les parkings privés hors logements, l'occupation sera de 10 %. Le tableau ci-après (tableau 8.2) présente les trois jeux d'informations et détaille les caractéristiques quantitatives de chaque type d'offre par scénario.

Tableau 8.2 : Caractéristiques de l'offre de stationnement de la cité Descartes en 2030.

Type d'offre	Capacité totale				Capacité disponible en début de simulation			
	Référence 2010	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Référence 2010	Scénario A	Scénario B	Scénario C
Places privées	3 908	14 246	10 326	8 268	3 664	10 955	5 863	4 292
Lots 2010	3 908	3 908	3 908	3 908	3 664	2 736	1 172	1 172
Liées aux logements 2030	–	3 618	3 618	2 680	–	2 171	2 171	1 608
Liées aux emplois 2030	–	6 720	2 800	1 680	–	6 048	2 520	1 512
Places sur voirie	3 062	3 062	3 062	2 950	2 820	2 820	2 820	2 750
Lots publics	–	–	700	1 000	–	–	630	900
Cœur Descartes	–	–	350	500	–	–	315	450
Rû-de-Nesles	–	–	350	500	–	–	315	450
Offre en P + R	590	1 090	1 090	1 090	531	981	981	981
P + R Descartes 1	191	691	691	691	172	622	622	622
P + R Descartes 2	81	81	81	81	73	73	73	73
P + R Champy	318	318	318	318	286	286	286	286
Total de places	7 560	18 398	15 178	13 308	7 015	14 756	10 294	8 923
Évolution /2010	-	143 %	100 %	76 %	-	95 %	36 %	18 %

8.3.5.2 Codage de la demande

Telle qu'explicitée au cours du chapitre 7 (sous-section 7.2.2), la codification de la demande porte d'abord sur la définition des classes d'utilisateurs considérées, ensuite sur l'estimation des volumes de flux entre chaque couple O-D, et enfin sur la spécification des paramètres du coût généralisé.

Pour faciliter le codage, nous avons considéré les mêmes paramètres du coût généralisé que pour la simulation dans la situation de référence de 2010. Les fondements théoriques et les raisons du choix desdits paramètres ont été explicités dans le chapitre précédent. Le codage de la demande se limite donc aux deux premiers éléments.

Définition des segments de demande

La segmentation consiste à classer les usagers en groupes homogènes selon un ou plusieurs critères, dans le but de renforcer le caractère explicatif du modèle. Pour les besoins de cette simulation, une double segmentation de la demande a été établie. Les usagers ont été segmentés d'abord de façon fonctionnelle selon le motif de leur déplacement, et ensuite de façon spatiale, par couple O-D traduisant leur origine d'accès local au site et leur point de destination finale²¹¹. Les différents segments de demande traités au cours de cette simulation sont les suivants :

- les employés : pour tout ce qui est travail habituel ;
- les étudiants : pour les activités d'études supérieures et de formation ;
- les visiteurs : incluant les achats, les affaires professionnelles, les loisirs, l'accompagnement et autres ;
- les navetteurs : c'est-à-dire la demande de rabattement vers la gare RER de Noisy-Champs.

Estimation des matrices O-D

La demande de déplacement s'exprime généralement à l'aide d'une matrice O-D. Cette matrice illustre le volume et la distribution du flux de trafic entre les deux extrémités du déplacement. Pour cette simulation prospective, nous avons pris appui sur le modèle de génération de demande de stationnement déjà utilisé pour la situation de référence.

Rappelons brièvement les grandes lignes et le principe de cette méthode désagrégée d'estimation de la demande. L'estimation des flux se fait de façon désagrégée par élément spatial. Par couple O-D, une matrice est assignée à chaque segment de demande. Le principe général de la méthode consiste à calculer, dans un premier temps, le volume de la demande à partir de la multiplication du nombre moyen d'occupants par le taux de génération de stationnement par unité d'usage de sol. Ce taux est déterminé selon le lieu d'origine de l'utilisateur, le mode de transport emprunté pour se déplacer, l'occupation moyenne du véhicule, et la présence individuelle au moment de la simulation. Dans un second temps, il convient de répartir les flux de stationnement en fonction des origines d'accès au terrain d'étude²¹².

Pour la situation de référence de 2010, le nombre d'occupants par motif et par bâtiment a été fourni par les autorités locales, ce qui a facilité l'estimation des flux de stationnement. En revanche, pour la simulation en 2030, une actualisation des données

²¹¹ L'intérêt de cette double segmentation est discuté dans le chapitre précédent (sous-section 7.2.2.1).

²¹² Pour plus de détails sur cette méthode, le lecteur est invité à se référer au chapitre 7 du présent manuscrit (section 7.2).

est nécessaire, qui doit être complétée par une évaluation du nombre moyen d'occupants au sein des générateurs futurs. Pour ces derniers, l'estimation a été basée principalement sur les données de programmation urbaine arrêtées par le CDT Noisy-Champs (2013) et l'étude des Ateliers Lion (2013), qui fournissent d'un côté des renseignements précis sur la surface en SHON pour chaque élément bâti, et de l'autre des données quantitatives générales concernant le nombre d'emplois et de logements à promouvoir dans le cadre de ces projets²¹³. Au-delà de ces informations, certaines hypothèses semblent fondamentales pour caractériser les tendances lourdes et les changements qui marqueront le futur, notamment en termes d'évolution démographique, socio-économique, et de mobilité. Les principales hypothèses d'estimation retenues pour mener à bien l'estimation de la demande de stationnement peuvent être explicitées de la façon suivante :

- **Hypothèse relative à l'évolution de l'activité économique :** nous admettons que l'augmentation du nombre d'emplois sera générée quasi exclusivement par les trois projets d'aménagement programmé, avec une stabilité du nombre d'emplois offerts par les générateurs déjà en place en 2010. Par ailleurs, pour l'évaluation du nombre moyen d'emplois par bâtiment, nous nous basons sur la surface en SHON, en supposant que la surface moyenne par emploi est de 35 mètres carrés.
- **Hypothèse relative à l'évolution des effectifs d'étudiants :** nous retenons une évolution annuelle de + 0,8 %²¹⁴ du nombre total d'étudiants. Cette hausse se justifie par la poursuite des tendances actuelles d'évolution des effectifs universitaires inscrits aux premier, second et troisième cycles d'études universitaires.
- **Hypothèse relative à l'évolution de la population :** en nous alignant sur les objectifs du CDT Noisy-Champs (2013), nous admettons une augmentation de 60 %²¹⁵ du nombre d'habitants, tout en gardant la même proportion d'actifs occupés qu'en 2010, soit 66 %²¹⁶ de la population totale.
- **Hypothèse relative à l'évolution de l'offre de logements :** quelle que soit la taille des logements proposés par ces projets, nous nous basons sur une surface moyenne de 70 mètres carrés. Nous supposons, par ailleurs, que 30 % des nouvelles constructions de logement feront partie du parc social²¹⁷.

Sur la base de ces hypothèses, les résultats de nos premières estimations donnent déjà des éléments de grandeur concernant l'évolution de la cité Descartes élargie à l'horizon de 2030. Le nombre total de nouveaux logements sera de 2 680 et celui des emplois de

²¹³ Ces données sont déjà illustrées plus haut dans ce chapitre par la figure 8.5.

²¹⁴ Ce chiffre correspond à l'évolution des effectifs d'étudiants en 2012-2013 en France métropolitaine.

²¹⁵ http://cache.media.education.gouv.fr/file/2013/49/9/DEPP-RERS-2013_266499.pdf.

²¹⁶ Ce chiffre est calculé à partir des données du recensement (Insee, 2009, *Recensement général de la population de 2009*, « Bases de données emploi-population active », <http://insee.fr/fr/bases-de-donnees/default.asp?page=recensement/resultats/2009/donnees-detaillees-recensement-2009.htm>).

²¹⁷ L'un des objectifs du CDT Noisy-Champs consiste à maintenir la part du logement social dans la construction neuve à hauteur de 30 %. En 2009, cette part s'élève à 25 % à Noisy-le-Grand et à 38 % à Champs-sur-Marne (CDT Noisy-Champs, 2013).

4 808²¹⁸. La population totale devrait atteindre 9 300 habitants, dont 6 130 actifs occupés. Du point de vue de la caractérisation de la demande de stationnement par motif, ces estimations ont alimenté le calcul des flux des employés et des étudiants pendant la période de simulation.

Pour la demande de rabattement, le nombre de montants, extrait à partir des résultats d'une étude de prévision de trafic réalisée par la Régie autonome des transports parisiens (RATP), s'élèvera à 39 300 en journée ouvrable.

Enfin, pour les visiteurs, et en l'absence de toute information sur leur volume prévisionnel et les motifs précis de leurs déplacements, nous admettons qu'il y aura en période de simulation en moyenne 1 visiteur motorisé pour 30 emplois. Cette hypothèse est un peu grossière, mais elle prend en compte le caractère de mixité fonctionnelle mis en avant dans la programmation urbaine future du site.

Le volume prévisionnel de demande de stationnement par segment a été estimé à partir du nombre moyen d'occupants par unité de sol et du taux de génération de stationnement par bâtiment. Les paramètres d'estimation de ce taux sont présentés dans le tableau 8.3.

Tableau 8.3 : Paramètres utilisés pour l'estimation du taux de génération de stationnement par segment de demande.

		Segment de demande			
		Employés	Étudiants	Rabattement	Visiteurs
<i>Référence occupants</i>		Nombre d'emplois	Effectif d'étudiants	Montants journaliers	Véhicules entrants
Paramètres	Y_{sl}	0,3 ^(H1)	0,1 ^(H1)	—	—
	Y_{so}	0,7 ^(H1)	0,9 ^(H1)	—	—
	α_{sl}	0,4 ^(H2)	0 ^(H2)	0,05 ^(H4)	—
	α_{so}	0,53 ^(H2)	0,14 ^(H2)	—	—
	μ_s	1,2 ^(H3)	1,5 ^(H3)	1,1 ^(H3)	—
	β_{sj}	0,9 ^(H4)	0,8 ^(H4)	0,7 ^(H4)	—
	λ_{sj}	0,9 ^(H4)	0,7 ^(H4)	—	—
Flux total (véh.)		3 269	1 790	1 377	359
% 2030/2010		+ 21,3	+ 12,3	+ 133,7	+ 163,9

(Hn) renvoie à l'hypothèse adoptée pour valider ce choix de chiffres.

- **(H1) Hypothèse relative au lieu de résidence des actifs et des étudiants :** nous supposons que parmi les résidents, 30 % des actifs occupés travaillent sur le site. Nous admettons aussi que 10 % des étudiants inscrits dans les établissements universitaires de la cité Descartes habitent sur place. Ces hypothèses sont très volontaristes, elles vont dans le sens d'une ouverture des

²¹⁸ Ceci correspond à 640, 1 180 et 860 logements, et 4 200, 604 et 44 emplois, respectivement pour le projet de la gare, le boulevard Rû-de-Nesles et le boulevard de la RD 199. Ces estimations concordent avec celles de l'étude de l'EpaMarne de 2012.

possibilités pour les actifs et les étudiants d'habiter au sein de leur quartier d'activité. C'est l'un des objectifs de la programmation urbaine au sein du site.

- **(H2) Hypothèse relative au mode de déplacement des usagers :** la voiture est utilisée à raison de 30 % pour les déplacements locaux par les actifs locaux, et à raison de 53 % par les actifs venant d'ailleurs. Ces proportions traduisent les objectifs de report modal inscrits dans la loi du GPE. Pour les étudiants locaux, les déplacements se font à pied, en mode doux ou en transports en commun. Les étudiants résidant ailleurs utilisent la voiture dans 14 % des cas.
- **(H3) Hypothèse relative à l'occupation moyenne du véhicule :** nous supposons qu'en 2030, le coût d'usage de la voiture particulière aura augmenté sensiblement, ce qui entraînera une amélioration du taux d'occupation moyen des véhicules pour les employés (1,2) et pour les étudiants (1,5). Pour les autres usagers, les mêmes chiffres que pour la situation de référence sont adoptés.
- **(H4) Hypothèse relative à la présence individuelle des occupants en période de simulation :** nous retenons les mêmes hypothèses de présence journalière que pour la situation de référence de 2010²¹⁹.

Force est de reconnaître que les hypothèses spécifiques utilisées pour l'estimation des volumes de demande sont indispensables pour évaluer d'une part, le nombre d'occupants moyen par unité d'usage de sol par segment de demande, et d'autre part, le taux de génération de stationnement. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue qu'elles sont très volontaristes, dans le sens où elles supposent l'atteinte des objectifs de croissance sociodémographique et de report modal avancés par la loi sur le GPE. Cette position marque, du côté de la demande, une rupture des tendances actuelles, et des changements majeurs des comportements de mobilité, en particulier vis-à-vis de l'usage de l'automobile et aussi des choix de localisation résidentielle et des emplois. Rappelons, à ce titre, que nos simulations se basent sur les mêmes hypothèses de projection et d'estimation de la demande. Autrement dit, les flux de stationnement par segment sont les mêmes pour tous les scénarios.

L'estimation des flux de stationnement attirés par chaque générateur est poursuivie par une opération de répartition de ces flux entre les différentes origines locales, afin de générer les matrices O-D désagrégées. La même méthode de répartition que pour la situation de référence de 2010 a été prise en compte, méthode qui repose sur la règle de proportionnalité. Cinq principaux nœuds d'origine ont été adoptés. Ils correspondent aux accès nord, est, ouest, central et sud. L'ensemble de ces points d'origine sont repris dans la figure 8.6 (*supra*).

8.4 Résultats de simulation

Cette section est consacrée à l'analyse des résultats de simulation. Après un rappel des grandes lignes de chaque scénario étudié, nous essaierons d'évaluer ses effets sur (i)

²¹⁹ Ces chiffres sont issus des résultats de la 4^e enquête européenne sur les conditions de travail (EECT), 2005, http://congres.afse.fr/docs/2010/985458congres_afse_proposition_chaupain-guillot.pdf, ainsi que de ceux de l'Insee, *Enquête sur l'emploi du temps 2009-2010*, http://www.insee.fr/fr/insee_regions/idf/themes/faits_et_chiffres/fc234/fc234.pdf.

l'état d'occupation du système de stationnement, (ii) les conditions du trafic sur le réseau et (iii) la structure du coût généralisé pour l'utilisateur. Précisons que ces résultats ont été obtenus avec 600 itérations.

8.4.1 Résultats du scénario tendanciel

Le scénario au fil de l'eau suppose que l'évolution du système de stationnement dans la cité Descartes élargie est tendancielle. Il suggère la poursuite de la stratégie de gestion actuelle. Ce scénario se caractérise par l'absence de tarification et de gestion des places sur voirie, et par l'application des normes minimales de provision de places privées liées aux logements et aux activités (emplois et commerces). Pour ce qui est des P + R, les capacités offertes seront maximales et l'utilisateur bénéficiera d'un service entièrement gratuit, sauf pour le lot de Noisy-le-Grand qui sera payant (1 euro l'heure). Précisons, enfin, que ce scénario ne propose aucune offre de parking public au sein du site d'étude.

8.4.1.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement

Après une analyse spatiale fine et désagrégée des lots, nous avons mis l'accent sur une analyse agrégée par type de lot afin d'évaluer l'occupation moyenne et le degré de pression.



Figure 8.7 : État d'occupation des lots de stationnement par type et localisation des zones de saturation (scénario tendanciel).

La figure 8.7 présente la distribution des probabilités de trouver une place et le volume de candidats au sein de chaque lot selon son type. Rappelons que cette probabilité renseigne sur l'état d'occupation du lot et sur son attractivité pour les usagers. Cette carte fait ressortir un fort déséquilibre local entre la demande et l'offre par type de place. On observe une forte pression sur l'offre publique. Les places sur voirie seront quasiment toutes occupées, avec des valeurs de probabilité variables selon les tronçons. La plus forte pression sera constatée au cœur du site (avec une probabilité inférieure à 0,3). La situation sera moins critique aux franges de la cité Descartes élargie, notamment au nord-est aux abords de la zone résidentielle, et au sud-est en limite du parc d'activités. Nous en concluons que la voirie sera dotée d'une très forte attractivité, ce qui s'explique par l'absence de réglementation et de tarification de cette offre.

L'occupation des P + R est maximale, avec une probabilité inférieure à 1, d'où une forte pression avec un volume de candidats largement supérieur à l'offre disponible, particulièrement pour les deux parkings gratuits de Champs-sur-Marne. Cela révèle l'insuffisance des capacités offertes. Il est clair que l'offre supplémentaire de 500 places ne permettra pas d'absorber la demande additionnelle impulsée par le projet du GPE. En conséquence, les navetteurs seront obligés de chercher des places sur la voirie qui représentera leur seule possibilité de report. Ces résultats montrent que la saturation de la voirie sera en partie imputable à la pénurie de l'offre publique en P + R.

Concernant les lots privés, on constate de fortes probabilités, égales ou proches de l'unité, sauf pour quelques destinations ponctuelles, notamment l'université de Marne-la-Vallée, l'école des Ponts et le bâtiment Bienvenüe, où la demande totale dépassera sensiblement l'offre. En particulier pour les lots de 2030, l'offre proposée dépassera largement les volumes de demande, d'où le constat de sous-occupation de ce type d'offre.

On remarque, enfin, que la principale poche de saturation de stationnement sera concentrée au sein du quartier mixte de la gare. Cela s'explique par la forte augmentation de la demande, attirée aussi bien par le bâtiment de la gare RER que par les activités et les commerces qui l'animeront en 2030. Ce quartier s'affirmera désormais comme un lieu de centralité majeure du site.

Tableau 8.4 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type (scénario de référence).

Type de lot	Capacité	Nombre de candidats	Places occupées*	Occupation moyenne (%)**	Degré de pression (%)***
Lots privés	10 955	4 299	3 218	29,37	39,25
Lots sur voirie	2 820	4 961	2 602	92,27	175,91
P + R	981	1 841	975	99,39	187,62
Total	14 756	11 101	6 795		

* Cet indicateur résulte de la multiplication de la probabilité de succès par le volume de candidats par lot.

** Cet indicateur correspond au ratio entre le nombre de places occupées et la capacité physique totale.

*** Cet indicateur correspond au rapport entre le volume total de candidats et la capacité physique totale.

L'analyse des résultats agrégés (tableau 8.4) confirme la situation de déséquilibre entre l'offre et la demande sur le site. Les niveaux moyens d'occupation et de pression par type d'offre sont très contrastés. L'offre publique sera la plus convoitée avec des volumes de candidats qui dépasseront d'une fois et demie le nombre de places offertes, et ce aussi bien pour la voirie que pour les P + R. Cela illustre la pénurie des places et le besoin d'une offre supplémentaire pour répondre à la demande. Par contre, pour les lots privés, plus des deux tiers des places resteront libres (61 %), ce qui confirme le constat de sous-occupation avancé précédemment. Ainsi, en termes d'occupation et d'usage des lots de stationnement, ce scénario tendanciel peut être qualifié de peu durable.

8.4.1.2 État du trafic sur le réseau

Pour ce premier scénario, le trafic total sur le réseau sera estimé à 11 391 véhicules-kilomètres, dont 12,4 % (1 411 véhicules-kilomètres) constitués de trafic de recherche de place. Cette part modérée constitue une moyenne pour l'ensemble des tronçons du réseau et ne permet pas d'apprécier objectivement l'importance de ce trafic.

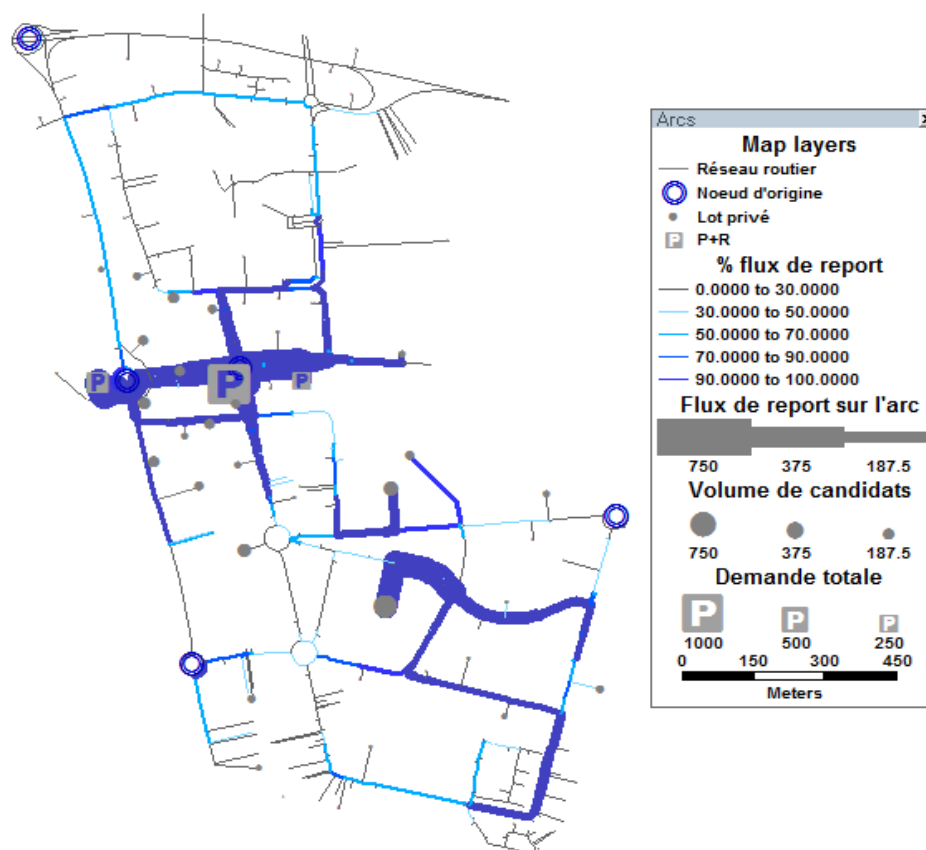


Figure 8.8 : Localisation du flux de recherche sur le réseau (scénario tendanciel).

La figure 8.8 présente la distribution spatiale et les proportions du trafic de report de places sur le réseau routier. Elle fait ressortir une répartition étalée des flux avec, néanmoins, une intensité variable selon l'arc et le secteur spatial. Nous pouvons ainsi

identifier deux principales zones où ce flux sera important et dépassera les 90 % du trafic total. D’abord, au centre du site – précisément autour de la gare RER – avec des boucles qui se feront entre les P + R et les places sur voirie, puis, au sud-est du site, dans les environs des établissements universitaires. Sur le reste de la cité Descartes, les volumes de flux de recherche seront très faibles.

Pour évaluer l’impact du stationnement sur l’environnement, nous avons opté pour un seul indicateur, la quantité de CO₂ émis pendant la période de simulation, qui est calculée en multipliant les volumes de trafic par des facteurs d’émission variables selon la vitesse sur l’arc. Pour ce premier scénario, l’émission totale de CO₂ est évaluée à 1,79 tonne, dont 13,3 % rattachée au trafic de report.

8.4.1.3 Structure du coût pour l’usager

La figure 8.9 donne un aperçu de la composition du coût généralisé de déplacement par segment de demande. On observe que, quel que soit le motif de déplacement, les coûts de stationnement constitueront la part la plus importante du coût généralisé. Les temps moyens de marche varieront entre 2 et 4 minutes, et seront assez comparables par segment. En revanche, les temps moyens de recherche seront très différents. Ce sont les navetteurs, et ensuite les étudiants, qui subiront les temps de report les plus importants, avec respectivement 3,82 et 2,76 minutes. Ce sont aussi ces deux classes d’usagers qui subiront les coûts généralisés les plus élevés, avec environ 8 minutes pour les premiers et 5 minutes pour les seconds. Cela s’explique par l’insuffisance de l’offre de places qui leur sont allouées. Nous remarquons, enfin, que les pendulaires et les visiteurs bénéficieront de coûts de stationnement et de report faibles, du fait qu’ils auront accès à des places privées réservées. Ce scénario tendanciel ne semble pas jouer en faveur de l’intermodalité car il ne permettra pas de favoriser les navetteurs, qui subiront le plus les conséquences de l’absence de réglementation et de gestion de l’offre publique.

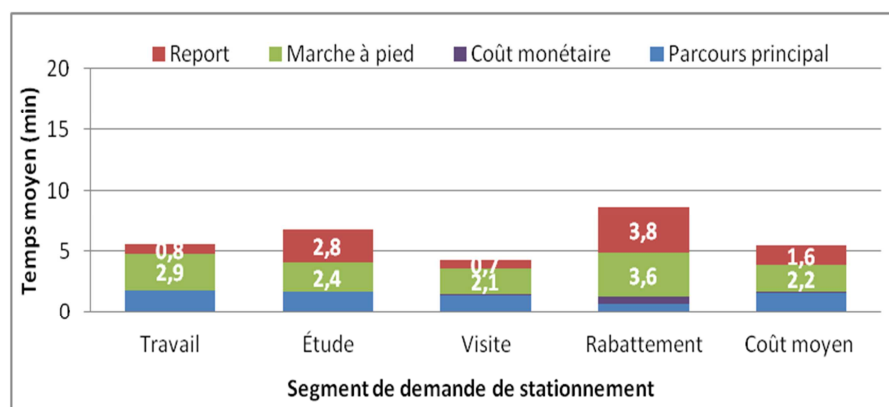


Figure 8.9 : Composition du coût généralisé de déplacement par segment de demande (scénario tendanciel).

La distribution des temps de recherche de place par type d'offre est présentée dans la figure 8.10. Elle met en évidence la forte pression de la demande sur l'offre publique. Pour les P + R, le temps moyen de recherche sera estimé à plus de 3 minutes et pourra même aller au-delà de 5 minutes. Pour la voirie, moins de 30 % des usagers trouveront une place en moins d'1 minute. Pour les autres, la recherche pourra s'étaler de 1 à 7 minutes. Enfin, pour les lots privés, 15 % des usagers environ se gareront immédiatement, et presque la moitié trouvera une place après 1 minute de recherche. Cette répartition illustre les effets de l'absence de gestion de l'offre sur la recherche d'une place de stationnement.

Pour la distribution des distances de marche (figure 8.11), on constate une répartition homogène entre les places privées et la voirie. Dans environ 33 % des cas, cette distance ne dépassera pas les 100 mètres. En revanche, les P + R seront situés plus loin des lieux de destination, d'où des distances terminales plus importantes. À la lumière de ces résultats, nous pouvons conclure que le type de lot n'influence pas fortement la répartition des distances terminales vers les lieux de destination.

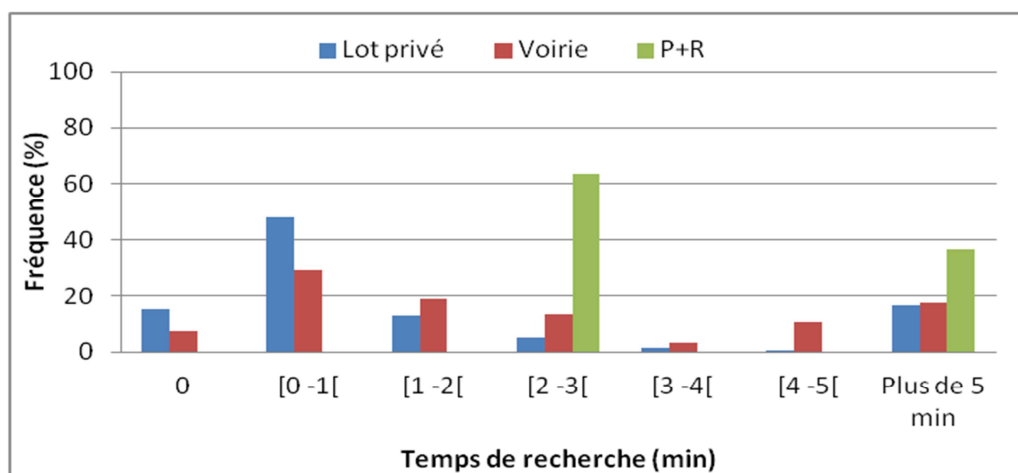


Figure 8.10 : Distribution du temps de recherche par type d'offre (scénario tendanciel).

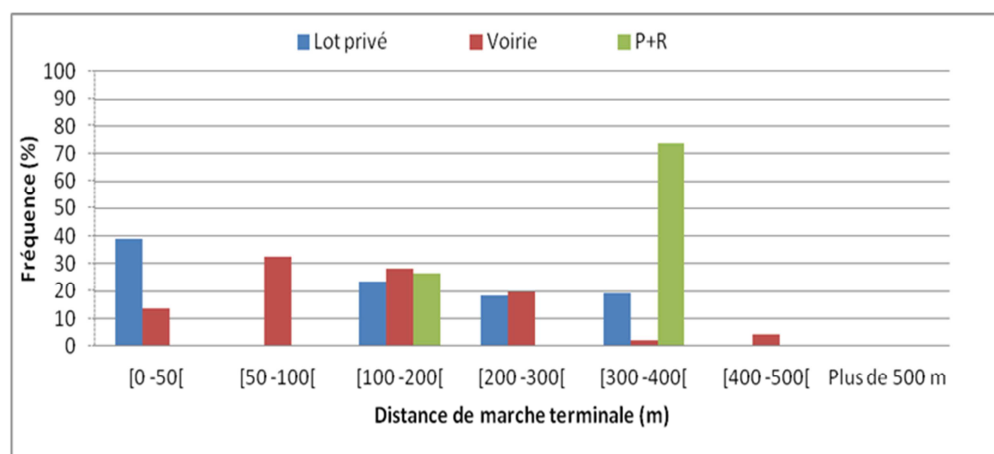


Figure 8.11 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre (scénario tendanciel).

En résumé, le scénario tendanciel fournit une image plus dégagée et plus critique que la situation de référence de 2010. Il conduit aux mêmes constats de saturation de l'offre publique contre une sous-occupation des lots privés, de concentration du trafic de recherche aux abords de la gare et au sud du site, et à des coûts de stationnement et de recherche très contrastés selon la catégorie de demande. Évidemment, ce scénario ne répond pas aux objectifs de stationnement en 2030. En termes d'aide à la décision, il sert à éviter le pire, à mettre en avant les enjeux futurs et à réfléchir à une nouvelle orientation de politique de stationnement sur le site d'étude.

8.4.2 Résultats du scénario intermédiaire

Le scénario intermédiaire correspond à l'hypothèse que la gestion de l'offre publique (sur voirie et en P + R) suffira pour résoudre les problèmes locaux de stationnement. En optant pour la gestion par les tarifs et par les capacités, ce scénario suggère le recours à deux principales mesures. Il s'agit d'une part, de rendre payantes les places sur voirie avec un tarif dissuasif de 1 euro l'heure, et celles en P + R avec un tarif moins important de 0,50 euro l'heure pour les lots de Champs-sur-Marne, et d'autre part, d'augmenter les capacités en construisant deux parkings publics de 350 places chacun. Ce scénario propose de limiter le nombre de places privées liées aux emplois et de le ramener à 1 place pour 60 mètres carrés de SHON.

8.4.2.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement

La figure 8.12 explicite les probabilités de succès et les volumes de candidats par lot. Elle met en exergue une répartition homogène de l'occupation de la voirie avec des valeurs de probabilité proches ou égales de l'unité. Comme attendu, la tarification de ces places permettra de réduire sensiblement la pression de la demande. Cela est aussi valable pour les P + R (probabilité inférieure à 0,9) avec néanmoins des écarts significatifs en termes de nombre de candidats. La proximité du parking central de la gare explique sa forte attractivité, surtout dans l'hypothèse d'un tarif unique pour ce type d'offre.

On remarque, par ailleurs, que les deux parkings publics proposés au cours de ce scénario se distinguent par des volumes de demande significatifs (environ 200 véhicules), en particulier pour le parking du Rû-de-Nesles, mais ils seront moins compétitifs que les P + R car plus chers. Cela montre le potentiel de ce type d'offre sur le site mais soulève la question d'une tarification appropriée.

Enfin, pour les lots privés, la répartition de l'occupation n'est pas uniforme. On observe une forte pression sur les lots déjà existants mais aussi sur les parkings futurs, situés au nord du site, et qui semblent être fortement congestionnés avec des probabilités inférieures à 0,7. Les lots du quartier gare se distinguent quant à eux par des probabilités égales à 1, d'où un remplissage partiel. Ces résultats montrent que les nouvelles normes de provision des places pour les employés répondent convenablement aux besoins de la demande, d'où l'intérêt de leur mise en place.

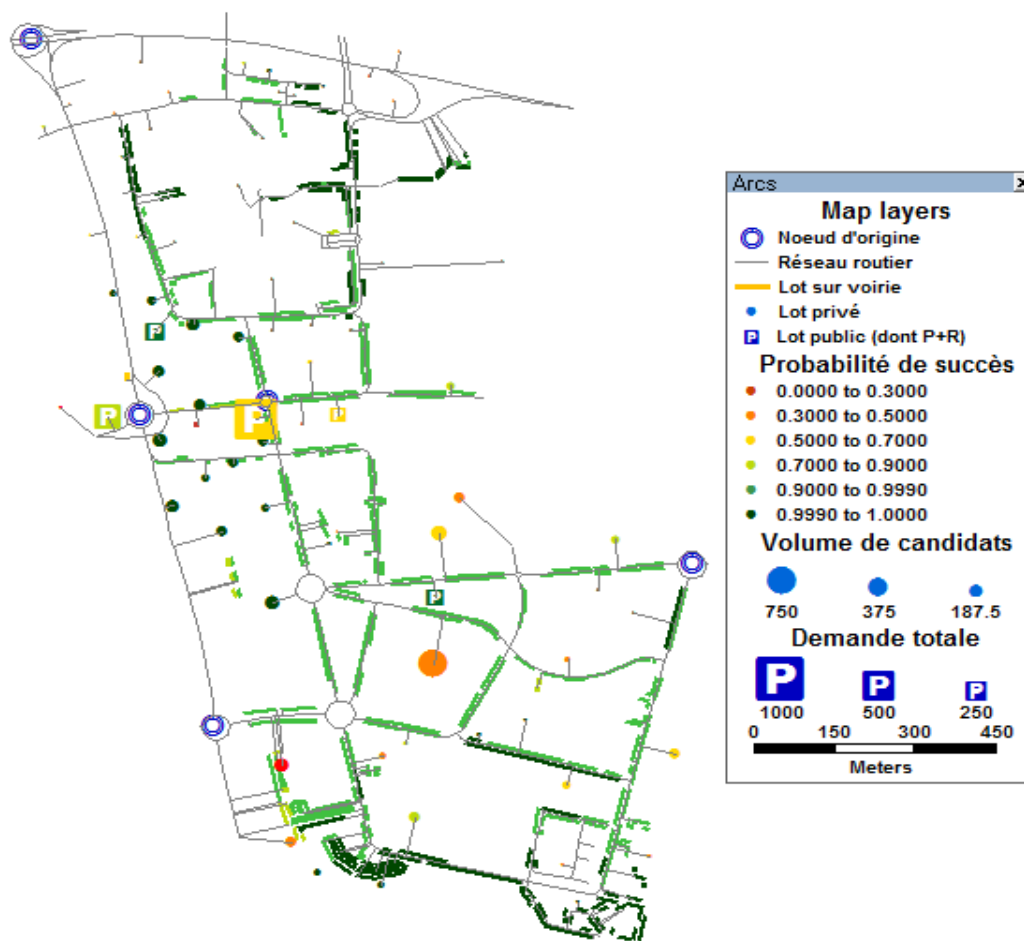


Figure 8.12 : État d'occupation des lots de stationnement par type et localisation des zones de saturation (scénario intermédiaire).

Tableau 8.5 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type (scénario intermédiaire).

Type de lot	Capacité	Nombre de candidats	Places occupées*	Occupation moyenne (%)**	Degré de pression (%)***
Lots privés	5 863	4 935	3 764	64,20	84,17
Lots sur voirie	2 820	1 882	1 651	58,55	66,72
P + R	981	1 346	978	99,69	137,20
Lots publics	630	402	402	63,76	63,81
Total	10 294	8 565	6 795		

* Cet indicateur résulte de la multiplication de la probabilité de succès par le volume de candidats par lot.

** Cet indicateur correspond au ratio entre le nombre de places occupées et la capacité physique totale.

*** Cet indicateur correspond au rapport entre le volume total de candidats et la capacité physique totale.

Pour compléter cette représentation spatiale de l'usage des lots, le tableau 8.5 dresse un profil de la situation par type d'offre. Il révèle une répartition homogène des véhicules entre les lots et une occupation proportionnelle aux quantités de places offertes. Les lots P + R se démarquent par une forte attractivité (occupation supérieure à 99 %) et ce, en raison de leur faible tarification. Les parkings privés

subiront une pression importante, pour autant leur occupation ne dépassera pas les deux tiers de la capacité totale. Enfin, d'importantes réserves de capacité resteront disponibles sur voirie pour les usagers qui viendront sur le site après 9 heures du matin. Au-delà de ces interprétations, ces résultats montrent la forte interdépendance entre les différents types d'offre de stationnement à l'échelle locale.

Il est intéressant de souligner, pour finir, que ce scénario permet, grâce à la restriction du nombre de places privées liées à l'emploi, d'éviter de construire 3 920²²⁰ places supplémentaires, soit 37 % de l'espace consacré à ce type d'offre au cours du scénario tendanciel. Nous pouvons à présent passer à l'analyse du trafic sur le réseau.

8.4.2.2 État du trafic sur le réseau

Selon ce scénario, pendant la période de simulation et pour un jour ouvrable de 2030, le flux du trafic sur le réseau sera estimé à 11 754 véhicules-kilomètres. Le trafic de recherche sur le réseau sera de l'ordre de 6 % du total, soit 711 véhicules-kilomètres.

La figure 8.13 présente la répartition et l'importance du trafic de report sur le réseau routier. Elle montre des situations différentes et très contrastées localement. Nous pouvons observer que les plus importants parcours de recherche de place se feront aux franges du parking de l'université de Marne-la-Vallée et de ceux des établissements universitaires voisins. Ils seront, dans une moindre mesure, rattachés à la saturation des lots privés au centre est et au sud de la cité Descartes. Ces lots, même avec un important volume de candidats, resteront compétitifs car gratuits pour les étudiants et les employés qui y auront accès.

Comme attendu, nous remarquons l'existence d'un circuitage de report le long du boulevard Newton, entre les différents P + R et le parking du gymnase, qui est considéré comme gratuit et accessible à tous les usagers. Ces flux sont estimés à 25 % du trafic total de recherche pour ce scénario. Nous constatons que ces volumes de flux seront donc induits par la congestion de ces lots qui, par leurs tarifs bas, inciteront les usagers à y faire une recherche de stationnement.

²²⁰ En considérant une surface moyenne de place de 25 mètres carrés intégrant l'espace consacré au stockage du véhicule et celui consacré aux voies de circulation et d'accès.

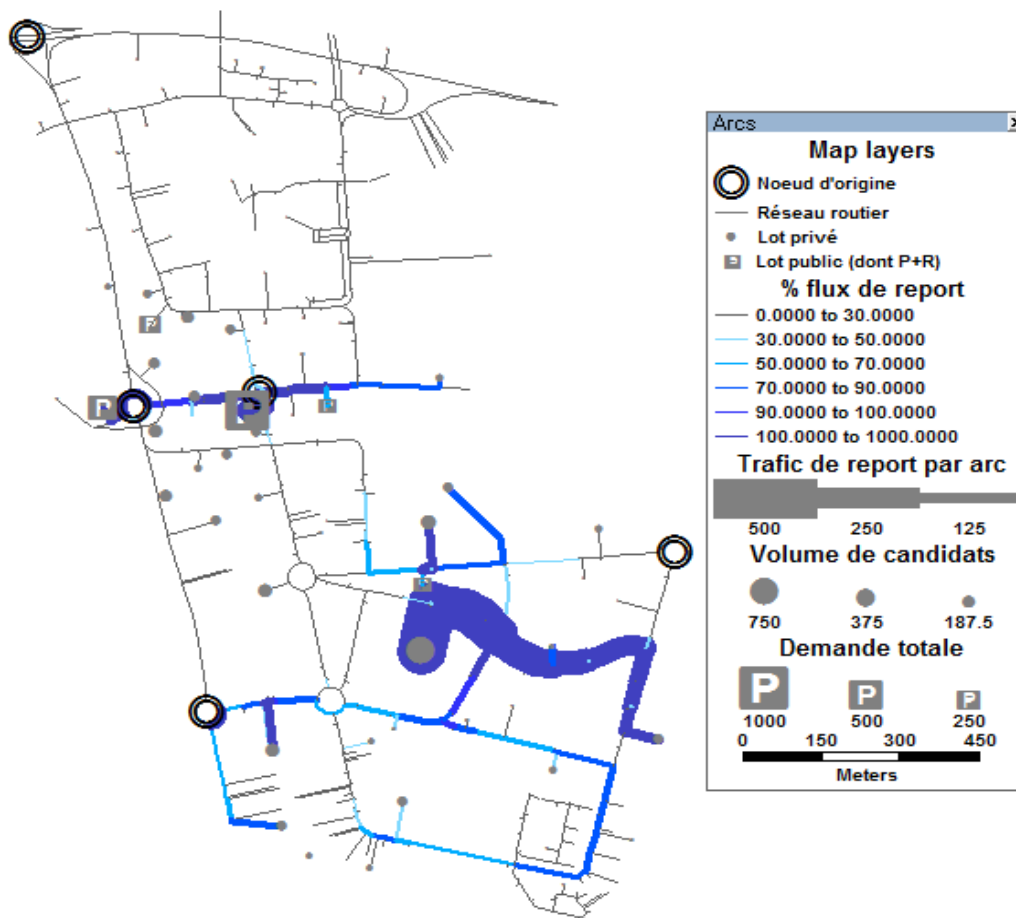


Figure 8.13 : Localisation du flux de recherche sur le réseau (scénario intermédiaire).

La quantité totale de CO₂ émis par les véhicules en circulation sera évaluée à 1,89 tonne dont 6,5 % imputée au trafic de report. En comparaison avec l'hypothèse tendancielle, ce scénario permet d'améliorer nettement le niveau des émissions et de le réduire de 48 % pour les flux de transition. Par contre, pour le parcours principal, on observe une légère hausse de 5 %.

8.4.2.3 Structure du coût pour l'utilisateur

La figure 8.14 illustre la structure du coût généralisé de déplacement par classe d'utilisateur. Elle met en avant des différences significatives en termes de coût de stationnement, fortement impacté par le prix payé. Nous voyons que les navetteurs subiront les coûts les plus élevés : ils paieront plus que le double du prix moyen (10 minutes coûteront environ 2 euros) mais auront aussi des coûts de marche deux fois plus importants que les autres usagers. Ces résultats, surprenants à première vue, s'expliquent par la taille réduite des ensembles de choix de lot pour ces usagers et par la contrainte d'utiliser un parking payant. Pour les autres usagers, les prix monétaires acquittés ne dépasseront pas 1 euro et les temps de marche terminale seront variables

– entre 2 et 4 minutes. Nous constatons que la demande de rabattement sera le segment le plus impacté par la tarification de l'offre.

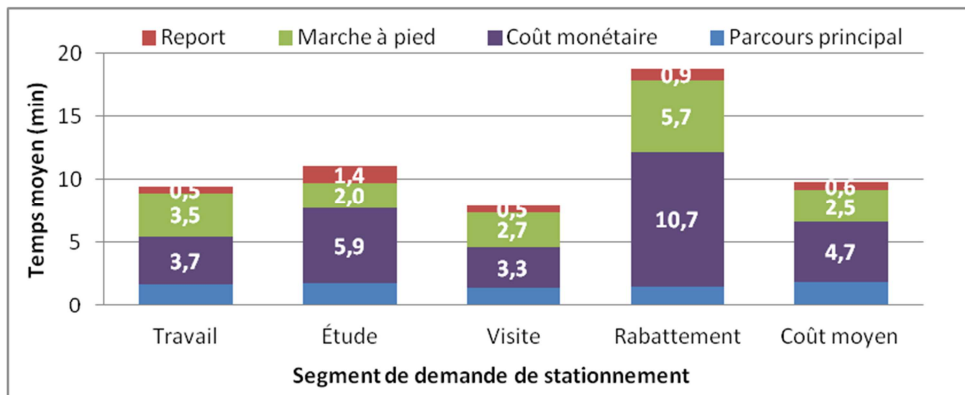


Figure 8.14 : Composition du coût généralisé de déplacement par segment de demande (scénario intermédiaire).

La figure 8.14 montre également des temps de report réduits et inférieurs à 1 minute, sauf pour les étudiants qui essaieront probablement de tester plusieurs lots privés afin d'éviter l'usage d'une place payante. En conclusion, la gestion de l'offre publique proposée dans ce deuxième scénario permettra de limiter le phénomène de recherche de places et son coût pour l'utilisateur, mais aura dans les faits des conséquences économiques pour les usagers qui devront payer le service consommé.

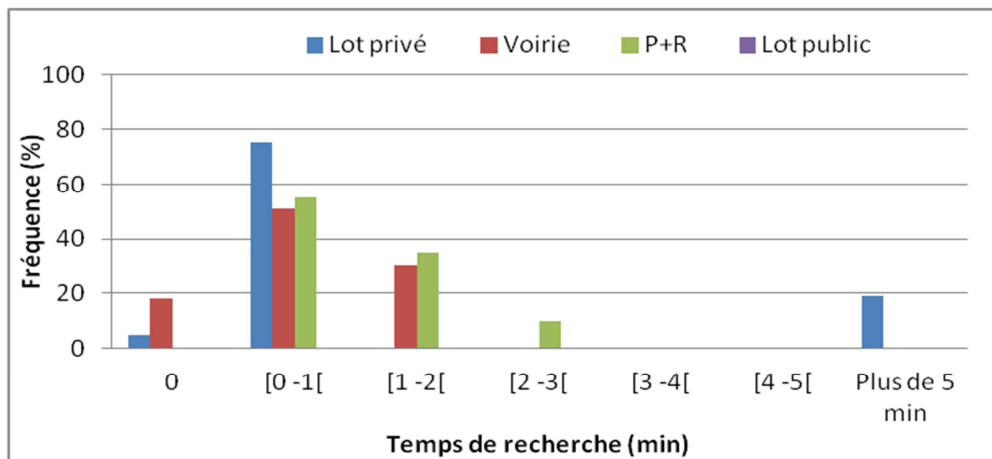


Figure 8.15 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre (scénario intermédiaire).

La figure 8.15 présente la répartition des temps de recherche de place par type d'offre et confirme le constat de faible coût de report sur le réseau établi plus haut. Pour un usager donné, le choix d'une place sur voirie ou en P + R impliquera un coût moyen de recherche minimale, inférieur à 2 minutes dans le premier cas et à 3 minutes dans le second, tandis que pour les parkings privés, ce temps ne dépassera souvent pas 1 minute, sauf pour certains lots saturés où il pourra atteindre 6 minutes. Ces résultats rejoignent les observations faites précédemment.

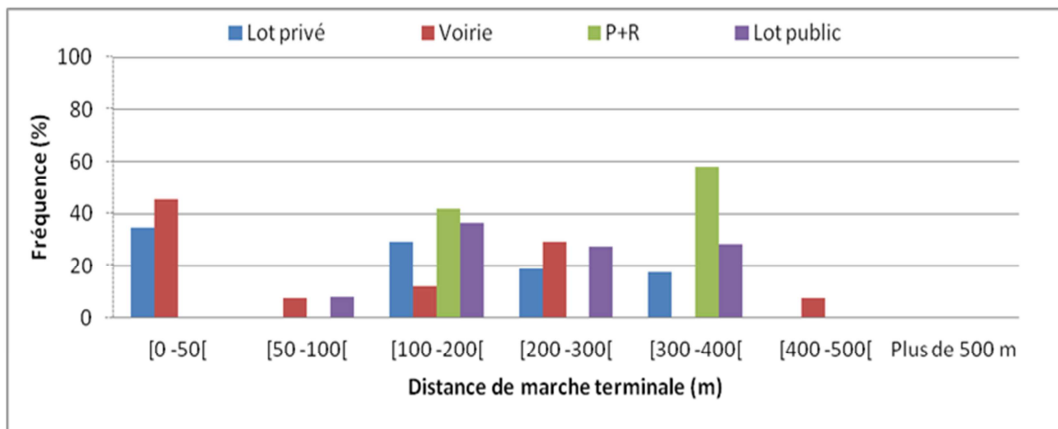


Figure 8.16 : Distribution du temps de recherche par type d'offre (scénario intermédiaire).

Pour la distribution des distances de marche terminale (figure 8.16), on observe une grande variabilité selon le type d'offre. La voirie ainsi que les lots privés se démarquent par des coûts faibles. Pour les P + R et les lots publics qui offrent un service payant, les distances moyennes seront plus importantes. Ces résultats ne s'opposent pas complètement à l'hypothèse de substituabilité entre les coûts de stationnement et montrent une absence de corrélation entre la distance parcourue à pied et le coût monétaire de stationnement pour les captifs de ces lots, qui vont agir sous l'effet de la contrainte de capacité de l'offre disponible.

En conclusion, ce scénario intermédiaire permettra d'optimiser l'occupation des parkings et de limiter le report sur le réseau. En termes économiques, l'internalisation des coûts externes deviendra la règle mais de façon inéquitable entre les usagers. En effet, ce scénario ne joue pas en faveur des navetteurs qui seront les plus pénalisés en payant entièrement leur stationnement. Pour autant, il constitue une solution alternative probable pour l'organisation du stationnement en 2030.

8.4.3 Résultats du scénario de rupture

Ce troisième scénario est explicitement construit pour marquer une rupture avec les tendances passées. Il est fondé sur l'idée qu'agir sur l'offre publique est insuffisant et qu'il faut, entre autres, maîtriser et restreindre l'offre privée. D'un côté, il propose de réduire la consommation de l'espace par le stationnement en adoptant des normes de places limitées pour les logements et les emplois, et en mutualisant les lots pour ces deux fonctions urbaines. De l'autre, il implique de supprimer 100 places sur voirie aux abords immédiats du pôle gare pour revaloriser l'espace public, et aussi de construire deux nouveaux lots publics et de mettre en œuvre un tarif unique pour l'ensemble des places publiques indépendamment de leur type.

8.4.3.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement

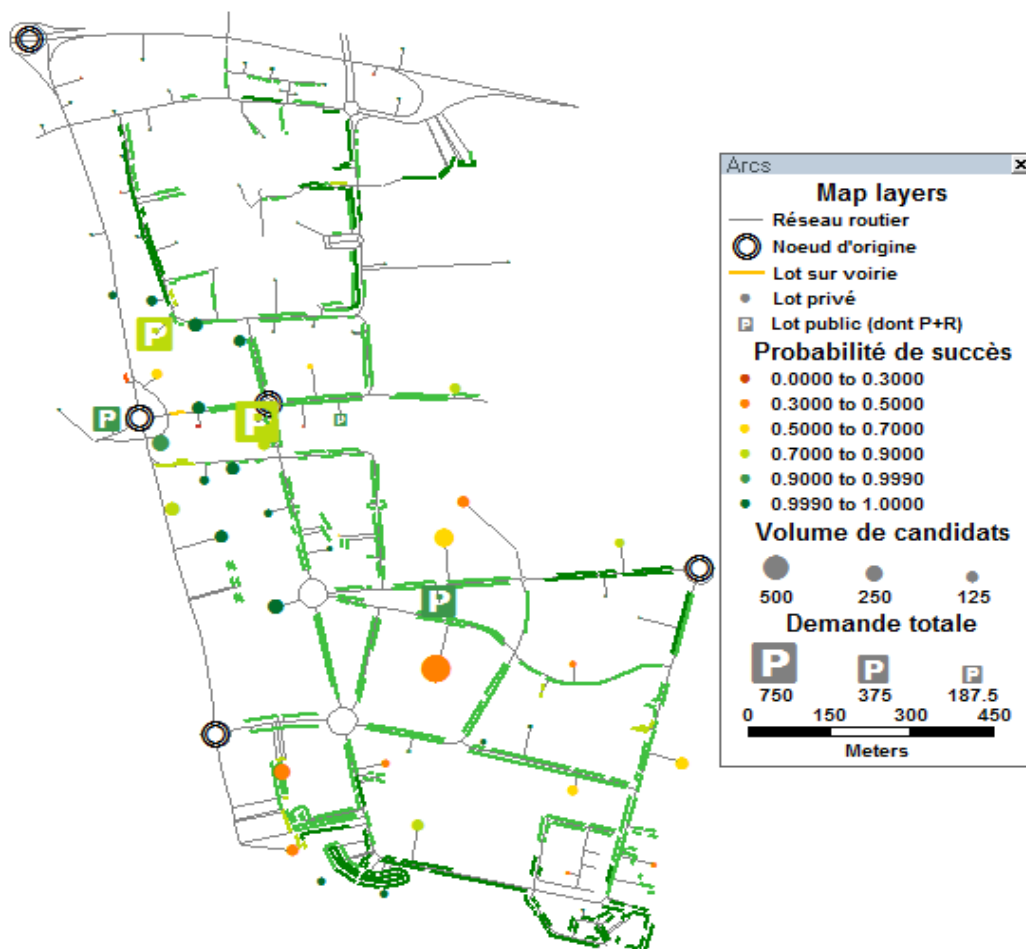


Figure 8.17 : État d'occupation des lots de stationnement par type (scénario de rupture).

La figure 8.17 caractérise les probabilités de trouver une place et l'intensité de la demande de stationnement de façon spatialisée et désagrégée par lot. Elle fait apparaître un fort contraste d'occupation des places. La voirie sera distinguée par des valeurs de probabilité supérieures à 0,9 pour la majorité des tronçons, ce qui signifie que la demande exercera peu de pression. La figure fait même ressortir des places libres situées principalement au nord et au sud du site. Cela s'explique par leur tarification, mais aussi par leur situation géographique, puisqu'elles sont éloignées du centre où seront situées les principales offres de commerces et de services du site. Mentionnons, par ailleurs, que les plus faibles probabilités sont observées au voisinage des établissements universitaires.

La situation sera moins vertueuse pour les lots privés. On observe une saturation et une importante congestion pour la quasi-totalité des lots déjà en place avant le projet du GPE. Ces lots se distinguent par un nombre de candidats qui excédera généralement une à deux fois leur capacité totale. Pour les futurs lots du Rû-de-Nesles, de la RD 199 et du quartier de la gare, les valeurs de probabilité seront égales à 1 dans

la quasi-majorité des cas. Dans les faits, la demande par lot sera supérieure à la quantité de places liées aux emplois, mais grâce à la mutualisation avec les places liées aux logements par bâtiment, peu de congestion de stationnement sera observée. Les plus importantes masses de candidats de stationnement seront observées au sein du quartier de la gare, qui accueillera la part la plus importante des futures activités économiques du site.

Pour les P + R, on remarque que même avec un tarif identique à celui de la voirie, ces lots exerceront une forte attractivité pour les usagers. C'est le lot le plus proche de la gare qui sera évidemment le plus convoité, d'où sa saturation. Avec des probabilités inférieures à l'unité, ces résultats montrent clairement le manque de places de stationnement pour les navetteurs. Cette situation explique en partie la forte occupation des deux parkings publics proposés. On constate que ces lots sont aussi attractifs que les P + R, d'où leur intérêt pour les usagers.

Tableau 8.6 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type (scénario de rupture).

Type de lot	Capacité	Nombre de candidats	Places occupées*	Occupation moyenne (%)**	Degré de pression (%)***
Lots privés	4 292	4 704	3 506	81,69	109,60
Lots sur voirie	2 750	1 827	1 491	54,20	66,44
P + R	981	1 125	912	92,92	114,68
Lots publics	900	1 018	887	98,57	127,64
Total	8 923	8 805	6 795	76	

* Cet indicateur résulte de la multiplication de la probabilité de succès par le volume de candidats par lot.

** Cet indicateur correspond au ratio entre le nombre de places occupées et la capacité physique totale.

*** Cet indicateur correspond au rapport entre le volume total de candidats et la capacité physique totale.

Les résultats agrégés de l'usage des places de stationnement concordent avec les résultats de la figure précédente. Le tableau 8.6 montre une forte occupation des P + R et des parkings publics contre un remplissage partiel de la voirie et des lots privés. On constate qu'une tarification unique de l'offre publique donnera lieu à une répartition homogène de la demande entre les lots, que ce soit en termes d'occupation moyenne ou de pression. Ainsi, les parkings publics gagneront en attractivité au détriment de la voirie. Ces lots se présentent comme une option alternative très intéressante car ils permettront d'élargir l'ensemble des choix des usagers captifs. Ils contribueront ainsi à absorber environ 10 % de la demande totale de stationnement. Ce résultat s'explique entre autres par la pénurie des places pour la demande de rabattement et pour les étudiants, et la limitation de l'offre privée pour les employés.

Enfin, le recours à la mutualisation des places aura un effet significatif sur l'occupation des lots privés, qui passera de 29 % pour le scénario tendanciel à 81 % avec ce scénario. Cela se justifie par le fait que les places resteront rattachées et réservées aux employés et aux résidents d'un seul bâtiment, ce qui exclut les autres usagers.

8.4.3.2 État du trafic sur le réseau

Pour ce scénario de rupture, le trafic total sur le réseau est de l'ordre de 11 669 véhicules-kilomètres, avec 5,47 % du trafic résultant des parcours de recherche de stationnement (638 véhicules-kilomètres).

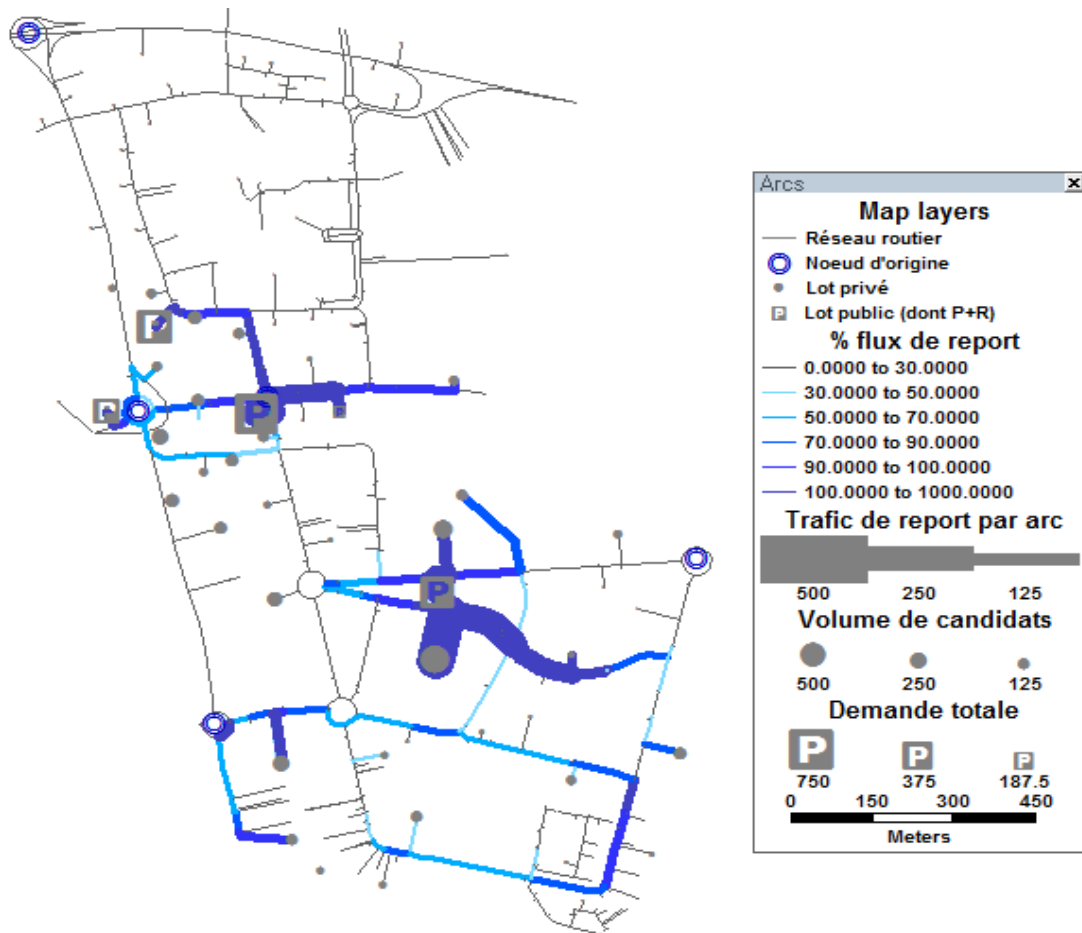


Figure 8.18 : Localisation du flux de recherche sur le réseau (scénario de rupture).

La carte ci-dessus (figure 8.18) montre la répartition spatiale et l'intensité du trafic de transfert sur le réseau. Elle fait ressortir trois principales zones de circuitage. La première sera située au centre du site autour du pôle de la gare. Elle sera associée à la saturation des P + R et du parking du gymnase supposé gratuit et accessible au public. Un important flux de report sera dirigé vers le parking public du Rû-de-Nesles qui servira de principal lot de transition pour la demande excédentaire de rabattement. Nous constatons en outre que, de par leur faible capacité, les lots privés de ce secteur ne donneront pas lieu à des flux importants de recherche. La deuxième zone sera située autour de l'université de Marne-la-Vallée et des établissements académiques voisins. Elle s'explique par le manque de places privées pour les étudiants, qui essaieront de fuir les places payantes. Enfin, la troisième zone de report sera située au

sud du site, elle encadrera d'est en ouest le parc d'activités. Ces flux s'expliquent par la saturation des lots privés des entreprises qui sera induite par la tarification de la voirie.

En termes d'émission de polluants, la quantité totale de CO₂ sera de l'ordre de 1,87 tonne. La circulation de recherche de stationnement engendrera à elle seule 5,8 % des émissions totales. Cette part est inférieure de 7,5 points par rapport au scénario tendanciel. En termes de quantité, les émissions de recherche baisseront de 47,2 grammes, soit de plus de la moitié, d'où l'intérêt du scénario de rupture pour l'environnement.

8.4.3.3 Structure du coût pour l'utilisateur

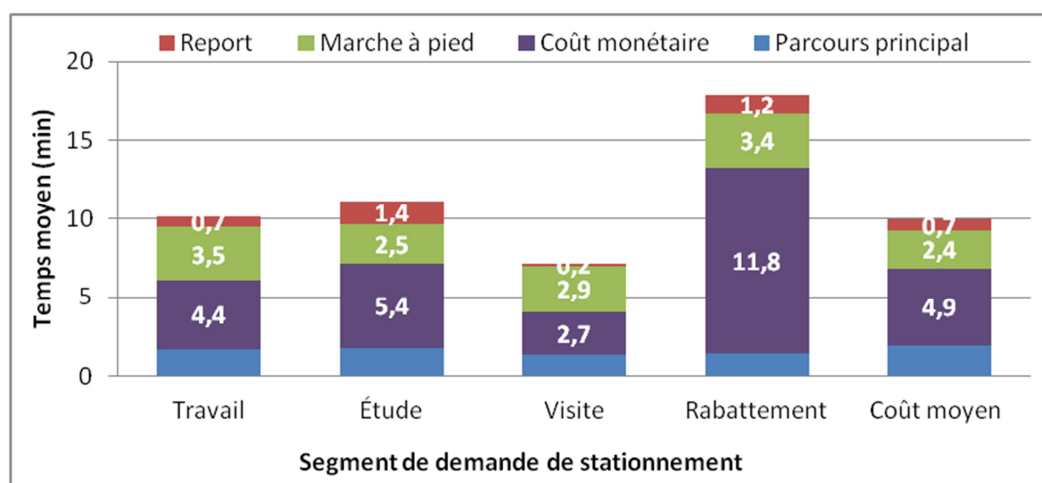


Figure 8.19 : Composition du coût généralisé de déplacement par segment de demande (scénario de rupture).

La figure 8.19 montre le coût généralisé subi par l'utilisateur en le décomposant par type. Elle révèle une structure de coût disparate selon la catégorie d'utilisateurs. Nous remarquons que la demande de rabattement subit le coût le plus élevé (18 minutes), tandis que les étudiants arrivent en deuxième position avec 11 minutes. Pour les employés et les visiteurs, le coût total sera proche du coût moyen, et égal respectivement à 10 et 7 minutes. Nous observons aussi que, quel que soit le motif, le coût monétaire représentera la part la plus considérable du coût généralisé perçu par l'utilisateur. Pour les navetteurs, le prix acquitté représentera 65 % du total. Cela est lié au fait que leur ensemble de choix de lot n'est composé que de places payantes. Les temps moyens de recherche prendront une valeur maximale de 1 minute et 26 secondes, qui sera enregistrée chez les étudiants en raison de leur possibilité d'utiliser plusieurs lots privés gratuits. Ces coûts seront supérieurs à 1 minute pour les navetteurs qui essaieront manifestement d'utiliser les P + R de la cité Descartes car plus près de la gare. En ce qui concerne les temps de marche, ils seront assez comparables pour tous les utilisateurs, avec une moyenne de 2 minutes et 23 secondes. Retenons qu'en termes de coût, ce scénario de rupture joue en faveur des visiteurs qui présenteront aussi les plus faibles temps de report.

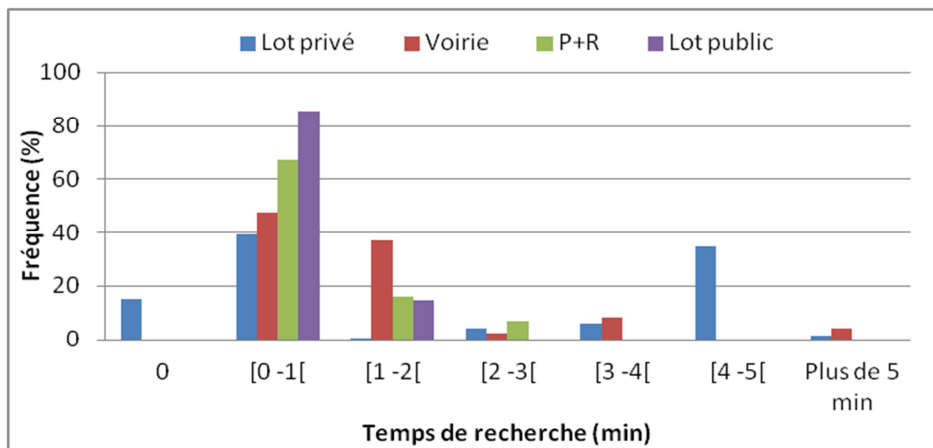


Figure 8.20 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre (scénario de rupture).

La répartition des temps de recherche (figure 8.20) met en évidence une répartition différente selon le type de lot. Les parkings privés se démarqueront par des temps plus considérables pouvant atteindre 5 minutes (37 % des cas). Cela s'explique par la saturation constatée au sein de quelques lots. Pour environ 80 % des places sur voirie et autant de places en P + R, le temps de transition sera inférieur à 2 minutes. Enfin, ce sont les parkings publics qui enregistreront les plus faibles coûts de report (moins d'1 minute dans 83 % des cas).

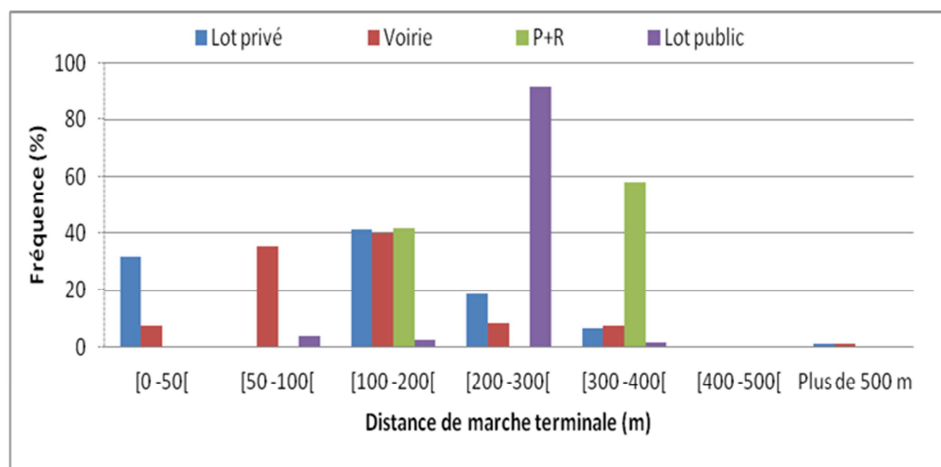


Figure 8.21 : Distribution du temps de recherche par type d'offre (scénario de rupture).

La figure 8.21 illustre la distribution des distances terminales par type de lot. Elle fait apparaître des distances plus faibles pour la voirie et les lots privés qui seront situés, dans plus de 75 % des cas, dans un rayon maximal de 200 mètres du lieu de destination finale. Cela s'explique par leur distribution spatiale dispersée. Les P + R et les parkings publics se distingueront par des distances nettement supérieures mais qui restent raisonnables pour les captifs de ces lots.

En résumé, ce troisième scénario offre une image possible et souhaitable du système de stationnement en 2030. Il favorise une répartition homogène de l'occupation des lots, réduisant ainsi sensiblement les degrés de pression et le trafic de transition sur le réseau. Pour les usagers, il se traduit par un accroissement substantiel des coûts monétaires de stationnement, particulièrement pour les navetteurs et les étudiants qui seront les plus impactés. Même si sa concrétisation se heurte à de multiples contraintes, ce scénario illustre une politique de stationnement dissuasive qui vise à limiter la consommation de l'espace et les effets négatifs de l'automobile en ville.

8.4.4 Discussion des résultats

Les scénarios étudiés reflètent différentes visions de l'avenir et rappellent les incertitudes qui entourent l'évolution potentielle du système de stationnement de la cité Descartes. Ils permettent une mise en scène des enjeux de planification et des questions stratégiques d'organisation du stationnement et de ses perspectives de développement. Ces scénarios se limitent à fournir des ordres de grandeur et à orienter les choix décisionnels des acteurs, mais ils ne constituent en aucun cas des prévisions.

Tableau 8.7 : Indicateurs d'évaluation du fonctionnement du système de stationnement par scénario.

Thème	Indicateurs	Scénario A	Scénario B	Scénario C
État d'occupation des lots de stationnement	Occupation moyenne de la voirie	92,27 %	58,55 % ↓	54,23 % ↓
	Occupation moyenne des P + R	99,39 %	90,69 %	92,92 %
	Occupation moyenne des lots publics	-	63,67	98,57
	Occupation moyenne des lots privés	29,37 %	64,20 % ↑	81,69 % ↑
État du trafic sur le réseau	Volume total de trafic (véh.km)	11 391	11 754	11 669
	Volume du flux de recherche (véh.km)	1 411	712 ↓	638 ↓
	Part du trafic de recherche	12,4 %	6,05 %	5,47 %
	Emissions totales de CO ₂ (tonnes)	1,79	1,89	1,87
	Emissions de CO ₂ lié au circuitage	13,3 %	6,5 %	5,8 %
Structure des coûts pour l'utilisateur (moyenne)	Temps de parcours principal (min)	1,58	1,9	1,9
	Temps de recherche (min)	1,64	0,64 ↓	0,74 ↓
	Temps de marche (min)	2,17	2,35	2,39
	Tarif payé (€)	0,07	4,68	4,49
	Coût moyen (min)	5.5	9.6 ↑	9.9 ↑

Le tableau 8.7 fournit un récapitulatif des principaux résultats et permet de comparer les effets de chaque scénario selon trois familles d'indicateurs. Son analyse fait apparaître quelques points de convergence. On constate d'abord une forte occupation des P + R, ce qui illustre la pénurie de l'offre de places pour la demande de

rabattement. En clair, les 500 places supplémentaires proposées ne seront pas suffisantes pour répondre à l'accroissement de la demande prévu pour 2030. On observe, ensuite, que le volume total de trafic sur le réseau reste plus ou moins stable, et que le volume de trafic de recherche varie d'un scénario à l'autre. On remarque, enfin, que les coûts de marche terminale seront peu variables d'un scénario à un autre. En fait, sous l'effet de la contrainte de capacité, ce sont les coûts de recherche et les coûts monétaires qui seront manifestement les plus affectés par les mesures testées.

Le scénario au fil de l'eau (scénario A) est fondé sur l'absence d'action et la poursuite des tendances actuelles. Sans surprise, il présente les résultats les plus critiques avec une saturation de l'offre publique, les flux de circuitage de stationnement les plus élevés et, en conséquence, un important temps de report subi par l'utilisateur. De toute évidence, une absence de gestion de l'offre aura de lourdes conséquences en 2030 sur la qualité du système et son usage futur. En termes de planification, la sous-occupation des lots privés montre que les normes minimales qui caractérisent ce scénario seront inappropriées et ne permettent pas d'optimiser la consommation de l'espace foncier. Ce premier scénario est non soutenable, il est donc à rejeter. En revanche, sa simulation permet aux décideurs publics de prendre conscience des enjeux éventuels du stationnement futur dans la cité Descartes élargie et les incite à se mobiliser pour changer de stratégie d'action.

Le scénario intermédiaire (scénario B) incarne une volonté de changement. Les mesures testées permettront d'améliorer nettement la situation et d'aboutir à une baisse substantielle de l'occupation de la voirie (de 36 %) et des flux de transition (de 49 %) par rapport au scénario au fil de l'eau, et ce sous l'effet de la tarification de ces places. La limitation de la provision des places privées liées aux emplois à 1 place pour 60 mètres carrés de SHON permettra d'augmenter considérablement l'occupation de ces lots (de 118 %). L'introduction d'une offre publique supplémentaire (sous forme de deux lots publics) permettra d'amortir en partie la saturation et de préserver une certaine capacité d'accueil en fin de période de simulation. Ce scénario représente un avenir probable du système futur de stationnement.

Le scénario de rupture est porteur de changements importants. Il se présente comme le plus ambitieux pour rejoindre les objectifs de développement durable en termes d'usage et d'effets du stationnement automobile sur le cadre urbain. En fait, il aboutira à des résultats assez proches de ceux du scénario intermédiaire, avec une répartition plus homogène des volumes de demande entre les lots et une moindre allocation de l'espace pour le stationnement. Notons tout de même que la mutualisation de places privées liées aux logements et aux emplois, telle que testée, aura un effet remarquable sur l'occupation de ces lots par rapport au scénario intermédiaire. Son intérêt est ainsi confirmé pour les unités de sol mixtes. Ce scénario représente une image possible et souhaitable du futur. Sa mise en place se heurte, néanmoins, à de nombreuses contraintes, telles que l'acceptabilité sociale des mesures proposées, la disponibilité du foncier, le financement des parkings publics et la conciliation des intérêts des différents acteurs concernés.

Il convient de noter qu'en termes économiques, les politiques futures testées affecteront profondément les comportements de choix et la structure des coûts subis par les usagers. Elles impacteront, en particulier, la distribution des coûts de recherche et des coûts monétaires mais de façon contrastée entre les segments d'usagers. À titre indicatif, le fait que la tarification joue au détriment des navetteurs qui subiront les coûts les plus élevés constitue un résultat prévisible mais qui ne favorise pas l'intermodalité et l'attractivité de la gare de Noisy-Champs.

L'exemple précité montre que les scénarios testés ne traitent pas l'ensemble des questionnements et n'apportent pas des solutions et des réponses globales à tous les enjeux du stationnement à l'horizon de 2030. Dès lors, les résultats de simulation doivent être interprétés de façon nuancée, et ce pour plusieurs raisons. En premier lieu, les mesures testées ne sont pas exhaustives et ne couvrent qu'un nombre limité d'instruments de planification et de gestion de stationnement. En deuxième lieu, les scénarios proposés ne peuvent voir le jour qu'avec la réunion des mesures d'accompagnement et des conditions favorables à leur mise en œuvre, du fait de la complexité de l'action, de la multiplicité des acteurs en jeu et des enjeux institutionnels, juridiques, sociaux et de gouvernance. En troisième lieu, les résultats obtenus dépendent en grande partie de la qualité et de la validité des informations d'entrée et des différentes hypothèses retenues pour chaque scénario. Plusieurs simplifications ont été appliquées, concernant notamment la définition des générateurs futurs, le taux d'occupation de l'offre en début de simulation, l'estimation du nombre d'emplois et de logements futurs, l'estimation de la demande des visiteurs, etc. Pour un travail ultérieur, certaines de ces informations doivent être déterminées de façon plus rigoureuse ; c'est le cas de la tarification des places, qui a été établie à 1 euro l'heure, et de la capacité des parkings publics, qui a été fixée approximativement.

Sur le plan méthodologique, la simulation proposée présente l'avantage de circonscrire le stationnement dans son échelle spatiale fine, tout en l'associant aux offres d'infrastructures de transport et d'activités locales. Elle a aussi le mérite de traiter différents types d'offre de places, plusieurs segments de demande de stationnement, et de permettre d'évaluer les effets de chaque scénario sur l'usage des places, sur les conditions de trafic et sur les coûts subis par l'utilisateur. Enfin, la logique de construction des scénarios obéit volontairement à une représentation contrastée de l'avenir, pour insister sur le fait que différents cheminements sont possibles et que la situation future dépend des actions à court, moyen et long termes.

Quelques limites méthodologiques doivent, néanmoins, être rappelées. Premièrement, les résultats obtenus obéissent dans leur ensemble aux mêmes hypothèses de projection de la demande, autrement dit les matrices de flux de stationnement par segment sont identiques pour tous les scénarios. Or l'estimation de ces flux est basée sur des hypothèses très volontaristes d'usage de transports en commun en 2030, qui correspondent aux objectifs de partage modal établis par la loi relative au Grand Paris. Aussi ambitieuses que soient ces hypothèses, elles peuvent manquer de réalisme et restent fortement discutables. Cela est valable aussi pour les données relatives aux nombres de montants journaliers en gare en 2030, déclinés à partir des études de la RATP, et pour les données de localisation des destinations finales et des lots futurs de

stationnement, qui ont été extrapolées à partir des esquisses de projets d'aménagement et qui sont susceptibles de changer. Deuxièmement, les quatre catégories d'utilisateurs traitées ne suffisent pas pour appréhender les comportements de la demande de façon globale. D'autres segments importants doivent être modélisés, tels que les résidents, les livreurs et le dépose-minute. Troisièmement, d'autres critiques peuvent être adressées qui relèvent du cadre théorique et des caractéristiques intrinsèques du modèle ParkCap. Nous avons fait abstraction de l'effet de disposition de l'information sur la disponibilité instantanée des places localement et nous avons modélisé les comportements des usagers sur le très court terme en limitant les réactions face à la saturation du lot visité à un changement de parking. Dans la réalité, l'individu peut changer de lieu de destination, annuler son stationnement ou se garer de façon illicite. Quatrièmement, les indicateurs d'évaluation utilisés ne sont pas exhaustifs. D'autres aspects de l'évaluation méritent d'être creusés, notamment l'usage illicite des places publiques et l'estimation des recettes générées par la mise en place de la tarification. Enfin, focalisée sur le stationnement automobile, notre étude néglige le stationnement lié aux autres formes de mobilité, notamment celui des véhicules en libre-service, des vélos et des deux-roues motorisés.

8.5 Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif de fournir une application du modèle ParkCap à la planification stratégique d'un territoire. Il nous a permis d'illustrer la méthode d'application de notre modèle dans un cadre prospectif. Dans la lignée du mouvement de planification urbaine porté par le projet métropolitain du Grand Paris Express, nous avons questionné l'évolution du système de stationnement de la cité Descartes élargie à l'horizon de 2030. Notre étude est basée sur la simulation prospective, elle s'articule autour de trois scénarios d'évolution de l'offre de stationnement. Notre contribution répond au besoin d'évaluation quantitative et d'optimisation des projets de transport.

L'évaluation des scénarios étudiés a permis de mettre en avant les enjeux spécifiques du cas de la cité Descartes élargie. Nos résultats simulation ont mis en exergue la nécessité de doter le territoire d'étude d'une nouvelle offre publique pour répondre aux futurs besoins de stationnement. Plus spécifiquement, le scénario fil de l'eau a montré que la poursuite des tendances actuelles conduira à une situation critique et non soutenable et que la problématique du stationnement de rabattement doit être placée au premier rang des priorités de l'action, en particulier dans une perspective promotion de l'intermodalité. Une situation anarchique du stationnement sera susceptible de porter atteinte à l'attractivité et à l'accessibilité du site. Le scénario intermédiaire a proposé de dimensionner les places au plus juste (passage des normes minimales aux normes maximales pour les bâtiments de bureaux) et de favoriser la rotation des places sur voirie. Il permettra d'améliorer l'efficacité du système étudié. Il a montré aussi qu'une forte contrainte locale de capacité de stationnement induira une augmentation des temps de recherche et des coûts monétaires du stationnement, mais elle n'affectera presque pas les temps de marche à pied. Enfin, le scénario de rupture semble le plus volontariste. Il fera de la mutualisation des places entre les logements et les bureaux une mesure phare. Ce scénario sera porteur de changements importants et

fait figure d'un avenir souhaitable. Toutefois, sa concrétisation restera fortement dépendante de l'évolution du contexte réglementaire, du volontarisme des acteurs locaux et de l'acceptabilité sociale. Les scénarios testés permettent aux décideurs de construire une vision globale de l'avenir du système. Ils ne sont pas exhaustifs, bien d'autres scénarios restent à tester.

Cette étude de simulation montre l'intérêt opérationnel de l'outil ParkCap. Ce simulateur permet au planificateur urbain de caractériser les conditions concrètes de stationnement dans le territoire et d'évaluer les effets de l'interaction entre l'offre et la demande en termes de remplissage des lots, de temps généralisé de déplacements pour l'utilisateur et de composition et de répartition de trafic sur le réseau, tout en identifiant les zones de saturation locale de stationnement au sein d'un quartier. Dans un horizon de moyen et long terme, ces éléments viennent compléter les travaux d'évaluation socio-économique des projets de transport. En matière d'action publique, ils contribuent à alimenter les débats et à approfondir les réflexions sur la problématique d'organisation du stationnement en milieu urbain.

Dans ce chapitre, nous avons mis l'accent sur le stationnement lié aux déplacements automobiles de personnes. Cependant notre méthode d'étude pour la planification stratégique du stationnement est tout à fait adaptée pour simuler d'autres motifs de stationnement (notamment de livraison). De même, les indicateurs d'évaluation retenus peuvent être enrichis pour tenir compte de l'impact des scénarios testés sur l'environnement (notamment concernant la consommation de l'espace, la consommation d'énergie et les émissions de polluants). Enfin, dans cette étude, nous avons choisi de faire abstraction de l'usage des nouvelles formes de mobilité (véhicules électriques, autopartage, véhicules autonomes...), faute de disponibilité de données adéquates. Nous pensons qu'il serait intéressant d'intégrer ces usages pour voir comment faire du stationnement un levier de favorisation de ces modes de déplacement.

Conclusion générale

Nous avons étudié le stationnement comme système et comme objet social à la fois service de consommation courante et objet de gestion, notamment par les politiques publiques. Ayant constaté le manque de modèle de stationnement pour les études de planification à l'échelle locale et à l'échelle urbaine, nous avons contribué au développement du modèle ParkCap de simulation offre-demande. Nous avons construit une méthode d'application pour les études de planification stratégique du stationnement dans un territoire, et nous avons démontré le caractère opératoire de cette méthode à travers l'étude du quartier de la Cité Descartes.

Pour conclure la thèse, nous allons récapituler la portée et les limites de nos contributions, avant de proposer des pistes de prolongement. Nous terminerons en évoquant spécifiquement le renouvellement des instruments d'étude.

Récapitulation des contributions

Nos contributions sont de trois ordres : primo une analyse sociale et politique du stationnement comme système, secundo la conception d'une méthode d'étude pour la planification stratégique, méthode basée sur un modèle de simulation, et tertio une contribution au modèle en tant qu'objet scientifique et technique.

1. Le constat du stationnement comme pratique sociale et comme objet de gestion

Au chapitre 3, nous avons mis en évidence le stationnement en tant que service de consommation courante pour les ménages résidant dans un territoire. Nous avons étudié le cas particulier de l'agglomération parisienne, à partir des Enquêtes Ménages déplacements (les Enquêtes Globales de Transport, EGT). Nous avons repris et enrichi l'analyse de Leurent et Polacchini (1993) appliquée à la situation de 1991, en

diagnostiquant la situation de 2010 et en caractérisant l'évolution entre ces deux enquêtes à vingt ans d'intervalle. Le principal constat empirique tient à l'importance de la position au sein de l'agglomération en tant que configuration : le degré de centralité urbaine est déterminant pour les pratiques des ménages, car il détermine la densité locale des activités et ainsi les besoins d'accès et de stationnement pour les usagers de la voiture particulière. Nous avons constaté que la gestion locale du stationnement est adaptée à la densité et que la tarification est prégnante dans la partie centrale de l'agglomération.

De manière plus large, au chapitre 1 nous avons étudié les politiques de stationnement en France, au prisme notamment des textes législatifs et des évolutions des contextes et des objectifs de développement urbain. Nous en avons tiré quatre constats. Primo, le stationnement est perçu largement comme un problème local dont la gestion nécessite une action publique. Secundo, si les experts techniques ont une compréhension articulée des enjeux du stationnement, les documents de planification font surtout appel à des « recettes pratiques », en répliquant localement des solutions déjà éprouvées ailleurs, dont la justification paraît plus intuitive que rationnelle. La gestion du stationnement relève donc de l'ordre de la régulation plus que de la planification. Tertio, l'institution des Plans de déplacements urbains a permis de coordonner la gestion d'un ensemble de modes de transport à l'échelle d'une agglomération ; le stationnement y est intégré mais de manière partielle. Quarto, un constat en creux s'impose : le manque d'une étude à la fois quantitative et spatialisée du stationnement en tant qu'objet de planification. Le contraste est fort avec les capacités de circulation planifiées tant sur le réseau viaire que pour les modes de transport collectif.

Dans ces conditions, l'éco-conception en tant que démarche fondée sur des principes gestionnaires embrassant un large éventail d'enjeux, apparaît comme un facteur et comme un levier, pour motiver une planification plus cohérente et plus rationnelle du stationnement et ce dans la perspective du développement durable. L'enjeu de cohérence concerne à la fois les objectifs des politiques, les instruments d'intervention, les échelles spatiales et les enjeux environnementaux. L'enjeu d'efficacité et de rationalisation nécessite de prendre en compte tout un éventail d'impacts, sur l'environnement comme sur la société et sur l'économie. Pour évaluer les impacts, il faut procéder par étape : il convient d'abord de comprendre le fonctionnement du système et de représenter en priorité les conditions concrètes du stationnement en termes d'offre, de demande et d'usage et en interaction avec la circulation dans le territoire.

2. Un modèle de planification pour le stationnement dans un territoire

Nous avons contribué à répondre au besoin d'évaluation, en vue d'une éco-conception, en apportant un modèle de simulation assorti d'une méthode d'application. Le modèle est fondé sur une analyse du stationnement comme système. Nous avons proposé une analyse systémique du stationnement, en décrivant et en retraçant l'anatomie de ce système ainsi que sa physiologie (chapitre 2). De fait le stationnement apparaît comme un sous-système dans la perspective plus large du système d'activités et du système de mobilité : ces deux systèmes interagissent l'un avec l'autre et ce en particulier à travers le sous-système de stationnement.

Le modèle de simulation ParkCap traite du stationnement et de la circulation automobiles dans un territoire (chapitre 5). Il permet de représenter les caractéristiques tant de l'offre que de la demande, et de simuler leur interaction. Nous l'avons complété par un modèle de génération de demande de stationnement dans un territoire. Pour la planification, ces deux modèles permettent de représenter les leviers d'action du planificateur, en particulier les capacités de stationnement et les modalités de gestion des places, selon les lieux, en lien avec les besoins concrets du territoire, relatifs à la population et à sa demande de mobilité. En simulant l'interaction entre l'offre et la demande, nous obtenons un ensemble de résultats qui décrivent les conditions « concrètes » du stationnement dans le territoire : par lot, le remplissage de la capacité locale et la probabilité de trouver une place disponible ; par lieu de destination, le temps terminal de déplacement incluant le cas échéant la recherche d'une place, et le trajet piéton induit par un report spatial, ainsi que la répartition des flux O-D entre les lots de stationnement situés dans un bassin de proximité ; par relation O-D, le temps de déplacement, décomposé entre trajet principal de franchissement et trajet terminal, et le coût généralisé de déplacement. A l'échelle du quartier, nous pouvons cartographier l'occupation des lots, l'extension des zones de saturation du stationnement et la répartition du trafic sur le réseau. Ces résultats présentent un intérêt majeur pour les aménageurs à l'échelle du quartier comme pour les planificateurs urbains. Le traitement du cas de la Cité Descartes a permis d'explicitier la méthode d'application du modèle et de montrer son intérêt dans une perspective de planification à long terme.

3. Le modèle comme objet scientifique et technique

Notre modèle de génération de demande de stationnement capture la diversité des motifs et des modes de mobilité, autant que la diversité des lieux et des fonctions urbaines. Il met en œuvre des caractéristiques spécifiques de la mobilité dans l'agglomération, tant pour la génération des déplacements que pour la répartition modale et temporelle : ces caractéristiques peuvent provenir d'une enquête de mobilité ou d'un modèle de simulation à l'échelle de l'agglomération, qui est le plus approprié pour la prévision à un horizon futur.

Le modèle ParkCap d'interaction entre offre et demande de stationnement articule deux échelles de territoire : celle de l'espace de proximité où s'effectue la recherche de stationnement et celle de l'espace à franchir qui renvoie à la fonction circulatoire du réseau. Il constitue le premier modèle à traiter à la fois le remplissage des capacités locales de stationnement et les parcours individuels de recherche de place, qui contribuent à la circulation automobile (Leurent et Boujnah, 2014). Nous avons privilégié cette intégration en la posant comme objectif scientifique primordial du modèle théorique. Par contraste, le modèle dans sa formulation présente est limité à une période, donc il est statique ; il est limité aussi au mode automobile (incluant toutefois des parcours piétons terminaux). Dans l'application que nous avons menée, tous les motifs de déplacement sont traités ensemble, mais la formulation du modèle permet tout-à-fait de distinguer un comportement de déplacement par motif.

Dans le développement du modèle, il s'est avéré que le traitement intégré du stationnement et de la circulation nécessite un jeu d'équations bien plus important (environ triple) que pour la circulation isolée du stationnement (modèle d'affectation

du trafic sur un réseau, concentré sur l'écoulement local du trafic et le choix d'itinéraire). Le traitement algorithmique en est évidemment compliqué, mais sa logique principale est inspirée du modèle basique d'affectation sur un réseau. Enfin, les caractéristiques mathématiques et algorithmiques du modèle sont transparentes pour un utilisateur final du logiciel de simulation.

Pour aller plus loin : des pistes de prolongement

Le stationnement est un objet d'étude fertile pour la recherche : nous en avons investigué une partie, mais bien des sujets restent à explorer. Nous allons indiquer des pistes de recherche future qui s'inscrivent dans le prolongement de notre thèse, en reprenant l'ordre de la récapitulation.

1. Concernant le stationnement comme fait social et politique

Le constat des formes concrètes du stationnement urbain peut être élargi et renouvelé. La situation récente en France illustre certainement des faits stylisés à portée assez générale, mais aussi des particularités nationales qui tiennent à des circonstances particulières d'ordre historique, ou juridique et institutionnel, ou encore social ou culturel. Les situations dans d'autres pays mériteraient un examen spécifique. En plus de la diversité dans l'espace, le stationnement est un domaine en évolution, pour des raisons technologiques autant que politiques. Les technologies modernes basées sur le numérique permettent un renouvellement des instruments de gestion, que ce soit pour tarifier à la place selon le lieu et le temps, ou pour informer dynamiquement les clients potentiels, ou pour gérer la clientèle et diversifier les services et les titres (abonnements, programmes de fidélisation). Le cadre juridique évolue, avec comme fait marquant la réforme de décentralisation du stationnement payant sur voirie donnant ainsi aux collectivités territoriales en France la pleine maîtrise du stationnement dans leur territoire. De plus, la diminution de l'offre publique de stationnement pour les véhicules automobiles se renforce avec certaines politiques urbaines, en faveur des autres modes, que ce soit pour la circulation des piétons et des bicyclettes ou pour le stationnement des deux-roues.

Enfin, l'irruption du numérique annonce d'ores et déjà le début d'une transition vers une nouvelle ère du stationnement. La connectivité s'est généralisée grâce au web et au smartphone, et la mobilité est devenue connectée : les services de mobilité partagée prennent leur essor, depuis l'autopartage et le covoiturage jusqu'aux services de taxis individuels ou collectifs, en passant par les services locatifs tels qu'Autolib pour des automobiles avec stations ou Car2Go pour des automobiles en free-floating. Les conséquences pour le stationnement et le remplissage local des capacités méritent une étude circonstanciée. Elles concernent non seulement la demande, mais aussi l'offre suite à l'émergence et au développement des pratiques collaboratives de partage et de location des emplacements privés de stationnement.

2. Concernant les méthodes de planification

Nous avons proposé une méthode d'étude pour la planification stratégique du stationnement urbain, en démontrant son applicabilité pour les déplacements automobiles des personnes. Cette méthode est à transposer pour d'autres motifs et

d'autres formes de stationnement : deux roues, taxis et autres véhicules partagés, livraisons urbaines, ainsi que le partage des capacités privées de stationnement... autant d'objets qu'il reste à étudier.

Notre méthode peut aussi être prolongée en remontant en amont dans la genèse de la mobilité : la prochaine étape concerne évidemment le choix du mode de déplacement, afin d'y intégrer explicitement et précisément les conditions d'usage du stationnement selon les lieux de destination et aussi selon les lieux d'origine (cf. les politiques de stationnement résidentiel). Inversement, des prolongements vers l'aval pourront concerner l'évaluation des impacts environnementaux : calcul des consommations d'énergie, des émissions de polluants et de bruit relatives aux déplacements qui recourent au stationnement dans un quartier et aux autres déplacements qui y transitent.

Par-delà l'évaluation, l'éco-conception du stationnement pourra s'intéresser à la conception des formes de stationnement, à la recommandation de capacités (dimensionnement, localisation) et de modalités gestionnaires selon le lieu, et ce à différentes échelles spatiales depuis l'ilot résidentiel jusqu'au quartier en passant par la rue.

3. A propos du modèle de simulation

L'extension de la méthode d'étude pour la planification, nécessitera d'étendre le modèle de simulation – par exemple en couplant notre modèle de génération de demande et le modèle ParkCap à des modèles traitant d'autres modes de déplacements et à un modèle multimodal de demande.

Plus spécifiquement, concernant le modèle ParkCap, les pistes de prolongement sont nombreuses. Il s'agit en premier lieu de perfectionner le principe de comportement pour la recherche d'un lot de stationnement. Le comportement modélisé ici est d'inspiration microéconomique : il reste à le confronter à des comportements concrets, et ce en parcourant la diversité des automobilistes. En deuxième lieu, nous avons segmenté la demande de stationnement selon l'espace. La segmentation est à développer aussi selon le profil social, selon le comportement microéconomique (ce qui recouvre les comportements de cheminement déjà mentionnés ainsi que le consentement à payer et l'accès à et l'usage de l'information...), selon les dispositions individuelles pour la mobilité (disposition d'une place au domicile et/ou au lieu de travail, abonnements à divers modes et services), et enfin dans le temps (variations à l'intérieur d'une journée, diversité des jours et ce notamment entre des types de jours tels que jours ouvrables ou week-end).

En troisième lieu, une extension dynamique est souhaitable. Notre parti initial d'un focus sur la pointe du matin en jour ouvrable, permet de capturer les migrations alternantes pour motifs de travail ou d'étude. Cependant les enquêtes de mobilité montrent que dans certains quartiers les pics d'occupation se situent plutôt l'après-midi, avant la pointe du soir qui affecte la circulation. Enfin, le modèle ParkCap dans sa version présente simule l'équilibre du trafic au sens de l'optimum individuel : chaque usager choisit son lot cible et son itinéraire afin de minimiser le coût pour lui-même et lui seul. Il serait intéressant de modéliser l'optimum collectif : la théorie en

est bien établie pour l'affectation du trafic sur un réseau, mais reste à entreprendre pour le stationnement en interaction avec la circulation.

Vers un renouvellement des instruments d'étude

Nous avons déjà évoqué le renouveau des formes de mobilité sous l'influence du numérique. De fait l'information devient très abondante : de plus en plus d'entités et de caractéristiques font l'objet d'un équipement en capteurs qui permettent la mesure en temps réel ainsi que la transmission à distance. Ces conditions modernes changent radicalement la donne, non seulement pour l'offre de services et la demande de mobilité, mais aussi pour la gestion et l'étude du système que ce soit en temps réel ou en temps différé. Les données collectées par les véhicules relativement à leurs trajectoires (FCD), sur les mouvements des personnes (FMD), sur l'occupation des places en temps réel, peuvent évidemment servir à calibrer des modèles de simulation tels que ParkCap et à l'alimenter en informations d'entrée relatives aux flux de demande. De même, les bases d'information géographiques constituées par une multitude de contributeurs individuels, telle la base OpenStreetMap et Google Maps, sont destinées à s'étendre aux capacités de stationnement, ce qui permettra alors d'alimenter le modèle ParkCap en informations relatives à l'offre.

Cependant, l'évolution la plus marquante sera vraisemblablement l'avènement de la supervision en temps réel du système de stationnement à l'échelle de l'agglomération. Face à un mur d'écrans présentant en temps réel les mêmes informations que les variables simulées dans le modèle ParkCap, un décideur territorial sera conditionné pour gérer le stationnement de manière rationnelle. Un tel conditionnement motivé par l'exploitation en temps réel, induira certainement une approche tout aussi quantitative et spatialisée pour la planification en temps différé, ce qui stimulera la demande pour utiliser notre modèle et sa méthode d'application.

Bibliographie

- Advancity. (2013), *Pôle de compétitivité Ville et Mobilité Durables*, www.greencity-event.com/wp-content/uploads/PLAN_GRANDPARIS.png, consulté le 13 mai 2014.
- Abrantes et Wardman. (2010), *Meta-analysis of UK value of time: an up-date*, *Transportation Research Part A*, 45, pp. 1-7.
- Allaire D. (2013), *Développement d'une approche systémique de la gestion patrimoniale d'un parc immobilier d'envergure nationale pour améliorer sa performance énergétique : une application menée sur le parc immobilier de l'État utilisé par le ministère de la défense*. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est, 2012. Français, 636p.
- Allen P.A. (1993), *Driver response to parking guidance and information systems*, *Traffic engineering and control*, 34, pp. 302-307.
- Anderson S.P., De Palma A. (2004), *The economics of pricing parking*, *Journal of Urban Economics*, 55, pp. 1-20.
- Armoogum J., Madre J.L., Gascon M.O., François D. (2010), *Les enquêtes nationales et locales sur la mobilité : sources et méthodes*, *la Revue du Commissariat Général au Développement Durable*, décembre 2010, 12 p.
- Arnott R. (2006), *Spatial competition between parking garages and downtown parking policy*, *Transport Policy*, 13, pp. 458-469.
- Arnott R., De Palma A., Lindsey R. (1991), *A temporal and spatial equilibrium analysis of commuter parking*, *Journal of Public Economics*, 45, pp. 301-335.
- Arnott R., Inci E. (2006), *An integrated model of downtown parking and traffic congestion*, *Journal of Urban Economics*, 60, pp. 418-442.

- Arnott R., Rowse J. (1999), *Modelling parking*, Journal of Urban Economics, 45, pp. 97-124.
- Arnott R., Rowse J. (2009), *Downtown parking in auto city*, Regional Science and Urban Economics, 39(1), pp. 1-14.
- Asakura Y. (1996), *A Parking Simulation Model for Evaluating Availability Information Service*, Advanced Methods in Transportation Analysis, Bianco, L. and Toth, p. (eds.), Springer, 1996, pp. 457-480.
- Atec. (1977), Stationnement 77, Synthèse des travaux, ATEC Paris.
- Ateliers Yves Lion. (2010), *Cité Descartes cœur du Cluster Descartes*, Dossier de présentation, Avril 2010, 15 p.
- Austin T.W. (1973), *Allocation of parking demand in a CBD*, Highway Res. Rec., 444, pp. 1-8.
- Axhausen K.W., Polak J. (1991), *Choice of parking: Stated preference approach*, Transportation, 18, pp. 59-81.
- Axhausen K.W., Polak J.W., Boltze M., Puzicha J. (1994), *Effectiveness of the parking guidance system in Frankfurt am main*, Traffic Engineering and Control, 35 (5), pp. 304-309.
- Aw T., Coulombel N., Leurent F., Millan-Lopez S., Poulhès A. (2013), *Territoire et transport en contexte métropolitain*, Dans Leurent F, Peuportier B and Roger-Estrade R (eds), Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures, Presses des Mines, Paris.
- Balijepalli N.C., Shepherd S. P. and May A.D. (2008), *Modelling the Choice of Car Parks in Urban Areas and Managing the Demand for Parking*, 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 13th-17th January.
- Barter P.A. (2009), *Three paradigms in parking policy and their relevance to Australian cities*, 32nd Australasian Transport Research Forum (ATRF), SkyCity Auckland Convention Centre, Auckland, New Zealand, 29. October
- Barter P.A. (2010), *Off-Street Parking Policy without Parking Requirements: a Need for Market Fostering and Regulation*, *Transport Reviews*, 30 (5), pp.571-588.
- Barter P.A. (2011), *Parking Policy in Asian Cities*, Final Consultant's Report Parking Policy in Asian Cities. , pp.10-15, <http://www.adb.org/publications/parking-policy-asian-cities>, consulté le 17 avril 2015.
- Barter, P.A. (2013), *Adaptive Parking: a flexible framework for parking reform*. Paper presented at the Singapore International Transport Congress and Exhibition (SITCE), Association of Public Transport (UITP), 7th-10th October 2013, Singapore.

- Barter P.A. (2015), A Parking Policy Typology for Clearer Thinking on Parking reform, *International Journal of Urban Sciences*, 19 (2), pp. 136-156.
- Bonnafeous A., Puel H. (1983), *Physionomies de la ville*. Les éditions ouvrières, Série « Initiation Economique », Paris, 157 p.
- Baumann H., Boons F., Bragd, A. (2002), *Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives*, *Journal of Cleaner Production*, 10 (5), pp. 409-425.
- Behrisch J., Ramirez M., Giurco, D. (2011), *Representation of ecodesign practice: international comparison of industrial design consultancies*, *Sustainability*, 3(10), pp.1778-1791.
- Belli-Riz P., Perrin E., Vayssière B. (2000), *Le stationnement résidentiel, enjeux et moyens d'une action publique locale*, École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble MELT/PUCA, 111 p.
- Belli-Riz P. (2001), *L'accessibilité urbaine et le stationnement automobile*, *Villes en Parallèle*, Référence n° 32-33-34, pp. 135-145.
- Benenson I., Martens K., Birfir S. (2008), *PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city*, *Computers, Environments and Urban systems*, 32, pp. 431-439.
- Bertalanffy L.V. (1993), *Théorie générale des systèmes*, Nouvelle édition, Edition Dunod, 308 p.
- Bifulco G.N. (1993), *A stochastic user equilibrium assignment model for the evaluation of parking policies*, *European Journal of Operational research*, 71(2), pp. 269-287.
- Bifulco G.N. (1996), *Stochastic Models for the simulation of parking choices: A non network approach*, *Proceedings of the 24th ETF-PTRC*, London (UK), August. 1996.
- Bertrand, F. (2005), *Motorisation et usage de l'automobile en Ile de France*, Cahiers de l'EGT n° 6, Direction Régionale de l'Équipement d'Île-de-France, France, 12 p.
- Bonnel P. (2001), *Prévision de la demande de transport, Rapport HDR*, Université Lumière Lyon 2, décembre 2001, 409 p.
- Bonsall P.W. (1991), *The changing face of parking-related data collection analysis: The role of new technologies*, *Transportation*, 18, pp. 83-106.
- Boujnah H., Chaker W. (2010), *Etude du stationnement à la Cité Descartes Elargie*, Document de travail Enpc, 26 p.
- Boujnah H., Coulombel N., Kotelnikova-Weiler N., Leurent F., Millan-Lopez S., Poulhès A. (2013), *Activités, Accessibilités et Mobilités à l'échelle du quartier*. Dans Leurent F, Peuportier B and Roger-Estrade R (eds), *Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures*, Presses des Mines, Paris.

- Boyles S.D., Tang S., Unnikrishnan A. (2015), *Parking search equilibrium on a network*, Transportation Research Part B, 81(2), pp.390-409.
- Bradley M., Kroes E., Hinloopen E. (1993), *A joint model of mode/parking type choice with supply constrained application*, Proceedings of the 21st Annual Summer PTRC Meeting on European Transport, Highways and Planning, pp. 61-73.
- Brezet H., Van Hemel C. (1997), *Ecodesign, A promising approach to sustainable production and consumption*, Paris France, UNEP, Industry and Environment, 1997.
- Brun E., Saillet, F. (2005), *Etude sur l'éco-conception, état de l'art dans le domaine de l'éco-conception*, étude rédigé à la demande du ministère de l'industrie-SQUALPI, AFNOR, mars 2005, 65p.
- Bureau of Public Roads (BPR). (2000), *Highway Capacity Manual (HCM 2000)*, 3rd Ed., National Research Council, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Calthrop E., Proost S., Van Dender K. (2000), *Parking policies and road pricing*, Urban Studies, 37 (1), pp. 63-76.
- Certu. (1999), *Une politique de stationnement : pourquoi ?comment ?*, Coll. Références, 10, 157 p.
- Certu. (2000a), *Les premières mises en place du stationnement payant sur voirie, quelle acceptabilité pour des mesures de tarification ?*, Collection du CERTU, Rapports d'étude, 66 p.
- Certu. (2000b), *Les enquêtes de stationnement : guide méthodologique*, Coll. Références du CERTU, 116 p.
- Certu. (2003a), *Les politiques de stationnement après la loi SRU : pourquoi, comment ?*, Certu, Coll. Références, 251p.
- Certu. (2003b), *Politiques de stationnement : l'enjeu de la communication, analyses et perspectives*, Coll. Références, 100 p.
- Certu. (2007a), *Trois vecteurs de performance pour le commerce de proximité : transport en site propre, stationnement, livraisons*, octobre 2007, Dossiers n°192, 71 p.
- Certu. (2007b), *Une introduction à l'analyse systémique : Appréhender la complexité*, Lyon, février 2007, 84 p.
- Certu. (2008a), *Dépénaliser et décentraliser le stationnement pour confier le contrôle et la sanction des infractions aux collectivités locales - L'expérience britannique et ses enseignements pour la France*, janvier 2008, 28 p.
- Certu. (2008b), *PLU et stationnement*, Coll. Références, août 2008, 71 p.
- Certu. (2008c), *L'offre privée de stationnement liée au logement*, novembre 2008, 8 p.

- Certu (2008d), *Le stationnement public en France en 2005, Résultats de l'enquête stationnement*, Rapport du Certu, décembre 2008, 47 p.
- Certu. (2009b), *Le point Sur Mobilités et Transports, fiche n°11 « 20 ans de politiques de stationnement public dans les villes centres des agglomérations françaises. Quelles évolutions ? Quelles contributions aux politiques de déplacements ? »*, octobre 2009, 8 p.
- Certu. (2010a), *Déplacements en villes moyennes, fiche n° 3 « Le stationnement en villes moyennes »*, Septembre 2009, 6 p.
- Certu. (2010b), *Stationnement - Eléments juridique, fiche n°2 « La mutualisation du stationnement »*, décembre 2010, 8 p.
- Certu. (2010c), *Note de synthèse Mobilité et Transports, fiche n°4 « l'offre privée de stationnement liée au logement »*, novembre 2008, 8 p.
- Certu. (2010 d), *Les parcs relais urbains, études bibliographiques*, 108 p.
- Certu. (2012), *Les déplacements dans les écoquartiers ? De l'expérimentation aux bonnes pratiques, Lyon, édition du certu, mai 2012, 187 p.*
- Certu. (2013a), *Le stationnement public en France, état des lieux et perspectives*, collection Dossiers n°280, 165 p.
- Certu. (2013b), *30 ans de PDU en France, l'âge de la maturité?, fiche n°27 Mobilités et Transports- Le point sur, Lyon, mars 2013, 12 p.*
- Certu. (2013c), *Les enquêtes ménages déplacements « Standard Certu », Note de présentation, janvier 2013, 15 p.*
- Cetur. (1982), *Circulation et stationnement, Approches et études de stationnement, les dossiers du CETUR, Dossier n°20, 74 p.*
- Cetur. (1994), *Le stationnement privé au lieu de travail, facteur d'évolution de la mobilité et de la structure urbaine, Dossiers du Cetur, janvier 1994, 137 p.*
- CDT Noisy-Champs. (2013), *L'étude des Ateliers Lion en vue de l'élaboration du contrat de développement territorial*, Paris, avril 2013.
- Clark G., Kosoris J., Hong L.N., Crul M. (2009), *Design for Sustainability: Current Trends in Sustainable Product Design and development*, Sustainability, 1 (3), pp. 409-424
- Choay F., Merlin P. (1996), *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Presses Universitaires de France, 863 p.
- Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective (2013a), *Pour une politique du stationnement au service des usagers, Rapport d'étude*, décembre 2013, 147 p.

- Commissariat général à la stratégie et à la prospective (2013b), *Valeurs du temps*, tome 2, Rapport « L'évaluation socio-économique en période de transition », avril 2013, 99p, <http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/archives/Valeur-du-temps.pdf>, consulté le septembre 2016.
- Communauté d'agglomération de Marne-la-Vallée - Val Maubuée (Département Urbanisme – Foncier). (2012), *Nombre et caractéristiques des établissements d'entreprises à la Cité Descartes*, Rapport d'études.
- Commune de Champs-sur-Marne. (2012), *Écocité Noisy champs, investissement d'avenir-Action « Ville de demain »*, volet 2, février 2012, 33 p.
- Commune de Champs-sur-Marne. (2010), *Elaboration du plan local d'urbanisme : diagnostic et objectifs*, http://www.ville-champssurmarne.fr/vivre/doc_vivre/plu_presentation.pdf, consulté le 08 novembre 2012.
- Descartes développement. (2012), *Cité Descartes : Pôle d'excellence, ville durable ou Grand Paris, guide d'accueil*, octobre 2010, 44 p.
- Dewulf, W. (2003), *A pro-active approach to ecodesign: methods and tools*, ecodesign in central America, PhD Thesis Katholieke Universiteit Leuven, Belgique.
- Dell'Orco M., Ottomanelli M., Sassanelli D. (2003), *Modeling uncertainty in parking choice behavior*, Presented at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Dieussaert K., Aerts K, Steenberghen T., Maerivoet S., Spitaels K. (2009), *SUSTAPARK: An Agent-based Model for Simulating Parking Search*, Proceedings of the 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Leibnitz Universität, Hannover, Germany, June 2009.
- Dupuy G. (1975), *Une technique de planification au service de l'automobile : les modèles de trafic urbain*, Paris, Action concertée de recherches urbaines, ronéotypé, 1975.
- Dupuy G. (1991), *L'urbanisme des réseaux : Théories et Méthodes*, Paris, Coll, Armand, Colin, U Géographie, 198 p.
- Dupuy G. (1995a), *L'auto et la ville*, Ed. Flammarion, Collection Dominos, 125 p.
- Dupuy G. (1995b), *Les territoires de l'automobile*, Paris, Ed. Anthropos, Collection, Villes, 216 p.
- Dupuy G. (1999), *La dépendance automobile : symptômes, analyses, diagnostic, traitements"*, Paris. Anthropos, Collection Villes, 160 p.
- Durand D. (2010), *La systémique*, 11^{ème} édition, PUF, 102 p.

- Donnadieu G., Karsky M. (2002), *La systémique, penser et agir dans la complexité*, Éditions Liaisons, 2002.
- Dreifuss M. (1995), *Le stationnement des véhicules automobiles dans les centres urbains, la genèse d'un service public*, Thèse de doctorat de Droit Public, Université Lyon 2, 452 p.
- DRIEA (2013), *Enquête Globale de Transport, Motorisation et usage de la voiture en Île-de-France*, document de travail, octobre 2013, disponible sur www.omnil.fr/IMG/pdf/dria_egt_motorisation_et_usage_de_la_voiture_en_ile-de-france_cle17ce43.pdf, consulté le 06 février 2014.
- DRIEA (2012), *Etude de trafic du Grand Paris Express : quels enseignements ?*, aout 2012, 66p. disponible sur www.dria.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/GPX_2030_synthese_V2_light_cle16879f.pdf, consulté le 24 octobre 2014.
- Ergün G. (1971), *Development of a downtown parking model*, Highway Research Record, 369, pp. 118-134.
- Enpc (2011), *Évaluation prospective du stationnement au Cluster Descartes à l'horizon 2030*, Rapport de projet du cours TUSMUR 2010-2011, 75 p.
- Enpc (2013), *Étude de l'usage du sol, de l'économie territoriale et du transport pour la Cité Descartes dans le cadre du CDT Cluster Descartes*, Rapport de projet du cours TUSMUR 2012-2013, 87 p.
- EPAMarne (2010), *Cité Descartes, cœur du Cluster Descartes : Programme du concours de maîtrise d'œuvre urbaine*, Janvier 2010, 9 p.
- EpaMarne (2009a), *Cité Descartes, cœur du Cluster Descartes Ville Durable : consultation internationale de programmation urbaine*, Plaquette de présentation, novembre 2009, 15 p.
- EpaMarne (2009b), *Étude de la desserte de la Cité Descartes de Champs-sur-marne*, Étude de la Cité Descartes en tant que PGD et d'intégration du PST, phase 1/2 diagnostic et enjeux, version n°2, janvier 2009.
- EpaMarne (2012), *Préfiguration du schéma de mobilités des CDT Noisy/Champs et bry/Villiers/Champigny/Chennevières*, rapport d'étude, phase1 et 2, juillet 2012.
- Feeney, B.P. (1989), *A review of the impact of parking policy measures on travel*, Transportation Planning and Technology 13(4), pp. 229-244.
- Florian M., Los M. (1979), *Determining intermediate origin-destination matrices for the analysis of composite mode trips*, Transportation Research Part B, 13, pp. 91-103.
- Florian M., Los M. (1980), *Impact of the supply of parking spaces on parking lot choice*, Transportation Research Part B, 14, pp. 155-163.

- Fédération Nationale des Métiers du Stationnement. (2006), *L'observatoire du stationnement*, les cahiers du stationnement n°2, 47 p.
- Fédération Nationale des Métiers du Stationnement. (2005), *Stationnement, sortir de l'égaré*, Les Cahiers du stationnement n°1, 67 p.
- Flonneau M. (2003), *Notre-Dame de Paris défilée par l'automobile*. L'espace cathédrale entre « sécularisation et sanctuarisation », *Histoire urbaine* 2003/1 (n° 7), p. 163-188
- Flonneau M. (2005), *Paris et l'automobile, Un siècle de passions*, Hachette Littératures, Paris, 348 p.
- Gallo M., D'Acerno L., Montella B. (2011), *A multilayer model to simulate cruising for parking in urban areas*, *Transport Policy*, 18 (5), pp. 735-744.
- Gantelet E., Taithe PH. (2011), *Mieux partager l'espace grâce à la mutualisation du stationnement*, *Ville, Rail et Transports*, 14 décembre 2011, pp.75-79.
- Gantvoort J. (1984), *Effects upon modal choice of a parking restraint measure*, *Traffic Engineering and Control*, 25 (4), pp. 198-200.
- Gardon S. (2009), *Gouverner la circulation urbaine*, Des villes françaises face à l'automobile (années 1910 – années 1960), Thèse de science politique, IEP de Lyon, 679 p.
- Gardon S. (2012), *Modéliser la ville ? La difficile modélisation de la gestion du stationnement en France dans les années 1950 et 1960*, *FLUX Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et Territoires*, n° 85-86, juillet-décembre 2011, pp. 51-61.
- GART. (2014), *La gestion du stationnement payant sur voirie en Europe, quels enseignements pour la France ?* Disponible sur www.gart.org/wp-content/uploads/2016/04/Etude-stationnement-en-Europe_GART-STATION_09032016.pdf, consulté le 07 janvier 2015.
- Gillen, D.W. (1978), *Parking Policy, Parking Location Decisions and the Distribution of congestion*, *Transportation*, 7, pp. 69-85.
- Glazer A., Niskanen E. (1992), *Parking fees and congestion*, *Regional Science and Urban Economics*, 22, pp. 123-132.
- Godet M., et Durance Ph. (2011), *La prospective stratégique*, 2^{ème} édition - Pour les entreprises et les territoires Broché, Paris, Dunod, août 2011, 224 p.
- Godet M. (1991), *De l'anticipation à l'action : manuel de prospective stratégique*, 1^{ère} édition, Paris, Dunod, 1991, 15 p.
- Goyal S.K., Gomes L.F.A.M. (1984), *A model for allocating car parking spaces in universities*, *Transportation Research Part B*, 18 (3), pp. 267-269.

- Gur, Y.J., Beimborn E.A. (1984), *Analysis of Parking in Urban Centers: Equilibrium Assignment Approach*, Transportation Research Record, 957, pp. 55-62.
- Guo, L., Huang, S., Sadek, A.W. (2013), *A Novel Agent-Based Transportation Model of a University Campus with Application to Quantifying the Environmental Costs of Parking Search*, Transportation Research Part A, 50, pp.86-104.
- Hatem F. (1993), *La prospective – Pratiques et méthodes*, Economica, cité dans PLASSARD F. (2004), *Rétrospective de la prospective dans les transports et l'aménagement du territoire*, collection «Travaux et Recherches de Prospective », in Futuribles International, n° 20, Paris, mars 2004.
- Hensher D.A., King J. (2001), *Parking demand and responsiveness to supply, pricing and location in the Sydney central business district*, Transportation Research Part A, 35 (3), pp. 177-196.
- Héran F. (2000), *Transports en milieu urbain : les effets externes négligés. Monétarisation des effets de coupure, des effets sur l'affectation des espaces publics et des effets sur les paysages*, MELT/DRAST/PREDIT, Ed. La Documentation Française, 117 p.
- Héran F. (2011), *La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain*, Recherche complémentaire, Rapport final d'une recherche pour le ministère de l'Environnement et du Développement durable, PREDIT 4, convention 09 MT SU 16, octobre 2011, 155 p.
- Heran F., Ravalet E. (2008), *La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain Application au cas de l'Ile de France*, Rapport final PREDIT, juin 2008, 188 p.
- Hess S., Polak J.W. (2004), *Mixed logit estimation of parking type choice*, Presented at the 83rd annual meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Hess S. and Polak J. W. (2004), *An analysis of parking behaviour using discrete choice models calibrated on SP datasets*, R-sessions at the 44th European Regional Science conference, Porto.
- Hess, D. (2001), *The Effect of Free Parking on Commuter Mode Choice: Evidence from Travel Diary Data*, Transportation Research Record, 1753, pp. 35 - 42.
- Hoffman, A.J. (1997), *From Heresy to Dogma*, San Francisco, The New Lexington Press.
- Horni A., Nagel K., Axhausen K.W. (2011), *High-Resolution Destination Choice in Agent-Based Demand Models*, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 682, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Horni A., Montini L., Waraich R.A., Axhausen K.W. (2012), *An Agent-Based Cellular Automaton Cruising-For-Parking Simulation*, 13th International Conference on Travel Research Behaviour (IATBR), Toronto, July 2012.

- Huang H.J., Li Z.C., Lam W.H.K., Wong S.C. (2005), *A time-dependent activity and travel choice model with multiple parking options*, in Mahmassani H (ed) *Transportation and traffic theory*. Elsevier, Oxford, pp. 717-739.
- Hunt, J.D. (1988), *Parking location choice: Insights and representations based on observed behaviour and hierarchical logit modelling formulation*, 58th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers, Vancouver.
- Hunt J.D., Tepley S. (1993), *A nested logit model of Parking location choice*, *Transportation Research Part B*, 27 (4), pp. 253-266.
- Insee. (2009), *Recensement Général de Population, exploitations principales et complémentaires*.
- Insee. (2010), *Enquêtes sur l'emploi du temps (2009-2010)*, www.insee.fr/fr/insee_regions/idf/themes/faits_et_chiffres/fc234/fc234.pdf, consulté le 15 mai 2014.
- Institute of Transportation Engineers (2010), *Parking Generation*, 4th Edition, Washington, D.C.
- ISO-14062. (2003), *Environmental management - Integrating environmental aspects into product design and development*, AFNOR, 36p.
- ISO-14040. (1997), *Management environnemental. Analyse du cycle de vie – Principes et cadres*, AFNOR, septembre 1997.
- Janin M. (2000), *Démarche d'éco-conception en entreprise. Un enjeu : construire la cohérence entre outils et processus*, thèse de doctorat, ENSAM, Chambéry, France, 424 p.
- JMJ Conseil. (2003), *Impact des politiques de stationnement sur la circulation et l'environnement*, MELT/DRAST, Rapport de Recherche PREDIT 03-22-FR, 82 p.
- JMJ Conseil. (2005), *Plaidoyer pour le stationnement payant de courte durée en centre-ville*, PREDIT, Recherches et Synthèses n°20, mai 2005, 4 p.
- Jouvenel (de) F. (2009), *La prospective des territoires urbains sensibles : La construction de scénarios, et quelques autres méthodes*, Futuribles, décembre 2009.
- Kaplan S. and Bekhor S. (2011), *Exploring en-route parking type and parking-search route choice: Decision making framework and survey design*, 2nd International Choice Modelling Conference, Leeds, July 2011.
- Kaufman V. (2000), *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : La question du report modal*, Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romanes, 252 p.
- Kaufman V. (2003), *Pratiques modales des déplacements de personnes en milieu urbain : des rationalités d'usage à la cohérence de l'action publique*, *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, 1, pp. 39-58.

- Lam W.H.K., Li Z.C., Huang H.J., Wong S.C. (2006), *Modeling time-dependent travel choice problems in road networks with multiple user classes and multiple parking facilities*, Transportation Research Part B, 40 (5), pp. 368-395.
- Lam W.H.K., Tam M.L., Yang H., Wong S.C. (1999), *Balance of demand and supply of parking spaces*. In: Ceder (ed), Transportation and traffic theory, Elsevier, Oxford, pp.707-731.
- Lambe T.A. (1969), *The choice of parking location by workers in the central business district*. Traffic Quarterly, 23 (3), pp.397-411.
- Le Berre M. (1992), « Territoires », in « Encyclopédie de Géographie », Economica, Paris, pp. 620-621.
- Lefebvre H., 1968, *La vie quotidienne dans le monde moderne*, Gallimard, cité dans Orfeuill, J-P. (1994), *Je suis l'automobile*, Ed. de l'Aube, 95 p.
- Le moigne J.L. (1977, 1983), *La théorie du système général, Théorie de la modélisation*, Paris, Coll., Systèmes-Décisions, Presses Universitaires de France, 358 p.
- Levy, N., Martens, K., Benenson, I. (2013), *Exploring cruising using agent-based and analytical models of parking*, Transportmetrica A, Transport Science, 9(9), pp.773-797.
- Leurent F. (2013), *La Cité Descartes Elargie : un territoire d'éco-conception*, dans Leurent F, Peuportier B et Roger-Estrade R (eds), *Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures*, Presses des Mines, Paris.
- Leurent F., Boujnah H., Poulhès A. (2013), *Eco-conception d'un système de stationnement*, Dans Leurent F, Peuportier B and Roger-Estrade R (eds), *Eco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures*, Presses des Mines, Paris, Chapitre 6, pp. 107-134.
- Leurent F, Boujnah H, Chaker W. (2010), *Le stationnement automobile au Cluster Descartes : une analyse offre-demande*, Document de travail Enpc, 9 p.
- Leurent F., Boujnah H. (2014), *A user equilibrium, traffic assignment model of network route and parking lot choice*, with search circuits and cruising flows, Transportation Research Part C: Emerging Technologies 47, 28–46.
- Leurent F., Boujnah H. (2012), *Traffic equilibrium in a network model of parking and route choice*, with search circuits and cruising flows. Elsevier Procedia - Social and Behavioral Sciences, 54: 808-821.
- Leurent F., Boujnah H. (2011), *Une analyse offre-demande du stationnement : Application à l'agglomération parisienne*, Congrès international ATEC-ITS France, Versailles, février 2011, 28 p.

- Leurent, F et Polacchini A. (1995), *Quelques éclairages sur les déplacements des Franciliens*, Rapport technique INRETS sur convention DREIF, référence RP 04/94 (INRETS), B/93.709 (DREIF).
- Leurent F., 1997, *Analyse et mesure de l'incertitude dans un modèle de simulation. Les principes, une méthode et l'exemple de l'affectation bicritère du trafic*, Thèse de doctorat de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, France, 1997.
- Le Van E. (2003), *Les enjeux de la réglementation du stationnement sur le lieu de travail : Expériences et tendances à travers les exemples de l'Angleterre, la Belgique, la France et les Pays-Bas*, Thèse de Sciences Economiques et de Gestion, Université Lyon 2, 381 p.
- Lévy, J. (2000), *Les nouveaux espaces de la mobilité*, Les territoires de la mobilité, Paris, Ed. PUF. Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 155-170.
- Lévy J. (2004), *Modèle de mobilité, modèle d'urbanité*, Les sens du mouvement, Institut pour la Ville en Mouvement, Ed. Belin, pp. 157-169.
- Li Z.C., Huang H.J., Lam W.H.K., Wong S.C. (2007a), *A model for evaluation of transport policies in multimodal networks with road and parking capacity constraints*, Journal of Mathematical Modelling and Algorithms, 6, pp. 239-257.
- Li Z.C., Huang H.J., Lam W.H.K., Wong S.C. (2007b), *Time-differential pricing of road tolls and parking charges in a transport network with elastic demand*, Bell MGH et al. (eds) Transportation and traffic theory.
- Li Z.C., Lam W.H.K., Wong S.C., Huang H.J., Zhu D.L. (2008), *Reliability evaluation for stochastic and time-dependent networks with multiple parking facilities*, Networks and Spatial Economics, 8, pp. 355-381.
- Litman T. (2006), *Parking management*, American Planning Association, pp. 40-45.
- Loi LOTI, 1982, « Loi n°82-1153 du 30 décembre 1982 d'orientation des transports intérieurs », Journal officiel de la République Française, 31 décembre 1982.
- Loi MAPTAM, 2014, Loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles, Journal officiel de la République Française, 28 janvier 2014.
- Loi SRU, 2000, Loi n°2000-1208 du 13 décembre 2000 relative à la solidarité et au renouvellement urbains, Journal officiel de la République Française, 14 décembre 2000.
- Lugan J.C. (1993), *La systémique sociale*, Paris, PUF, Que sais-je ?

- Mathieux, F., Rebitzer, G., Ferrendier, S., Simon, M., Froelich, D. (2001), *Ecodesign in the European Electr(on)ics industry—An analysis of the current practices based on cases studies*. J. Sustain. Prod. Des. 2001, 1 (4), pp. 233-245.
- Mathon S. (2008), *Le stationnement résidentiel sur l'espace public : État des lieux, problèmes et perspectives, Une application à l'agglomération lilloise*, Thèse de doctorat, Institut d'Urbanisme de Paris XII, 464 p.
- Marsden G. (2006), *The evidence base for parking policies, a review*, Transport Policy, 13, pp. 447-457.
- Marsden G. (2014), *Parking issues and problems*, in Parking : Issues and Policies, ed Ison, S., and Mulley C., Bingley, UK: Emerald (forthcoming), pp11-32.
- Margail F. (1996), *Les parcs relais, outils clés de politiques intermodales de déplacement urbain*, Thèse doctorat de l'École Nationale des Ponts et Chaussées sous la direction de Gabriel Dupuy, 1996, 484 p.
- Martens K., Benenson I., and Levy N. (2010), *The dilemma of on-street parking policy: exploring cruising for parking using an agent-based model*, in. B. Jiang and X. Yao, eds., Geospatial analysis and modelling of urban structure and dynamics, GeoJournal Library 99, Springer Science Business Media B.V., pp. 121-138.
- McCahill C., Garrick N. (2014), *Parking supply and urban impacts*, in Parking: Issues and Policies, ed Ison, S., and Mulley C., Bingley, UK: Emerald (forthcoming), pp33-55.
- McShane, M., and Meyer, M. D. (1982), *Parking policy and urban goals: Linking strategy to needs*. Transportation, 11(2), pp. 131-152.
- Millet D. Coppens C. Jacqueson L. Le Borgne R. and Tonnelier P. (2003), *Intégration de l'environnement en conception, l'entreprise et le développement durable*. Hermès Science publications, 2003.
- Millet, D., Bistagnino, L., Lanzavecchia C., Camous R., Poldma, T. (2005), *Does the potential of the use of LCA match the design team needs?*, Journal of Cleaner Production, 15, pp. 335-346.
- Mingardo, G., B. van Wee, T. Rye. (2015), *Urban parking policy in Europe: A conceptualization of past and possible future trends*, Transportation Research Part A, 74, pp. 268-281.
- Montini L., Horni A., Rieser-Schüssler N., Axhausen K.W. (2012), *Searching for Parking in GPS Data*, 12th Swiss Transport Research Conference, Ascona, May 2012.
- Mukhija, V., Shoup, D. (2006), *Quantity versus quality in off-street parking requirements*, Journal of the American Planning Association, 72 (3), pp.296-308.

- Muromachi Y. (2003), *Inter-relationship between route and parking location choice behavior in downtown*, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, pp. 1476-1486.
- Nour Eldin M.S., El-Reedy T.Y. and Ismail H. K. (1981), *A combined parking and traffic assignment model*, Traffic Engineering and Control, 22 (10), pp. 524-530.
- OCDE. (1980), *Évaluation des systèmes de stationnement urbain*, Recherche Routière, Rapport de Décembre 1980, 113p.
- Offner J.M. (2003), *L'élaboration des Plans de déplacements urbains de la loi sur l'air de 1996*, Le nécessaire renouveau des politiques locales de transports, Synthèse de recherche, Marne-La-Vallée, LATTS, février 2003, 24 p.
- Orfeuil J-P. (1994), *Je suis l'automobile*, Ed. de l'Aube, 95 p.
- Orfeuil J-P. Rennes G. (1997), *Les pratiques de stationnement au domicile, au travail et dans la journée*, Revue RTS, 57, pp. 21-35.
- Ortuzar J.de D., Willumsen L.G. (2011), *Modelling Transport*, 4th edition. John Wiley and Sons, Chichester.
- Papon F. (1991), *Les "routes de première classe" : une tarification différenciée de la circulation en agglomération pour en améliorer l'efficacité économique de manière socialement efficace*, Thèse sous la direction de Rémy Prud'homme, Université de Paris XII, 1991, 303 pages + annexes.
- Papon P. (2004), Encyclopædia Universalis, article "recherche scientifique", CD Rom version 5, cité dans PLASSARD F. (2004), « Rétrospective de la prospective dans les transports et l'aménagement du territoire », coll. «Travaux et Recherches de Prospective », in Futuribles International, no 20, Paris, mars.
- Parkopolis. (1997), *La voiture à sa juste place, livre blanc du stationnement en France*, Edition Sorma, Paris, mars 1997, 130 p.
- Pezzoli F. (2001), *Les pratiques du stationnement résidentiel en centre urbain. Évaluer l'acceptabilité des conditions de stationnement dans une perspective d'aide à la décision*, Université de Franche-Comté, Thèse de doctorat en géographie, 396 p.
- Petiot R. (1994), *Le comportement de stationnement : analyse de la demande*. Mémoire DEA d'Economie des Transports. Université Lumière Lyon 2, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. Laboratoire d'Economie des Transports.
- Petiot R. (2002), *La fraude au stationnement, Enjeux et analyse économique des comportements*, Thèse de doctorat en Sciences Économiques sous la direction de Alain Bonnafous, Université Lyon 2, 2000, 434 p.

- Peigné, H. (2005), *La cohérence des politiques des collectivités locales en matière de planification urbaine, d'aménagement, d'organisation des déplacements et de stationnement*, Conseil Général des Ponts et Chaussées, 127 p.
- Plassard F. (2004), *Rétrospective de la prospective dans les transports et l'aménagement du territoire*, coll. «Travaux et Recherches de Prospective », in *Futuribles International*, n° 20, Paris, mars.
- Polak J., Axhausen K. (1990), *Parking Search Behaviour: A review of current Research and Future prospects*, Transportation Studies Unit, Working paper 540, Oxford university.
- Pouderoux S. (1992), *La politique de stationnement : un outil de la politique des déplacements urbains*, Mémoire de DEA d'Économie des Transports, Université Lyon 2, dirigé par Bonnel P., septembre 1992, 135 p.
- Poulhès A. (2013), *Le modèle ParkCap: conception informatique et simulation de cas d'école*, document de travail Enpc, février 2013, 15 p.
- Rac Foundation. (2012) Spaced out: Perspectives on parking policies, London Rac Foundation, cited in Marsden G. (2014), *Parking issues and problems*, in *Parking : Issues and Policies*, ed Ison, S., and Mulley C., Bingley, UK: Emerald (forthcoming), pp11-32.
- Rye T., Hunton K., Ison S., Kozak N. (2008), *The role of market research and consulting in developing parking policies*, *Transport Policy*, 15(6), pp.387-394.
- Rennes G. et Orfeuill J.P. (1997), *Les pratiques de stationnement au domicile, au travail et dans la journée*, *Recherche transports sécurité*, 57, pp. 21-35.
- Riou D. (2008), *Étude de l'offre publique de stationnement sur voirie*, Contribution au Groupe de travail Stationnement du PDU Ile de France, 27 novembre 2008, 12 p.
- Roozenburg, N.F. M. and Eekels, J. (1995), *Product Design: Fundamentals and Methods*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- Rockafellar T. (1984), *Network flows and monotropic optimization*, Wiley, New York, 616 p.
- Rosnay J. de. (1975) : *Le macroscopie, vers une vision globale*, Seuil, Paris, Point, 334 p.
- Roth, G. (1965), *Paying for parking*. Hobart Paper 33. London: Institute of Economic Affairs.
- Sareco (2011), *Diagnostic relatif au stationnement de rabattement aux abords de la gare de Noisy Champs*, Rapport diagnostic, février 2011.
- Sattayhatewa, P., Smith, R.L. (2003), *Development of parking choice models for special events*, Presented at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, District of Columbia.

- Sauvy A. (1968), *Les quatre roues de la fortune*, Essai sur l'automobile, Ed. Flammarion, Coll. Le meilleur des mondes, 242 p.
- Setra. (2010), *Calage et validation des modèles de trafic Techniques appliquées à l'affectation routière interurbaine*, guide SETRA, juillet 2010, 181 p.
- Sheffi, Y. (1985), *Urban Transportation Networks Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 149p.
- Shoup, D. (1995), *An opportunity to reduce minimum parking requirements*, Journal of the American Planning Association, 61 (1), pp. 14-28.
- Shoup, D.C. (1997), *The high cost of free parking*, Journal of Planning Education and Research 17, 3-20.
- Shoup, D. (1997), *Evaluating the effects of cashing out employer-paid parking: eight case studies*, Transport Policy, 4 (4), pp.201-216.
- Shoup, D. (1999), *The trouble with minimum parking requirements*, Transportation Research Part a – Policy and Practices, 33, pp.549-574.
- Shoup, D. (1999), *The problem with minimum parking requirements*, Transport Research Part A: Policy Practice, 33 (7–8), pp. 549-574.
- Shoup, D. (2013), *On-Street Parking Management v. Off-Street Parking Requirements*, Access, No. 42, pp. 38-40.
- Shoup, D. (2005), *The High Cost of Free Parking*, American Planning Association, Planners Press, Chicago, 805p.
- Shoup D., Willson R. (1992), *Employer-Paid Parking: The Problem and Proposed Solutions*, Transportation Quarterly, 46(2), April 1992, pp. 169-192.
- Shoup D.C. (2006), *Cruising for parking*, Transport Policy, 13, pp. 479-486.
- Souche S. (2007), *Introduction du stationnement payant à Lyon: quels acteurs, quels débats et quels enseignements pour la mise en place d'une politique publique locale?* Colloque GSPE-PRISME, I.E.P. de Strasbourg, 22-23 mars, 17p.
- Spiess H., Florian M. (1989), *Optimal strategies: A new assignment model for transit networks*, Transportation Research Part B, 23, pp. 83-102.
- Thompson R.G., Richardson A.J. (1998), *A Parking Search Model*, Transportation Research A, 32, pp. 159-170.
- Tukker, A., Eder, P., Charter, M., Haag, E., Vercalsteren, A., Wiedmann, T. (2006), *Eco-design: The State of Implementation in Europe—Conclusions of a State of the Art Study for IPTS*, Journal of Sustainable Product Design, 1, pp. 147–161.

- Université Marne la Vallée. (2006), *La Cité Descartes diagnostic territorial, master 2 développement urbain durable*, compte rendu, février 2006. <http://rhell.free.fr/Projet/RenduFinal/2-3%20Transports,%20d%E9placements%20et%20environnement%20sonore.pdf>, consulté le 06 avril 2011.
- Vaté H. (1977), *L'arrêt et le stationnement des véhicules en milieu urbain*, Thèse de doctorat d'État en Sciences Économiques, Université Lyon 2, 422 p.
- Van Der Waerden P., Oppewal H., Timmermans H. (1993), *Adaptive choice behaviour of motorist in congested shopping centre parking lots*, *Transportation*, 20, pp. 395-408.
- Van der Waerden P., Borgers A. and Timmermans H. (1998), The impact of the parking situation in shopping centres on store choice behaviour, *GeoJournal*, 45 (4), pp309-315.
- Van der Waerden P., Borgers A. and Timmermans H. (2003), *Travelers Micro-Behavior at Parking Lots: A model of parking Choice Behaviour*, Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Van der Waerden P, Borgers A. and Timmermans H. (2006), *Attitudes and Behavioral Responses to Parking Measures*, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol.6, Issue 4, online November 22nd.
- Van der Waerden, P., Timmermans, H. and Haberkorn, P. (2012), *Studying Car Drivers' Parking Search Behavior using GPS Trip Loggers*, Proceedings of the 11th International Conference on Design & Decision Support Systems, Eindhoven, the Netherlands.
- Wong S.C., Tong C.O. Lam W.C.H. and Fung R.Y.C. (2000), *Development of parking Demand Models in Hong Kong*, *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 126, pp. 55-74.
- Van Ommeren, J., Wentink, D., Dekkers, J.E.C. (2011), *The Real Price Of Parking Policy*, *Journal of Urban Economics*, 70, pp. 25-31.
- Van Ommeren, J., Wentink, D., Rietveld, P. (2012), *Empirical Evidence on cruising for parking*, *Transportation Research Part A*, 46, pp. 123-130.
- Verhoef E., Nijkamp P., Rietveld P. (1995), *The economics of regulatory parking policies: the (im)possibilities of parking policies in traffic regulation*, *Transportation Research Part A*, 29, 141–156.
- Villot, A.M (2005), *Réflexions pour une politique globale du stationnement à Paris : analyse sur des secteurs tests*, *Atelier Parisien d'Urbanisme*, décembre 2005, 43 p.
- Waraich R. A. and K.W. Axhausen (2012), *An Agent-Based Parking Choice Model*, 91st annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2012.

- Waraich, R.A., Dobler, C. and Axhausen, K.W. (2012), *Modeling Parking Search Behavior with an Agent-Based Approach*, 13th International Conference on Travel Research Behavior (IATBR), Toronto, Canada.
- Wardrop, J. G. (1952), *Some theoretical aspects of road traffic research*. *Institution of Civil Engineers, Proceedings Part II*, 1, 325-378.
- Wiggum, K.S. (2004), *Human and ecological problem solving through radical design thinking*, PhD Thesis, Department of Product Design Engineering, Faculty of Engineering Science and Technology.
- Willson R. (1991), *Estimating the Travel and Parking Demand Effects of Employer-Paid Parking*, *Regional Science and Urban Economics*, 22, , pp. 133-145.
- Willson, R.W. (1995), *Suburban parking requirements – a tacit policy for automobile use and sprawl*, *Journal of the American Planning Association*, 61 (1), pp. 29-42.
- Willson R. and Shoup D.C (1990), *Parking Subsidies and Travel Choices: Assessing the Evidence*, *Transportation*, 17(2), pp. 141-157.
- Zhang X., Huang H.J and Zhang H.M. (2007), *Integrated daily commuting patterns and optimal road tolls and parking fees in a linear city*, *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(1), pp. 38-56.
- Young W. (1986), *PARKSIM/1 (1): a simulation model of driver behaviour in parking lots*, *Traffic Engineering and Control*, 27 (12), pp. 606-613.
- Young W., Thompson R.G., and Taylor M.A.P. (1991), *A review of urban car parking models*, *Transport Reviews*, 11 (1), pp. 63-84.
- Young W. (2008), *Modeling Parking*. In: D. Hensher and K.J. Button (eds.) *Handbook of Transport Modeling*, 2nd Edition, Elsevier Ltd, Oxford, UK, pp. 475-487.
- Young W., Miles C.F. (2015), *A spatial study of parking policy and usage in Melbourne, Australia*, in *Case Studies on Transport Policy*, 3 (1) , pp. 23-32.

Liste des abréviations

ACV	Analyse de Cycle de Vie
AOTU	Autorités Organisatrices des Transports Urbains
CBD	Central Business District
DRIEA	Direction Régionale d'Île-de-France de l'Équipement et d'Aménagement
EMD	Enquête Ménages Déplacements
EpaMarne	Établissement public d'aménagement de la ville nouvelle de Marne-la-
GART	Vallée
GPE	Groupement des autorités responsables de transport
LAURE	Grand Paris Express
LOTI	Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (1996)
O-D	Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs (1982)
SCOT	Origine-destination
SEM	Schéma de cohérence territoriale
SIG	Sociétés d'économie mixte
SRU	Systèmes d'informations géographiques
PDU	Loi Solidarité et Renouveau Urbain
PLU	Plan de Déplacements Urbains
PLUi	Plan local d'urbanisme
P+R	Plan local d'urbanisme intercommunal
POS	Parc relais
VP	Plan d'occupation des sols
RM	Voiture particulière
RER	Deux-roues motorisés
RGP	Réseau Express Régional Réseau du Grand Paris

Liste des figures

Figure 1.1 : Démarche d'élaboration d'une politique de stationnement.	58
Figure 2.1 : Définition de la systémique selon le Collège français de la systémique (1985) (source : Durand (2010) présenté dans Allaire (2013)).	70
Figure 2.2 : Définitions génériques du terme « stationnement ».	75
Figure 2.3 : Caractérisation du système de stationnement au sein de son environnement.	81
Figure 2.4 : Représentation générique de la structure du système de stationnement.	81
Figure 2.5 : Représentation du fonctionnement interne du système de stationnement.	89
Figure 2.6 : Mécanismes de fonctionnement du système de stationnement à l'échelle locale.	94
Figure 3.1 : Motorisation et équipement automobile des ménages franciliens.	108
Figure 3.2 : Équipement en places privées rattachées au logement.	109
Figure 3.3 : Lieu de stationnement nocturne des ménages, (a) selon l'indice de détention de la voiture, (b) pour l'ensemble des véhicules à disposition des ménages.	110
Figure 3.4 : Valeur du loyer mensuel moyen de stationnement par commune (euros) (source : EGT 2010).	112
Figure 3.5 : Mode d'usage nocturne des places selon le type et le statut d'occupation du logement du ménage (source : EGT 2010).	113
Figure 3.6 : Évolution (a) des lieux d'occupation et (b) des modes d'usage nocturne des places selon le lieu de résidence du ménage (source : EGT 2010).	114
Figure 3.7 : Statut d'usage des voitures à disposition des ménages franciliens (source : EGT 2010).	117
Figure 3.9 : Types de stationnement des véhicules immobiles (source : EGT 2010).	118
Figure 3.8 : Part et importance des véhicules immobiles par commune.	118
Figure 3.10 : Lieu de stationnement des véhicules utilisés par heure durant la journée (source : EGT 2010).	120
Figure 3.11 : Lieu de stationnement des véhicules utilisés selon le lieu de destination (source : EGT 2010).	120
Figure 3.12 : Lieu de stationnement du véhicule par classe de distance de déplacement (source : EGT 2010).	120
Figure 3.13 : Connaissance préalable du lieu de stationnement à l'échelle de l'Île-de-France (source EGT 2010).	121
Figure 3.14 : Disposition d'un emplacement réservé lié au travail habituel à l'échelle de l'Île-de-France (source : EGT 2010).	122
Figure 3.15 : Types de stationnement diurne selon le motif d'activité (source : EGT 2010).	123
Figure 3.16 : Durée moyenne d'occupation par motif (source : EGT 2010).	124
Figure 3.17 : Structure des usages et des occupations de l'offre par motif (source : EGT 2010).	124
Figure 3.18 : Intensité horaire des arrivées, par motif (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).	126
Figure 3.19 : Intensité horaire des présences (ou occupations), par motif (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).	126
Figure 3.20 : Intensité horaire des arrivées par département de destination (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).	127
Figure 3.21 : Intensité horaire des arrivées, par mode (en milliers, retour au domicile inclus).	129
Figure 3.22 : Répartition des modes de stationnement selon les durées d'occupation des places (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).	130
Figure 3.23 : Répartition des modes de stationnement selon le lieu de destination (en milliers, retour au domicile inclus) (source : EGT 2010).	130

Figure 3.24 : Évolution des pratiques de stationnement diurne selon (a) le lieu et (b) le mode de stationnement (source : EGT 2010, EGT 200, EGT 1991).....	131
Figure 5.1 : Présentation du processus décisionnel de l'utilisateur.....	207
Figure 5.2 : Structure des dépendances logiques entre les variables du modèle ParkCap (le modèle de coûts est représenté par les lignes en pointillé).	216
Figure 5.3 : Les sous-modèles de ParkCap et les flux logiques entre eux.....	216
Figure 5.4 : Configuration du réseau étudié (a) ; Réseau de report local à partir du lot central (b) ; Réseau de report local à partir d'un lot de la première couronne (c).....	221
Figure 5.5 : Probabilité de succès d'une candidature par type de liaison de report, en fonction.....	223
Figure 5.6 : Volume total de candidats par type de lot, en fonction de la demande initiale dans le centre.	223
Figure 5.7 : Trafic de recherche par type d'arc sur le réseau, en fonction du volume de demande initiale pour le centre (a) pour le segment 0 et (b) pour le segment 1.	223
Figure 5.8 : Coût individuel de recherche par segment de demande, en fonction du volume de demande pour le centre.	224
Figure 5.9 : Structure et caractéristiques du réseau routier.....	225
Figure 5.10 : Charge par lot et probabilité de succès en fonction de la demande initiale de trafic.	227
Figure 5.11 : Volume total de candidats par lot selon la demande initiale de trafic.....	227
Figure 5.12 : Distribution du trafic sur le réseau routier, en fonction de la variation de la demande totale de déplacement.	228
Figure 5.13 : Chargement en volume de trafic sur les arcs et part de la recherche de stationnement sur le réseau selon le niveau de charge de l'offre.....	228
Figure 5.14 : Structure du coût généralisé de déplacement par lot (a) pour les pendulaires et (b) pour les non-pendulaires selon le volume de demande sur le réseau.....	229
Figure 5.15 : Diagramme principal du simulateur ParkCap.	230
Figure 5.16 : Diagramme de la bibliothèque Common.....	231
Figure 5.17 : Diagramme de la bibliothèque Network.....	231
Figure 5.18 : Diagramme de la bibliothèque principale ParkSearch.	232
Figure 5.19 : Déroulement du processus de simulation par l'outil ParkCap.....	235
Figure 6.1 : (a) Situation géographique de la cité Descartes dans la région Île-de-France (source : EpaMarne, 2009a), (b) Périmètre de l'étude : IRIS Descartes et IRIS Nesles Sud de Champs-sur-Marne.....	243
Figure 6.2 : Territoire et polarités du cluster Descartes (source : EpaMarne, 2010).....	244
Figure 6.3 : Modes d'occupation du sol de la cité Descartes en 2008.....	245
Figure 6.4 : Densité moyenne de la population par IRIS autour de la cité Descartes en 2008.....	247
Figure 6.6 : Répartition de la population par tranches d'âge (%)	248
Figure 6.6 : Répartition de la population par catégories socioprofessionnelles (%)	248
Figure 6.7 : (a) Localisation des établissements d'entreprise autour de la cité Descartes en 2010 (source : GéoSirene, Insee), (b) Répartition des établissements par secteur d'activité (source : http://www.valmaubuee.fr/wp-content/uploads/2014/12/Descartes_31.12.2013.pdf)....	249
Figure 6.8 : Comparaison des catégories socioprofessionnelles des emplois offerts et de la population active à Champs-sur-Marne en 2010 (source : Insee, <i>RGP 2009</i> , « exploitations principale et complémentaire »).....	251
Figure 6.9 : Carte des migrations alternantes en provenance (à gauche) et à destination (à droite) de la commune de Champs-sur-Marne (source: Aw et al., 2013).....	251
Figure 6.10 : Les infrastructures autoroutières et ferroviaires traversant la cité Descartes.....	252
Figure 6.11 : Parts modales en sorties et en entrées du territoire Descartes en 2008 (source : Aw et al., 2013).....	253
Figure 6.12 : Configuration des lignes de bus qui desservent la cité Descartes (source : http://www.ville-champssurmarne.fr/decouverte/plans_pdf.asp).....	254

Figure 6.13 : Zonage et fonctions urbaines caractérisant le périmètre d'étude.....	257
Figure 6.14 : Exemple de relevé spatial par photo satellite des caractéristiques de places de stationnement sur voirie et dans les parcs privés à partir de Google Maps.....	258
Figure 6.15 : Répartition des places de stationnement par lieu et par type dans la cité Descartes élargie en 2010.	260
Figure 6.16 : Densité moyenne de l'offre de stationnement dans la cité Descartes élargie en 2010.	260
Figure 6.17 : (a) Répartition du temps de recherche d'une place, (b) Répartition du temps de marche terminale (source : Enquête offre-demande de stationnement dans la cité Descartes, 2010).	263
Figure 6.18 : Répartition des durées déclarées d'occupation des places (source : <i>Enquête offre-demande de stationnement dans la cité Descartes</i> , 2010).	264
Figure 6.19 : Progression du remplissage des places sur voirie en heures de pointe du matin un jour ouvrable de 2008 (Source : EpaMarne, 2009).	265
Figure 6.20 : Structure de l'occupation journalière et de l'usage des places sur voirie de l'avenue Ampère un jour ouvrable de 2006	266
Figure 7.1 : Configuration de l'offre dans la cité Descartes élargie (situation de référence).	273
Figure 7.2 : Configuration de la connexion des lots de stationnement au réseau routier (liens en orange) et exemple de zone de chalandise sur un rayon de 500 mètres pour le cas de la gare RER de Noisy-Champs (situation de référence).....	288
Figure 7.4 : Résultats d'analyse de sensibilité de la demande à la capacité offerte.	294
Figure 7.3 : Rappel des attributs des lots (P + R et sur voirie) pour la situation de référence.....	294
Figure 7.5 : Résultats d'analyse de sensibilité au prix du lot 258.	295
Figure 7.6 : Résultats d'analyse de sensibilité au prix des places sur voirie.....	295
Figure 7.7 : État d'occupation des lots de stationnement par type et localisation des zones de saturation	301
Figure 7.8 : Localisation et volume des flux de recherche sur le réseau (situation de référence).	302
Figure 7.9 : Coût généralisé de déplacement par segment de demande.	304
Figure 7.10 : Distribution du temps de recherche perçu par type d'offre.	304
Figure 7.11 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre.	305
Figure 7.12 : État d'occupation des lots de stationnement par type et par variante.	308
Figure 7.13 : Degré de pression par type de lot et par variante.	309
Figure 7.14 : Occupation moyenne par type de lot et par variante.	309
Figure 7.15 : Répartition du volume de trafic sur le réseau par variante.....	310
Figure 7.16 : Localisation du flux de recherche sur le réseau par variante.	312
Figure 7.17 : Composition du coût généralisé moyen de déplacement par segment de demande et par variante.	313
Figure 8.1 : Secteurs de développement stratégique au sein de la cité Descartes	325
Figure 8.2 : (a) État actuel et zone d'implantation de la gare (source : SGP, 2012),.....	326
Figure 8.3 : (a) État actuel du boulevard du Rû-de-Nesles et (b) son plan programme.....	327
Figure 8.4 : (a) État actuel de la RD 199 et (b) son plan programme (source : Ateliers Lion, <i>Étude en vue de l'élaboration du contrat de développement territorial</i> , avril 2013).....	328
Figure 8.5 : Configuration spatiale des destinations au sein de la cité Descartes élargie.....	335
Figure 8.6 : Configuration spatiale et capacité totale des lots privés (scénario tendanciel).....	337
Figure 8.7 : État d'occupation des lots de stationnement par type et localisation des zones de saturation (scénario tendanciel).	343
Figure 8.8 : Localisation du flux de recherche sur le réseau (scénario tendanciel).	345
Figure 8.9 : Composition du coût généralisé de déplacement par segment de demande (scénario tendanciel).....	346
Figure 8.10 : Distribution du temps de recherche par type d'offre (scénario tendanciel).....	347
Figure 8.11 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre (scénario tendanciel).	347

Figure 8.12 : État d'occupation des lots de stationnement par type et localisation des zones de saturation (scénario intermédiaire).....	349
Figure 8.13 : Localisation du flux de recherche sur le réseau (scénario intermédiaire).	351
Figure 8.14 : Composition du coût généralisé de déplacement par segment de demande (scénario intermédiaire).....	352
Figure 8.15 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre (scénario intermédiaire)...	352
Figure 8.16 : Distribution du temps de recherche par type d'offre (scénario intermédiaire).	353
Figure 8.17 : État d'occupation des lots de stationnement par type (scénario de rupture).....	354
Figure 8.18 : Localisation du flux de recherche sur le réseau (scénario de rupture).	356
Figure 8.19 : Composition du coût généralisé de déplacement par segment de demande (scénario de rupture).	357
Figure 8.20 : Distribution de la distance de marche perçue par type d'offre (scénario de rupture).....	358
Figure 8.21 : Distribution du temps de recherche par type d'offre (scénario de rupture).	358

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Principales caractéristiques des approches sous-tendant l'élaboration des politiques de stationnement (à partir des travaux de Barter (2009 et 2010)).....	55
Tableau 3.1 : Usage du stationnement nocturne par lieu et par mode selon le secteur de résidence (%) (source : EGT 2010).....	111
Tableau 3.2 : Usage du stationnement nocturne selon le revenu moyen des ménages (en euros) et selon le lieu de résidence (source : EGT 2010).....	113
Tableau 3.3 : Lieu de stationnement à destination (en %).....	119
Tableau 3.4 : Répartition des stationnements selon les motifs et les durées d'occupation des places (en milliers, retour au domicile en fin de journée inclus) (source : EGT 2010).....	125
Tableau 3.5 : Répartition des modes de stationnement selon les motifs (en milliers, hors retour au domicile en fin de journée) (source : EGT 2010).....	128
Tableau 3.6 : Contribution de l'employeur aux dépenses de stationnement liées au travail.....	129
Tableau 3.7 : Charge active de stationnement selon la période et le lieu (en milliers).....	134
Tableau 3.8 : Charge active de stationnement selon la période et le mode (en milliers).....	135
Tableau 3.9 : Charge passive de stationnement selon le lieu et le mode (en milliers).....	135
Tableau 3.10 : Charge totale de stationnement selon la période et le lieu (en milliers).....	136
Tableau 3.11 : Charge totale de stationnement selon la période et le mode (en milliers).....	136
Tableau 4.1 : Principales caractéristiques des modèles de stationnement.....	194
Tableau 5.1 : Paramètres de simulation.....	222
Tableau 6.1 : Principaux constats et dysfonctionnements du stationnement dans la cité Descartes élargie en 2010.....	267
Tableau 7.1 : Caractéristiques du réseau routier de la cité Descartes (situation de référence).....	274
Tableau 7.2 : Caractéristiques de l'offre de stationnement (situation de référence).....	277
Tableau 7.3 : Paramètres d'estimation du taux de génération de stationnement par segment de demande.....	283
Tableau 7.4 : Valeurs des coefficients de pénibilité retenus pour la simulation.....	286
Tableau 7.5 : Occupation moyenne des places dans un rayon de 300 mètres de la gare RER de Noisy-Champs.....	293
Tableau 7.6 : Comparaison des temps de déplacement perçus pour la situation de référence.....	293
Tableau 7.7 : Caractéristiques des variantes de gestion de stationnement simulées.....	299
Tableau 7.8 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type.....	301
Tableau 7.9 : Indicateurs d'évaluation du fonctionnement du système de stationnement par variante.....	315
Tableau 8.1 : Caractéristiques de l'offre de stationnement par type de lot et selon le scénario.....	336
Tableau 8.2 : Caractéristiques de l'offre de stationnement de la cité Descartes en 2030.....	338
Tableau 8.3 : Paramètres utilisés pour l'estimation du taux de génération de stationnement par segment de demande.....	341
Tableau 8.4 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type (scénario de référence).....	344
Tableau 8.5 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type (scénario intermédiaire).....	349
Tableau 8.6 : Évaluation agrégée de l'usage des lots par type (scénario de rupture).....	355
Tableau 8.7 : Indicateurs d'évaluation du fonctionnement du système de stationnement par scénario.....	359

Annexes

Annexe A

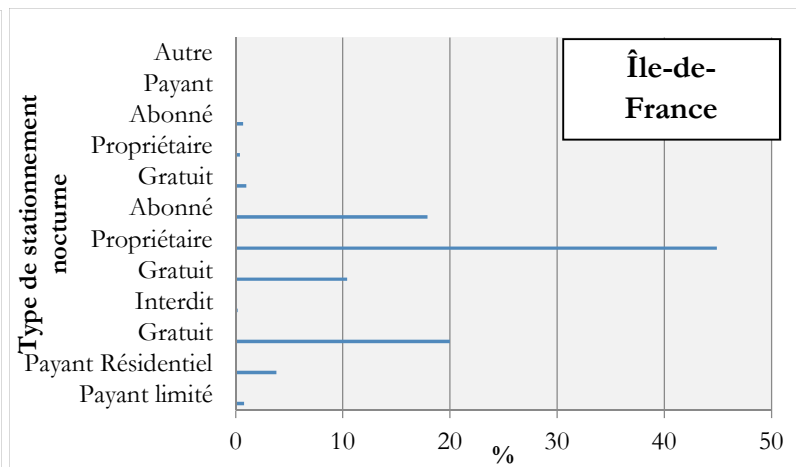
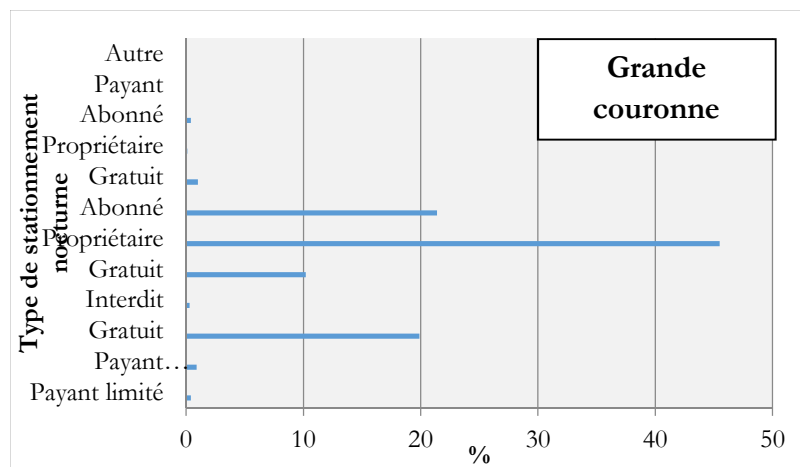
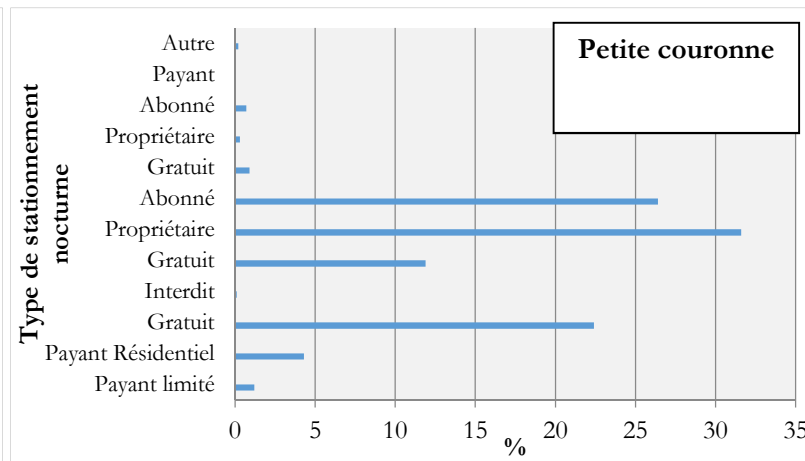
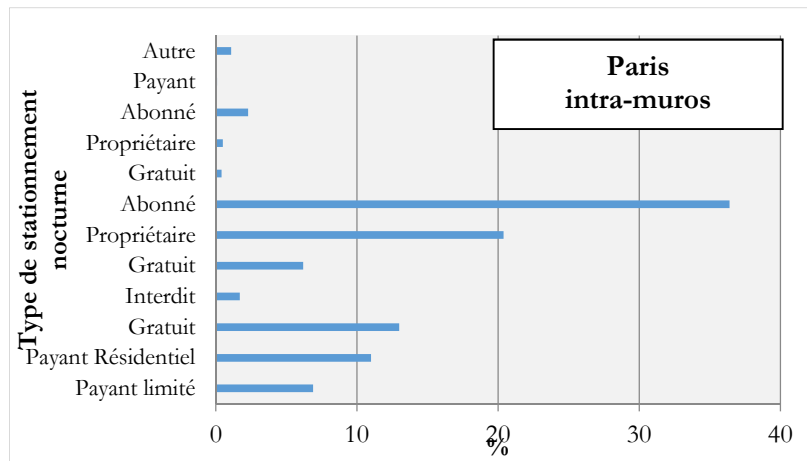
Annexe A.1 : Types de stationnement nocturne (Source : P'EGT 2010)

Emplacement		Type
01		Stationnement Payant à durée limitée
02	Sur la voie publique	Stationnement Payant à tarif résidentiel
03		Stationnement Gratuit autorisé
04		Stationnement Non autorisé
05	Sur un emplacement privé	A titre gratuit
06		Propriétaire
07		Locataire avec ou sans réservation
08	Dans un parc public ou garage commercial	A titre gratuit
09		Propriétaire
10		Locataire avec ou sans réservation
11		Payant horaire
12		Autres

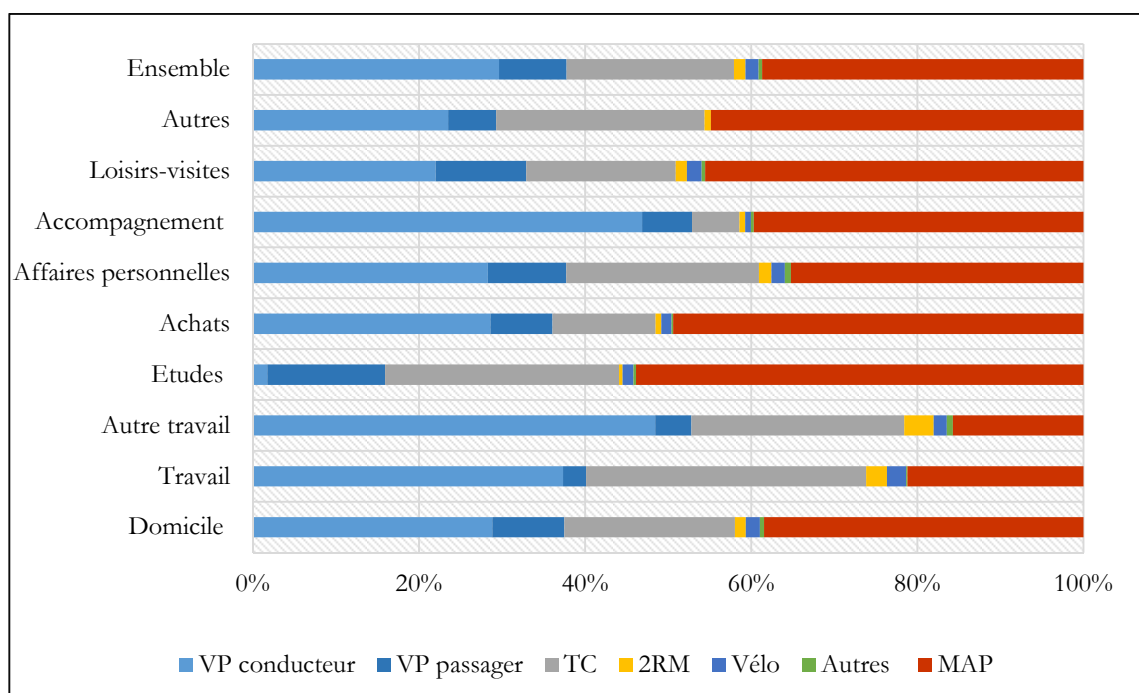
Annexe A.2 : Types de stationnement ponctuel diurne (Source : P'EGT 2010)

Emplacement		Type
01	Dépose minute	
02	Sur la voie publique	Stationnement Payant à durée limitée
03		Stationnement Payant à tarif résidentiel
04		Stationnement Gratuit durée illimitée
05		Stationnement Gratuit durée limitée
06		Stationnement Non autorisé
07		Sur un emplacement privé
08	Locataire	
09	A titre gratuit	
10	Dans un parc public ou garage commercial	Parc relais (parc de rabattement à une gare) à titre gratuit
11		Parc relais (parc de rabattement à une gare) à titre payant
12		Autre gratuit
13		Autre propriétaire
14		Autre abonnée, locataire avec ou sans réservation
15		Autre payant horaire
16		Autres stationnement

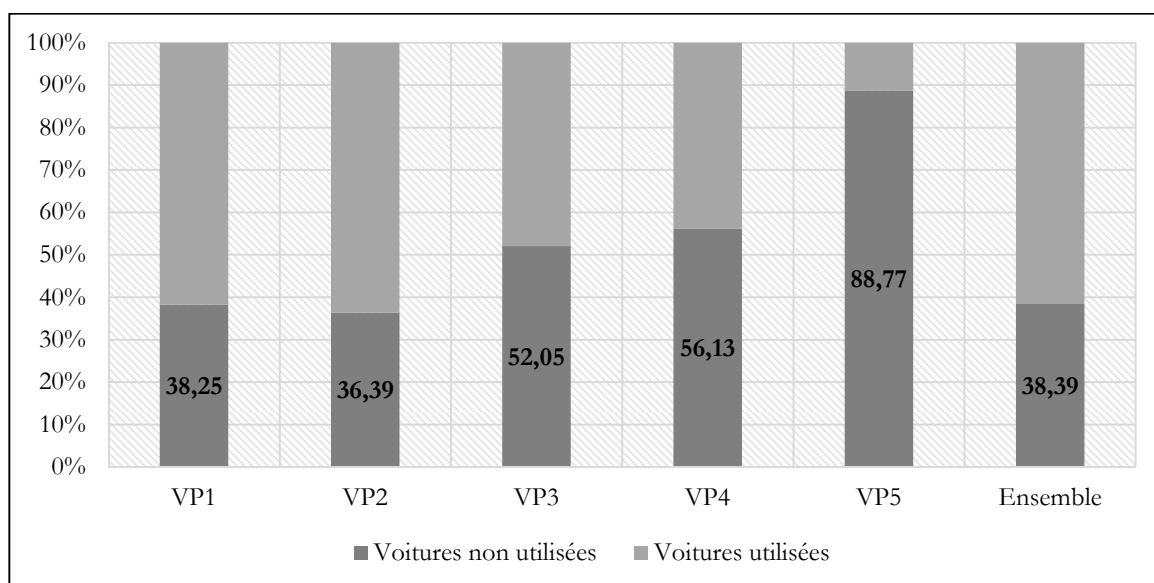
Annexe A.3 : Répartition du stationnement nocturne par type à l'échelle de l'Île-de-France par couronne



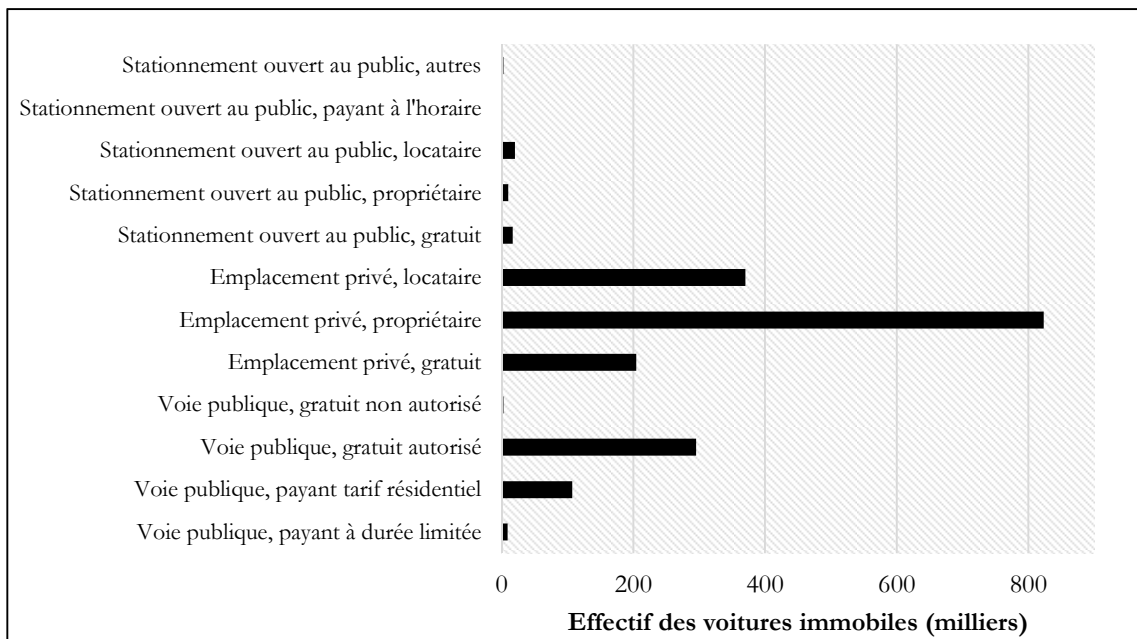
Annexe A.4 : Répartition modale des déplacements quotidiens selon le motif (à l'échelle de l'Ile-de-France)



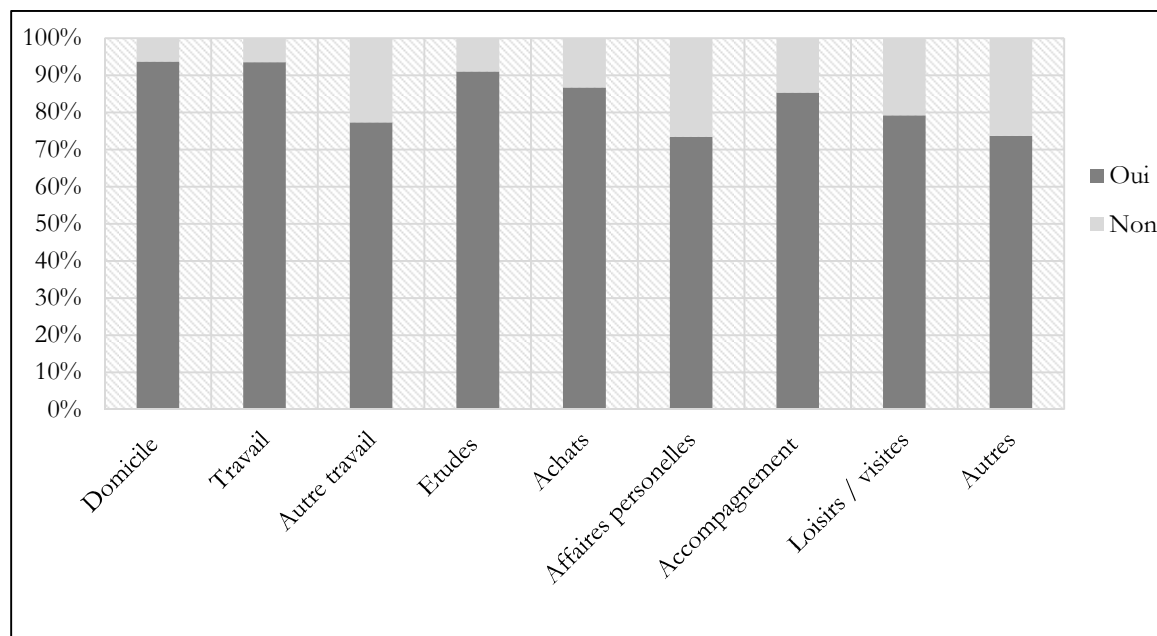
Annexe A.5 : Utilisation des voitures en journée selon leur indice de détention



Annexe A.6 : Type de stationnement des voitures immobiles



Annexe A.7 : Connaissance préalable du lieu de stationnement selon le motif de déplacement (à l'échelle de l'Ile-de-France)



Annexe A.8 : Regroupement des modes de stationnement ponctuel

Au regard des types de stationnement, et pour préparer l'étude spécifique du stationnement selon sa formule tarifaire, nous définissons le *mode* de stationnement comme un regroupement des modes de stationnement suivant les quatre catégories ci-après :

- **Payant immédiat (*Payant*)**, tel qu'il y a facturation instantanée en général et qui tient compte de l'horaire d'arrivée et de la durée d'occupation de la place. Précisément, on regroupe les modes sur la Voie publique *Payant limité (02) et Payant préférentiel (03)*, ainsi que dans un Garage Public *Parc relais à tire payant (11) et Autres Payant horaire (15)*.
- **Interdit**, au sens où l'occupation de la place n'est pas licite. Ce mode implique un risque de dépenses, il n'est généralement choisi que faute d'une autre solution. Il concerne le *stationnement en voie publique non autorisé (06)*.
- **Payant à terme ou différé (*Terme*)** fait référence au stationnement ponctuel qui entraîne une dépense qui n'est pas facturée instantanément mais plutôt sous forme d'un abonnement. Cette formule regroupe *des emplacements privés* en tant que *propriétaire (07) ou abonné (08)*, et des places en *garage public* en tant que *propriétaire (13) ou abonné(14)*. Elle traduit le fait que la détention d'un emplacement privé de stationnement nécessite un investissement (cela joue surtout sur le motif au Domicile et au Travail).
- **Gratuit** : au sens qu'il n'y a ni dépense de stationnement, ni risque d'une pénalisation pour infraction au code de la route. Cette formule rassemble les modes gratuits sur la *voirie publique (04) et (05)*, en *garage public (10), (12) et (16) et en emplacement privatif (09)*.

Dépose : au sens où il s'agit d'un mode particulier réservé pour les très courtes durées dont l'accompagnement (01).

Annexe B

Invertibility of matrix $\mathbf{I}_s - \mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s$

Recall that \mathbf{p}_s is a matrix of transition probabilities while $\mathbf{J}_{s\alpha}$ is the diagonal matrix of failure probabilities, $\bar{\alpha}_\lambda = 1 - \alpha_\lambda$ for $\lambda \in L_s$. Assume that $\alpha_\lambda > 0$ i.e. that every lot has positive capacity. Then $\bar{\alpha}_\lambda < 1$. Consider the series of matrices, $\mathbf{M}^n = \sum_{i=0}^n (\mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s)^i$.

As matrix $\mathbf{J}_{s\alpha}$ is diagonal with coefficients in $[0,1[$ and \mathbf{p}_s is a probability matrix, the product $\mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s$ has modulus strictly less than one, hence \mathbf{M}^n converges to a given matrix \mathbf{M}^* as n tends to infinity. It holds that

$$(\mathbf{I}_s - \mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s)\mathbf{M}^n = \sum_{i=0}^n (\mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s)^i - \sum_{i=0}^n (\mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s)^{i+1} = \mathbf{I}_s - (\mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s)^{n+1}, \text{ so that}$$

$$(\mathbf{I}_s - \mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s)\mathbf{M}^* = \mathbf{I}_s \text{ which shows that } \mathbf{M}^* \text{ is the inverse matrix of } \mathbf{I}_s - \mathbf{J}_{s\alpha}\mathbf{p}_s.$$

Analytical solution of stylised instance

Denote $\mathbf{y}(\mathbf{I} - \mathbf{J}\mathbf{p}) = \mathbf{q}$ the problem of candidate flows at lot 0. Matrix $\mathbf{I} - \mathbf{J}\mathbf{p}$ is patterned as follows:

$$\begin{bmatrix} 1 & -a & -a & -a & \dots & -a & -a \\ -c & 1 & -b & 0 & \dots & 0 & -b \\ -c & -b & 1 & -b & \dots & \dots & 0 \\ -c & 0 & -b & 1 & \dots & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -c & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & -b \\ -c & -b & 0 & \dots & 0 & -b & 1 \end{bmatrix} \text{ where } \begin{cases} a = \bar{\alpha}_0 / N \\ b = \bar{\alpha}_1 \beta \\ c = \bar{\alpha}_1 (1 - 2\beta) \end{cases}.$$

The first two rows in the problem yield equations

$$\begin{aligned} y_0 - c \sum_{n=1}^N y_{1n} &= q_0 \\ -ay_0 + y_{1n} - by_{1,n-1} - by_{1,n+1} &= q_{1n} \end{aligned}$$

By symmetry, $y_n = y_1, \forall n$, yielding that

$$\begin{aligned}y_0 - cNy_1 &= q_0 \\(1 - 2b)y_1 &= q_1 + ay_0\end{aligned}$$

Denote $\sigma = 1 - 2b - acN = 1 - 2\bar{\alpha}_1\beta - \bar{\alpha}_0\bar{\alpha}_1(1 - 2\beta)$. It comes out that

$$\begin{aligned}y_1 &= \frac{a}{\sigma}q_0 + \frac{1}{\sigma}q_1 \\y_0 &= \frac{1-2b}{\sigma}q_0 + \frac{cN}{\sigma}q_1\end{aligned}$$

Annexe C

Enquête stationnement à la Cité Descartes

Bonjour,

Nous sommes les étudiants en Master « *Fondation Renault Transport et développement durable* » (Paris Tech), et nous réalisons une étude sur les stationnements au sein de la Cité Descartes. Suite à une première étape de recensement de données sur les pratiques de stationnement, via le présent questionnaire, nous allons procéder à un diagnostic de la situation actuelle, tout en proposant des améliorations futures. Les résultats seront remis aux autorités d'aménagement concernées.

Votre participation est très importante : elle garantit la qualité de notre étude, en nous permettant de mieux connaître vos pratiques et vos besoins. Vos réponses permettront de formuler des propositions adaptées et réalistes.

Le questionnaire dure entre 5 et 10 minutes, et est anonyme.

Nous vous remercions pour votre participation.

Partie I) Votre Déplacement jusqu'à la Cité Descartes

1. Quelle est l'origine de votre déplacement ?.....code postal.....
2. Quelle est la destination précise de votre déplacement ici ?
.....
3. Pour venir ici, quel moyen de transport utilisez-vous ?

	Habituellement	Occasionnellement
Voiture		
Covoiturage		
Transport en commun		
Deux roues motorisés		
Vélo		
Marche à pied		

4. Quel est votre motif de déplacement ?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Domicile | <input type="checkbox"/> Travail |
| <input type="checkbox"/> Etudes | <input type="checkbox"/> Achats |
| <input type="checkbox"/> Affaires personnelles | <input type="checkbox"/> Culture, loisirs |
| <input type="checkbox"/> Autres..... | |

5. Combien de temps mettez-vous pour ce déplacement ? h.....Min

6. Combien de fois par semaine venez-vous en voiture à la Cité Descartes ? fois.

7. Quand vous passez toute la journée à la Cité, pour prendre le déjeuner vous vous déplacez en :

- Voiture
- Covoiturage
- Transport en commun
- Je n'ai pas besoin de me déplacer, je déjeune à mon lieu de travail
- Autres, précisez :.....
- Deux roues motorisées
- Vélo
- Marche à pied

8. Quelles sont les heures habituelles de votre arrivée et départ de la cité Descartes ?

Arrivée à.....h.....

Départ àh.....

Partie II) Stationnement à la Cité Descartes

1. Lorsque vous utilisez la voiture pour venir à la Cité Descartes, pour la garer, Vous cherchez :

	Habituellement	Occasionnellement
Une place fournie gratuitement par l'employeur		
Une place gratuite dans la rue		
Une place payante dans la rue		
Autres, précisez :		

2. D'une manière générale, combien de temps mettez-vous pour trouver une place ?Min

3. Comment jugez-vous la recherche d'une place de stationnement à la Cité ?

- Très facile,
- Facile,
- Assez facile
- Assez difficile,
- Difficile,

4. Finalement, où vous gardez-vous ?

	Habituellement	Occasionnellement	Jamais
Sur une place fournie gratuitement par mon employeur			
Dans la rue sur une place gratuite			
Dans un parking public gratuit			
Sur une place payante dans la rue			
Autres, précisez :			

5. Quelles sont vos principales motivations pour le choix de votre place de stationnement ? (3 choix possibles)

- Prix
- Sécurité
- Facilité d'accès (entrée et sortie)
- Durée du stationnement

- Proximité avec votre destination finale Autres, précisez :.....
- Temps de recherche d'une place

6. Quelle est la durée moyenne de votre stationnement sur le site? h.....Min

7. Comment vous rendez-vous du parking à votre destination finale ?

- A pied
- En Transport en Commun
- Autres, précisez :

8. Combien de temps mettez-vous depuis la place de stationnement jusqu'à votre destination finale?
..... Min

9. Depuis combien de temps fréquentez-vous à la Cité Descartes ?annéemois

10. Est-ce que vous avez remarqué des changements dans le stationnement à la Cité Descartes ?
(Y'a-t-il plus de monde qui se gare? Est-ce plus facile ou difficile de trouver une place ?)

.....

.....

.....

11. Quelles remarques souhaitez-vous faire sur le stationnement la Cité Descartes et sur ses possibilités d'évolution ?

.....

.....

.....

Partie III) Mieux vous connaître

1. Vous êtes :

- Un homme Une femme

2. Quel est votre âge ? ans

3. Quelle est votre catégorie socioprofessionnelle ?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Etudiant | <input type="checkbox"/> Femme au foyer |
| <input type="checkbox"/> Employé | <input type="checkbox"/> Chômeur |
| <input type="checkbox"/> Cadre | <input type="checkbox"/> Retraité |
| <input type="checkbox"/> Profession libérale | <input type="checkbox"/> Autres..... |
| <input type="checkbox"/> Ouvriers | |

4. Dans quelle tranche se situe votre revenu mensuel?

- <500 €
- 500-1500 €
- 1500-2500 €
- 2500-3500 €
- 3500-4500 €
- >4500 €

Merci d'avoir bien voulu remplir ce questionnaire.

5. Quelle est votre lieu/Ville de résidence ?.....

Code postal.....

Table des matières

Résumé	7
Abstract	9
Sommaire	7
Introduction générale	9
PARTIE 1 ENJEUX DE CONNAISSANCE DU STATIONNEMENT EN MILIEU URBAIN.....	19
Chapitre 1 Repenser le stationnement au prisme de l'éco-conception.....	21
1.1 Introduction.....	21
1.2 Les enjeux du stationnement urbain : une mise en perspective historique.....	22
1.2.1 Le stationnement comme élément auxiliaire de la circulation urbaine (1900-1960).....	23
1.2.2 Le stationnement comme ingrédient de l'aménagement de l'espace urbain (1960-1980).....	26
1.2.3 Le passage du stationnement à un outil de gestion des déplacements urbains (1980-2000).....	32
1.2.4 Le tournant : le stationnement comme une véritable clé de voûte de la planification urbaine (2000-aujourd'hui).....	37
1.2.5 Éléments de synthèse	43
1.3 L'intérêt de l'éco-conception pour organiser le stationnement urbain	43
1.3.1 L'éco-conception comme cadre pragmatique d'action.....	44
1.3.1.1 Qu'est ce que l'éco-conception ?.....	44
1.3.1.2 Qu'est ce que l'éco-conception du stationnement ?	47
1.3.2 Les politiques de stationnement : genèse et approches de conception.....	48
1.3.2.1 Qu'est ce qu'une politique de stationnement ?	48
1.3.2.2 Pluralité et ambivalence des objectifs poursuivis	50
1.3.2.3 Diversité et multiplicité des instruments d'action	51
1.3.2.4 Les approches sous-tendant la conception des politiques de stationnement	54
1.3.2.5 La démarche d'élaboration d'une politique de stationnement	58
1.3.3 Analyse des conditions de transition vers des politiques de stationnement plus durables.....	60
1.3.3.1 La nécessité d'une meilleure connaissance sur le stationnement	60
1.3.3.2 L'importance de la gouvernance et de la coordination des actions entre les différentes échelles spatiales	62
1.3.3.3 Vers une réforme du cadre réglementaire et technique	63
1.3.4 Éléments de synthèse	64
1.4 Conclusion.....	64

Chapitre 2 Analyse systémique du stationnement	67
2.1 Introduction	67
2.2 L'approche systémique : un outil de réflexion et de compréhension	68
2.2.1 Naissance et développement du paradigme systémique	69
2.2.2 Principes et fondements théoriques	69
2.2.3 Méthodes et outils.....	72
2.2.4 Intérêts de la systémique pour l'analyse du stationnement	73
2.3 Le recours au concept de système de stationnement	73
2.3.1 Définitions usuelles du stationnement.....	74
2.3.2 Le stationnement : un objet à entrées multiples.....	75
2.3.3 L'entrée du « déplacement ».....	76
2.3.4 L'entrée du « système automobile ».....	77
2.3.5 L'entrée de « l'espace urbain »	77
2.3.6 Définition du concept de système de stationnement.....	79
2.4 Analyse structurelle du système de stationnement	80
2.4.1 Le sous-système de l'offre	82
2.4.1.1 Les types de place et leurs modalités d'exploitation.....	82
2.4.1.2 Capacité et charge de stationnement.....	82
2.4.1.3 Qualité de service et options de stationnement	83
2.4.1.4 Autres caractéristiques saillantes de l'offre.....	83
2.4.2 Le sous-système de la demande.....	84
2.4.2.1 Typologie des demandeurs	84
2.4.2.2 Distribution spatiale et temporelle de la demande.....	85
2.4.3 Le sous-système de l'usage	85
2.4.4 Le sous-système des acteurs.....	86
2.4.4.1 Les acteurs institutionnels	86
2.4.4.2 Les acteurs socio-économiques.....	87
2.5 Analyse fonctionnelle du système de stationnement	89
2.5.1 Dynamiques de fonctionnement interne du système	89
2.5.1.1 Description du fonctionnement de chaque sous-système du stationnement	90
2.5.1.2 Analyse des modalités d'interaction entre les sous-systèmes de stationnement	91
2.5.2 Fonctionnement du système à l'échelle locale.....	92
2.5.2.1 Interactions et effets sur les conditions de circulation.....	94
2.5.2.2 Interactions et effets sur les choix de déplacement et d'activité.....	95
2.5.2.3 Interactions et effets sur le cadre de vie.....	95
2.5.3 Fonctionnement du système à l'échelle de l'agglomération	96
2.6 Conclusion	98

Chapitre 3 Analyse du stationnement à partir d'une enquête ménages déplacements : application à l'agglomération parisienne	101
3.1 Introduction	101
3.2 Diagnostic du stationnement à partir d'une EMD	103
3.2.1 Présentation de l'Enquête globale transport de 2010.....	103
3.2.2 Description de la demande.....	105
3.2.3 Description de l'usage	105
3.2.4 Description de l'offre	106
3.2.5 Portée et limites de l'analyse à partir d'une EMD.....	106

3.3 Stationnement nocturne des ménages	107
3.3.1 Motorisation automobile des ménages franciliens	107
3.3.2 Équipement en emplacements privés du logement	108
3.3.3 Où sont garées les voitures particulières la nuit ?.....	110
3.3.4 Comment sont garées les voitures la nuit ?.....	110
3.3.5 Influence de la situation socio-économique du ménage sur l'usage nocturne des places.....	112
3.3.6 Quelles évolutions de l'usage nocturne des emplacements ?	114
3.3.7 Éléments de synthèse	115
3.4 Analyse du stationnement diurne	115
3.4.1 Utilisation quotidienne de la voiture	116
3.4.2 Quels stationnements pour les véhicules immobiles ?.....	118
3.4.3 Où sont garés les véhicules utilisés dans la journée ?.....	119
3.4.4 Les motifs de stationnement diurne	122
3.4.5 Temporalité des arrivées et de la présence	125
3.4.6 Spatialisation de la demande de stationnement diurne.....	127
3.4.7 Répartition des modes de stationnement diurne	127
3.4.8 Évolution des pratiques de stationnement en journée	131
3.4.9 Synthèse et perspectives.....	132
3.5 Évaluation de la charge journalière de stationnement	133
3.5.1 Définitions.....	133
3.5.2 Méthode d'évaluation	133
3.5.3 La charge active	134
3.5.4 La charge passive	135
3.5.5 La charge totale de stationnement.....	135
3.5.6 Bilan et perspectives.....	136
3.6 Conclusion	137

PARTIE 2 MODELISATION DU STATIONNEMENT 139

Chapitre 4 Etat de l'art des modèles de stationnement..... 141

4.1 Introduction	141
4.2 Généralités sur la modélisation du stationnement de l'offre	142
4.2.1 Intérêt de la modélisation du stationnement	142
4.2.2 Enjeux de la modélisation du stationnement	144
4.2.3 Contextes et évolution des modèles de stationnement.....	146
4.2.3.1 Changement de paradigme et des objectifs des modèles	147
4.2.3.2 Évolution des problématiques étudiées	147
4.2.4 Approches de modélisation du stationnement.....	153
4.2.4.1 L'approche des choix discrets	153
4.2.4.2 L'approche basée sur la théorie de probabilité	153
4.2.4.3 L'approche basée sur le réseau	154
4.2.4.4 Limites des approches de modélisation.....	154
4.2.5 Portée spatiale des modèles de stationnement.....	154
4.2.5.1 Modèles à l'échelle du parc de stationnement	155
4.2.5.2 Modèles à l'échelle du centre-ville	155
4.2.5.3 Modèles dans une aire urbaine ou suburbaine.....	155
4.2.5.4 Modèles d'interaction entre système de stationnement et système d'occupation du sol.....	156

4.2.5.5 Vers une hiérarchie des modèles de stationnement.....	156
4.3 Représentation de l'offre et de la demande dans les modèles.....	156
4.3.1 Caractérisation de l'offre.....	156
4.3.1.1 Attributs typologiques de l'offre	157
4.3.1.2 Attributs économiques de l'offre	158
4.3.1.3 Attributs physiques de l'offre.....	161
4.3.1.4 Attributs d'usage de l'offre	164
4.3.2 Caractérisation de la demande	165
4.3.2.1 Grandes lignes de représentation de la demande.....	166
4.3.2.2 Représentation de la dynamique des comportements de choix.....	168
4.3.2.3 Les comportements de recherche de stationnement.....	177
4.3.2.4 Les comportements adaptatifs de stationnement	178
4.3.2.5 Couplage du stationnement avec d'autres choix de déplacement	179
4.4 L'interaction spatiotemporelle offre-demande : vers un équilibre du stationnement	181
4.4.3 Effets de l'interaction offre-demande	181
4.4.4 Modélisation de l'équilibre de stationnement	182
4.4.4.1 Intérêt des modèles d'équilibre de stationnement	183
4.4.4.2 Temporalité des modèles d'équilibre de stationnement.....	183
4.5 Synthèse et conclusion	194

Chapitre 5 ParkCap : un modèle offre-demande de choix d'itinéraire et de stationnement dans un territoire urbain	197
5.1 Introduction	197
5.2 Représentation de l'offre.....	203
5.2.1 Le réseau routier	203
5.2.2 Les lots de stationnement.....	204
5.3 Représentation de la demande	204
5.3.1 Segmentation de la demande	205
5.3.2 Options de choix et comportements de déplacement.....	205
5.3.2.1 Définition des options de choix	205
5.3.2.2 Comportements de déplacement des usagers.....	206
5.3.2.3 Coût généralisé de déplacement	207
5.3.3 Coûts certains	208
5.3.4 Processus de recherche, flux, coût et choix de report.....	209
5.3.4.1 Processus de recherche	209
5.3.4.2 Flux de recherche sur le réseau.....	209
5.3.4.3 Coût de recherche et coût espéré par lot cible.....	210
5.3.4.4 Choix local de transition.....	211
5.4 L'interaction entre l'offre et la demande.....	212
5.4.1 Les fonctions de demande	212
5.4.2 Les fonctions de trafic	213
5.4.3 Les fonctions de coûts	214
5.4.4 Structure logique du modèle	215
5.5 Analyse mathématique du modèle	217
5.5.1 Formulation de l'équilibre.....	217
5.5.1.1 Définition de l'équilibre de circulation et de stationnement	217
5.5.1.2 Existence et unicité de la solution	217
5.5.2 Méthodes et schéma de résolution	218
5.6 Applications numériques	220

5.6.1 Cas du réseau symétrique.....	220
5.6.1.1 Présentation du cas	220
5.6.1.2 Équilibre de stationnement et analyse paramétrique	221
5.6.1.3 Discussion.....	224
5.6.2 Cas d'un réseau routier avec une paire O-D et trois lots.....	225
5.6.2.1 Présentation du cas	225
5.6.2.2 Analyse paramétrique.....	226
5.6.2.3 Discussion.....	229
5.7 Présentation du simulateur ParkCap	230
5.7.1 Structure informatique du simulateur	230
5.7.1.1 La bibliothèque Common	231
5.7.1.2 La bibliothèque Network	231
5.7.1.3 La bibliothèque ParkSearch.....	232
5.7.1.4 L'exécutable SCPark_Test	232
5.7.2 Fonctionnement informatique du simulateur.....	233
5.7.3 Portée opérationnelle du simulateur.....	235
5.8 Conclusion.....	236

PARTIE 3 ÉTUDE DE PLANIFICATION STRATEGIQUE DU STATIONNEMENT AU SEIN DE LA CITE DESCARTES ELARGIE..... 239

Chapitre 6 Contexte territorial et diagnostic du stationnement dans la cité Descartes élargie..... 241

6.1 Introduction.....	241
6.2 Présentation générale de la cité Descartes élargie.....	242
6.2.1 Contexte territorial et aperçu historique	243
6.2.2 Profil d'urbanisation et cadre bâti	245
6.2.3 Structure de la population et du parc de logements.....	246
6.2.4 Activité économique et population active	249
6.2.5 Conditions d'accessibilité et de mobilité	252
6.2.6 Mode de gouvernance et parties prenantes.....	254
6.2.7 Synthèse : vers un développement urbain durable	255
6.3 Diagnostic du stationnement à la cité Descartes élargie	256
6.3.1 Périmètre et méthodes du diagnostic.....	256
6.3.2 État de l'offre à disposition des usagers	259
6.3.3 État de la demande et de l'usage.....	262
6.3.3.1 Caractéristiques des automobilistes et de leurs déplacements	262
6.3.3.2 Situations et comportements de choix de stationnement.....	263
6.3.3.3 Conditions d'usage et d'occupation des places	264
6.3.4 Bilan du diagnostic	266
6.4 Conclusion.....	268

Chapitre 7 Méthode opératoire et application du modèle ParkCap au cas de la cité Descartes élargie : situation de référence et variantes en 2010..... 271

7.1 Introduction	271
7.2 Le passage à la simulation : codage des informations et opérationnalité du modèle.....	272
7.2.1 Codage de l'offre	273
7.2.1.1 Codification du réseau routier	274

7.2.1.2 Codification de l'offre d'activités.....	275
7.2.1.3 Codification des lots de stationnement.....	275
7.2.2 Codage de la demande.....	277
7.2.2.1 Segmentation des usagers selon les lieux et les motifs d'activité	278
7.2.2.2 Génération de la demande et distribution selon les O-D	279
7.2.2.3 Spécification des paramètres du coût généralisé.....	285
7.2.3 Association spatiale et articulation de l'offre et de la demande	287
7.2.3.1 Spécification des typologies des nœuds	288
7.2.3.2 Définition des zones de chalandise.....	289
7.2.3.3 Création de connecteurs spécifiques.....	290
7.2.4 Vers un modèle opérationnel : opérations de calage et de validation	290
7.2.4.1 À propos du calage du modèle.....	291
7.2.4.2 À propos de la validation du modèle : résultats des tests de sensibilité	293
7.2.5 Éléments de conclusion	296
7.3 Simulation du système de stationnement de la cité Descartes élargie en 2010	297
7.3.1 Démarche de simulation	297
7.3.2 Résultats de la situation de référence	300
7.3.2.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement.....	300
7.3.2.2 État du trafic sur le réseau.....	302
7.3.2.3 Structure du coût généralisé de déplacement.....	303
7.3.2.4 Éléments de synthèse	305
7.3.3 Résultats des variantes	306
7.3.3.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement.....	306
7.3.3.2 État du trafic sur le réseau.....	310
7.3.3.3 Structure des coûts pour l'utilisateur.....	313
7.3.4 Synthèse et discussion des résultats.....	314
7.4 Conclusion.....	317

Chapitre 8 Simulation prospective du stationnement dans la cité Descartes élargie à l'horizon de 2030	321
8.1 Introduction	321
8.2 Contexte et projets d'aménagement futurs de la cité Descartes	323
8.2.1 Aperçu du projet du Grand Paris Express.....	323
8.2.2 De la cité au cluster Descartes	325
8.2.2.1 Renouvellement du quartier de la gare : une nouvelle polarité mixte, à dominante tertiaire	326
8.2.2.2 Aménagement du boulevard du Rû-de-Nesles : épine dorsale et axe structurant est-ouest.....	326
8.2.2.3 Transformation de la RD 199 en un boulevard urbain : support d'accueil de nouvelles populations.....	328
8.2.3 Enjeux du stationnement futur au sein de la cité Descartes élargie	329
8.3 Approche, informations et hypothèses de simulation.....	330
8.3.4 Mettre la simulation au service de la prospective	330
8.3.4.1 Aperçu de l'approche prospective.....	330
8.3.4.2 Construction des scénarios	332
8.3.5 Informations d'entrée et hypothèses.....	333
8.3.5.1 Codage de l'offre	334
8.3.5.2 Codage de la demande.....	338

8.4 Résultats de simulation.....	342
8.4.1 Résultats du scénario tendanciel.....	343
8.4.1.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement.....	343
8.4.1.2 État du trafic sur le réseau.....	345
8.4.1.3 Structure du coût pour l'utilisateur.....	346
8.4.2 Résultats du scénario intermédiaire.....	348
8.4.2.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement.....	348
8.4.2.2 État du trafic sur le réseau.....	350
8.4.2.3 Structure du coût pour l'utilisateur.....	351
8.4.3 Résultats du scénario de rupture.....	353
8.4.3.1 État d'occupation et usage des lots de stationnement.....	354
8.4.3.2 État du trafic sur le réseau.....	356
8.4.3.3 Structure du coût pour l'utilisateur.....	357
8.4.4 Discussion des résultats.....	359
8.5 Conclusion.....	362
Conclusion générale.....	365
Bibliographie.....	371
Liste des abréviations.....	389
Liste des figures.....	390
Liste des tableaux.....	394
Annexes.....	395
Table des matières.....	407

