



HAL
open science

Changes in behaviour of automobile mobility

Amandine Chevalier

► **To cite this version:**

Amandine Chevalier. Changes in behaviour of automobile mobility. Economics and Finance. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2014. English. NNT : 2014ENMP0033 . tel-01141809v1

HAL Id: tel-01141809

<https://pastel.hal.science/tel-01141809v1>

Submitted on 13 Apr 2015 (v1), last revised 7 Jul 2020 (v2)

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.

École doctorale n°396 : Economie, Organisation, Société

Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École nationale supérieure des mines de Paris

Spécialité “ Economie et Finance ”

présentée et soutenue publiquement par

Amandine CHEVALIER

le 26 novembre 2014

Version publique

Changements de comportements de mobilité automobile

Directeur de thèse : **Matthieu GLACHANT**
Co-encadrement de la thèse : **Frédéric LANTZ**

Jury

Matthieu GLACHANT, Professeur, CERNA, Mines ParisTech
Frédéric LANTZ, Professeur, Centre Economie et Gestion, IFP School
Anne AGUILERA, Chercheur, Laboratoire Ville Mobilité Transport, Ecole des Ponts
ParisTech
Charles RAUX, Ingénieur de recherche, Laboratoire d'Economie
des Transports, Université de Lyon
Alain AYONG LE KAMA, Professeur des Universités, Université Paris Ouest Nanterre

Directeur de thèse
Co-encadrant de thèse

Rapporteur

Rapporteur
Examinateur

MINES ParisTech
Cerna
60, boulevard Saint-Michel 75006 Paris

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Matthieu Glachant pour la direction de cette thèse, surtout pour ses orientations efficaces lors d'étapes déterminantes de la réflexion comme de la rédaction.

Je tiens également à témoigner ma gratitude à Frédéric Lantz, mon co-encadrant, qui m'a orientée et soutenue, notamment dans les travaux économétriques, dont les méthodes étaient encore inconnues pour moi il y a trois ans.

Je suis reconnaissante à Anne Aguiléra et Charles Raux d'avoir accepté de rapporter ce travail de thèse, ainsi qu'à Alain Ayong le Kama pour sa participation au jury.

Je remercie Eric Champarnaud de m'avoir offert l'opportunité de réaliser cette thèse au sein du BIPE. Une grande partie des travaux aurait été impossible sans les données de l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobiles et les méthodes du BIPE. Surtout, j'y ai énormément appris, bien au-delà de la thèse, et développé une première expérience professionnelle à part entière. J'ai une pensée particulière pour tous les « Bipiens », actuels ou anciens, avec qui j'ai pu travailler ou simplement échanger, notamment Bénédicte, Béatrice, Audrey, Hugo, Simon, Clément, l'équipe des sushis du vendredi, et surtout Fanny pour ses aides précieuses.

Je suis également reconnaissante à tous les interlocuteurs ayant apporté leur aide à l'avancée des travaux, notamment du CNPA (André Gallin, Pauline Rousselle, Margo Dorschel-Dessertenne, Nora Tadjer), de l'ADEME (Chantal Derkenne), du réseau France-Autopartage, ou encore de l'Association des Economistes de l'Energie (Céline Marcy, Yannick Perez).

Je remercie également les membres de la Direction Economie de l'IFPEN pour leur accueil, Benoît Chèze pour ses nombreux éclairages et ses encouragements, Nathalie Alazard-Toux, Jean-François Gruson, Jérôme Sabathier et Chantal Paron pour m'avoir aidé à porter les résultats de mes travaux. Je pense également aux docteurs et doctorants de l'IFPEN (Elodie Le Cadre et Elodie Sentenac-Chemin notamment), à mes « co-bureau » successifs : Laëtitia, Vincent, Andréa, Marion, Claire et Nosra, avec qui j'ai pu partager l'expérience de la thèse.

Enfin, je tiens à témoigner mon affection à tous mes proches, famille et amis, m'ayant soutenue, tout particulièrement mes parents, à qui je dois tant, ma sœur Séverine, Johana, mon amie de toujours, Charlotte, ma « grande sœur » de thèse qui m'a fait part de son expérience et guidée dans cette aventure, Aurélie, pour nos années d'études ensemble et plus encore, Alice pour m'avoir encouragée à me lancer dans l'aventure, Delphine, avec qui j'ai pu penser à autre chose lors de nos séances de gym suédoise, Pedro, pour nos échanges sur la vie et la psychologie du thésard (qui pourrait faire l'objet d'une thèse à part entière), et surtout mon mari, Aymeric, pour son soutien, sa compréhension, sa patience (presque) sans limites et son exil parisien.

Abréviations et acronymes

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

BDF : Budget des Familles

CCE : Contribution Climat-Energie

CCFA : Comité des Constructeurs Français d'Automobile

CDC : Caisse des Dépôts et Consignations

CGDD : Commissariat Général au Développement Durable

CNPA : Conseil National des Professionnels de l'Automobile

CO₂ : dioxyde de carbone

CPDP : Comité Professionnel Du Pétrole.

CSP : Catégorie Socio-Professionnelle

CTP : Coût Total de Possession

DGEC : Direction Générale de l'Energie et du Climat

ENTD : Enquête Nationale Transport et Déplacement

g : grammes

GES : Gaz à Effet de Serre

HFC : hydrofluorocarbures

IIA : Independence of Irrelevant Alternatives

INSEE : Institut Nationale de la Statistique et des Etudes Economiques

Km : kilomètres

L : litres

LCD : Location Courte Durée

LLD : Location Longue Durée

LOA : Location avec Option d'Achat

LSDV : Least Square Dummy Variable

MCG : Moindres Carrés Généralisés

MCO : Moindres Carrés Ordinaires

MDE : Maîtrise de la Demande d'Energie

MPV : Multi Purpose Vehicle

Mtep : Million de tonnes équivalent pétrole

NSM : Nouveaux Services de Mobilité

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

OMA : Observatoire des Mobilités et Arbitrages automobile

PIB : Produit Intérieur Brut

PRG : Pouvoir de Réchauffement Global

SOeS : Service de l'Observation et des Statistiques

TAD : Transport A la Demande

TC : transports en commun

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

VLS : Vélo en Libre-Service

VP : voitures particulières

€ : Euro

Table des matières

RESUME EXECUTIF	10
EXECUTIVE SUMMARY.....	14
INTRODUCTION GENERALE.....	18
PREMIERE PARTIE : VERS UN NOUVEAU RAPPORT A L'AUTOMOBILE PLUS ECONOMIQUE ET ECOLOGIQUE ?	26
CHAPITRE 1 - LA PREPONDERANCE AUTOMOBILE REMISE EN QUESTION.....	28
1. LA VOITURE COMME MODE DE TRANSPORT PRINCIPAL DES FRANÇAIS : LES CHOIX MODAUX ET LEURS DETERMINANTS	28
2. LA GENERALISATION DE LA MOTORISATION DES MENAGES : L'EQUIPEMENT AUTOMOBILE ET SES DETERMINANTS.....	41
3. LA REMISE EN CAUSE DE LA VOITURE PARTICULIERE ET LES FACTEURS DE RUPTURE	47
4. LA RATIONALISATION DE L'USAGE AUTOMOBILE ET L'INTERET POUR LES NOUVEAUX SERVICES DE MOBILITE (NSM).....	53
5. CONCLUSION.....	60
CHAPITRE 2 - LES NOUVEAUX SERVICES DE MOBILITE AUTOMOBILE : QUELS POTENTIELS ?	62
1. LES NOUVEAUX SERVICES DE MOBILITE AUTOMOBILE : DEFINITIONS ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES	63
2. LES NOUVEAUX SERVICES DE MOBILITE AUTOMOBILE : PROFILS D'UTILISATEURS.....	68
3. LE POTENTIEL DE DIFFUSION DE LA VOITURE PARTAGEE	70
4. CONCLUSION.....	81
CHAPITRE 3 - LES NOUVEAUX SERVICES DE MOBILITE AUTOMOBILE : QUELS IMPACTS ENERGETIQUES ?	82
1. UN EXEMPLE D'APPLICATION DE L'ECONOMIE DE LA FONCTIONNALITE	83
2. UNE EVALUATION DES CONDITIONS D'ECONOMIES D'ENERGIE PAR UNE METHODOLOGIE D'APPROCHE GLOBALE DE LA MOBILITE.....	86
3. DISCUSSION	94
4. CONCLUSION.....	97
CONCLUSION PREMIERE PARTIE	99
DEUXIEME PARTIE : QUELS CHOIX MODAUX POUR LES MENAGES FRANÇAIS EN 2020 ?	100
CHAPITRE 4 - MOBILITE ET USAGE AUTOMOBILE : UNE ANALYSE APPROFONDIE DES DETERMINANTS DES CHOIX MODAUX SELON UNE APPROCHE STATISTIQUE	102
1. LES BESOINS DE MOBILITE	102
2. LES PROFILS DES USAGERS DES DIFFERENTS MODES DE TRANSPORT	105
3. ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (ACM)	106
4. CONCLUSION.....	115
CHAPITRE 5 - VOITURE PERSONNELLE OU MODES ALTERNATIFS ? PREDIRE DE POTENTIELS TRANSFERTS MODAUX A L'AIDE D'UNE APPROCHE ECONOMETRIQUE.....	118
1. REVUE DE LITTERATURE.....	119
2. METHODE ET DONNEES.....	120
3. RESULTATS	136

4. PREVISIONS A HORIZON 2020 ET INTERVALLES DE PREDICTIONS BOOTSTRAP.....	148
5. DISCUSSION	162
6. CONCLUSION.....	164
CONCLUSION DEUXIEME PARTIE	166
TROISIEME PARTIE : QUELS NIVEAUX DE MOTORISATION DES MENAGES FRANÇAIS EN 2020 ?.....	168
CHAPITRE 6 – MOBILITE ET EQUIPEMENT AUTOMOBILE, UNE ANALYSE GENERATIONNELLE RETROSPECTIVE	170
1. REVUE DE LITTERATURE	170
2. ETUDE RETROSPECTIVE	178
3. CONCLUSION.....	195
CHAPITRE 7 – VERS UNE DECROISSANCE DES NIVEAUX DE MOTORISATION DES MENAGES FRANÇAIS ? L'APPORT DE LA MODELISATION EN DONNEES DE PANEL	198
1. REVUE DE LITTERATURE	199
2. LA METHODE	205
3. LES DONNEES.....	209
4. LA SPECIFICATION DU MODELE D'EQUIPEMENT AUTOMOBILE	214
5. LES RESULTATS EMPIRIQUES.....	215
6. LES PREDICTIONS A L'HORIZON 2020	222
7. DISCUSSION	227
8. CONCLUSION.....	228
CONCLUSION TROISIEME PARTIE	229
CONCLUSION GENERALE	230
ANNEXES	234
BIBLIOGRAPHIE	273
LISTE DES TABLEAUX	289
LISTE DES FIGURES	291

Résumé exécutif

Le secteur du transport, en forte progression depuis plus de deux décennies, représente désormais près de 70% de la consommation de produits pétroliers en France et 41% de ses émissions de CO₂. Assurant environ 80% des déplacements des ménages français, les voitures particulières sont à elles seules responsables de plus de la moitié de ces dernières. Or la France s'est fixée comme objectif de diviser par quatre ses émissions de CO₂ à horizon 2050. Pour que le secteur des transports participe à l'effort, une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules est nécessaire, de même qu'un changement dans les habitudes de mobilité des Français et notamment de leur rapport à l'automobile.

Depuis le début des années 2000, plusieurs inflexions dans ces comportements sont observées en France. Tout d'abord, la mobilité stagne et on parle de phénomène de "peak travel". Dans les grandes villes, la part de la voiture se réduit. Par ailleurs, les kilométrages annuels moyens parcourus en voiture diminuent année après année. Il s'agit donc d'une déconnexion entre l'usage et la possession automobile. En effet, plus de 80% des ménages français sont aujourd'hui équipés d'une ou plusieurs voitures et cette proportion ne varie plus beaucoup : on se situe donc dans une phase de saturation (ou "peak car"). Enfin, de nouveaux services de mobilité apparaissent, autopartage et covoiturage notamment, qui s'inscrivent comme des concurrents à la possession dans un marché automobile déjà en difficulté.

Par conséquent, l'émergence de ces nouveaux services conduit à s'interroger sur leur ampleur, leur durabilité et leurs potentiels impacts sur l'inflexion des comportements d'usage et d'achat automobile. Ils constituent donc l'angle d'analyse de la thèse.

Trois questions principales ont orienté les recherches et structuré la thèse :

- Quels potentiels d'usage des nouveaux services de mobilité (NSM) automobile ?
- Quel impact des nouveaux services de mobilité sur les choix modaux, notamment l'intensité d'usage de la voiture et donc les consommations de carburants ?
- Quel impact des nouveaux services de mobilité sur le niveau de motorisation des ménages et donc la taille du marché automobile ?

Pour répondre à ces questions, une approche empirique a été mobilisée, rendue possible par la disponibilité de données d'enquêtes (Observatoire des Mobilité et Arbitrages Automobiles du BIPE et Enquête Nationale des Transport, INSEE, SOeS).

Dans un premier temps, les potentiels d'usage théoriques des nouveaux services de mobilité ont été calculés. Il s'agit plus précisément de déterminer la part de la population qui pourrait remplacer sa voiture personnelle par des nouveaux services de mobilité selon des critères économiques (seuil de rentabilité entre possession et partage/location) et de conditions d'utilisation (station d'autopartage ou agence de location à proximité du domicile par exemple). Les résultats montrent un potentiel intéressant pour le covoiturage (34%) tandis qu'il est beaucoup plus restreint pour l'autopartage (7-8%) et la location courte durée (3%). Ces potentiels sont théoriques et reposent sur des critères rationnels. Or les choix modaux ne sont pas uniquement guidés par la rationalité économique. Par conséquent, il convient de prendre en compte les comportements réels des individus et donc la place des nouveaux services de mobilité dans les déplacements quotidiens.

Dans un second temps, il a donc été question de déterminer la place des nouveaux services de mobilité dans les choix modaux en 2020. Pour cela, une méthode en trois étapes a été mobilisée. Sur la base des données de l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobiles du BIPE, une analyse descriptive de la mobilité quotidienne locale a été menée afin de mettre en évidence les principaux déterminants des choix modaux. Ces derniers ont ensuite été employés afin d'estimer un modèle de choix modal incluant les nouveaux services de mobilité comme mode de transport à part entière. Enfin, ce modèle a permis de prédire les choix modaux en 2020. Dans un premier temps, une segmentation de la population selon sept profils de mobilité a été obtenue, reposant sur une classification ascendante hiérarchique. Elle montre que les variables les plus discriminantes des choix modaux sont les besoins de déplacement (en kilomètres par motifs), la densité de la commune de résidence, la situation de famille, la motorisation, l'âge, le statut d'activité, le revenu. A partir de ces variables, un modèle logit multinomial a été estimé afin d'expliquer le choix entre la voiture personnelle, les nouveaux services de mobilité (ou voiture partagée), le deux-roues motorisé, le vélo, la marche et les transports en commun. L'estimation montre que la distance à parcourir, la faible densité, la motorisation et l'âge diminuent la probabilité de choisir les modes alternatifs à la voiture, tandis que le nombre de personnes dans le foyer augmente cette probabilité. Plus précisément, seules la situation de famille et surtout la motorisation ont un effet significatif sur le choix de la voiture partagée. Par conséquent, la prédiction des choix modaux en 2020 a été réalisée selon trois cas de motorisation des ménages (déséquipement, mono-équipement, multi-équipement) et par profils de mobilité. Les résultats agrégés dans le cas du scénario « mono-équipement » montrent une progression du recours à la voiture personnelle et aux transports en commun en 2020, une baisse de l'usage des deux-roues motorisés, du vélo et de la marche, et une stagnation du recours à la voiture partagée. Dans le cas du scénario « déséquipement », le recours à la

voiture personnelle diminuerait fortement, tandis que les transports en commun deviendraient le mode de transport principal. C'est par ailleurs dans ce seul scénario que l'usage de la voiture partagée se développerait, mettant en évidence un lien entre démotorisation et développement des nouveaux services de mobilité. Mais cet usage resterait restreint : seulement 3% des parts modales en 2020. Par ailleurs, le profil cible de la voiture partagée est celui des "automobilistes exclusifs" ayant de forts besoins de déplacements. Or ce sont également les plus motorisés. Par conséquent, il convient d'analyser la capacité des nouveaux services de mobilité à induire une démotorisation.

La troisième partie de la thèse traite donc de l'évolution des niveaux de motorisation des ménages français et de leur projection à 2020. Pour cela, et partant du constat que la voiture est une habitude qui se prend jeune (Bodier, 1996), une approche générationnelle a été adoptée afin de rendre compte des multiples effets (âge, génération, période) sur la motorisation. A partir des Enquêtes Transport Nationales, une estimation en données de panel de la motorisation des ménages français a été réalisée en incluant les nouveaux services de mobilité comme variable explicative. Puis ce modèle a été utilisé à des fins de prédiction. Tout d'abord, un « pseudo-panel » a été construit à partir de la reconstitution de sept générations (regroupées selon la période de naissance des individus) différenciées selon cinq zones d'habitation (milieu rural, petites villes de moins de 20 000 habitants, villes moyennes entre 20 000 et 100 000 habitants, grandes villes de plus de 100 000 habitants et Paris). Après la réalisation des différents tests imposés par l'économétrie des données de panel, un modèle à effets fixes a été retenu. Il montre que l'existence des nouveaux services de mobilité a un effet significatif et négatif sur la décision d'équipement des ménages français, comme le prix d'achat automobile, tandis que l'âge et le revenu ont un effet positif. Enfin, les projections à 2020 montrent que la plus jeune génération continuera de s'équiper, poursuivant un effet d'âge. Mais des ruptures de comportements sont attendues de la part des générations précédentes. Ainsi, l'effet générationnel, s'il restera globalement positif en province et négatif à Paris (où le niveau de motorisation décroît depuis trois générations), sera d'une ampleur plus ou moins importante. En milieu rural et dans les petites villes, la motorisation des 30-44 ans de la plus jeune génération sera supérieure à celle de la même classe d'âge de la génération précédente, tandis qu'elle sera de même niveau dans les villes moyennes et les grandes agglomérations. La rupture engagée à Paris pourrait donc commencer à se mettre en œuvre à travers la plus jeune génération dans les villes de province de plus de 20 000 habitants à horizon 2020. Mais la rupture pourrait également venir des autres générations qui disposeront, en moyenne, d'autant de voitures particulières que la génération précédente au même âge, voire même de moins, quelle que soit la zone d'habitation. Autrement dit, il semblerait que l'effet d'époque ait une répercussion, à horizon

2020, sur les jeunes citadins, comme attendu, mais également plus globalement sur les moins de 75 ans et ce, quelle que soit la zone d'habitation.

En conclusion, la recherche menée au travers de la thèse montre que, parmi les nouveaux services de mobilité automobile, seul le covoiturage présente un potentiel d'usage théorique important. Mais l'estimation sur comportements réels suggère que les nouveaux services de mobilité ne semblent ni pouvoir devenir un vecteur de transport à part entière (3% des parts modales en moyenne en 2020 en cas de démotorisation et ils s'adressent à des profils particuliers qui sont les automobilistes exclusifs), ni pouvoir induire une démotorisation des ménages. Mais des facteurs non pris en compte dans cette thèse pourraient venir tempérer ces résultats pessimistes tels qu'une modification radicale de l'offre actuelle de nouveaux services de mobilité, des politiques fortes incitant à la démotorisation, ou encore une rupture des comportements qui permettrait aux nouveaux services de mobilité de se rapprocher de leurs potentiels théoriques (modification profonde du rapport à la voiture et des modes de vie).

Executive summary

The transport sector, growing strongly for more than two decades, now accounts for nearly 70% of the consumption of petroleum products in France and 41% of its CO₂ emissions. Providing about 80% of French households' journeys, passenger cars are responsible for more than half of them. But France set a target to fourfold its CO₂ emissions by 2050. For this, improving vehicle efficiency is required, as well as changing mobility habits of French households, especially their relation with the automobile.

Since the early 2000s, several inflections in these behaviours are observed in France. First, mobility is stagnating and this phenomenon is called "peak travel". In large cities, the modal share of the car decreases. Moreover, the average annual mileage travelled by car decreases year after year. So we are witnessing a disconnection between car use and car ownership. Over 80% of French households indeed now own one car or more: it is therefore a saturation phase ("peak car"). Finally, new mobility services appear, especially car-sharing and carpooling, which could be competitors to car ownership in an automotive market already in trouble.

As a consequence, the emergence of these new services leads to question their magnitude, their durability and their potential impacts on the inflection of car use and car purchase behaviours. They therefore constitute the analytical approach of the thesis.

Three main issues have directed the research and structured the thesis:

- What potential of use for new car mobility services?
- What is the impact of new mobility services on modal choices, especially the use of the car and thus fuel consumptions?
- What is the impact of new mobility services on the level of car ownership and therefore the size of the car market?

To answer these questions, an empirical approach has been mobilized based on survey data (Mobility Observatory, BIPE and National Transport Survey, INSEE, SOeS).

First, the theoretical potential of use of new mobility services was calculated by determining the share of the population that could replace its own car with new mobility services based on economic criteria (breakeven between possession and sharing / rental) and conditions of utilization of these services (car-sharing station or rental agency close to home for example). The results show a significant potential for carpooling (34%) while it is much smaller for car-sharing (7-8%) and short-term car rental (3%). These potentials are theoretical and based

on rational criteria. But modal choices are not solely guided by economic rationality. Therefore, it is necessary to take into account real behaviours and thus the importance of new mobility services in daily journeys.

In a second step, we focus on determining the share of new mobility services in modal choices in 2020. For this, a three-step method was mobilized. Based on the data of the Mobility Observatory, a descriptive analysis of the local daily mobility was conducted to highlight the main determinants of modal choices. They were then used to estimate a modal choice model including new mobility services as a mode of transport. Finally, this model was used to predict the modal choice in 2020. First, a segmentation of the population into seven mobility profiles was obtained from a hierarchical clustering. It shows that the most discriminating variables of modal choices are travel needs (in kilometers per mobility pattern), the density of the municipality of residence, marital status, car ownership, age, employment status, income. From these variables, a multinomial logit model was estimated to explain the choice between personal car, new mobility services (or shared car), motorized two-wheelers, cycling, walking and public transport. The estimation results show that distance, low density, motorization and age decrease the probability of choosing alternatives to car, while number of people in the household increases this probability. Only marital status and especially motorization have a significant effect on the choice of the shared car. Therefore, predictions of modal choices in 2020 were carried out in three cases of household car ownership (no car, one car, two cars or more) and for the different mobility profiles. Aggregated results in the case where households have one car show an increase in the use of private cars and public transport in 2020, a decline in the use of motorized two-wheelers, cycling and walking, and stagnation of the use of shared car. In the case where households have no car the use of personal car would decrease sharply, while public transport would become the main mode of transport. It is also in this scenario that the use of shared car would develop, highlighting the link between demotorization and development of new mobility services. But this use would remain limited: only 3% of modal shares in 2020. Moreover, shared car target profile is that of "exclusive motorists" having strong mobility needs. However it is also the most motorized. Therefore, it is necessary to analyse the ability of new mobility services to induce demotorization.

The third part of the thesis therefore deals with the evolution of motorization levels of French households and their projection by 2020. For that, and on the basis that the car habit is taken when people are young (Bodier, 1996), a generational approach was adopted to reflect the multiple effects (age, generation, period) on the motorization decision. From the National Transport Survey, an estimation from panel data of French households' motorization was performed, including new mobility services as an explanatory variable. Then this model was

used for prediction purposes. First, a "pseudo-panel" was built from the reconstruction of seven generations (grouped according to the time of birth of individuals) differentiated into five residential areas (rural areas, small towns of less than 20,000 inhabitants, medium cities between 20,000 and 100,000, large cities of over 100,000 inhabitants and Paris). After the implementation of the different tests imposed by the econometrics of panel data, a fixed effects model was used. It shows that the existence of new mobility services has a significant and negative effect on the car equipment decision of French households, such as the automotive purchase price, while age and income have a positive effect. Finally, projections by 2020 show that the younger generation will increase its motorization level compared to 2010, continuing an age effect. But behaviour breaks are expected from previous generations. Thus, the generational effect will remain generally positive in the province and negative in Paris (where car ownership has been decreasing for three generations) but will be of greater or lesser extent. In rural areas and small towns, the motorization of 30-44 years of the younger generation will be higher than that of the same age group from the previous generation, while it will be the same level in medium and large cities. The rupture initiated in Paris could therefore begin to implement through the younger generation in the provincial towns of over 20,000 inhabitants in 2020. But breaks could also come from other generations who will have, on average, as many cars as the previous generation at the same age or even less, regardless of the residential area. In other words, it seems that the period effect has an impact in 2020 on urban and young people, as expected, but also more generally on less than 75 years old, regardless of the residential area.

In conclusion, the research conducted through the thesis shows that, among the new car mobility services, only carpooling has an important theoretical potential of use. But the estimations based on observed behaviour suggest that new mobility services appear not to be able to become a transport vector (3% of modal shares on average in 2020 when households have no car) or to induce household's demotorization. But factors not considered in this thesis could temper these pessimistic results such as a radical change in the current supply of new mobility services, strong policies inciting demotorization, or rupture of behaviours that would allow new mobility services to be closer to their theoretical potentials (deep modification of the report to the car and lifestyles).

Introduction générale

Dans cette introduction, nous présentons le contexte général à l'origine de la thèse et ayant, d'une part, déterminé ses objectifs principaux, et d'autre part, mené aux principales questions la sous-tendant. Il s'agit également d'exposer l'approche méthodologique mobilisée, ainsi que les différents volets et étapes successives employés pour répondre à la problématique et structurant la thèse.

1. Contexte général

Le secteur du transport, en forte progression depuis plus de deux décennies, représente désormais près de 70% de la consommation de produits pétroliers en France (CGDD, octobre 2010 et septembre 2012) et 41% de ses émissions de CO₂ (CGDD, 2011). Assurant environ 80% des déplacements des ménages français, les voitures particulières sont à elles seules responsables de plus de la moitié des émissions du secteur des transports (CGDD et al., 2011). La France s'étant engagée, dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, à diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050, une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, ainsi que des changements dans les comportements de mobilité des Français sont nécessaires afin que le secteur des transports participe à cet objectif.

Les analyses menées sur la consommation d'énergie des automobiles mettent en évidence qu'elle est déterminée par la croissance économique, le prix des carburants ou encore l'adoption de nouvelles technologies. La tendance à la baisse des immatriculations des particuliers observée depuis plus d'une dizaine d'années sur le marché automobile et dernièrement enrayée par des mesures de subvention (prime à la casse), ainsi que l'apparition de nouveaux services de mobilité automobile concurrents à la possession automobile, conduisent à s'interroger sur la tendance globale du marché automobile et les changements qu'il est possible d'envisager et éventuellement d'accélérer grâce à des mesures de politique incitative, en terme d'équipement d'une part, et de choix de moyen de déplacement et de mode d'usage de la voiture d'autre part.

Ainsi, si la voiture particulière est aujourd'hui largement privilégiée par les ménages pour se déplacer, elle est à l'origine de multiples externalités négatives (pollution, bruit, congestion, etc.) qui engendrent une remise en question de son utilisation massive. En outre, la croissance des coûts liés à l'automobile tend à remettre en cause l'idée même de la possession chez les citadins et les jeunes générations notamment. En effet, si la voiture demeure souvent une nécessité dans les milieux ruraux, on observe une baisse de

l'équipement des jeunes générations à Paris. De plus, les citoyens utilisent davantage les transports en commun. Enfin, les nouveaux modes de mobilité comme le covoiturage ou l'autopartage sont plébiscités. Ces derniers pourraient même être vecteurs de changement dans les comportements d'usage et de détention automobile.

Dans le contexte plus précis des consommations d'énergie, historiquement, la maîtrise de la demande d'énergie (MDE) a eu pour objectif de faire face aux augmentations du prix des carburants suite aux chocs pétroliers des années 70. Aujourd'hui, elle permet de répondre à deux nouveaux défis :

- La sécurité d'approvisionnement : une meilleure maîtrise de la demande permet à la fois de réduire la dépendance vis-à-vis des importations d'énergie, et donc les fortes fluctuations de prix liées, et d'anticiper l'épuisement annoncé des ressources d'énergies fossiles. Ainsi, le taux d'indépendance énergétique de la France est de l'ordre de 50%¹ (source INSEE²). Par ailleurs, les réserves de pétroles sont évaluées à environ 40 années de production, celles de gaz à 60 années et celles de charbon à plus de 160 années de consommation courante³.

- La protection de l'environnement : la MDE permet de réduire la consommation excessive d'énergie fossile qui provoque des émissions de gaz à effet de serre (GES) et participe au réchauffement climatique. Elle apparaît donc comme un moyen d'atteindre les objectifs que la France s'est fixée aux niveaux national, européen et international. Ainsi, la MDE constitue un objectif défini dans le cadre du Grenelle de l'environnement. Il s'agit également d'un des quatre axes d'action définis dans la loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les objectifs de politique énergétique (loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique) qui prévoit notamment la division par quatre des émissions de CO₂ d'ici 2050. Au niveau communautaire, la MDE s'inscrit comme un moyen privilégié d'atteindre d'ici 2020 le double objectif fixé par le paquet "énergie-climat" adopté en décembre 2008 : une réduction de 20% des émissions de GES et une amélioration de 20% de l'efficacité énergétique.

La MDE correspond à une utilisation raisonnée et optimale de l'énergie. Cela passe par une amélioration de l'efficacité énergétique des biens d'équipement et appareils consommant de l'énergie, mais également par une modification profonde des comportements de consommation d'énergie des ménages, notamment leurs comportements de mobilité.

¹ Le taux d'indépendance énergétique est le rapport entre la production nationale d'énergie primaire et la consommation d'énergie primaire

² http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=98&ref_id=CMPTEF11334

³ Source : Favennec, J.P. (2007), page 63

2. Objectif de la thèse

L'inertie qui commande la plupart de nos comportements ne nous permet pas de présager un changement radical et rapide de nos habitudes de mobilité. Mais l'évolution de certains indicateurs témoigne tout de même de mutations naissantes, ou tout du moins de changements de comportements dont l'ampleur et la durabilité doivent être déterminées.

La thèse a donc pour objectif de mesurer l'impact potentiel de ces changements. Plus précisément, il s'agit de répondre à la problématique de la déconnexion entre la possession et l'usage de la voiture. En effet, il est possible d'utiliser une voiture que l'on ne possède pas et inversement de posséder un véhicule particulier que l'on n'utilise pas systématiquement pour l'ensemble de ses trajets. L'objectif n'est pas d'étudier tous les changements de comportements de mobilité et d'achat automobile, mais uniquement les ruptures de comportements spécifiquement liées à l'apparition de solutions pour mutualiser les usages automobiles afin de prévoir l'évolution de ses modes d'usage, de son intensité d'usage, ainsi que celle de l'équipement automobile.

Il est donc question d'évaluer l'effet des nouveaux services de mobilité sur l'intensité d'usage automobile et la décision d'équipement des nouvelles générations qui pourrait avoir des conséquences sur le volume du marché automobile. En outre, il convient de déterminer l'intensité de l'usage automobile, privé ou partagé, au regard notamment de la concurrence des autres modes de déplacement afin de donner la possibilité de mesurer les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ liées au transport des ménages.

Ainsi, ces analyses doivent donner la possibilité de déterminer les conséquences des changements de comportement d'usage sur le volume du marché automobile et l'intensité d'usage de la voiture et d'en déduire les consommations d'énergie liées au transport automobile des ménages, ainsi que les émissions de CO₂ associées.

Le champ d'étude est limité à la France et au canal de clientèle des ménages.

Etant donné le contexte décrit précédemment et l'objectif d'analyser la question de la déconnexion entre la possession et l'usage automobile, il s'agit donc plus précisément de distinguer l'analyse selon deux phénomènes :

- l'intensité de l'usage automobile, et notamment la place des nouveaux modes d'usage automobile dans les déplacements quotidiens (location en générale, voiture partagée),
- les évolutions, générationnelles notamment, dans les décisions d'équipement automobile, et notamment l'impact des nouveaux services automobiles sur celles-ci.

3. Méthodologie

Le sujet de thèse propose de s'intéresser à l'impact des nouveaux services automobiles sur l'usage de celle-ci et la motorisation des ménages. Pour cela, nous adoptons une approche empirique, basée sur l'étude et l'analyse fine des comportements de mobilité, d'usage et d'équipement automobile à partir de données quantitatives: l'enquête transport nationale (INSEE, 1982 et 1994 ; SOeS, 2008) et l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobiles (BIPE, 2010, 2011, 2012 et 2013). En outre, nous avons recours à une analyse socio-économique dans la mesure où nous cherchons à expliquer les comportements à partir de facteurs socio-démographiques (caractérisant les individus et les ménages) et économiques (coûts notamment) à travers la modélisation économétrique.

L'enquête transport nationale est menée pour le ministère en charge des transports tous les quatorze ans environ. Son objectif est de connaître la mobilité des ménages résidant en France métropolitaine ainsi que leur utilisation des différents modes de transport. Pour cela elle s'intéresse notamment à la motorisation des ménages ainsi qu'à leurs possibilités d'accès aux transports en commun. Par conséquent, elle permet de connaître précisément le parc de véhicules à disposition des ménages ainsi que leurs usages.

Plusieurs niveaux d'unités statistiques sont enquêtés : le ménage, l'individu (tiré au sort parmi les membres du ménage) et le véhicule (tiré au sort parmi les équipements du ménage). Lors de la dernière édition, 20 200 ménages ont été interrogés entre avril 2007 et avril 2008 au cours de six vagues successives permettant de prendre en compte la diversité des comportements de mobilité selon les périodes de l'année. Les enquêteurs se rendent au domicile des ménages interrogés à raison de deux visites espacées d'au moins une semaine.

Le questionnaire aborde différents thèmes : la description des déplacements (la mobilité régulière correspondant aux déplacements habituels, la mobilité locale correspondant aux déplacements réalisés à l'occasion d'activités situées dans un rayon de 80 kilomètres à vol d'oiseau autour du domicile, et la mobilité à longue distance correspondant aux déplacements réalisés à plus de 80 kilomètres à vol d'oiseau du domicile), la connaissance du parc de véhicules et de son usage (recensement de tous les véhicules dont dispose le ménage, description détaillée des véhicules utilisés au cours des 12 derniers mois et des usages qui en sont faits, description de l'ensemble des trajets effectués par l'un des véhicules du ménage pendant une semaine, questions sur la détention du permis de conduire, les pratiques de la conduite et les accidents de la circulation) et l'accessibilité aux

transports en commun, les abonnements et réductions tarifaires dont bénéficient les individus.

L'Observatoire des Mobilités et des Arbitrages Automobiles (OMA) est mené par le BIPE depuis 2009. Il repose sur une enquête réalisée tous les six mois (en avril et en octobre) auprès d'un échantillon représentatif de la population d'environ 1500 individus afin de décrire leurs habitudes de mobilité et leurs préférences automobiles. Plus précisément, les individus sont interrogés en face à face durant 45 minutes à une heure. Le questionnaire se découpe en sept parties principales. La première porte sur la mobilité quotidienne, les modes et motifs de déplacements, et les intentions de changements d'usage des différents modes de déplacement. La seconde s'intéresse à la mobilité longue distance, la troisième partie à l'usage automobile (kilométrage, habitudes de déplacements automobiles, covoiturage, autopartage). La quatrième partie traite de l'achat automobile (achat dans les six derniers mois, achat envisagé dans les trois prochaines années, type de véhicule, de motorisation, financement envisagé), la cinquième des préférences automobiles (critères d'achat, possibilité de pratiquer une location longue durée à titre personnel, intérêt pour les nouvelles énergies) et la sixième porte sur l'équipement du foyer en moyens de transport. Enfin, la dernière partie décrit les caractéristiques socio-économiques de la personne interrogée et de son ménage (sexe, âge, situation de famille, nombre d'enfants, statut d'activité, profession, niveau d'étude, revenus). A partir de 2013, la vague d'avril porte sur cinq grands pays européens (France, Allemagne, Royaume-Uni, Italie et Espagne) et est réalisée via Internet alors que la vague d'octobre reste spécifique à la France et est réalisée en face à face. C'est la raison pour laquelle nous privilégions les comparaisons entre les vagues d'octobre et en moyenne annuelle en 2011 et 2012.

4. Structure de la thèse

La première partie de la thèse est dédiée à l'identification des ruptures de comportement dans l'usage et l'achat automobile (chapitre 1), à la définition des nouveaux services de mobilité automobile et au calcul de leurs potentiels de développement (chapitre 2), ainsi qu'à la discussion de leurs impacts énergétiques (chapitre 3).

Plus précisément, le premier chapitre met en évidence la remise en question de la prépondérance automobile, la rationalisation des comportements, ainsi que le développement des intérêts pour de nouveaux services tels que le covoiturage et l'autopartage.

Ainsi, le second chapitre porte sur l'identification des comportements en rupture avec l'autosolisme, c'est-à-dire l'utilisation de la voiture possédée et utilisée systématiquement. Il s'agit essentiellement des nouveaux services de mobilité (NSM) automobiles : le covoiturage, l'auto-partage ou encore la location courte durée (LCD). A partir de l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobile du BIPE et de l'étude de marché annuelle menée pour la branche loueurs du CNPA (Conseil National des Professionnels de l'Automobile, 2000 à 2011), des profils d'usagers de ces nouveaux services seront dressés. En outre, les seuils de rentabilité entre la possession automobile et les nouveaux usages automobiles seront calculés afin d'évaluer les potentiels de développement des différents modes de partage automobile.

Enfin, les impacts énergétiques de ces nouveaux comportements d'usage automobile sont étudiés (chapitre 3). A partir d'une approche prenant en considération l'ensemble du système de la mobilité (de l'origine du besoin de déplacement à la satisfaction de celui-ci) et d'un cadre d'analyse des consommations d'énergie dans les services, nous identifions les différentes sources de consommation d'énergie liées à la mobilité et comparons les consommations de la voiture personnelle à celles de la voiture partagée.

Dans un second temps (partie 2), l'analyse se concentre sur les changements dans les comportements d'usage de la voiture et a pour objectif de déterminer la place que pourrait prendre la voiture partagée dans les déplacements quotidiens à horizon 2020.

Pour cela, nous nous attachons dans un premier temps (chapitre 4) à mettre en évidence les variables explicatives des choix modaux les plus déterminantes. A partir de statistiques descriptives de l'OMA, nous étudions précisément les besoins de mobilité des ménages (motifs et distances à parcourir), afin d'identifier la répartition modale la plus pertinente à analyser. Puis nous nous intéressons aux profils des usagers des différents modes de transport avant de réaliser une analyse en composante principale sur la base des variables de mobilité (motif, distances, modes) et de variables socio-économiques décrivant les individus et les ménages. Sur la base de ces déterminants, nous estimons ensuite un modèle logit multinomial expliquant les choix modaux des ménages français, parmi lesquels nous avons introduit la voiture partagée comme mode de transport à part entière (chapitre 5). Ces derniers sont également déterminés par leurs caractéristiques propres (coûts et temps de transport par exemple) prises en compte dans un modèle logit conditionnel. A partir des modèles estimés, nous proposons des prévisions des parts modales à horizon 2020 et leur appliquons des intervalles de confiance déterminés à partir d'une méthode de bootstrap.

Enfin, la dernière partie porte sur les changements dans les niveaux de motorisation des ménages et notamment la question de la saturation de ceux-ci. Pour cela, nous adoptons une approche générationnelle permettant de rendre compte à la fois des effets individuels et temporels dans les comportements d'équipement automobile.

Dans un premier temps (chapitre 6), nous réalisons une étude rétrospective à l'aide des données des enquêtes transport nationales. Plus précisément, nous distinguons différentes générations et présentons les principaux indicateurs de la mobilité (fréquence, motifs, distances, modes) et de la motorisation des ménages, et leur évolution au fil du temps. Enfin (chapitre 7), toujours à partir des données des enquêtes transport nationales, nous proposons un modèle d'estimation de la motorisation de différentes cohortes afin de réaliser des projections à horizon 2020. Plus précisément, nous construisons un pseudo-panel dans lequel les cohortes sont définies par la génération du chef de famille et la zone d'habitation du ménage.

Première partie : Vers un nouveau rapport à l'automobile plus économique et écologique ?

L'objectif de cette première partie est d'analyser un phénomène actuel, se produisant à notre époque, et marquant un tournant, sinon une rupture dans l'histoire automobile : la naissance d'un nouveau rapport à l'automobile. Plus précisément, nous nous attachons à identifier les différents aspects de ce changement, afin d'en définir les principaux vecteurs. Puis il importe de s'interroger sur l'ampleur probable de ces comportements afin de déterminer s'ils sont significatifs et en mesure de changer le rapport à l'automobile de façon durable, sur la base de critères économiques notamment. Enfin, dans un contexte de prise de conscience des impacts environnementaux de l'usage automobile, l'argument énergétique et écologique de ces changements de comportements mérite également d'être discuté.

Il s'agit donc dans un premier temps de retracer l'évolution globale de l'usage et de l'équipement automobile des ménages français. Pour cela nous mobilisons différents indicateurs statistiques révélateurs des comportements, différentes enquêtes réalisées auprès des ménages et rendant compte de leurs opinions et aspirations, ainsi que l'état des lieux des principales références traitant des déterminants de l'usage et de l'équipement automobile. Nous nous concentrons ensuite sur le vecteur principal de ces changements de comportement afin d'en définir les manifestations et convoquons la méthode du calcul économique notamment pour en évaluer les potentiels de développement objectifs. Enfin, nous mobilisons différents concepts et cadres théoriques liés à l'analyse des consommations d'énergie afin de discuter de l'impact environnemental de ces vecteurs.

Chapitre 1 - La prépondérance automobile remise en question

Ce chapitre introductif est dédié à la présentation détaillée du contexte à l'origine des questionnements sous-tendant cette thèse. Plus précisément, il s'agit de mettre en évidence l'évolution de la place de la voiture personnelle et de la motorisation des ménages français à travers la présentation de différents indicateurs statistiques. En outre, l'objet de ce chapitre est de présenter une revue de littérature générale portant sur les déterminants des choix modaux et de la motorisation. Ensuite, nous faisons le constat, à partir de différentes enquêtes, de la remise en cause de la voiture et identifions différents facteurs de rupture. Enfin, nous présentons les changements dans les comportements d'usage et d'achat automobile, notamment l'intérêt pour les nouveaux services de mobilité.

1. La voiture comme mode de transport principal des Français : les choix modaux et leurs déterminants

La mobilité des Français a beaucoup augmenté au cours des cinquante dernières années. La voiture s'est rapidement imposée comme le mode de déplacement principal des ménages. Différents facteurs socio-économiques ont favorisé son essor, participant ainsi au phénomène de dépendance automobile.

1.1. La mobilité : définitions

La mobilité est définie par Edgar Quinet (1998) comme le nombre de déplacements effectués sur une journée.

Dans l'Enquête Nationale des Transports et Déplacements (CGDD, SOeS, 2010) un déplacement correspond au « *mouvement d'une personne d'un lieu de départ vers un lieu d'arrivée. Il se caractérise par un motif et un seul.* » (page 87).

On distingue la mobilité locale et la mobilité régulière. Ainsi, d'après les définitions employées par l'Enquête Nationale Transport et Déplacement (ENTD), la mobilité locale correspond aux déplacements des personnes de 6 ans ou plus, faits à l'occasion d'activités situées dans un rayon de 80 km autour du domicile et sur le territoire national. La période de temps observée est de 24 heures. La mobilité régulière quant à elle correspond aux déplacements des personnes de 6 ans ou plus, entre le domicile et le lieu de travail, d'études ou de garde. Enfin, les déplacements longue distance se définissent comme les déplacements des

personnes de 6 ans ou plus, réalisés à l'occasion d'activités situées dans un rayon de plus de 80 km à vol d'oiseau autour du domicile. La destination est située soit sur le territoire national, soit à l'étranger.

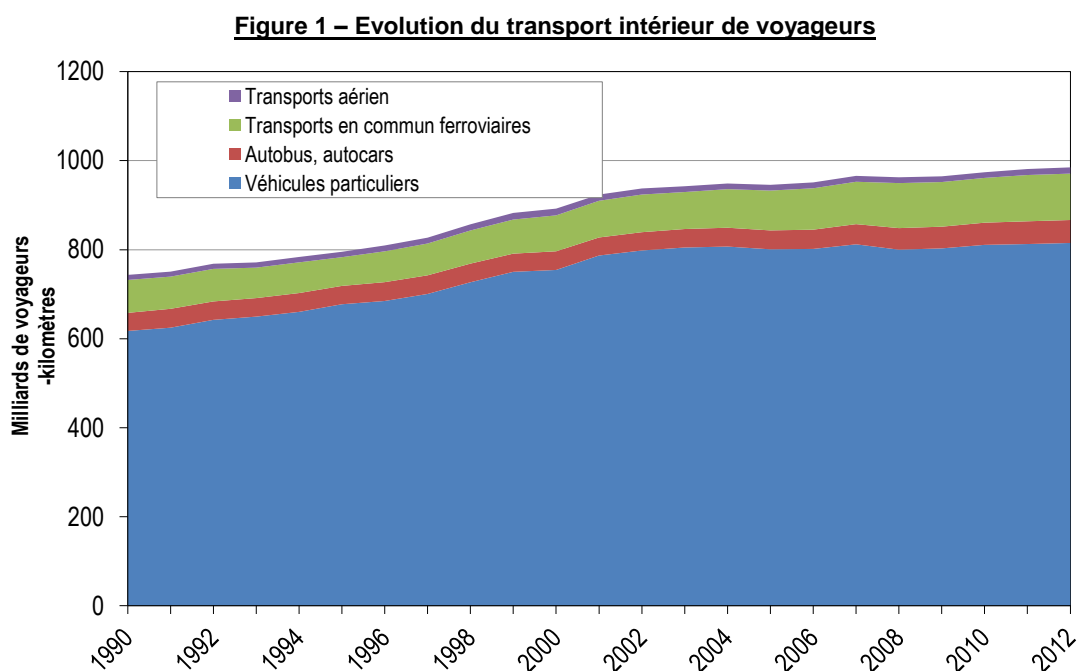
La mobilité des personnes correspond à la demande de transport des personnes et se mesure en voyageurs-kilomètres (transport d'un voyageur sur un kilomètre).

Pour un même déplacement, plusieurs modes de transport peuvent être disponibles. On parle alors de multimodalité : deux villes peuvent être reliées entre elles, soit par une autoroute, soit par une ligne de chemin de fer.

L'intermodalité quant à elle correspond à la combinaison de plusieurs modes de transport au cours d'un même déplacement.

1.2. La mobilité des personnes : évolutions générales

De manière générale, la mobilité des personnes a évolué de la manière suivante en France entre 1990 et 2012 (figure 1) :



Source : CGDD, SOeS (juillet 2013)

Depuis 1980, la demande de transport n'a cessé de croître, passant de 550 milliards de voyageurs-kilomètres en 1980 à 985 milliards de voyageurs-kilomètres en 2012. Cependant,

cette croissance semble se ralentir depuis le début des années 2000, comme le montre l'inflexion de la courbe d'évolution du transport intérieur de voyageurs.

Ainsi, si le taux de croissance annuel des déplacements a été de 2,1% en moyenne entre 1980 et 1999, il n'est plus que de 1% en moyenne depuis 2000. On observe donc un point d'inflexion dans la croissance des déplacements des ménages depuis le début des années 2000.

D'après l'Enquête Nationale Transport et Déplacement (CDGG, SOeS, 2010), le nombre de déplacements quotidiens par personne en semaine est passé de 3,34 en 1982 à 3,15 en 2008. Au niveau individuel, la mobilité quotidienne en terme de besoin de mobilité au sens du motif est donc restée assez stable entre 1982 et 2008. Par conséquent, ce sont donc les kilomètres parcourus qui ont subi une inflexion.

1.3. La mobilité : modes et motifs de déplacement

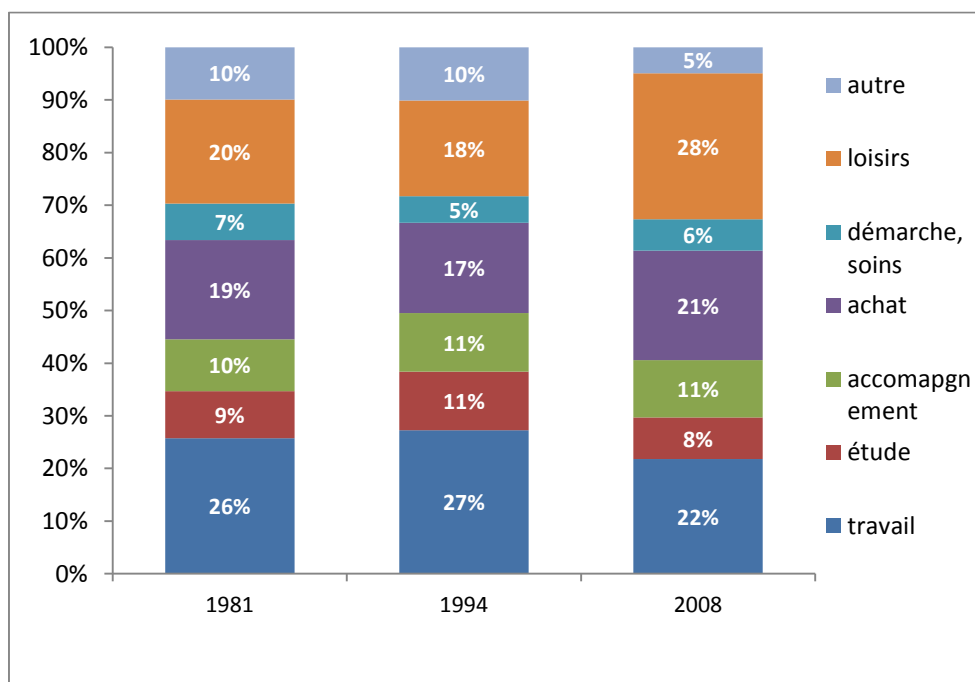
La mobilité est un besoin intermédiaire nécessaire à la satisfaction d'un autre besoin : se rendre sur son lieu de travail ou encore faire ses courses. Ainsi, il est possible de distinguer différents motifs de déplacement dont les fréquences, ainsi que les modes associés sont observés à travers différentes enquêtes comme l'ENTD ou encore *Les comptes des Transports* (CGDD/SOeS, juillet 2013).

1.3.1. Les motifs de déplacements

Les motifs de déplacements correspondent aux raisons du déplacement. Ils peuvent être professionnels ou privés. On distingue généralement les motifs suivants : déplacement vers le lieu de travail ou d'études, pour accompagnement, achat, démarches administratives ou soins, ou encore loisirs et visites. La répartition de ces motifs de déplacement est mesurée dans l'ENTD.

Ainsi, entre 1981 et 2008, la répartition des motifs de déplacement a peu évolué comme le montre la figure 2. Les Français se déplacent principalement pour se rendre sur leur lieu de travail ou de loisirs, ainsi que pour faire des achats. Entre 1981 et 2008, on observe essentiellement une baisse des déplacements vers les lieux de travail et d'étude au profit des déplacements pour loisirs et achat. Les politiques successives de réduction du temps de travail constituent la principale raison de cette évolution.

Figure 2 – Evolution de la répartition des motifs de déplacement en France



Source : Calculs d'après Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

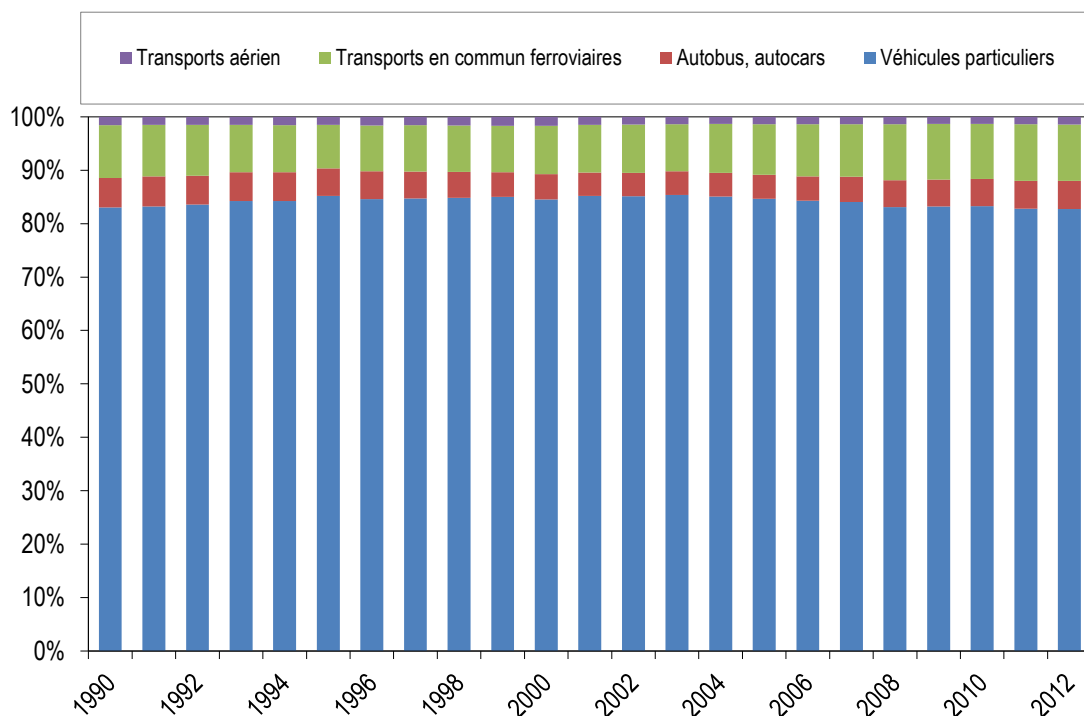
1.3.2. Les modes de déplacements

De manière générale, les transports de voyageurs s'effectuent selon différents modes. Le mode de transport principal est « *le mode le plus lourd* » parmi ceux utilisés au cours du déplacement (CGDD, SOeS, 2010, page 68).

L'évolution de la part de chacun de ces modes montre une prépondérance de la voiture particulière depuis 1980. En effet, elle est employée pour environ 80% des transports de voyageurs (mesurés en voyageurs-kilomètres). On observe cependant une légère décroissance de sa contribution depuis le début des années 2000 (figure 3).

Ainsi, si le transport en véhicule particulier a connu une croissance positive chaque année entre 1980 et 2003 (+2,25% en moyenne), celle-ci est désormais négative (-0,33% en moyenne).

Figure 3 – Part des différents modes de transport dans le transport intérieur de voyageur en France



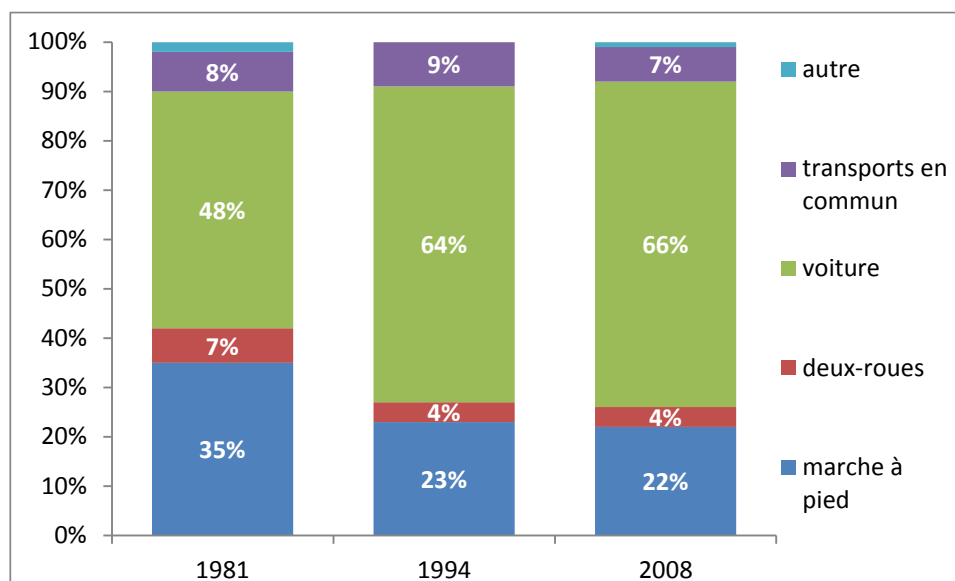
Source : CGDD/SOeS (juillet 2013)

Les transports en commun (TC) par voie ferroviaire quant à eux ont contribué au transport de voyageurs à hauteur de 10,24% en moyenne. Cependant, leur taux de croissance a été très faible (0,46% en moyenne entre 1990 et 2000), voir négatif dans les années 90 (-2,2% en 1991, - 6,37% en 1993 et -6,5% en 1995). En revanche, depuis le début des années 2000, le taux de croissance annuel de la part du transport en commun par voie ferroviaire augmente de 2,65% en moyenne.

Enfin, la part du transport aérien est très faible (1,47% en moyenne) et son taux de croissance annuel est négatif (-1,41% en moyenne) depuis 2000.

L'ENTD fournit également l'évolution de la répartition des modes de déplacements utilisés par les ménages français pour leurs déplacements quotidiens (figure 4). On observe une augmentation de la voiture particulière entre 1981 et 1994 qui se stabilise entre 1994 et 2008, tandis que la baisse de la part des deux-roues et de la marche à pied se stabilise également, la voiture restant prépondérante.

Figure 4 – Evolution de la répartition des modes de déplacement en France



Source : Calculs d'après Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Le transport par voiture particulière a beaucoup augmenté à partir des années 50 (Vacher, 1997). Il convient donc de comprendre les raisons de cet essor en analysant les déterminants des choix de modes de transport.

1.4. Les déterminants des choix modaux : un calcul coûts/bénéfices intégrant d'autres dimensions que la rationalité économique

Dans un souci de compréhension des comportements de mobilité en général et de mobilité automobile en particulier, nous adoptons une démarche compréhensive et nous basons pour cela sur l'approche sociologique de leurs déterminants. En outre, les choix sont également régis par une certaine rationalité économique, c'est pourquoi nous nous intéressons aux déterminants économiques de la mobilité.

1.4.1. L'approche sociologique

Tout d'abord, le choix des modes dépend en grande partie du programme de la journée, du nombre d'activités et de lieux fréquentés, la présence d'enfants augmentant significativement le besoin de mobilité. Ainsi, Kaufmann (1997, 2000), Bassand et al. (2001), ou encore Montulet (2005) ont montré que les choix modaux s'adaptent aux logiques d'action de notre vie quotidienne. Ainsi, le choix du mode dépend de l'organisation des activités au cours de la journée. La voiture apparaît alors comme la solution privilégiée pour effectuer

l'enchaînement des différentes activités. Ainsi, la voiture peut être privilégiée dès le matin afin de réaliser une activité le soir ou pour enchaîner les activités sans avoir à repasser par le domicile. Mais les modes doux individuels sont également plébiscités pour les déplacements de proximité. A l'inverse, les transports en commun complexifient la réalisation du programme d'activité. En effet, selon Bonnel et al. (2003), les contraintes d'horaires et de dessertes associées aux transports en commun réduisent la flexibilité.

Par ailleurs, dans sa thèse en sociologie sur les changements de comportements vers une réduction de l'usage de la voiture, Rocci (2007) s'est attachée à décrire de manière très précise les choix modaux en Ile-de-France, ainsi que leurs déterminants et les représentations associées selon différents profils. A partir d'entretiens auprès de 40 personnes, trois catégories de comportements ont été distinguées : les "Alternatifs" à la voiture, les "Automobilistes exclusifs" et les "Multimodaux". Les premiers font usage de modes alternatifs à la voiture personnelle (marche, vélo, transports en commun), les seconds utilisent la voiture pour quasiment tous leurs déplacements, enfin les derniers utilisent la voiture parmi d'autres modes.

Les comportements de chacun de ces profils peuvent être caractérisés par un arbitrage coûts/bénéfices prenant en compte le vécu, le ressenti, la perception des différents modes. Ainsi, la seule prise en compte objective des coûts monétaires des différents modes est bien souvent biaisée, les transports en commun étant perçus comme relativement chers par les non utilisateurs alors que les automobilistes sous-estiment les coûts de la voiture, chacun usant de stratégies pour limiter les coûts perçus. Selon Frenay (1997), les automobilistes ne prennent pas en compte le coût complet de la voiture (coûts fixes et coûts variables) et ne se focalisent que sur son coût d'usage (prix des carburants principalement). Le coût n'est donc pas le déterminant prépondérant dans les choix modaux.

Plus précisément, l'analyse du discours des "Automobilistes" montre que les avantages offerts par la voiture amplifient les contraintes perçues des autres modes et atténuent les contraintes liées à la voiture. Ainsi, les transports en commun sont particulièrement perçus négativement par les automobilistes. A l'inverse de la voiture qui leur procure liberté, sécurité et confort, les transports en commun sont associés à la promiscuité, l'agressivité, le stress, l'insécurité ou encore la dépendance. Ce sont autant d'éléments également observés en voiture mais qui sont alors perçus beaucoup moins négativement par les automobilistes, ou tout du moins compensés par les avantages procurés par la voiture. Plus encore, la passion de certains pour celle-ci (pour l'objet ou encore les sensations de conduite) explique à elle seule son usage, les contraintes étant compensées par le plaisir. A l'inverse, les usagers

“fonctionnels” ne perçoivent pas les contraintes de l’automobile de la même manière et ont davantage de mal à les accepter.

De même, pour les “Alternatifs”, les contraintes associées aux différents modes qu’ils utilisent sont compensées par leurs avantages ou le plaisir qu’ils procurent. Les modes individuels (marche, deux-roues, voiture) sont préférés pour la liberté et la flexibilité, la voiture étant simplement un mode de transport parmi d’autres. Comme les “Automobilistes”, les “Alternatifs” acceptent ou dépassent les inconvénients de leur mode, mais la voiture étant davantage perçue comme un moyen de se déplacer, ses contraintes sont donc plus difficilement acceptables et les transports en commun peuvent apparaître comme une solution plus performante et économe.

Enfin, les “Multimodaux” cherchent avant tout à éviter les contraintes et à optimiser leur temps. Ils s’adaptent donc en choisissant le mode idéal en fonction de leur programme d’activité, de la distance à parcourir, ou encore de la rapidité du trajet. Le temps apparaît alors comme un déterminant essentiel des choix modaux, le temps passé dans les transports pouvant être ressenti comme perdu ou gagné (Fichelet, 1978 ; Flamm, 2004 ; Kaufmann, 2002 ; Montulet, 2005) selon qu’il est ou non utilisé pour d’autres activités. Ainsi, la conjecture de Zahavi (1980)⁴ montre que le temps journalier consacré aux déplacements, c’est-à-dire le budget-temps de transport, est apparemment resté relativement constant, en partie grâce à l’avènement de l’automobile, et à l’augmentation des vitesses en général. Ce constat est cependant aujourd’hui remis en question, notamment par Crozet et Joly (2003, 2006) qui montrent qu’en moyenne, le nombre de déplacements par personne et par jour augmente et le budget-temps qui leur est alloué aussi : aujourd’hui on chercherait donc davantage à gagner du temps. En outre, cette recherche du déplacement optimal nécessite des connaissances et compétences de mobilité. On parle alors de « motilité » (Kaufmann, 2001, 2006), ou encore de « capital mobilité » (Rocci, 2007). Ces compétences de mobilité sont plus ou moins nécessaires selon la localisation géographique. En effet, l’offre de transport n’est pas la même selon que l’on réside en ville ou en milieu rural, ce qui conditionne nécessairement les choix modaux.

⁴ La conjecture de Zahavi définit une relative constante du budget-temps consacré aux déplacements quotidiens. Plus la vitesse est importante, plus l’espace territorial est élargi, mais la durée des déplacements de la journée reste constante.

1.4.2. L'approche économique

L'approche économique des déterminants des choix modaux cherche essentiellement à mesurer l'effet et le poids de chacun d'eux.

La mobilité en général et l'usage automobile en particulier sont donc déterminés par plusieurs éléments dont les poids respectifs sont principalement mesurés à travers le calcul d'élasticités. Plus précisément, il s'agit de formaliser la relation entre l'intensité de l'usage automobile et ses différents déterminants à travers une modélisation économétrique sous forme logarithmique conduisant à estimer des élasticités. Ainsi, Quinet (1998) a identifié les principales relations explicatives du trafic de voyageurs sur le réseau routier national (Produit Intérieur Brut, parc automobile, rapport prix route/ prix train), sur autoroutes (PIB, prix du carburant, coût du péage, longueur du réseau autoroutier), du trafic aérien (PIB, trafic TGV, nombre de sièges-km offerts) et du trafic ferroviaire (consommation finale des ménages, prix des carburants, vitesse des trains). Le tableau 1 montre que les élasticités-revenus sont positives tandis que les élasticités-prix sont négatives.

Tableau 1 – Elasticités des différentes variables explicatives du transport de voyageurs

Variabes à expliquer	Variabes explicatives et élasticités
Trafic sur le réseau routier national	PIB : 1.20 Rapport : prix route/prix train : -0.22 Parc automobile : 0.25
Trafic sur autoroute concédées	Trafic de l'année précédente : 0.25 PIB marchand : 0.92 Prix du carburant : -0.47 Coût du péage : -0.96 Longueur du réseau autoroutier : 0.65
Trafic aérien intérieur	PIB marchand : 0.75 Produit moyen tarifaire aérien : -0.53 Trafic TGV en voyageurs x km : -0.017 Nombre de siège-km offert : 0.56
Trafic ferroviaire sur le réseau principal	Consommation finale des ménages : 0.43 Produit moyen tarifaire de la SNCF : -0.7 Prix des carburants : 0.2 Vitesse moyenne des trains : 1.08

Source : Quinet (1998)

Par ailleurs, l'impact de l'évolution du prix et du revenu sur le transport privé et le transport public a été estimé au Royaume-Uni et en Australie (Selvanathan et Selvanathan, 1994). L'élasticité-revenu est positive et supérieure pour le transport privé : quand le revenu augmente, la mobilité individuelle augmente plus que la mobilité collective. Les élasticités-prix sont négatives (tableau 2).

Tableau 2 – Elasticité revenu et prix du transport privé et du transport public

	Elasticité au revenu		Elasticité-prix directe	
	UK	Australie	UK	Australie
Transport privé	2	2.3	-0.5	-0.5
Transport public	1.8	0.8	-0.4	-0.7

Source : Selvanathan et Selvanathan (1994)

De même, en France (Quinet, 1998), des élasticités-prix ont été calculées concernant le nombre de passagers ou voyageurs-km pour les transports en commun : l'élasticité par rapport au prix du voyage en TC est négative et l'élasticité par rapport au prix des carburants est positive.

Plus précisément, l'impact de l'évolution des prix des carburants sur l'usage automobile a également été estimé (Johansson et Schipper, 1997) dans 12 pays de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique) sur la période 1987-1997 (tableau 3) : les élasticités-prix des carburants du parc automobile, de la consommation automobile, du kilométrage annuel, de la consommation totale de carburant et du trafic automobile sont négatives et les élasticités-revenu sont positives.

Tableau 3 – Elasticité prix et revenu de l'usage automobile

Elasticités	Prix des carburants	Revenu
Du parc automobile	-0.1	1
De la consommation unitaire	-0.4	0
Du kilométrage annuel	-0.2	0.2
De la consommation totale de carburants	-0.7	1.2
Du trafic automobile total	-0.3	1.2

Source : Johansson et Schipper (1997)

En outre, le résumé d'études sur l'élasticité-prix de la demande en carburant (Dahl et Sterner, 1991) montre que l'intensité de l'usage automobile est plutôt sensible aux prix, mais que la réaction est moins que proportionnelle à la variation de prix (tableau 4).

Par ailleurs, des estimations ont été réalisées sur le périmètre OCDE (Dahl et Sterner, 1991). De 1960 à 1985, les élasticité-prix de la demande de carburants par rapport au prix des carburants sont plus élevées à long terme qu'à court terme.

Tableau 4 – Elasticités prix de la demande de carburants – Résumé de différentes études

Etudes	Elasticité-prix de court terme	Elasticité-prix de long terme	Nombre d'études	Date de la plus récente
Dahl et Sterner	De -0.22 à -0.31	De -0.8 à 1.01	97	1988
Dahl	De -0.26 à -0.29	De -0.86 à -1.02	68	1984
Bohi et Zimmerman	-0.26	-0.7	9	1982
Bohi	-0.22	-0.58	11	1979

Source : Dahl et Sterner (1991)

En France (Quinet, 1998), plusieurs études ont été menées afin de calculer l'élasticité-prix des carburants et les résultats montrent également des élasticités de long-terme supérieures aux élasticités de court-terme :

- 1989 : Elasticités de la circulation routière des ménages par rapport au prix des carburants sur la période 1975-1989 : -0.29.
- 1995 : Elasticités-prix de la consommation de carburants.
Les élasticités-prix directes sont estimées sur la période 1977-1992. L'élasticité-prix de court terme est -0.15 et celle de long terme -0.3.
- 2002 : Circulation sur le réseau routier national et prix des carburants : les années 2000 et 2001. L'élasticité est estimée sur la période 1968-1994. L'élasticité-prix de la circulation à long terme est -0.31.

Par ailleurs, lors d'un choc important (Canales, 2002), il existe un effet de seuil : une très forte variation des prix du carburant contribue à la diminution de la circulation de manière moins que proportionnelle à une variation plus faible. La faiblesse des élasticités-prix à court terme s'explique par le nombre plus limité de choix. En effet, le ménage n'a alors que deux options lorsque les prix de l'énergie augmentent : diminuer sa consommation ou réduire ses dépenses pour les autres biens. A long terme en revanche, il est possible de réagir à une variation des prix de l'énergie par une modification de l'appareil énergétique, donc de son efficacité énergétique et de son niveau de consommation, par un changement de source d'énergie, ou un changement de comportement impliquant une diminution de son usage sur le long terme.

Comme il l'a été démontré, le prix des carburants a un impact négatif mais faible sur sa demande. Cela est essentiellement dû au nombre d'autres variables ayant un impact positif sur cette dernière : revenu, consommation unitaire de la voiture, taille du ménage, besoin de déplacement, etc. Cependant, dans la littérature scientifique, leur ampleur n'est pas chiffrée précisément et parfois simplement discutée de façon intuitive. On peut distinguer les variables socio-économiques et les variables exogènes.

Un rapport OCDE (2008) présente les facteurs d'explication de la consommation d'énergie des ménages dans le secteur résidentiel et celui des transports. En premier lieu, le revenu est un facteur déterminant de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel comme celui des transports. Le rapport présente les élasticités-revenu issues de plusieurs études. Pour Dahl, l'élasticité-revenu à court terme est inférieure à 0,4 et supérieure à long terme, mais toujours inférieure à un.

Par ailleurs, dans une étude sur l'impact microéconomique de la fiscalité indirecte en France, Ruiz et Trannoy (2005) calculent les élasticités-revenus des postes "automobile et transport" (1,107). Ainsi, l'ampleur des élasticité-revenus est plus importante que celle des élasticités-prix.

L'âge, le genre, la catégorie socio-professionnelle (CSP), ou encore le niveau d'étude sont également des variables ayant un impact sur la consommation d'énergie.

L'ensemble des variables socio-économiques citées conditionne le niveau d'usage automobile et donc de consommation d'énergie des ménages en déterminant leurs comportements et leurs préférences pour les différents modes. Ainsi, la possession de voitures, ainsi que leur utilisation varient en fonction des caractéristiques socio-économiques des ménages. Par exemple, plusieurs études montrent que l'utilisation de la voiture augmente avec le revenu et la taille du ménage, que les femmes et les personnes âgées conduisent moins, que les employés et les personnes ayant un haut niveau d'éducation conduisent plus. Les infrastructures de transports sont également un déterminant de la mobilité des ménages. Ainsi, les habitants en milieu rural n'ont pas d'autres choix pour se déplacer que d'utiliser leur voiture alors que les urbains peuvent se déplacer en transports en commun.

Ainsi, (Cayla et al., 2011) les ménages français les plus modestes sont très contraints dans la mesure où la consommation d'énergie représente 15 à 25% de leur budget pour un niveau de consommation bien inférieur à celui des ménages les plus aisés. Les premiers doivent également faire face à des contraintes en terme de capital lors de l'achat d'un équipement, ce qui se traduit soit par un taux d'actualisation très élevé, soit par une réduction du taux de

ménages prêts à remplacer leurs équipements et qui les gardent donc longtemps. Les ménages modestes sont donc doublement contraints puisqu'ils ne peuvent pas investir dans des appareils efficaces qui leur permettraient de réaliser des économies d'énergie. Les résultats d'une enquête menée sur 3000 personnes montrent que les dépenses en transport augmentent avec le revenu de manière générale. Mais plus précisément, on distingue trois profils différents : la contrainte, la partie "élastique" et la saturation. Ainsi, les dépenses ne diminuent pas avec le revenu pour les 30% les plus modestes. A l'autre extrémité, les 20% les plus aisés n'ont pas des dépenses qui augmentent avec le revenu. Pour les ménages à revenus moyens, on observe une zone "élastique" : les dépenses augmentent plus ou moins avec le revenu. Pourtant, malgré la part élevée du carburant dans le budget, les critères d'achat automobile concernent davantage le modèle, la gamme, le confort, la puissance, la marque ou encore l'image renvoyée par le véhicule. Il est donc possible de parler de dépendance automobile.

1.4.3. La dépendance automobile

Cette expression a été employée pour la première fois par Peter Newman (1996) qui faisait alors référence au fait qu'il y a beaucoup de voitures et donc de circulation et de consommation de carburant. Cette première définition se rapprochait principalement de l'idée de la dépendance énergétique. Par la suite, Gabriel Dupuy (1999) a défini ce phénomène comme un processus collectif entraînant tout le monde, personne ne pouvant y résister. Ce phénomène s'auto-entretient. Ainsi, les automobilistes bénéficient d'avantages en terme d'accessibilité par rapport aux non-automobilistes et cette différence croît avec "l'automobilisation", ce qui incite les non-automobilistes à devenir automobilistes à leur tour. Les résultats du modèle mis en œuvre par l'auteur montrent que, en France, une croissance de "l'automobilisation" de 1% se traduit par 2% d'accessibilité de plus. Par ailleurs, l'effet Zahavi accroît la dépendance. En 1980, Zahavi montre que l'accroissement des vitesses de déplacement se traduit par un allongement des distances et finalement une constance du budget-temps de transport. Ce phénomène est facteur de l'étalement urbain qui lui-même entretient la dépendance automobile. La demande décroît avec les ressources économiques et le handicap (d'âge par exemple) et lorsque la motorisation tend à toucher l'ensemble de la population capable de conduire. Comme tout effet de club, plus il y a d'automobilistes et plus les services offerts à ces derniers augmentent. Or la voiture engendre de multiples externalités : bruit, pollution, occupation de l'espace, sécurité... Newman (1996) a montré les bienfaits de la densité urbaine pour lutter contre les effets de la dépendance automobile. Mais Dupuy (1999) montre que l'introduction de véhicules à vitesse réduite peut être une

autre solution, de même que la construction de nouvelles routes moins rapides ou encore les restrictions de stationnement.

Les choix modaux sont donc régis par un ensemble de déterminants socio-économiques qui font de ce choix une décision non purement rationnelle du seul point de vue économique. Par ailleurs, des effets de modes viennent également expliquer la prépondérance actuelle de la voiture parmi les différents modes de transport. De même, cette prépondérance s'explique par l'équipement automobile des ménages qui est aujourd'hui généralisé.

2. La généralisation de la motorisation des ménages : l'équipement automobile et ses déterminants

Un parc important de voitures particulières (VP) s'est développé, plus de 80% des ménages étant aujourd'hui motorisés.

2.1. Définition

De manière générale, la motorisation correspond au nombre de véhicules à disposition du ménage.

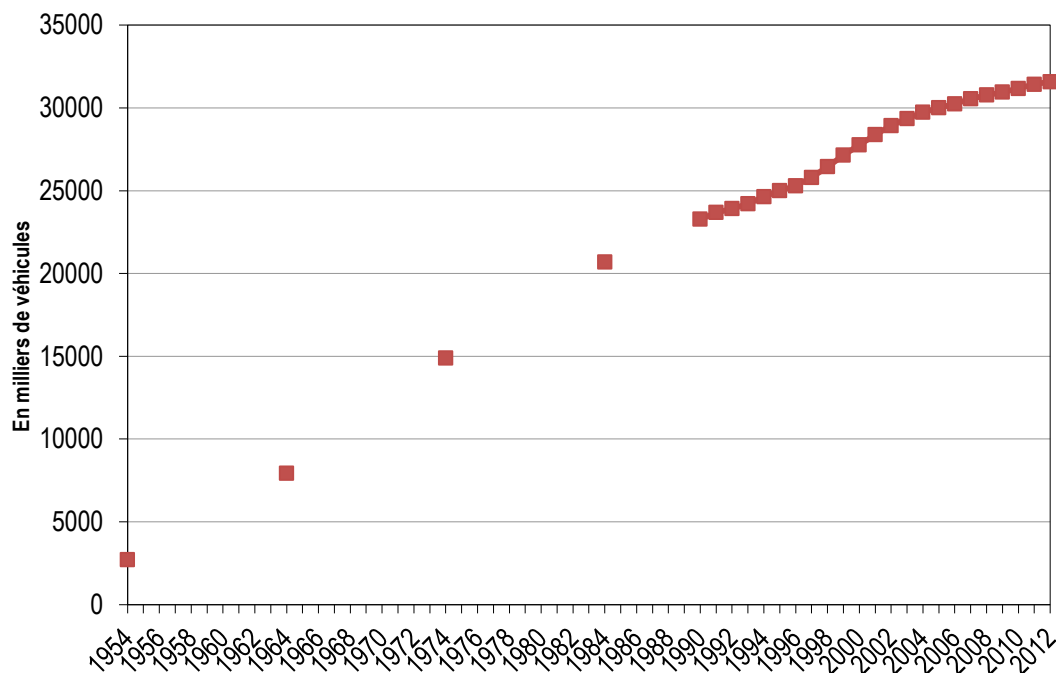
Le taux d'équipement correspond à la part des ménages équipés d'un véhicule alors que la motorisation moyenne fait référence au nombre moyen de véhicules par individu ou ménage.

Dans cette thèse, la motorisation (l'équipement automobile) prendra en compte les voitures particulières à disposition du ménage, y compris les véhicules d'entreprise ou loués. Les véhicules autres que les voitures particulières sont exclus de l'analyse (véhicules utilitaires légers, vélos, 2-3 roues motorisés, voiturettes).

2.2. Le parc français de voitures particulières et la motorisation des ménages

Le parc français de voitures particulières n'a cessé de croître, passant de 2,7 millions de véhicules en 1954 à 25 millions en 1995 et plus de 31,5 millions aujourd'hui, traduisant la généralisation de l'équipement automobile des ménages français (figure 5).

Figure 5 - Evolution du parc automobile français



Source : INSEE de 1954 à 1994, puis SOeS⁵

Le parc a ainsi progressé de 88% entre 1964 et 1974 et de 39% entre 1974 et 1984. Cependant, il n'a augmenté que de 19% entre 1984 et 1994 et de 20% entre 1994 et 2004. On observe donc un ralentissement de la croissance du parc essentiellement dû au fait que la grande majorité des ménages est maintenant équipée, voire multi-équipée. En effet, le tableau 5 montre que 83% des ménages étaient motorisés en 2009 contre seulement 71% en 1980. Le marché des voitures particulières est donc mature et correspond désormais essentiellement à un marché de renouvellement. Ainsi, les ventes de VP se sont stabilisées, nous y reviendrons ultérieurement.

Tableau 5 – Evolution de l'équipement automobile des ménages français

En %	1980	1990	2000	2008	2009 (p)
Ménages motorisés	70.8	76.8	80.3	82.7	83.2
Monomotorisés	54.3	50.5	50.7	46.9	47.5
Bimotorisés	14.8	23.0	25.4	30.5	30.5
Trimotorisés ou plus	1.7	3.3	4.2	5.3	5.2
Ménages non motorisés	29.2	23.2	19.7	17.3	16.8

Source : INSEE⁶

⁵ http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATTEF13629

⁶ http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=T10F062

2.3. Les déterminants de l'équipement automobile

Les raisons de la diffusion de la voiture sont multiples. Du côté de l'offre, c'est le développement des réseaux de vente (neuf et occasion) qui l'a favorisée. Du côté de la demande, l'augmentation continue du niveau de vie pour toutes les générations après 1945 l'a également soutenue. Par ailleurs, des changements de mode de vie plus profonds sont à l'origine de ce phénomène : périurbanisation, habitat dans des zones peu ou pas du tout desservies par les transports en commun, ou encore travail des femmes. Afin de comprendre le processus d'équipement automobile, il convient également de revenir sur la théorie de la diffusion de l'innovation.

2.3.1. La diffusion de l'innovation : définition et modèles

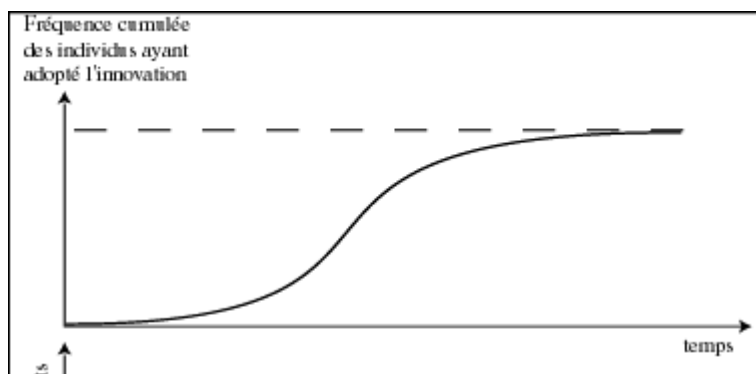
« *La diffusion est le processus par lequel l'innovation se propage* » (Tromenschlager-Philippe, 2002, page 48). Elle est souvent caractérisée par un phénomène de leader-suiveur. Autrement dit, les premiers adoptants testent la technologie et une fois la connaissance améliorée, les suiveurs l'adoptent à leur tour, imitant les leaders. Le but des modèles de diffusion est donc de prévoir le nombre d'acquéreurs de la nouvelle technologie sur une période de temps donnée.

Rogers (1962) distingue cinq types d'adoptants en fonction des délais d'adoption : les innovateurs, les adoptants précoces, la majorité précoce, la majorité tardive et les retardataires.

Il est possible de faire un lien entre le cycle de vie des produits et les catégories d'adoptants. En effet, en phase d'introduction, seuls les innovateurs et les adoptants précoces vont acquérir la nouvelle technologie, puis la majorité l'adoptera en période de croissance alors que les retardataires arriveront en phase de déclin. La courbe de vie des produits est également à l'origine du modèle logistique de diffusion de l'innovation ou courbe en S comme représentée sur la figure 6.

Par ailleurs, la diffusion d'une innovation dépend de la décision des ménages de l'acquérir ou non. Le modèle de probabilité Probit est particulièrement adapté à la représentation de ce phénomène et il intègre également la forme en S. D'après Stoneman (2002), le modèle Probit est basé sur la comparaison par les adoptants potentiels du bénéfice retiré de l'utilisation de la technologie à son coût d'acquisition.

Figure 6 – Courbe en S de diffusion d'une innovation



Source : <http://strategies4innovation.wordpress.com/2009/02/15/la-diffusion-dune-innovation/>

2.3.2. L'approche socio-démographique

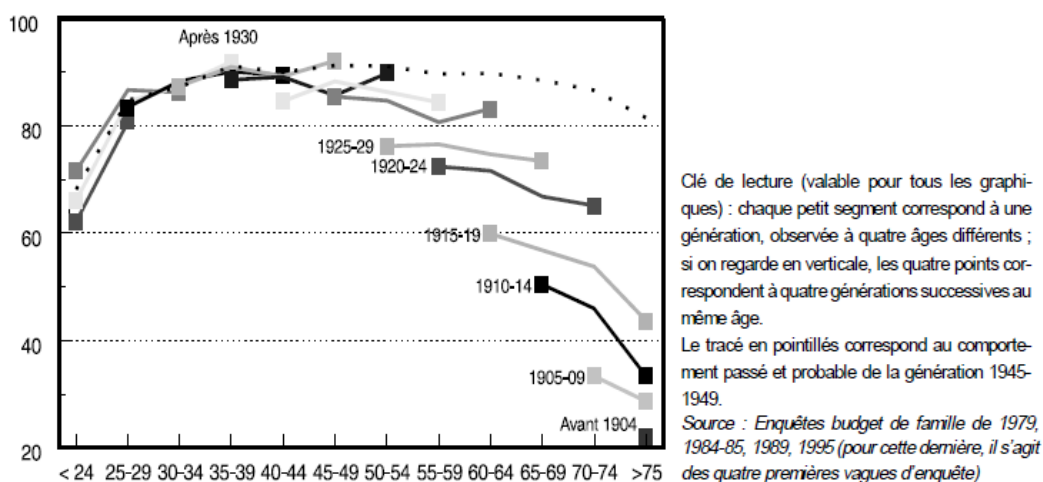
De manière générale, l'équipement automobile suit également le cycle de vie. On parle alors d'effet d'âge, c'est-à-dire d'un lien de causalité entre l'âge moyen de la population étudiée et l'équipement automobile toutes choses égales par ailleurs. Autrement dit, le seul fait d'avoir un certain âge détermine au moins en partie le fait de posséder une voiture ou non (Bodier, 1999). Ainsi, dans sa thèse, Rocci (2007) met en évidence, à travers les déclarations des personnes interrogées, que l'automobile a une place dans l'évolution logique des modes : c'est dans l'ordre des choses de disposer d'une voiture une fois le permis de conduire obtenu, lorsque le pouvoir d'achat augmente et que la logique de confort prend le dessus. En outre, Kaufmann et Flamm (2002) montrent que l'automobile s'inscrit dans le cycle de vie comme l'objet d'un rite de passage : passage à une liberté, entrée dans la vie étudiante ou active, passage au monde des adultes ou encore à un certain statut (union/séparation, arrivée d'un enfant, évolution professionnelle). Plus encore, la mobilité renvoie à des processus d'autonomisation et de construction identitaire (Desjeux, 2006 ; Desjeux et al., 2006 ; Buffet, 2006 ; Ramos, 2006).

Par ailleurs, la voiture est fortement associée à un mode de vie renvoyant à un statut à tenir par rapport à ses pairs ou un groupe de référence (Rocci, 2007 ; François et Desjeux, 2000). Ainsi, Coulangeon et Petev (2012) ont récemment mis en évidence des différences entre groupes sociaux s'exprimant notamment à travers la multimotorisation, le mode d'accès à la voiture (neuf/occasion) ou encore la marque de la voiture (les marques étrangères, allemandes notamment, étant un marqueur de l'appartenance aux classes supérieures). En outre, les choix modaux et pratiques de déplacement des parents ne semblent pas déterminer les choix de l'individu. Les déclarations des enquêtés (Rocci, 2007) montrent que l'entourage social semble avoir plus d'effets sur les choix modaux que la famille. Autrement

dit, l'acquisition automobile et les choix modaux semblent donc être davantage déterminés par les pairs que les pères. En effet, l'équipement et l'usage automobile évoluent dans le temps, de génération en génération. On parle alors d'effet de génération, c'est-à-dire d'un lien de causalité entre la génération de la population étudiée et la variable considérée toutes choses égales par ailleurs. Autrement dit, le seul fait d'appartenir à une certaine génération détermine au moins en partie la valeur de la variable constatée. On étudie alors des cohortes de ménages définies par des critères qui ne changent jamais au cours de leur cycle de vie (date de naissance par exemple).

Ainsi, avoir une voiture est un choix qui s'effectue tôt et qui ne change guère sauf avec la vieillesse et les moindres aptitudes physiques. Chaque génération est mieux équipée que la précédente et garde ses habitudes en vieillissant. En France, le taux d'équipement automobile au fil des générations a évolué de la façon suivante (figure 7) :

Figure 7 – Taux d'équipement en voitures par âge et par génération (en %)



Source : Bodier (1996)

Au même âge, 50-54 ans par exemple, le taux d'équipement de la génération née entre 1935 et 1939 était supérieur de 10 points à celui de la génération née entre 1925 et 1929.

En outre, comme pour le choix modal, le niveau d'équipement automobile dépend de la localisation géographique du ménage. Ainsi, les contraintes liées à l'offre de transport en commun ou encore leur absence incitent à l'acquisition automobile. Il convient alors de se demander si la possession intensifie l'usage. Nous verrons ultérieurement que la détention n'implique pas nécessairement un usage exclusif. Ainsi, les "Multimodaux" (Rocci, 2007) ont un usage réfléchi et adapté de leur voiture, presque rationnel, optimal.

Enfin, l'équipement automobile est également déterminé par des facteurs économiques.

2.3.3. L'approche économique

Le revenu est le principal déterminant économique de l'équipement automobile. Ainsi, la démocratisation automobile en France va de pair avec la croissance connue durant la période des Trente Glorieuses. Plus précisément, les études menées sur le lien entre la progression du parc automobile et le revenu par tête (Dargay et Gately, 1999) mettent en évidence une corrélation positive entre la motorisation et le revenu du ménage. Ainsi, l'élasticité au revenu va de deux pour les niveaux de revenus les plus bas à zéro lorsque le niveau de saturation est atteint pour les niveaux de revenus les plus hauts. De même, Goodwin et al. (1995) montrent que l'équipement automobile augmente plus vite que le revenu jusqu'aux années 70. Mais dans les 25 dernières années, le développement de l'équipement automobile a suivi celui du revenu (l'élasticité-revenu est plus proche de 1).

Par conséquent, on retient que l'équipement augmente avec le niveau de revenu et l'élasticité-revenu de l'équipement diminue à mesure que le revenu augmente et lorsqu'on s'approche de la saturation. Ainsi, le modèle à seuil de revenu (Madre et Gallez, 1993) permet d'analyser le taux d'équipement en fonction de la répartition d'une loi logistique ou normale en supposant que chaque ménage décide de s'équiper pour un seuil "psychologique" de revenu R_s . La probabilité que le ménage s'équipe s'écrit alors :

$$\text{Prob}[Y_i = 1] = \text{Prob}[R \leq R_s]$$

où Y_i est le niveau d'équipement du ménage et R le revenu du ménage.

Par ailleurs, si l'on sait que l'équipement augmente avec le revenu, on ne connaît pas les effets d'une diminution de celui-ci. Grâce à un modèle dynamique liant l'équipement automobile au revenu, au nombre d'adultes et d'enfants dans le ménage, au prix des voitures et à l'équipement retardé, Dargay (2001) utilise des techniques de décomposition du revenu pour estimer séparément les élasticités en cas de hausse ou de baisse du revenu. Le but étant d'étudier l'asymétrie (réponse différente face à une hausse ou une baisse de revenu). Les résultats montrent que l'équipement automobile réagit davantage à une hausse qu'une baisse du revenu. De plus, les élasticités ne sont pas constantes mais diminuent avec l'augmentation de l'équipement automobile et du revenu. La question de l'asymétrie a également été traitée par Goodwin (1998) et Pendyala et al. (1995). Ils montrent que l'élasticité liée à une baisse de revenu est sensiblement inférieure à celle liée à une hausse de revenu. Par ailleurs, les individus ne réagissent pas immédiatement à une évolution du revenu et les ajustements se font lentement (effet d'hystérèse). Ce phénomène est dû à des habitudes, des résistances au changement, une dépendance à la voiture. Les études basées

sur des modèles dynamiques montrent une élasticité-revenu de long-terme deux à trois fois supérieure à celle de court terme.

3. La remise en cause de la voiture particulière et les facteurs de rupture

L'analyse des enquêtes d'opinions menées récemment auprès des Français sur les thèmes de la mobilité et des transports montre que la voiture particulière est de plus en plus associée à une image négative, surtout en milieu urbain. En cause, son coût d'usage de plus en plus pesant sur le budget des ménages, ainsi qu'un début de prise de conscience environnementale.

3.1. La voiture : une image négative

L'Observatoire de la Mobilité a été mené par l'institut BVA pour le compte de l'Union des Transports Publics en 2008, 2009 et 2010 auprès d'un échantillon de 1001 personnes habitants une agglomération de plus de 50 000 habitants représentatifs de la population française.

En 2008, les transports en commun ont une image positive pour 53% des interrogés, alors que la voiture en ville a une image négative pour 75% d'entre eux. Plus précisément, les transports en commun représentent un mode de déplacement pratique dans 28% des cas et un mode de déplacement utile, nécessaire, indispensable pour 10% des sondés. Inversement, la voiture en ville est associée à des problèmes de circulation et de stationnement dans respectivement 47% et 26% des cas.

Dans l'édition 2009, 48% des personnes déclarent avoir diminué un type de déplacement. Ce sont les déplacements en ville en voiture qui ont le plus souvent diminué. La motivation principale de la diminution de ces déplacements est la volonté de protéger l'environnement (raison citée par 40% des interrogés) alors que la crise économique n'est évoquée que dans 23% des cas. L'image des transports en commun reste positive et meilleure que celle de la voiture en ville (57% de citations positives pour les premiers contre 35% pour la seconde).

Lors de la troisième vague réalisée en 2010, 49% des personnes interrogées déclarent avoir diminué au moins un type de déplacement. Ce sont toujours les déplacements en voiture qui sont le plus concernés par cette diminution (24%). Cette dernière s'explique encore principalement par la volonté de protéger l'environnement (34%) et par la crise économique (28%).

L'image des transports en commun reste largement positive (57% des évocations) alors que celle de la voiture en ville est négative (71% des évocations). Les premiers sont toujours perçus comme pratiques (26%), écologiques (10%) et rapides (8%) alors que la seconde est associée aux problèmes de circulation (41%), de stationnement (28%) et de pollution (13%).

De même, d'après une étude réalisée en 2010 (Kaufmann et al., 2010) et basée sur 19 Enquêtes Ménages Déplacements, les modes alternatifs à la voiture ont une image très positive : 54% pour les transports en commun et 63% pour le vélo. Même si l'image de la voiture est positive pour 57% des interrogés, ce chiffre a baissé. Les Français ont désormais une réflexion beaucoup plus pragmatique lors de leurs déplacements. Ils font jouer l'intermodalité en adoptant le mode de transport le plus adapté au lieu, à l'heure et au motif de déplacement. Par ailleurs, l'image de chacun des modes de transport est fortement liée à son usage. Ainsi, les utilisateurs très fréquents de la voiture sont motivés par le confort et l'autonomie que procure ce mode de transport et le trouvent indispensable. Inversement, ceux qui n'utilisent jamais la voiture trouvent ce mode dangereux et bruyant (figure 8).

Figure 8 – Image de la voiture selon l'intensité d'usage

VOITURE	Tous les jours ou presque	%	Jamais	%
	PRATIQUE	20,0 %	PRATIQUE	18,3 %
	CHER	11,5 %	POLLUANT	13,5 %
	POLLUANT	10,5 %	CHER	11,4 %
	RAPIDE	8,9 %	RAPIDE	8,6 %
	UTILE	6,1 %	UTILE	7,0 %
	CONFORTABLE	5,6 %	DANGEREUX	5,3 %
	REND AUTONOME	5,1 %	CONFORTABLE	5,3 %
	INDISPENSABLE	4,4 %	NÉCESSAIRE	3,2 %
	NÉCESSAIRE	4,0 %	BRUYANT	3,0 %
	LIBERTÉ	3,4 %	REND AUTONOME	2,9 %
	DANGEREUX	2,8 %	INDISPENSABLE	2,5 %

Source : Kaufmann et al. (2010)

Les utilisateurs fréquents des TC les trouvent davantage rapides, utiles, sûrs et confortables que ceux qui ne les utilisent jamais. Ces derniers au contraire trouvent les transports en commun lents, contraignants et peu sûrs (figure 9).

Figure 9 – Image des transports collectifs selon l'intensité d'usage

TRANSPORTS COLLECTIFS	Tous les jours ou presque	%	Jamais	%
	PRATIQUE	18,3 %	PRATIQUE	15,1 %
	ÉCONOMIQUE	7,4 %	ÉCONOMIQUE	7,2 %
	RAPIDE	5,1 %	UTILE	5,7 %
	CHER	4,9 %	CHER	5,3 %
	UTILE	4,9 %	LENT	5,3 %
	LENT	4,1 %	CONTRAIGNANT	4,7 %
	ÉCOLOGIQUE	3,9 %	ÉCOLOGIQUE	4,6 %
	SÛR	3,0 %	INSÉCURITÉ	3,4 %
	CONFORTABLE	2,6 %	SÛR	2,8 %
	BONDÉ	2,5 %	RAPIDE	2,8 %
		NÉCESSAIRE	2,5 %	
		POLLUANT	2,5 %	

Source : Kaufmann et al. (2010)

Enfin, les cyclistes trouvent le vélo plus pratique, rapide et agréable que ceux qui ne l'utilisent jamais et qui le trouvent dangereux (figure 10).

Figure 10 – Image du vélo selon l'intensité d'usage

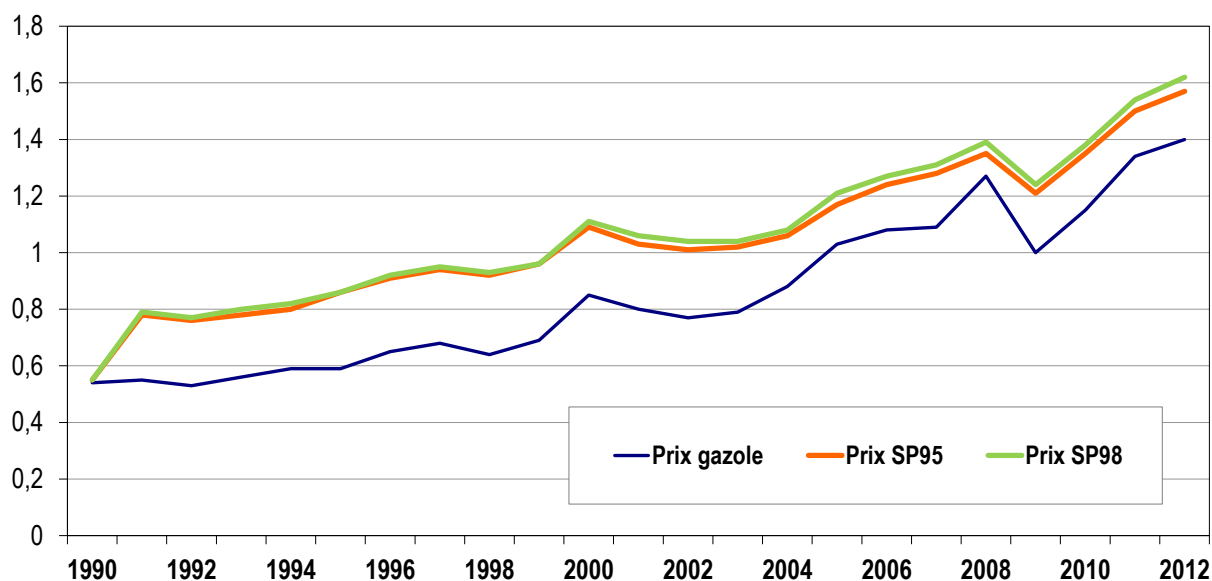
VÉLO	Tous les jours ou presque	%	Jamais	%
	ÉCOLOGIQUE	13,8 %	ÉCOLOGIQUE	14,2 %
	PRATIQUE	12,4 %	DANGEREUX	13,4 %
	SPORTIF	9,1 %	SPORTIF	9,7 %
	DANGEREUX	8,1 %	PRATIQUE	8,8 %
	ÉCONOMIQUE	8,1 %	ÉCONOMIQUE	7,4 %
	RAPIDE	6,4 %	AGRÉABLE	4,5 %
	AGRÉABLE	6,1 %	FATIGANT	3,9 %
	BON POUR LA SANTÉ	5,5 %	BON POUR LA SANTÉ	3,9 %
			RAPIDE	2,7 %
			DÉTENTE	2,6 %

Source : Kaufmann et al. (2010)

3.2. Des coûts d'usage en hausse pesant sur le budget des ménages

Entre 1990 et 2012, le prix des carburants a plus que doublé (figure 11). Plus précisément, il a augmenté de 9% par an en moyenne, alors que sur la même période, l'inflation a été de 1,7% en moyenne (INSEE).

Figure 11 – Evolution du prix des carburants entre 1990 et 2012 (en €/L)



Source : d'après Observatoire et Statistiques – Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

Or, comme le montre le tableau 6 le secteur des transports est celui présentant la part de pétrole dans sa consommation finale d'énergie la plus élevée. Ce secteur est même largement dépendant du pétrole et ne parvient pas à en réduire sa consommation. En effet, si les secteurs industriels et tertiaires ont réduit leur dépendance au pétrole de 18% et 17% respectivement entre 1990 et 2009, celui des transports ne l'a réduit que de 2%.

Tableau 6 – Consommation finale d'énergie par secteur en France (Mtep)

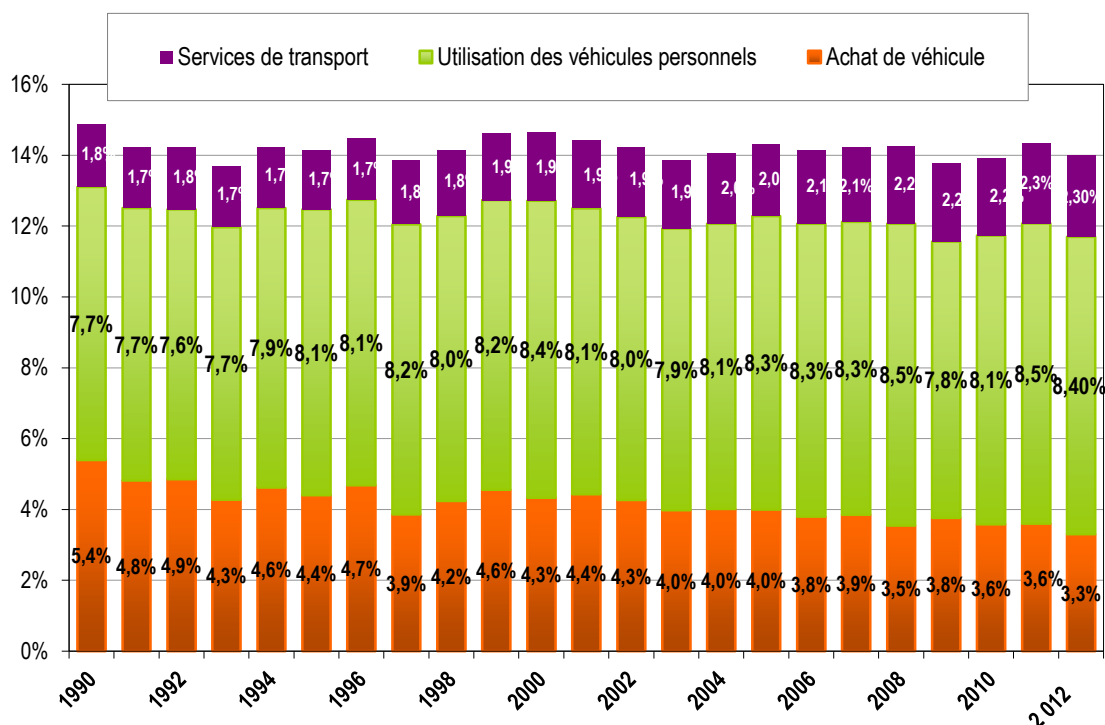
	Toutes énergies		Pétrole		Part pétrole/énergie	
	1990	2009	1990	2009	1990	2009
Sidérurgie/industrie	53	33	9	5	17%	14%
Résidentielle/tertiaire	78	69	18	13	23%	19%
Agriculture	3	4	2.71	3.25	82%	81%
Transport	45	49	43	46	96%	94%

Source : d'après CPDP (1991 et 2010)

Les augmentations de prix des carburants ont donc eu des conséquences sur le budget transport des ménages. Celui-ci est assez stable (autour de 14-15%) depuis 1990, autrement dit, des arbitrages ont été réalisés entre les différents postes du budget transport. Ainsi, la figure 12 montre que, sous l'effet de l'augmentation des prix des carburants, mais également

de ceux de l'entretien-réparation, le poste "utilisation des véhicules personnels" a augmenté de près d'un point entre 1990 et 2012. De même, la part du poste "services de transport" a augmenté d'un demi-point. Ces augmentations se sont donc faites aux détriments du poste "achat de véhicule", dépenses sur lesquelles les ménages se sont le plus contraints. D'autant plus que, d'après l'enquête biannuelle de la Commission Européenne sur les prix des voitures⁷, les prix catalogues ont augmenté de 1,6% en moyenne entre 2000 et 2010.

Figure 12 – Evolution de la part des dépenses de transport des ménages français entre 1990 et 2012



Source : d'après Eurostat

3.3. Un début de prise de conscience des impacts environnementaux de la VP

Les voitures particulières sont responsables de plus de la moitié des émissions de CO₂ du transport routier comme le montre le tableau 7.

Face à ce constat et pour limiter les émissions de CO₂ des voitures, des objectifs de réduction des émissions ont été successivement fixés au niveau européen. Ainsi, en 2008, un compromis a été adopté afin de ramener les émissions de CO₂ des voitures neuves à 130 g/km en moyenne entre 2012 et 2015, puis, en 2020, tous les véhicules neufs vendus devront émettre moins de 95g CO₂/km en moyenne. Chaque constructeur se verra attribuer des objectifs annuels en fonction de la taille des voitures qu'il vend en Europe chaque année.

⁷ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-02-1109_fr.htm?locale=FR

Tableau 7 – Répartition des émissions de CO₂ du transport routier par type de véhicules (base indicateur PRG⁸ en Mt CO₂)

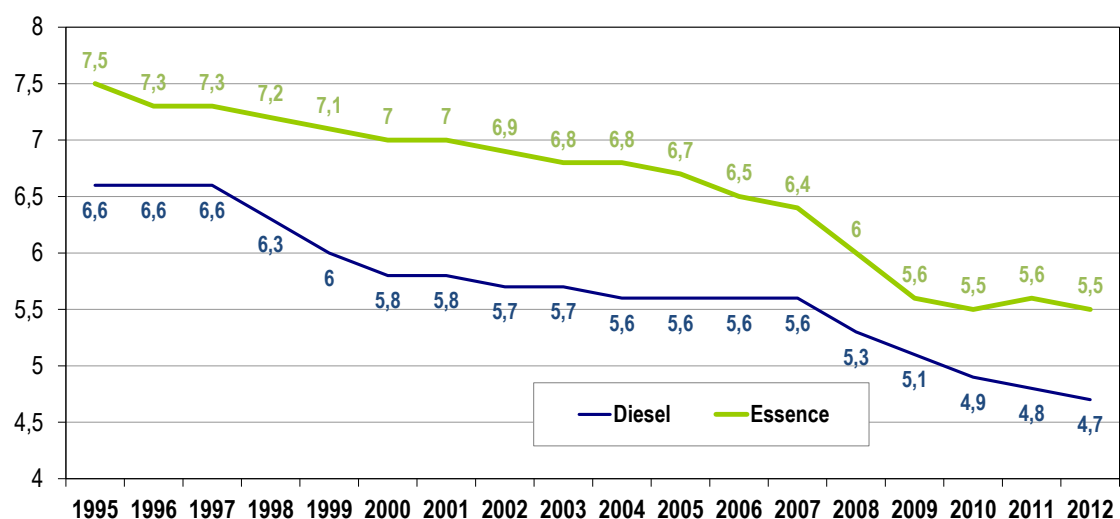
	1990	2009
Véhicules particuliers	58.9%	56.4%
Poids lourds	25.2%	24.6%
Véhicules utilitaires légers	15.4%	18.0%
Deux roues	0.5%	0.9%

Source : Citepa/ format Secten avril 2011

Au niveau national, suite au Grenelle de l'Environnement, le dispositif de bonus/malus⁹ a été mis en place. Il consiste à inciter à l'achat de voitures neuves émettant peu de CO₂ en offrant un bonus venant en déduction du prix d'achat du véhicule et à décourager l'achat des voitures les plus émettrices en faisant payer un malus. Depuis son introduction, le barème a régulièrement été révisé dans le sens d'une sévèrisation graduelle, les montants du bonus étant de plus en plus faibles et réservés à des véhicules de moins en moins émetteurs de dioxydes de carbone, et le montant du malus étant de plus en plus élevés et concernant une classe d'émission de plus en plus large (voir le détail du dispositif en annexe A).

En France, la consommation moyenne des voitures particulières neuves vendues a déjà diminué de 2L/100km pour les voitures essence et de 1.9L/100km pour les voitures diesel en 17 ans (figure 13). Par conséquent, les émissions moyennes de CO₂ ont diminué de 30% entre 1995 et 2010 en moyenne (figure 14).

Figure 13 – Consommation moyenne de carburant des véhicules neufs vendus en France (L/100 km)

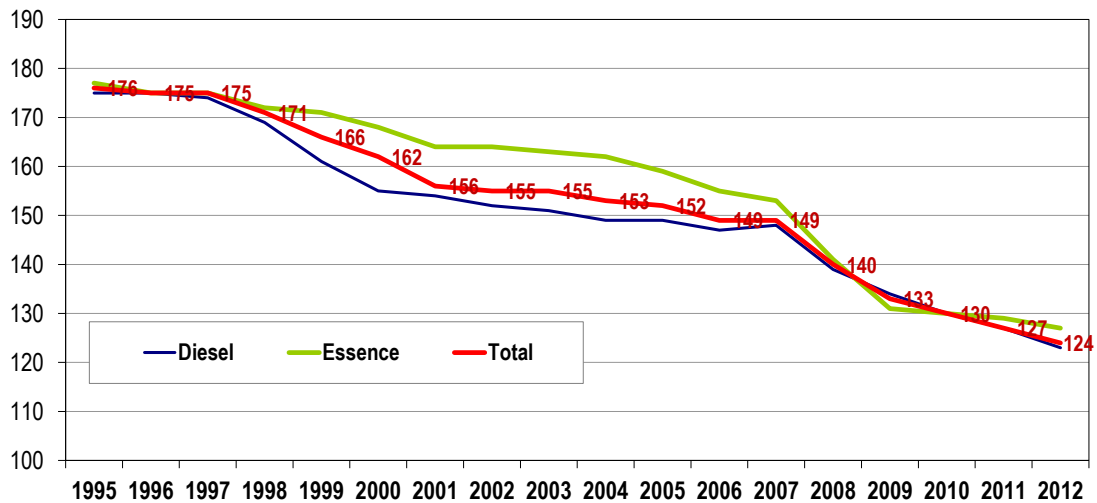


Source : d'après ADEME (2013)

⁸ PRG : Pouvoir de Réchauffement Global incluant les quatre gaz à effet de serre émis par le transport routier dont le CO₂ et les HFC émis par les climatisations et les véhicules frigorifiques

⁹ Arrêté du 10 novembre 2005

Figure 14 – Taux moyen d'émissions de CO₂ des véhicules neufs vendus en France (g CO₂/km)



Source : d'après ADEME (2013)

Hormis les émissions de gaz à effets de serre, les voitures particulières entraînent d'autres externalités comme le bruit, la pollution locale (particules fines) ou encore des problèmes de congestion urbaine qui tendent à remettre en cause son usage, notamment en milieu urbain.

Entre pression budgétaire et multiples externalités négatives, les ménages tendent de plus en plus à rationaliser leur comportement d'usage automobile, et s'intéressent notamment aux nouveaux services de mobilité.

4. La rationalisation de l'usage automobile et l'intérêt pour les nouveaux services de mobilité (NSM)

4.1. Les changements de comportement d'usage et d'achat automobile

La comparaison de résultats d'enquêtes réalisées dans trois villes françaises permet de mettre en évidence des évolutions de comportements de mobilité (Kaufmann et al., 2010). En effet, dans les villes où les habitants sont en situation de choix modal, les comportements ont globalement évolué vers une optimisation du temps de transport comme le montre le tableau 8. Ainsi, les "comparateurs de temps", c'est-à-dire ceux choisissant le mode ou la combinaison de modes les plus rapides, constituent désormais la part la plus importante des différents types de mobilité (sauf à Toulouse). La part des "automobilistes exclusifs" a globalement diminué en France alors que celle des "prédisposés alternatifs" (préférant utiliser les transports en commun, la marche ou le vélo plutôt que la voiture) a globalement

augmenté mais reste faible. Ces évolutions montrent donc une tendance à l'optimisation des comportements de mobilité et au recours à la multimodalité. La voiture devient donc un mode de transport comme les autres et n'est plus systématiquement privilégiée.

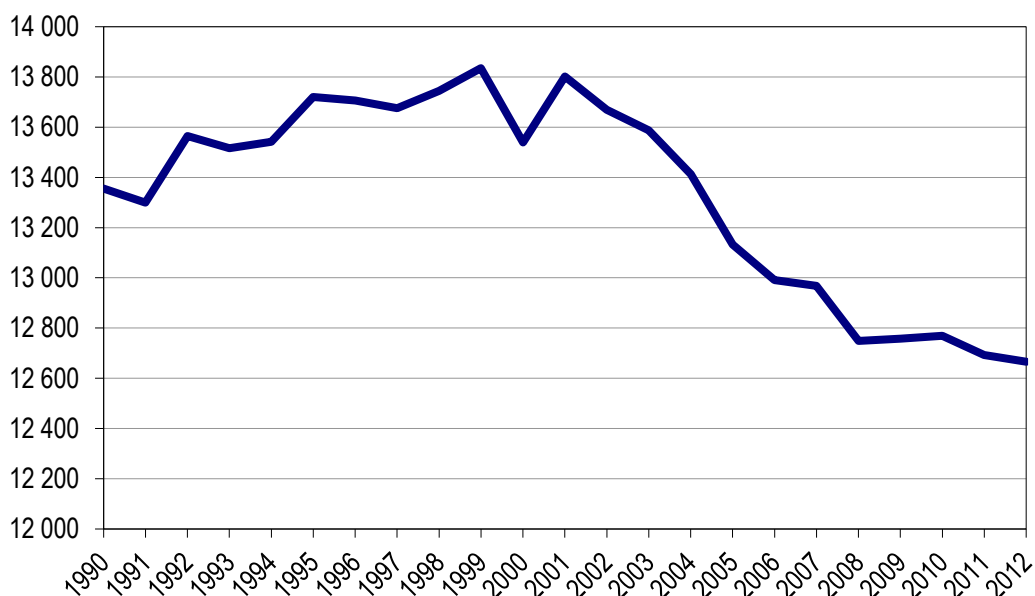
Tableau 8 – Profils de mobilité dans différentes villes et leur évolution

	Grenoble* 1994	Grenoble 2001	Genève* 1993	Genève* 1999	Berne* 1993	Berne* 1999	Toulouse* 1994	Toulouse 2003
Automobilistes exclusifs	30 %	26 %	21 %	13 %	5 %	8 %	36 %	26 %
Automobilistes contraints	30 %	20 %	34 %	33 %	32 %	29 %	36 %	20 %
Prédisposés alternatifs	4 %	11 %	4 %	6 %	3 %	2 %	3 %	14 %
Comparateurs de temps	27 %	36 %	29 %	37 %	40 %	52 %	16 %	19 %
Écologistes civiques	3 %	2 %	7 %	5 %	14 %	6 %	2 %	10 %
Ancrés dans la proximité	6 %	5 %	5 %	6 %	6 %	3 %	7 %	11 %

Source : Kaufmann et al. (2010)

Plusieurs observations viennent corroborer ce constat. Ainsi, le parcours annuel moyen des voitures particulières a tendance à diminuer depuis le début des années 2000 comme le montre la figure 15 :

Figure 15 – Parcours annuel moyen des voitures particulières en France (en km)



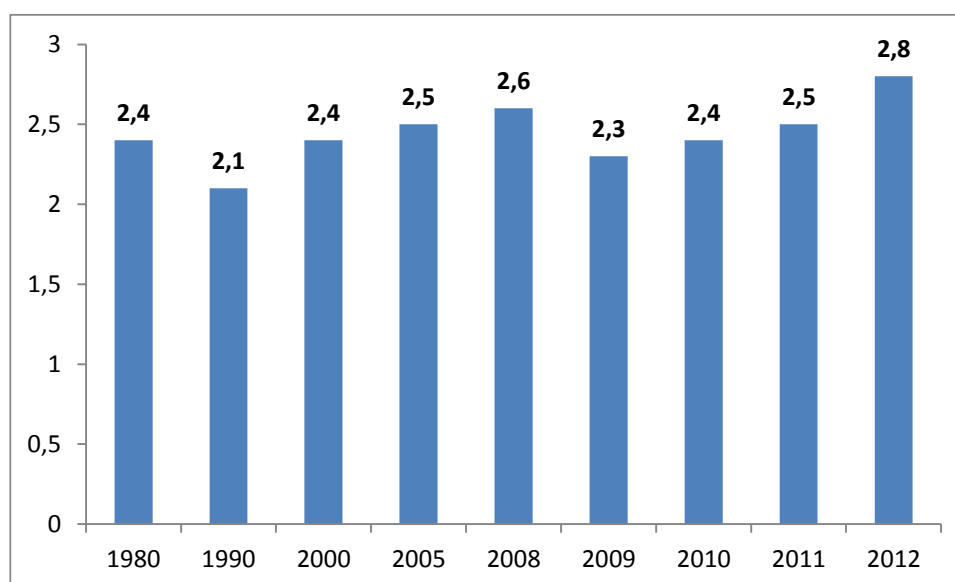
Source : CGDD/SOeS (juillet 2013)

En outre, le nombre de déplacements quotidiens par personne étant resté stable entre 1994 et 2008 (ENTD, CGDD/SOeS, 2010), la diminution des kilométrages ne peut être attribuée à une diminution des déplacements, mais bien à une diminution de l'usage de la voiture.

Par ailleurs, comme nous l'avons vu précédemment, la pression sur le budget de l'usage automobile a conduit les ménages à réduire la part allouée à l'achat automobile. Ils ont donc adopté différentes stratégies d'adaptation : achat de véhicules d'occasion, de petits segments de gamme ou encore report du renouvellement.

En effet, si le ratio immatriculations d'occasion/immatriculations neuves a progressé entre 2 et 2,8 voitures d'occasion pour une voiture neuve immatriculée (figure 16), ce ratio est passé de 3,7 en 2000 à 5,2 en 2012 si l'on ne considère que les voitures neuves achetées par des ménages. Autrement dit, ces derniers ont acquis de plus en plus de voitures d'occasion depuis le début des années 2000.

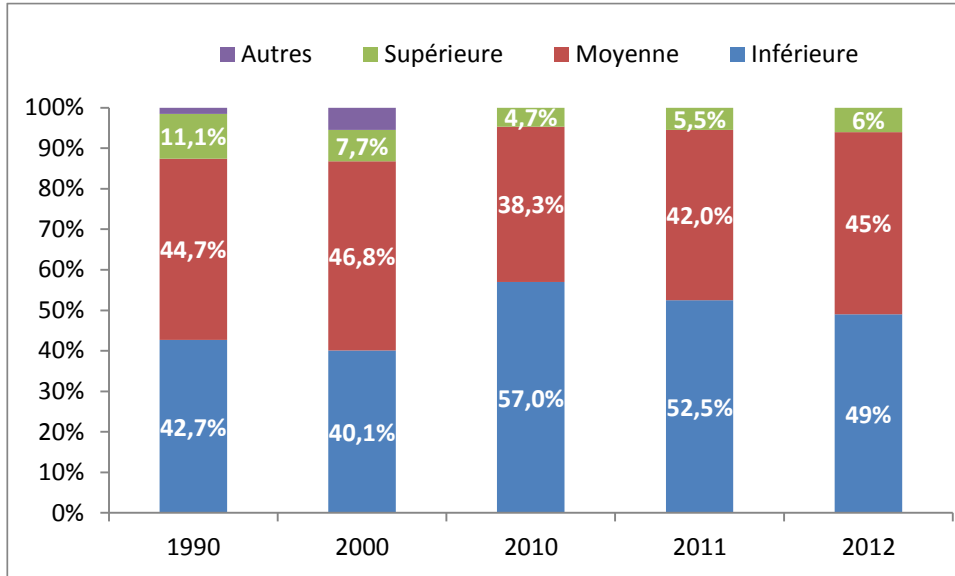
Figure 16 – Evolution du ratio immatriculations d'occasion/immatriculations neuves entre 1980 et 2012



Source : CCFA (2013)

Par ailleurs, les achats neufs concernent de plus en plus les petits segments de gamme, aux prix d'achat moins élevés et bénéficiant des mesures de soutien les plus intéressantes depuis 2008. Ainsi, la figure 17 montre que, au cours des 20 dernières années, le mix-segment s'est déprécié, la part de marché des segments inférieurs étant passée de 42,7% en 1990 à 49% en 2012, au détriment des véhicules du segment supérieur.

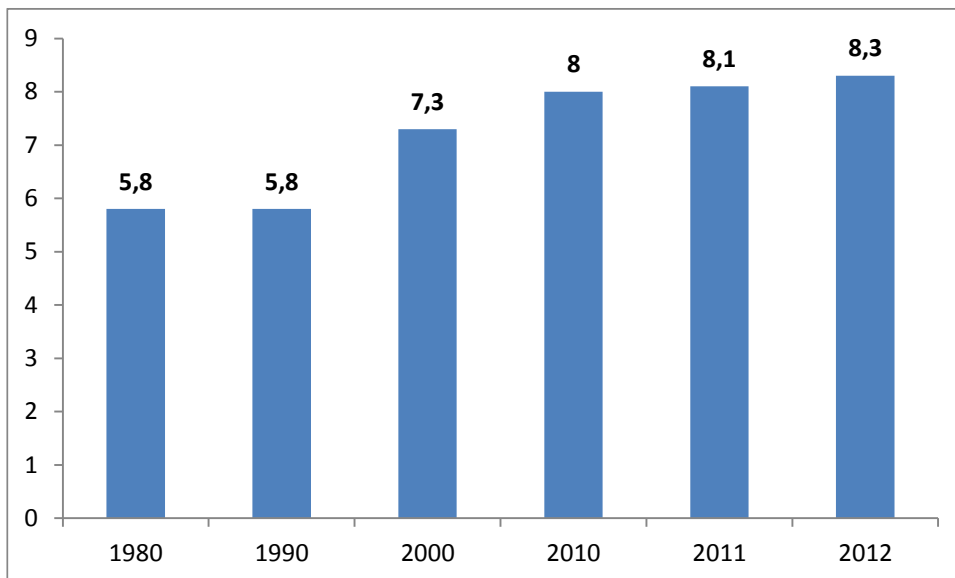
Figure 17 – Evolution de la structure des immatriculations neuves par segment de gamme



Source : CCFA (2013)

Enfin, les ménages gardent leur voiture de plus en plus longtemps, reportant le renouvellement, et faisant donc vieillir le parc automobile à leur disposition. Ainsi, comme le montre la figure 18, l'âge moyen du parc automobile détenu par les ménages est passé de 5,8 ans en 1980 à 8,3 ans en 2012.

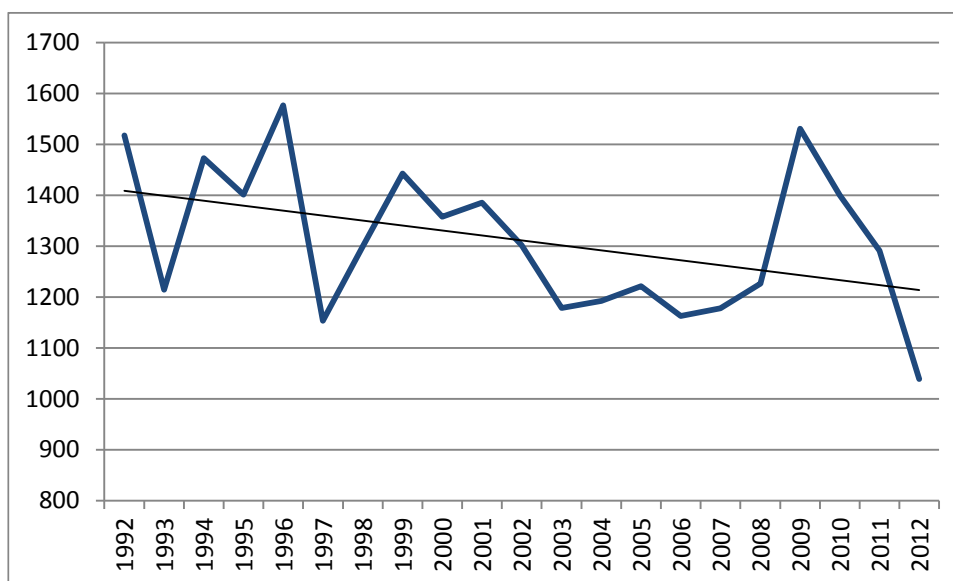
Figure 18 – Evolution de l'âge moyen du parc automobile détenu ou mis à la disposition des ménages



Source : CCFA (2013)

La voiture, grâce à la liberté et l'indépendance qu'elle procure, apparaît comme le moyen de déplacement privilégié des Français. Cependant, les multiples problèmes de congestion, pollution de l'air, bruit, sa contribution au changement climatique ou encore les dépenses qu'elle représente ont fait naître une réflexion sur l'utilisation intensive de ce mode de déplacement. Finalement, on observe une tendance décroissante sur le marché du véhicule particulier neuf sur le canal des ménages depuis une vingtaine d'années (figure 19) :

Figure 19 – Immatriculations de véhicules particuliers neufs par les ménages



Source : BIPE

En plus des stratégies d'adaptations individuelles, des pratiques collectives se sont développées à travers les nouveaux services de mobilité comme le covoiturage ou encore l'autopartage.

4.2. L'intérêt pour les Nouveaux Services de Mobilité (NSM)

En France, il existe plus de 200 services de covoiturage organisés (ATEMA, 2010). On distingue les services nationaux grand public connus à l'échelle nationale, ceux spécialisés dans les trajets domicile-travail et les services locaux tout public et généralistes.

Le taux d'inscrit varie fortement avec la nature du site : les services d'entreprises touchent mieux leur cible que les autres avec 8% d'inscrits (par rapport au nombre de salariés) contre 0.5% en moyenne (par rapport à la population totale). Les écarts vont de 2% à 33% pour les services d'entreprises et de 0.2% à 1.4% pour les services tout public.

L'usage effectif ne concerne que 10% des inscrits pour les services d'entreprise et 4% pour les services tout public. Le taux d'usage varie de 3% à 21% pour les premiers et de 3% à

10% pour les seconds. Parmi les non usagers inscrits, 20% sont inactifs (pas de recherche active) et 80% n'ont pas trouvé d'appariement pertinent.

Les trois quart des usages représentent un report modal depuis la voiture particulière, l'autre quart à un report depuis les transports en commun.

Selon le Certu (2008), l'autopartage se définit comme un service de mobilité qui consiste à disposer d'une voiture "à la carte", moyennant une adhésion préalable au service et une réservation avant chacune des prises d'un véhicule.

D'après une étude menée sur l'autopartage à Paris (Jemelin et Louvet, 2007), 40% des personnes interrogées seraient prêtes à recourir à l'autopartage (54% ne le pensent pas et 6% sont sans opinion). Les moins intéressés sont les automobilistes exclusifs (28%) et les marcheurs et/ou utilisateurs de 2-roues (25%).

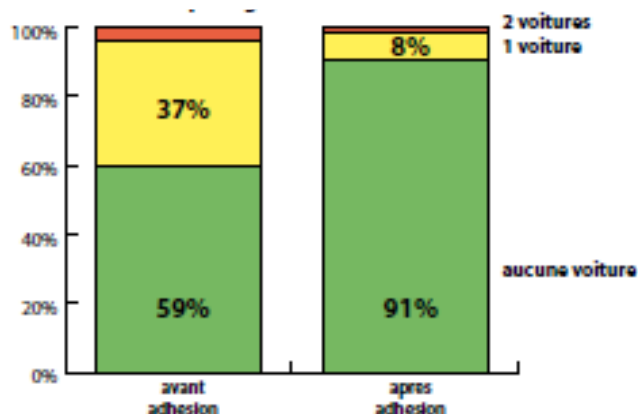
26% des personnes interrogées ont déjà pensé à se séparer de leur véhicule pour des raisons de coûts (40%), de difficultés de stationnement (18%) ou de non-utilisation (19%).

Parmi les adhérents, une majorité a entre 35 et 44 ans, 64% sont des hommes, 77% ont un diplôme supérieur de second cycle et 12% un diplôme supérieur de premier cycle. Certains ont une très mauvaise image de la voiture personnelle (chère, polluante, encombrante, difficile à garer) et/ou des transports en commun (bondé, lents) alors que l'autopartage est perçu comme pratique, économique et écologique. Parmi les adhérents, l'étude distingue :

- les "zappeurs de mode" (14%) : image positive de la voiture et des transports en commun,
- les "anti-transports en commun" (15%) : image négative des TC et positive de la voiture,
- les "anti-véhicule personnel" (38%) : image négative de la VP et positive des TC,
- les "adeptes des modes doux" (4%) : image négative des TC et de la voiture.

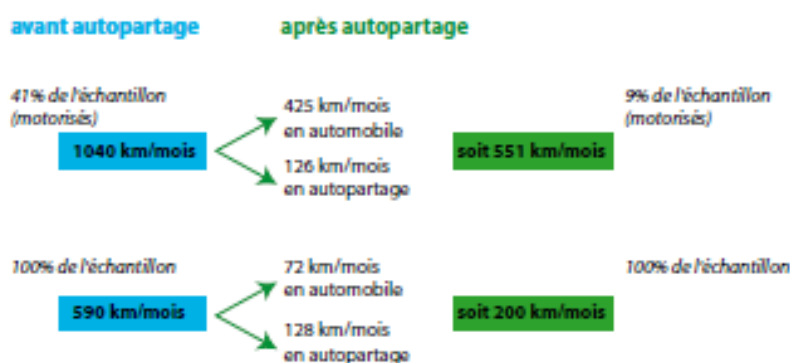
91% des adhérents n'ont pas ou plus de voiture (figure 20) et font moins de kilomètres qu'avant (figure 21).

Figure 20 – Equipement en voiture avant et après l’adhésion à un service d’autopartage



Source : Jemelin et Louvet (2007)

Figure 21 – Evolution des kilomètres parcourus en automobile



Source : Jemelin et Louvet (2007)

De même, une étude menée en 2012 (Louvet et Godillon, 2013) auprès d'un échantillon de plus de 2000 membres de services d'autopartage montre que la distance parcourue en voiture après l'adhésion diminue de 41% en moyenne. De façon générale, les différentes études menées concluent à une diminution du kilométrage annuel de 27 à 50%.

Plus encore, la diminution des distances parcourues en voiture s'accompagne d'un report vers les modes alternatifs.

Outre, les services organisés d'autopartage, le partage de voitures dans la sphère privée se développe également. Ainsi, selon une étude (Cordier, 2009) ce phénomène concerne principalement des trentenaires (deux tiers des autopartageurs), la moitié sont des cadres, ils ont des engagements associatifs ou militants, ils se déplacent majoritairement à pied, en vélo, ou en transports en commun pour leurs déplacements quotidiens, et ils ont une image

très pragmatique de la voiture. Leurs motivations sont essentiellement rationnelles : optimiser l'usage des véhicules, faire des économies et réaliser une démarche collective.

Autre forme d'autopartage, Autolib' lancé à Paris en novembre 2011, propose des voitures électriques en libre-service. Selon le site officiel d'Autolib' à Paris¹⁰, les utilisateurs potentiels sont :

- des femmes à 49%, des hommes à 51%,
- des jeunes (18-34 ans à 42%),
- des CSP+ (36%),
- des personnes sans enfants (65% contre 37% de personnes avec enfants).

Parmi les personnes favorables au service, 84% ont le permis de conduire (contre 77% en moyenne), 68% appartiennent à un foyer motorisé (contre 64% en moyenne) et 49% ont un abonnement aux transports en commun (contre 48% en moyenne).

Enfin, 31% des automobilistes parisiens et 27% de ceux de proches banlieues intéressés et prêts à utiliser le service seraient enclins à se séparer de leur véhicule et à ne plus en avoir. Cinq mois après son lancement, le service comptait 4500 abonnés à l'année et plus de 1000 voitures en circulation.

5. Conclusion

La voiture est devenue le mode de déplacement principal des ménages français. Ainsi, leur motorisation n'a cessé de se développer, favorisant l'augmentation du parc automobile. Cependant, ce mode de transport présente aujourd'hui de nombreuses externalités négatives et est donc perçu négativement, notamment en milieu urbain. Par conséquent, les comportements d'usage et d'achat automobile se rationalisent et les nouveaux services de partage automobile (covoiturage, autopartage notamment) suscitent de nouveaux intérêts. Ce phénomène est un indicateur d'une modification probable des changements de comportements de mobilité des Français. Ainsi, l'objet principal de notre thèse sera d'analyser ces services en tant que vecteur de changements de comportement. Ils ne concernent actuellement qu'une très faible part de la population. Il apparaît donc pertinent de s'interroger sur la manière dont les intérêts qu'ils suscitent se traduiront concrètement sur les comportements d'usage et d'achat automobile.

¹⁰ www.autolib-paris.fr

Chapitre 2 - Les nouveaux services de mobilité automobile : quels potentiels ?

Disposer d'une voiture n'implique pas toujours un usage individuel (Rocci, 2007). En effet, certains la partagent au sein du foyer, d'autres font du covoiturage, d'autres encore la mettent à disposition de personnes extérieures au ménage. Ainsi, les personnes propriétaires d'une voiture en ayant un usage occasionnel et un rapport purement fonctionnel n'hésitent pas à la prêter ou la partager afin de rationaliser l'investissement. Les nouveaux services de mobilité (NSM) font référence à « *une utilisation nouvelle différente d'un mode de transport existant comme la voiture, le vélo ou le bus* » (Arbouet, 2011, page 12). Les plus connus sont le covoiturage, l'autopartage, le vélo en libre-service (VLS) ou encore le transport à la demande (TAD). Par opposition à l'autosolisme, c'est-à-dire l'utilisation individuelle de la voiture par son seul propriétaire, les NSM automobiles (location courte durée, covoiturage, autopartage) sont des services de mobilité individuels mais n'appartenant pas nécessairement à leur usager. Ils permettent donc d'optimiser l'usage du véhicule individuel et c'est une des raisons pour lesquelles leur utilisation commence à se développer.

L'objectif de ce chapitre est de mesurer le potentiel de déploiement de ces nouveaux services de mobilité automobile. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, ces comportements naissants suscitent de l'intérêt. Plus encore, ils apparaissent comme une solution face à un usage traditionnel de la voiture, c'est-à-dire un usage individuel d'un véhicule possédé par le ménage, et pesant sur le budget. Pour autant, s'agit-il de comportements intéressants l'ensemble de la population ? De plus, ces services sont-ils toujours plus rentables d'un point de vue purement économique que la voiture particulière détenue par le ménage ? Enfin, sont-ils accessibles à tous, quelle que soit la zone d'habitation, autrement dit, l'offre est-elle suffisamment importante et généralisée pour s'adresser à tous ?

Pour répondre à ces questions, il convient dans un premier temps de définir les nouveaux services de mobilité automobiles à analyser. Puis, à partir des données de l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobiles du BIPE, nous étudions le profil des personnes utilisant ces services, ainsi que celui des intéressées. Enfin, à partir de la méthode du calcul économique, nous déterminons les seuils de rentabilité entre les différents NSM identifiés et la détention automobile privée que nous associons à l'offre de NSM afin de calculer leurs potentiels de diffusion.

1. Les nouveaux services de mobilité automobile : définitions et statistiques descriptives

Dans le cadre de notre étude, nous ne nous intéresserons qu'aux nouveaux services de mobilité automobiles, c'est-à-dire au covoiturage et à l'autopartage, ainsi qu'à la location courte durée (LCD).

1.1. Le covoiturage

Le covoiturage se définit comme le partage d'un trajet en voiture. Plus précisément, il s'agit de « *s'organiser avec des personnes hors foyer pour faire un trajet à plusieurs, dans le véhicule de l'une d'entre elles, éventuellement en partageant les frais* » (questionnaire OMA, voir en annexe B). Il peut s'agir d'une initiative personnelle ou d'une organisation externe. Deux personnes ou plus se mettent d'accord pour partager un trajet à un horaire, un lieu de départ et un lieu d'arrivée définis. Le trajet peut être partagé en totalité ou partiellement et faire l'objet ou non d'un dédommagement du conducteur.

De nombreuses organisations développent des sites Internet dédiés, des points de rencontre ou des logiciels d'appariement qui peuvent être à destination du grand public ou insérés dans le cadre d'un plan de déplacement d'entreprise par exemple. Le principal opérateur français est BlaBlaCar¹¹, un site Internet permettant d'organiser des trajets en covoiturage. Né en 2006, il revendiquait trois millions de membres en avril 2013 et est présent dans plusieurs pays européens. Par ailleurs, le covoiturage peut concerner différents types de trajets : domicile-travail, réguliers pour d'autres motifs (loisirs notamment), ou longues distances pour les week-ends et les vacances.

Entre 2010 et 2013, la part des Français pratiquant le covoiturage est passée de 7% en 2010 à 14% en octobre 2013 (OMA, BIPE). Plus précisément, le covoiturage domicile-travail concernait 3% de la population en 2010 puis 7% en octobre 2013, le covoiturage régulier pour d'autres motifs 3% en 2010 puis 7% en octobre 2013, et le covoiturage pour les week-ends et les vacances 3% en 2010 puis 6% en octobre 2013. Par ailleurs, les intérêts pour tous ces motifs de covoiturage ont progressé entre 2010 et 2013, tandis que la part des personnes ne les connaissant pas a été très largement réduite (en octobre 2013, seuls 3% des personnes interrogées ne connaissaient pas les différents motifs de covoiturage).

¹¹ Covoiturage.fr

En outre, les résultats de l'OMA montrent que le covoiturage peut être organisé de différentes façons : il est majoritairement organisé avec des voisins ou des connaissances (70% en moyenne), via un site Internet pour 15% des répondants et grâce à un service proposé par l'entreprise pour moins de 5%.

Le covoiturage présente plusieurs avantages pour ses usagers : il s'agit d'un moyen de transport moins coûteux en premier lieu, mais également plus convivial, qui rend service à des personnes qui n'ont pas de voiture et plus respectueux de l'environnement.

En revanche, le covoiturage présente également des inconvénients : il oblige à voyager à plusieurs, à s'organiser, à planifier les déplacements, et le partage des frais peut être contraignant.

Un nouveau système de covoiturage est donc à l'étude sur plusieurs sites pilotes en France : le covoiturage dynamique. Il s'agit d'un service nécessitant une inscription préalable, permettant d'organiser le covoiturage en temps réel via un opérateur de téléphonie mobile, automatisant l'échange d'argent et proposant un mode de déplacement alternatif (transport en commun par exemple) en cas d'impossibilité de satisfaire la demande (Certu, 2009).

1.2. L'autopartage

L'autopartage se définit comme une flotte de véhicules mise à disposition du grand public pour une très courte durée (inférieure à une journée, contrairement aux contrats de location de courte durée). On distingue l'autopartage public « *qui consiste à pouvoir disposer d'une voiture en libre-service, le temps d'un besoin, 24h/24 et 7 jours sur 7* », de l'autopartage privé « *qui consiste à partager l'usage d'un véhicule avec un tiers (voisins, collègues, proches, membres d'un réseau social) moyennant une contrepartie financière* » (questionnaire OMA). Si le covoiturage consiste à partager un trajet automobile à plusieurs personnes avec le véhicule de l'une d'entre elle, l'autopartage consiste à mutualiser l'usage automobile en réalisant des trajets individuels avec une voiture n'appartenant à personne en particulier.

Entre 2010 et 2013, l'usage de l'autopartage a guère évolué et concerne une très faible minorité de Français. Plus précisément, l'autopartage public concerne 0,5% des Français tandis que l'autopartage privé est pratiqué par 1% d'entre eux.

Ce type de service présente également plusieurs avantages. Il permet de disposer d'un véhicule près de chez soi, disponible en permanence, pour réaliser des trajets de courte durée. En outre, aux yeux de ses utilisateurs, l'autopartage permet de se dispenser des contraintes liées à la possession d'une voiture (achat, maintenance), de choisir le type de

véhicule en fonction de ses besoins, et de payer uniquement en fonction de l'usage (temps et kilomètres).

Cependant, l'usage de ce mode de transport est principalement freiné par la préférence pour la possession automobile. Il présente également des inconvénients : la contrainte d'aller chercher et de rendre le véhicule, le coût élevé, ou encore l'incertitude sur la disponibilité du véhicule

Les opérateurs d'autopartage sont assez diversifiés : compagnies de transport, entreprises dédiées, loueurs de voitures traditionnels, constructeurs automobiles...

Selon le réseau France-Autopartage (figure 22) regroupant plusieurs opérateurs d'autopartage en France s'étant fédérés autour d'une marque unique, Citiz, en septembre 2013, une trentaine de villes disposent d'un service d'autopartage proposant un millier de véhicules en location à environ 25 000 abonnés. Le réseau estime par ailleurs à 20 à 30 000 le nombre d'autopartageurs dans la sphère privée.

Figure 22 – Opérateurs d'autopartage public membres du réseau France-Autopartage



Source : franceautopartage.com

En outre, l'autopartage permet de réduire le nombre de véhicules en circulation et d'optimiser leur utilisation. Le ratio de remplacement varie selon les études (Louvet et Godillon, 2013) mais se situe globalement entre 4 et 8 :

- 5 véhicules particuliers selon 6T-Bureau de recherche,
- 7 à 8 selon le réseau France Auto-partage,

- 4 à 6 selon European Car Sharing (regroupement des principaux opérateurs européens d'autopartage),
- 3,5 selon Mobility Car Sharing,
- 6 selon Carplus (Grande-Bretagne) qui a évalué l'impact du service sur les habitudes de mobilité.

L'autopartage est donc un mode de transport durable dans la mesure où il entend diminuer le taux de possession de voitures particulières. Ainsi, 30% des ménages membres d'un service d'autopartage ont vendu leur voiture ou n'en ont pas achetée (Cervero et Golub, 2005), ce qui permet de réduire le nombre de voitures en circulation.

1.3. La location courte durée

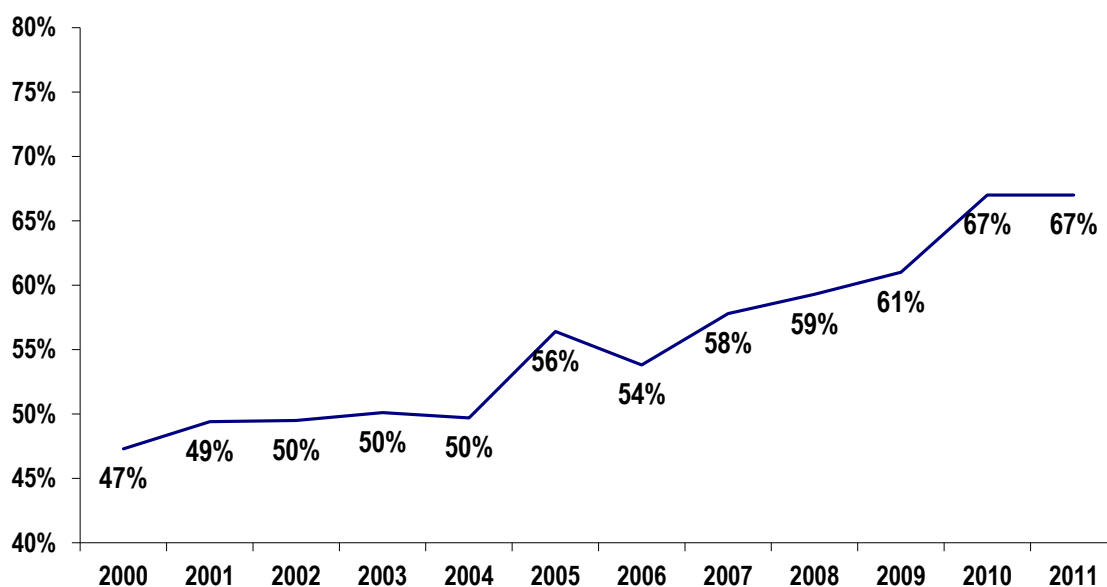
La location courte durée (LCD) est apparue en France au début du 20^{ème} siècle et s'est développée durant les années 50 afin de répondre à la demande de touristes étrangers visitant la France. Puis les hommes d'affaire ont commencé à recourir à la LCD à la suite d'un voyage initial en train ou en avion afin de disposer d'un véhicule à leur arrivée. La location courte durée s'est ensuite démocratisée et est devenue un service utilisé à titre privé pour les week-ends et les vacances.

Des données sur le marché de la LCD sont disponibles depuis 2000¹². La figure 23 montre que la part des locations pour motifs personnels est sur une tendance croissante : elle est passée de moins de la moitié des contrats de location de courte durée en 2000 aux deux tiers d'entre eux en 2011.

De plus, si la part de Français ayant réalisé au moins une location courte durée durant l'année était stable autour de 6-7% des contrats de 2000 à 2010, elle a atteint 12% en 2011 comme le montre la figure 24. De plus en plus de ménages semblent donc faire appel à la LCD et ce service se démocratise de plus en plus.

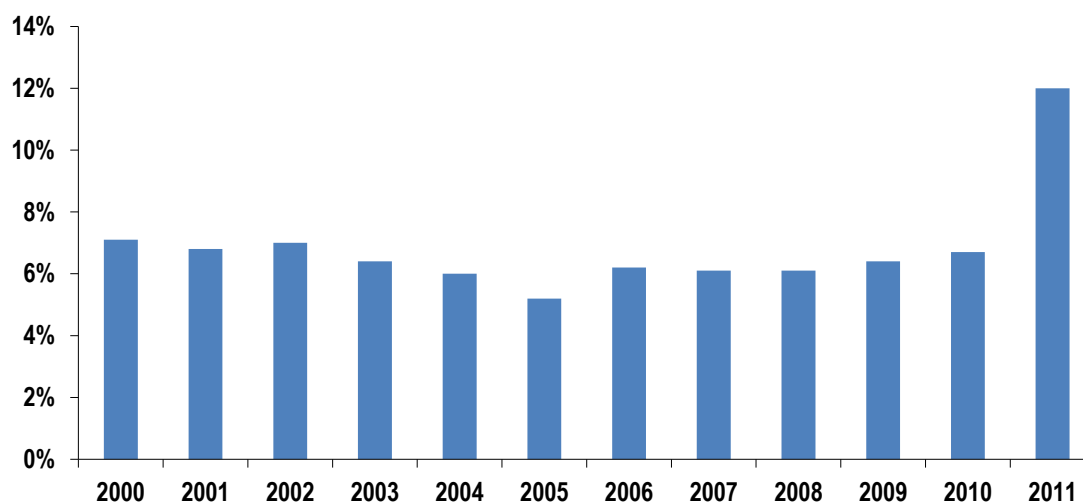
¹² CNPA, 2000 à 2011

Figure 23 – Part des locations pour motifs personnels de 2000 à 2011 en France



Source : D'après CNPA - TNS Sofrès, GMV Conseil (2000 à 2011)

Figure 24 – Part des Français ayant recours à la LCD de 2000 à 2011 en France



Source : D'après CNPA - TNS Sofrès, GMV Conseil (2000 à 2011)

A l'image de l'autopartage, la location permet de soulager certaines contraintes comme les coûts, le stationnement sur le lieu de résidence, les frais d'entretien, d'assurance, etc. Mais elle peut également être source d'angoisse (rendre la voiture en état). D'autres freins

relèvent de sa disponibilité immédiate (manque de spontanéité) ou encore de coûts perçus plus importants (Rocci, 2007).

Dans la suite de la thèse, nous ferons référence à ces trois modes d'usages automobiles (covoiturage, autopartage, LCD) à travers l'expression "voiture partagée".

2. Les nouveaux services de mobilité automobile : profils d'utilisateurs

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, il existe des profils de mobilité différents déterminés par des facteurs socio-économiques précis. L'usage des nouveaux services de mobilité automobile est également déterminé par ces facteurs et il convient ici de s'interroger : peut-on associer les nouveaux services de mobilité automobile à des profils particuliers ? Nous présentons ici ces profils issus des résultats des différentes vagues de l'OMA du BIPE pour le covoiturage et l'autopartage, ainsi que de l'étude de marché annuelle de la branche loueurs du CNPA pour la LCD.

2.1. Les profils d'usagers du covoiturage

Le profil des usagers du covoiturage est construit à partir des résultats de l'OMA, en comparant leur répartition selon différents critères à la répartition moyenne (voir les graphiques en annexe C pour l'année 2011). Tout d'abord, les usagers du covoiturage pratiquent davantage les nouveaux services de mobilité que l'ensemble de la population totale, l'autopartage et le VLS (vélo en libre-service) notamment. En outre, ils se déplacent au quotidien avec des modes alternatifs à la voiture (deux-roues, marche à pied et transports en commun), à l'exception de la voiture d'entreprise et évidemment de la voiture de et avec quelqu'un d'autre qui correspond à du covoiturage.

Par ailleurs, les usagers du covoiturage font plus souvent partie de ménages non motorisés que la moyenne, habitants des villes-centre de plus de 100 000 habitants ou le milieu rural, les moins de 35 ans, de catégories socio-professionnelles inférieures et donc aux revenus modestes (généralement moins de 2 000€ par mois).

En 2012 et 2013, ce profil est resté le même et s'est démocratisé aux habitants du pôle urbain de Paris hors Paris intramuros en 2013.

2.2. Les profils d'usagers de l'autopartage

Le profil des usagers et intéressés par l'autopartage public est également construit à partir des résultats de l'OMA, en comparant leur répartition selon différents critères à la répartition moyenne (les graphiques sont présentés en annexe C pour l'année 2011). Les usagers et intéressés par l'autopartage se déplacent principalement en voiture au quotidien, ainsi qu'en marche à pied et transports en commun. A l'instar des usagers du covoiturage, ils pratiquent ou sont également davantage intéressés par les nouveaux services de mobilité que l'ensemble de la population totale, le covoiturage et le VLS notamment.

En outre, les personnes pratiquant l'autopartage sont plus souvent mono-équipées que la moyenne tandis que les intéressés sont plus souvent non-équipés ou multi-équipés. Les pratiquants et intéressés sont plus souvent citadins, ce type de service leur étant essentiellement destiné, âgés de moins de 45 ans en 2011 et de toutes classes d'âge en 2013, modestes (revenu mensuel inférieur à 2000€) en 2011 et de toutes classes de revenus en 2013, cadres et employés.

Ce profil est confirmé par une étude menée en 2012 (Louvet et Godillon, 2013) auprès d'un échantillon de plus de 2000 usagers d'un service d'autopartage. Elle montre en effet que les membres de ces services sont âgés de 30 à 49 ans, diplômés du supérieur, résidant en milieu urbain, actifs aux revenus modestes à moyens (plus de la moitié des ménages gagnent moins de 3000€ net par mois).

En outre, l'OMA permet de dresser le profil des usagers et intéressés par l'autopartage privé (vagues de 2012 et d'octobre 2013). Il s'agit essentiellement de personnes se déplaçant au quotidien en véhicule d'entreprise, véhicule loué ou de quelqu'un d'autre, marche à pied ou transports en commun. Ils pratiquent ou sont également davantage intéressés par les nouveaux services de mobilité que l'ensemble de la population totale, le covoiturage et le VLS notamment.

Il s'agit de personnes appartenant à un ménage non motorisé ou disposant de deux voitures ou plus, et habitant toutes catégories de communes, mais surtout l'Ile-de-France (il ne s'agit donc pas d'un NSM réservé aux citadins). Les usagers sont plutôt jeunes (moins de 35 ans) et modestes, et les intéressés de tous âges et de niveaux de revenus moyens à élevés (plus de 4000€ nets par mois). Enfin, toutes les CSP pratiquent ou sont intéressées sauf les agriculteurs exploitants.

2.3. Les profils d'usagers de la location courte durée

Les profils d'usagers de la LCD sont issus de l'enquête annuelle de la branche loueurs du CNPA. Entre 2000 et 2009, les personnes pratiquant la location courte durée sont plutôt des hommes, entre 25 et 44 ans, habitant la région parisienne et de catégories socio-professionnelles supérieures. Mais depuis 2009, la LCD se démocratise. Ainsi, les moins de 25 ans sont de plus en plus représentés, de même que les CSP moyennes et inférieures.

3. Le potentiel de diffusion de la voiture partagée

Afin d'évaluer les usages potentiels des différents services de mobilité automobile, nous adoptons dans un premier temps une méthode de calcul économique destinée à calculer les seuils de rentabilité, du point de vue des usagers, entre la détention automobile privée et le partage ou la location. Pour cela, nous comparons, les coûts de location et de partage automobile par rapport aux coûts de possession, pour un ménage. Puis nous utilisons des données d'enquête afin de croiser ce critère économique avec les profils intéressés et présentés dans la section précédente. Ainsi, à partir de la combinaison de différents critères, dont celui du kilométrage annuel parcouru en voiture, il est possible de calculer un potentiel d'utilisateurs pionniers de services d'autopartage. Le potentiel minimum calculé pour deux villes autrichiennes est par exemple de 9% (Steininger et al., 1996).

3.1. Une comparaison du coût économique de la possession, de la location et du partage

Afin de déterminer le seuil de rentabilité de la voiture partagée par rapport à la voiture personnelle pour un ménage, nous prenons tout d'abord en considération les tarifs de ces nouveaux services de mobilité automobile.

3.1.1. Les tarifs de location et leur évolution probable : le modèle d'affaire de la location courte durée

Afin de discuter de la rentabilité de la location courte durée par rapport à la possession, du point de vue du ménage, nous mettons tout d'abord en évidence le fonctionnement de son modèle d'affaire afin de proposer des hypothèses sur l'évolution de ses tarifs que nous prendrons ensuite en considération afin de déterminer le seuil de rentabilité entre la LCD et la détention privée.

3.1.1.1. Construction des tarifs de location

Dans le but de maximiser leurs profits, Fink et Reiners (2006) précisent qu'il est nécessaire pour les sociétés de location automobile d'arbitrer entre répondre à la demande de location et gérer de manière optimale une flotte de véhicules étant donnés les coûts de possession et le prix de revente potentiel sur le marché de l'occasion.

La décomposition du tarif de location est détaillée dans le tableau 9 :

$$TL = (CC + COV + M + A) / JL$$

Tableau 9 – Composition du tarif de location

Valeur d'achat du véhicule	VA
Valeur résiduelle du véhicule	VR
Coût du capital	CC = VA – VR
Coûts opérationnels	CO
Nombre de véhicules	N
Coûts opérationnels à répartir sur l'ensemble des véhicules	COV = CO/N
Maintenance	M
Assurance	A
Nombre de jours de location	JL
Tarif de location	TL = (CC+COV+M+A)/JL

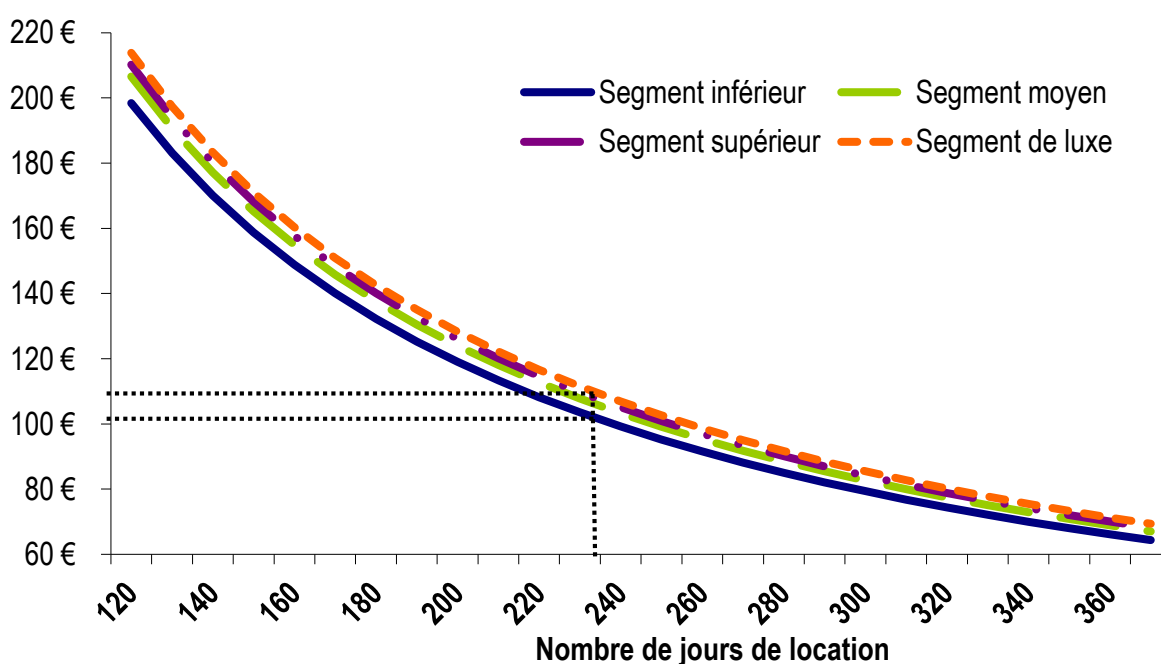
Tableau 10 – Composition du tarif de location d'un petit segment

Valeur d'achat du véhicule	7 834€
Valeur résiduelle du véhicule	6 884 €
Coût du capital	950€
Coûts opérationnels	4 282 000,000€
Nombre de véhicules	193 154
Coûts opérationnels à répartir sur l'ensemble des véhicules	22 169€
Maintenance	676€
Assurance	210€
Nombre de jours de location	240 jours
Tarif de location	100€

Comme l'expliquent Fink et Reiners (2006), les sociétés de location automobile proposent plusieurs types de voitures, chacun ayant des caractéristiques comparables et constituant un bien homogène aux tarifs de location quotidiens de mêmes ordres de grandeur. Afin de reconstituer le tarif de location de chaque segment de voiture, plusieurs hypothèses sont nécessaires dont les valeurs sont résumées dans le tableau 10 pour un véhicule de petit segment (les hypothèses sont résumées en annexe D).

Selon Fink et Reiners (2006), maximiser le taux d'utilisation des véhicules est le principal objectif des sociétés de location courte durée. Selon le représentant de la branche loueurs du CNPA¹³, le taux d'utilisation des véhicules doit être supérieur à 65% pour que l'activité soit rentable. Autrement dit, sur 365 jours de l'année, un véhicule appartenant à une flotte de loueur courte durée doit être loué près de 240 jours. Dans ce cas, le tarif de location quotidien théorique est de 100€ pour un petit segment, 103€ pour un segment moyen, 105€ pour un segment supérieur et 106€ pour un segment de luxe comme indiqué dans la figure 25.

Figure 25 – Tarifs de location de différents segments de véhicules selon le nombre de jours de location



De plus, le tarif de location « dépend de facteurs tels que la saison, le jour de la semaine, [...] de contrats spéciaux » (Fink et Reiners, 2006, p. 275), ainsi que du segment de gamme. Ainsi, les tarifs de location réellement observés pour un jour de semaine sont de 100€ pour un segment inférieur¹⁴, 120€ pour un segment moyen, 123€ pour un segment supérieur et 150€ pour un segment de luxe. Les écarts de tarifs s'expliquent par le fait que les segments supérieurs sont moins souvent loués et que leur assurance est plus élevée que les autres.

3.1.1.2. Simulations sur les évolutions probables des tarifs de location

Comme le montre l'étude de marché annuelle de la location courte durée (CNPA, 2000 à 2011), environ un quart des locations est réalisé durant le week-end et trois quarts durant la

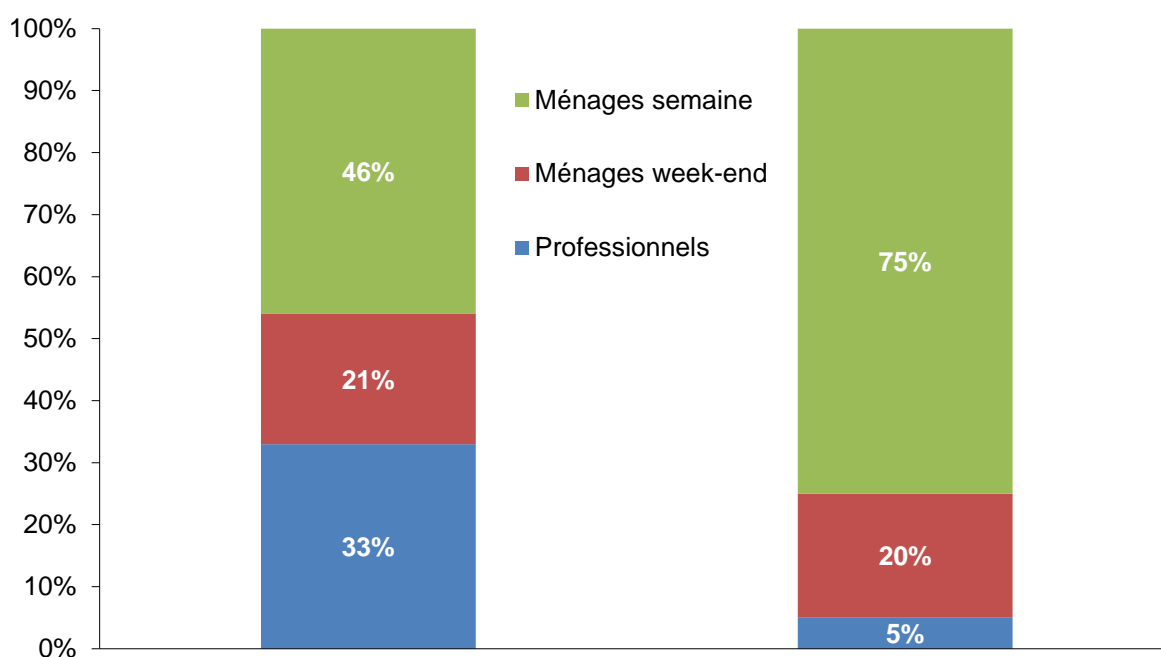
¹³ André Gallin, entretien téléphonique réalisé le 11 octobre 2011

¹⁴ Europcar.fr, visité le 10 avril 2012

semaine. Généralement, les locations du week-end sont réalisées par les ménages tandis que celles réalisées en semaine le sont par des professionnels.

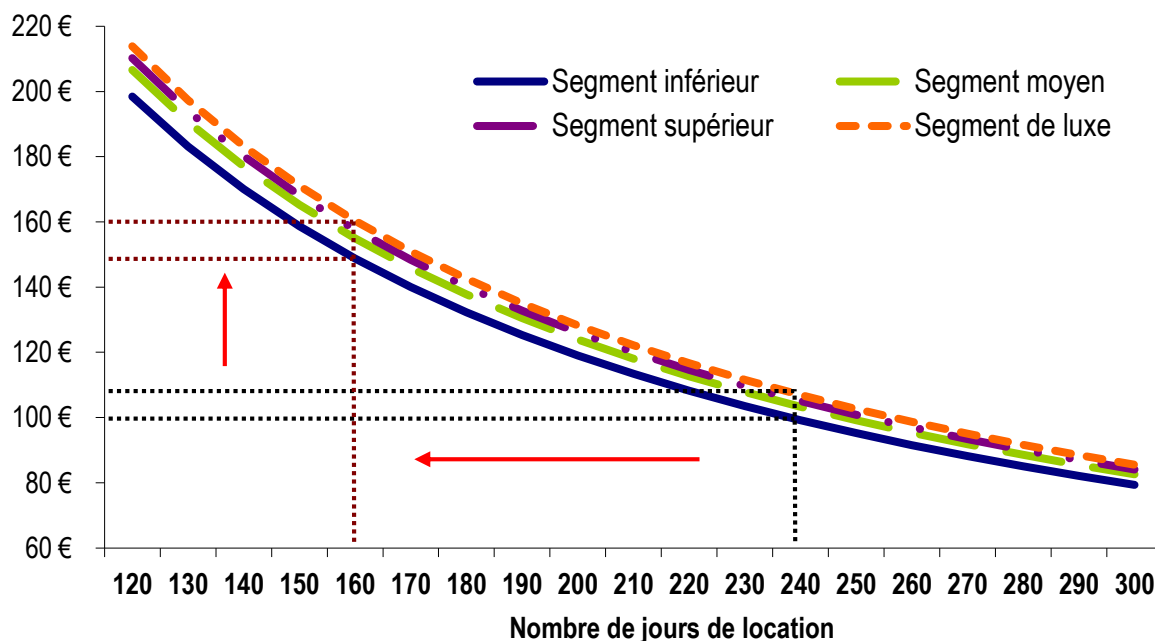
En 2010 et 2011, 67% des contrats de location ont été réalisés par des ménages et cette part n'a fait qu'augmenter depuis 10 ans. En 2010, 21% des locations ont été effectuées le week-end par des ménages. Comme ils représentent 67% des locataires, cela signifie que 46% des contrats de location sont réalisés durant la semaine par des ménages. Si la LCD pour motifs personnels augmente jusqu'à 95% et la part des locations durant le week-end reste stable autour de 20%, alors la location par les ménages durant la semaine atteindrait 75% comme le montre la figure 26.

Figure 26 –Hypothèses concernant la part des ménages et des professionnels parmi les locataires de courte durée



Au maximum, s'il n'y a plus de professionnels réalisant des locations automobiles de courte durée, le nombre de jours de location durant la semaine diminue de 160 (deux tiers des 240 jours ouvrés) à 93 et le nombre total de jours de location diminue donc de 240 à 163 jours si le nombre de jours de location durant le week-end reste stable. Comme le montre la figure 27, le tarif de location théorique passerait alors à 150€ pour un petit segment, 155€ pour un segment moyen, 158€ pour un segment supérieur et 160€ pour un segment de luxe.

Figure 27 – Tarifs de location de différents segments de véhicules en cas de diminution du nombre de jours de location



3.1.2. Les tarifs de l'autopartage

Selon le réseau d'opérateurs d'autopartage en France (franceautopartage.fr), le coût d'utilisation d'un véhicule en autopartage public se situe entre 0.5€/km et 0.75€/km. En outre, les différents opérateurs d'autopartage privé¹⁵ affichent des coûts d'usage d'un véhicule privé partagé de 0.35€/km à 0.5€/km. Par conséquent, nous faisons les hypothèses suivantes concernant les coûts d'usage des différents segments de voiture en autopartage privé et public (tableau 11):

Tableau 11 – Coûts d'usage de l'autopartage selon le segment de gamme

Segment de voiture	Autopartage public (€/km)	Autopartage privé (€/km)
Segment inférieur	0.5	0.35
Segment moyen	0.58	0.37
Segment supérieur	0.66	0.4
Segment de luxe	0.75	0.5

3.1.3. Coût total de possession (CTP) et seuil de rentabilité entre la voiture possédée et la voiture partagée

Afin de discuter de la rentabilité de la location par rapport à la possession, nous comparons ici le tarif de location au coût total de possession pour un même segment de gamme. Nous

¹⁵ Buzzcar.com, livop.fr, drivy.com, ouicar.fr ; Novembre, 2012

considérons les segments inférieur, moyen, supérieur et large correspondant respectivement aux voitures citadines, familiales, routières et tous-terrains/SUV (abréviation de l'anglais Sport Utility Vehicle), ainsi qu'aux berlines et tous-terrains/SUV de luxe.

Tout d'abord, le covoiturage, qui consiste à partager des trajets à plusieurs, est donc toujours plus rentable que la possession automobile, quel que soit le segment de gamme.

3.1.3.1. CTP et seuil de rentabilité de la LCD par rapport à la possession automobile

Comme le décrit le tableau 12, le coût total de possession pour un ménage détenant une voiture est :

$$CTP = PA + CU - VR$$

Tableau 12 – Composition du coût total de possession

Prix d'achat du véhicule	PA
Consommation moyenne de carburant (L/100km)	CC
Kilométrage annuel moyen (100 km)	KA
Prix des carburants	PC
Maintenance	M
Assurance	A
Coût d'utilisation	CU = CC * KA * PC + M + A
Valeur résiduelle du véhicule	VR
Coût total de possession	CTP = PA + CU - VR

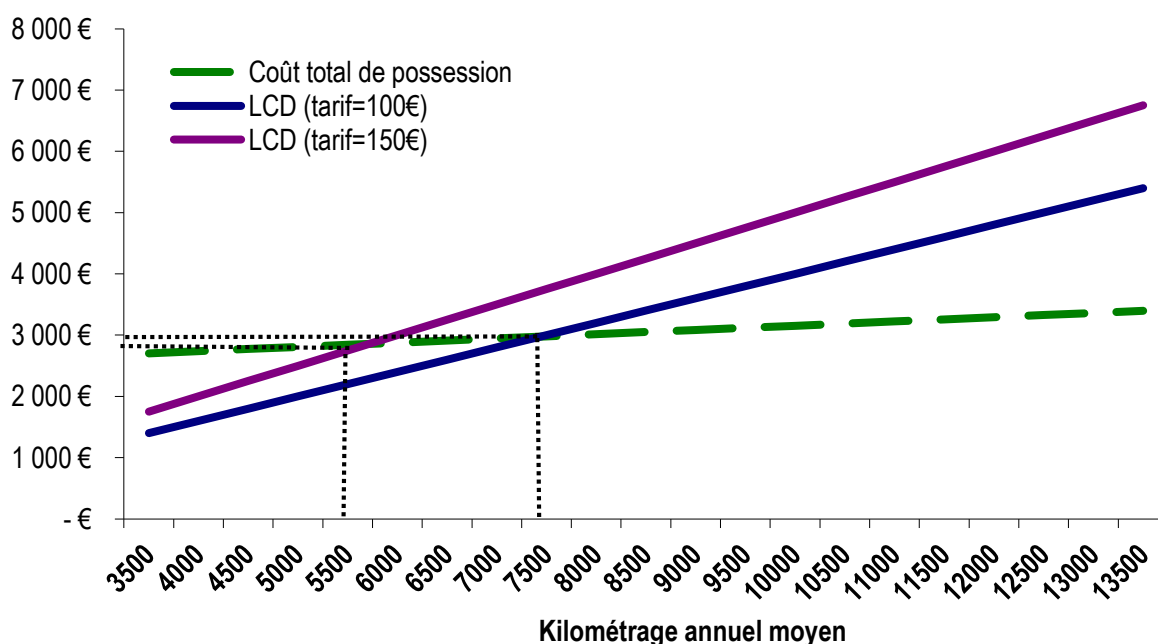
Le tableau 13 montre que le CTP d'un petit segment détenu pendant 5 ans (durée moyenne de détention d'une voiture en France, BIPE, OMA, Octobre 2010) s'élève à 16 730€ (selon un ensemble d'hypothèses détaillées en annexe D). Le coût total de possession d'un segment moyen est de 23 427€, celui d'un segment supérieur est de 26 956€ et celui d'un segment de luxe s'élève à 30 649€.

Tableau 13 – Coût total de possession d'un petit segment

Prix d'achat du véhicule	11 712 €
Consommation moyenne de carburant (L/100km)	4.5 L/100 km
Kilométrage annuel moyen (km)	12 769 km
Prix des carburants	1.54 €/L
Maintenance	210 €
Assurance	676 €
Coût d'utilisation	8 854€
Valeur résiduelle du véhicule	3 838 €
Coût total de possession	16 729 €

Le coût total de possession dépend du nombre de kilomètres parcourus. La LCD est un service principalement utilisé pour parcourir de longues distances, les tarifs de location étant généralement calculés sur une base de 250 km par jour. Par conséquent, pour un ménage n'utilisant sa voiture qu'occasionnellement pour parcourir de grandes distances, il est plus avantageux de faire de la LCD que de posséder une voiture pour une distance annuelle moyenne de moins de 7 500km (pour un tarif de 100€) à moins de 5 500km (pour un tarif de 150€) pour un petit segment (figure 28).

Figure 28 – Seuil de rentabilité de la LCD par rapport à la possession automobile pour un petit segment



Les seuils de rentabilité de la LCD par rapport à la possession automobile pour les segments moyen, supérieur et de luxe sont décrits dans le tableau 14.

Tableau 14 – Seuil de rentabilité de la LCD par rapport à la possession automobile des segments moyen, supérieur et de luxe

Segment de gamme	Tarif de location	Seuil de rentabilité
Moyen	103€	9 500 km
	155€	6 000 km
Supérieur	105€	11 000 km
	158€	7 000 km
Luxe	107€	11 000 km
	160€	7 000 km

3.1.3.2. Les seuils de rentabilité de l'autopartage public et privé par rapport à la possession automobile

De même, nous pouvons calculer le seuil de rentabilité entre l'autopartage et la possession selon le segment de gamme automobile. Ainsi, pour une voiture de segment inférieur, il faut parcourir plus de 12 500 km par an pour que la possession soit plus rentable que l'autopartage privé, et plus de 8 000 km par an pour l'autopartage public. Les seuils de rentabilité des différents segments de gamme sont résumés dans le tableau 15 :

Tableau 15 – Seuil de rentabilité de l'autopartage public et privé par rapport à la possession automobile pour les segments moyen, supérieur et de luxe

Segment de gamme	Autopartage public	Autopartage privé
Moyen	6 000 km	12 500 km
Supérieur	8 000 km	13 500 km
Luxe	8 000 km	12 000 km

Si la location automobile peut ainsi avoir des coûts moins élevés que la possession dans certaines conditions, une recherche sur la location/possession (Tissier-Desbordes, Cova et Manceau, 2005) montre que les ménages perçoivent les coûts de location comme plus élevés qu'ils ne le sont en réalité alors qu'ils sous-estiment les coûts liés à la possession.

C'est la raison pour laquelle le seul critère économique n'explique pas à lui seul le faible usage actuel des différents NSM automobiles. Cependant, ce critère n'est pas le seul à pouvoir déterminer les potentiels d'utilisateurs des différents services automobiles. Ainsi, le critère économique doit être conjugué avec des critères plus pratiques (services de location à proximité, intérêt pour le service notamment).

3.2. Location et partage automobile : les conditions d'usage

Si la LCD peut uniquement être utilisée pour réaliser de longues distances (les contrats inclus généralement 200-250 km par jour), l'autopartage ou le covoiturage peuvent également être utilisés pour les déplacements locaux quotidiens.

Ces solutions permettent d'éviter l'équipement automobile et donc les problèmes de maintenance et de revente. Pour un ménage, il est donc parfois plus rentable de renoncer à la possession pour des seuils de rentabilité calculés dans la section précédente. Cependant, ces services ne sont pas tous accessibles partout et il convient de prendre en compte leurs

conditions d'usage. Dans cette section, nous croisons donc le critère économique et les conditions devant être respectées pour utiliser la voiture partagée afin de calculer les potentiels usagers de cette dernière.

Dans un premier temps, comme nous l'avons vu dans la section précédente, le covoiturage est toujours plus économique que la détention automobile privée. En outre, il existe peu de contraintes géographiques à l'organisation du covoiturage qui peut être organisé partout. Par conséquent, nous considérons que le potentiel d'usage du covoiturage supplémentaire correspond à la part des intéressés par ce service, soit 20% (OMA novembre 2013, BIPE).

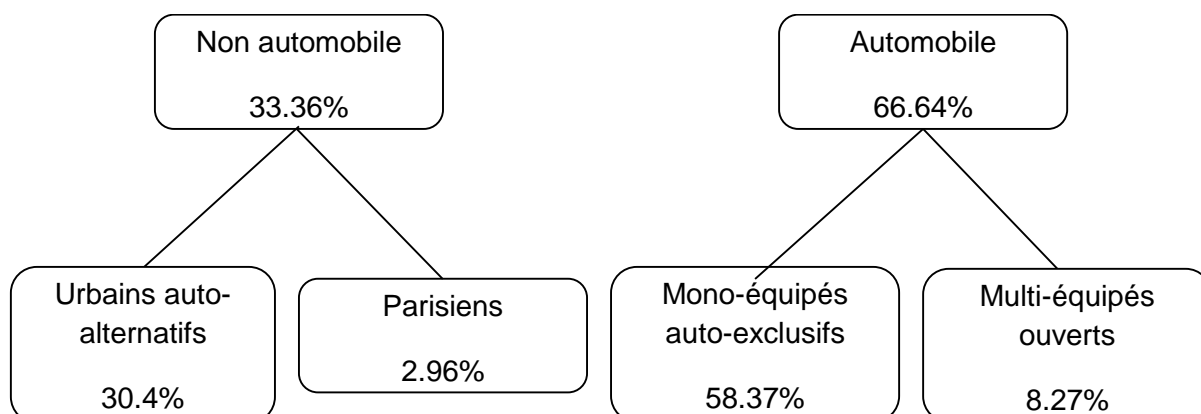
3.2.1. Les conditions d'usage de la location courte durée

Nous cherchons maintenant à déterminer la part de la population française susceptible d'abandonner la détention automobile privée pour n'utiliser que la LCD. Pour cela, à partir des données de l'OMA 2011, nous mettons en évidence des profils d'usage automobile à partir de différentes variables :

- Variables sociologiques : âge, catégorie de la commune de résidence, revenu, statut d'activité, niveau d'éducation;
- Variables de déplacement : mode de transport un jour de semaine normal;
- Variables d'équipement automobile : ménage motorisé/non motorisé, équipement neuf/d'occasion, carburant;
- Variables d'usage automobile : kilométrage annuel moyen, pratique du covoiturage, de l'autopartage, intérêts pour les propulsions alternatives (hybride, électrique).

Quatre profils principaux ont été mis en évidence (figure 29) :

Figure 29 – Profils d'usage automobile



Le premier niveau de découpage regroupe d'une part les personnes plutôt non équipées en automobile et se déplaçant essentiellement avec des modes autres que la voiture (les "non automobiles", 33%), d'autre part les personnes équipées et se déplaçant en voiture au quotidien (les "automobiles", 66%).

Parmi les "non-automobiles", on distingue les "urbains auto-alternatifs" et les "Parisiens".

Les premiers sont plutôt jeunes (<25 ans) et seniors (>65 ans), habitent le pôle urbain de Paris hors Paris intramuros ou une grande ville centre, disposent donc d'infrastructures de transport à proximité, sont plutôt modestes (revenu mensuel < 1500€), employés, ouvriers, n'ont pas fait d'études supérieures, ne sont pas équipés, se déplacent en voiture de et avec quelqu'un d'autre, 2-3 roues, vélo, marche à pied ou transports en commun. Ils pratiquent le covoiturage, ne sont pas intéressés par la location longue durée (LLD), dans l'hypothèse d'un futur achat automobile, ils sont intéressés par une voiture citadine et/ou une voiture low-cost. Ils déclarent également ne plus vouloir posséder de voiture pour faire du covoiturage, emprunter un véhicule à des proches, en louer un ou se déplacer autrement.

Les "Parisiens" sont plutôt jeunes (<35 ans) ou ont entre 45 et 55 ans, habitent Paris, ont un revenu mensuel supérieur à 2000€, sont artisans, commerçants, chefs d'entreprise, cadres, et ont fait des études supérieures. Ils sont non-équipés ou mono-équipés, ont un véhicule neuf avec une motorisation essence. Ils se déplacent au quotidien en marche à pied et transports en commun. Ce sont de petits rouleurs (moins de 5000 km par an) qui, dans l'hypothèse d'un futur achat, sont intéressés par la LLD, un véhicule hybride, une voiture citadine. Les non-équipés déclarent ne pas vouloir posséder de voiture pour faire du covoiturage, emprunter un véhicule à des proches ou se déplacer autrement.

Parmi les "automobiles", on distingue les "mono-équipés auto-exclusifs" des "multi-équipés ouverts". Les premiers n'ont pas de profils sociologiques particuliers (plus de 25 ans, habitants de petite ville centre, banlieue, milieu périurbain ou rural, ont un revenu mensuel de 1500 à 4000€). Ils sont mono-équipés, ont un véhicule neuf ou d'occasion, de motorisation essence ou diesel. Ils se déplacent en voiture personnelle ou d'entreprise sont de petits rouleurs à gros rouleurs, dans l'hypothèse d'un futur achat ne sont pas intéressés par la LLD.

Les "multi-équipés ouverts" ont entre 35 et 65 ans, habitent le pôle urbain de Paris hors Paris, une grande ville centre, ou le milieu périurbain, ont un revenu mensuel supérieur à 4000€, sont artisans, commerçants, chefs d'entreprise, ou cadres et ont fait des études supérieures. Ils sont multi-équipés, ont un véhicule neuf, loué ou d'entreprise, une 2-3 roues motorisation diesel pour la première voiture, essence et diesel pour la seconde. Ils se

déplacent en véhicule personnel ou d'entreprise. Ils font plus de 5000 km par an en voiture, pratiquent ou sont intéressés par la LLD, pratiquent la LOA, dans l'hypothèse d'un futur achat sont intéressés par le véhicule hybride, électrique, aux biocarburants ou au gaz.

Parmi les différents profils, seuls les "Parisiens" pourraient abandonner la possession automobile pour ne plus faire que de la location courte durée. En effet, ils utilisent peu leur voiture au quotidien mais plutôt les modes alternatifs. Ils parcourent généralement moins de 5 000 km par an avec leur voiture, principalement pour de longues distances. Or la LCD est essentiellement destinée à ce type de parcours et le seuil de rentabilité avec la possession automobile se situe entre 6 000 et 11 000 km. Par ailleurs, les "Parisiens" bénéficient d'un réseau d'agences de location dense à proximité de leur domicile.

Autrement dit, environ 3% de la population pourrait abandonner la possession automobile pour n'utiliser que la LCD.

3.2.2. Les conditions d'usage de l'autopartage

Il s'agit maintenant de déterminer la part de la population française susceptible d'abandonner la détention automobile privée pour n'utiliser que l'autopartage, sous forme public ou privé.

L'autopartage public est un service généralement disponible dans les villes de plus de 100 000 habitants. Cependant, il ne peut être utilisé que s'il existe une station à proximité du domicile, ce qui est le cas pour 14% des Français en 2013, contre 9% en 2012 (OMA, BIPE). En outre, comme nous l'avons vu précédemment, ce type de service est rentable par rapport à la possession automobile si l'on parcourt moins de 6 000 à 8 000 km par an en voiture. Enfin, l'autopartage public peut être utilisé par les ménages non motorisés. Par conséquent, l'autopartage public pourrait être utilisé par 4 à 8% des Français en 2012, 8 à 9% en 2013 (OMA, BIPE).

A l'image du covoiturage, l'autopartage privé ne nécessite pas de disposer d'une station à proximité. Par conséquent, il peut s'organiser partout. En outre, nous avons vu précédemment que l'autopartage privé est plus rentable que la possession automobile pour un parcours annuel automobile de moins de 9 000 à 12 000 km. Enfin, l'autopartage privé peut être utilisé par les ménages non motorisés. Par conséquent, il pourrait être utilisé par 54 à 78% des Français en 2013 (contre 50 à 65% en 2012) (OMA, BIPE). Cependant, ce potentiel tombe à 5-8% si l'on croise avec les intéressés par ce type de service.

4. Conclusion

Les nouveaux services de mobilité automobile que sont la location courte durée, le covoiturage et l'autopartage ont été définis comme les principaux vecteurs des changements de comportements observés vis-à-vis de l'usage et de l'équipement automobile. Ils concernent actuellement respectivement 12%, 10% et 1% de la population. Parmi les arguments en faveur de leur usage, l'argument économique est souvent cité et apparaît comme un aspect pouvant déterminer leur pérennité dans un contexte de pression budgétaire. En outre, comme nous venons de le voir, leur usage est conditionné par des considérations plus pratiques : s'ils sont plus rentables d'un point de vue économique, encore faut-il qu'ils soient disponibles à proximité. C'est la raison pour laquelle nous avons croisé différents critères afin d'évaluer leur potentiel de développement : le seuil de rentabilité avec la possession automobile d'une part, et les conditions d'usage d'autre part. Ainsi, le covoiturage, toujours plus économique que la détention privée et pouvant être organisé partout, pourrait concerner jusqu'à 30% de la population. En outre, l'autopartage public et privé pourraient devenir des modes de transport réguliers pour respectivement 8 à 9% et 5 à 8% des Français qui pourraient alors se passer d'un équipement privé. Enfin, la location courte durée pourrait se substituer à la possession automobile pour seulement 3% de la population, essentiellement des Parisiens disposant d'alternatives pour se déplacer au quotidien et n'utilisant la voiture que pour des déplacements longue distance.

Par ailleurs, les NSM apparaissent comme des modes de transport plus durables que la voiture personnelle. Une étude détaillée des conditions dans lesquelles ces services permettent de réelles économies d'énergie nous semble cependant indispensable.

Chapitre 3 - Les nouveaux services de mobilité automobile : quels impacts énergétiques ?

En comparaison à l'autosolisme, l'usage partagé de la voiture, lorsqu'il est possible, est parfois plus économique pour les ménages. Ainsi, ils sont un certain nombre, encore relativement restreint, à pouvoir abandonner la voiture personnelle pour se déplacer au moyen d'un des nouveaux services de mobilité automobile. Ces services apparaissent donc comme des exemples d'application du concept d'économie de la fonctionnalité se définissant comme une économie dans laquelle la vente de la fonction d'un bien sous forme de service est substituée à la vente de ses propriétés. Et outre ce critère économique mis en évidence dans le chapitre précédent, l'argument environnemental peut également être avancé à propos de la voiture partagée. Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, une étude menée en 2007 (Jemelin et Louvet) montre que 15 à 30% des membres de services d'autopartage parisiens réduisent leur taux de motorisation et 20 à 30% renoncent même à l'acquisition d'une voiture. Ainsi, une étude plus récente menée auprès de membres de services d'autopartage (Louvet et Godillon, 2013) montre que si 61% des ménages possédaient au moins une voiture avant leur adhésion au service, ils n'étaient plus que 22% suite à celle-ci. Ainsi, l'abonnement à l'autopartage a amené 34% des ménages à renoncer à l'achat d'une voiture (si aucune voiture avant), 30% à se séparer d'une voiture et 9% à renoncer à l'achat d'une voiture supplémentaire. De plus, près de 30% sont passés à l'autopartage lorsqu'il était devenu nécessaire de changer leur voiture, ce qui signifie que les NSM peuvent apparaître comme une alternative crédible à la possession automobile et venir en remplacement de celle-ci dans un nombre non négligeable de cas. Si certains cumulent équipement automobile privé et autopartage, ce service semble tout de même pouvoir permettre de réelles économies d'énergie. D'autant plus que l'autopartage entraîne la diminution des distances parcourues en voiture (41% en moyenne, Louvet et Godillon, 2013), ainsi qu'un report vers les modes alternatifs. Ainsi, les utilisateurs de l'autopartage se tournent davantage vers la marche (dans 31% des cas), le vélo (30%), les transports en commun (25%) et le train (25%). L'adhésion s'accompagne donc de la pratique de la multimodalité.

Grâce à l'efficacité des véhicules mis à disposition, ainsi qu'à la mutualisation de leur usage et aux potentiels changements de comportement de mobilité induits par ces services, les NSM pourraient donc permettre de réaliser des économies d'énergie. Cependant, la voiture partagée apparaît également comme une nouvelle offre de transport à disposition de ménages ne se déplaçant pas, de manière habituelle, en voiture. Elle peut donc créer de

nouveaux besoins “automobiles”. C’est pourquoi il convient de s’interroger : quelles sont les conditions à respecter pour que les NSM automobiles permettent d’atteindre de réelles économies d’énergie ?

L’objectif de ce chapitre est donc de discuter des consommations d’énergie liées à la voiture partagée. Pour cela, nous convoquons dans un premier temps le cadre théorique de l’économie de la fonctionnalité, dont les nouveaux services de mobilité peuvent être présentés comme un exemple d’application, afin de développer les arguments environnementaux présentés plus haut. Puis nous adoptons une approche globale de la mobilité, ainsi qu’un modèle d’analyse des consommations d’énergie dans les services, afin de mesurer l’impact énergétique des nouveaux services de mobilité automobile. Enfin, nous discutons la méthode adoptée ainsi que les résultats présentés en termes de consommation d’énergie de la voiture partagée.

1. Un exemple d’application de l’économie de la fonctionnalité

La question de l’impact énergétique des nouveaux services de mobilité peut être approchée selon différents points de vue. Tout d’abord, le cadre théorique de l’économie de la fonctionnalité peut être mobilisé. Il s’agit d’un modèle économique théorique développé depuis les années 90 et dont l’origine est généralement attribuée à Giarini et Stahel (1990). Ce modèle se définit comme le transfert d’une économie basée sur la possession à une économie de services basée sur l’usage de biens destinés à assurer une fonction (satisfaire un besoin) : la vente de la fonction d’un bien est substituée à la vente de ses propriétés (Stahel, 1998; Bourg et Buclet, 2005; Du Tertre, 2007). Les nouveaux services de mobilité, qui substituent l’accès à un véhicule pour un trajet à l’achat d’une voiture personnelle, peuvent donc être considérés comme une application de ce modèle¹⁶. Selon certains chercheurs, ce nouveau modèle d’affaire impliquant un usage partagé des biens induirait une baisse de la production, une moindre consommation de ressources naturelles et encouragerait les entreprises à fabriquer des produits consommant moins de ressources durant leur cycle de vie (Bourg et Buclet, 2005; Buclet, 2005; Heurgon et Landrieu, 2007; Gaglio et al., 2011). Peu d’études s’intéressent à l’estimation des bénéfices environnementaux permis par les applications de ce modèle. Les exemples les plus connus sont ceux des pneus Michelin ou des imprimantes Xerox (Folz et al., 2008) et les études menées montrent que les bénéfices environnementaux sont de possibles résultats du

¹⁶ Au moins le modèle tel que définit ici. D’autres chercheurs redéfinissent le concept avec des caractéristiques supplémentaires (Gaglio et al., 2011).

modèle. Cependant, à notre connaissance, peu d'études formelles existent sur le sujet pour confirmer ces conclusions. Certains chercheurs s'interrogent donc sur le lien causal entre le modèle de l'économie de la fonctionnalité et les bénéfices environnementaux (Bouthillier, 2010).

D'autres cadres analytiques peuvent être mobilisés comme le concept d'"Eco-Efficient Services" (Bartolomeo et al., 2003; Meijkamp, 1998, 2000) ou encore celui de "Product-Service-System" (Mont, 2002, 2004; Tukker et Tischner, 2006). Ces concepts sont presque similaires à celui de l'économie de la fonctionnalité. Ainsi, Meijkamp (2000) définit également les "Eco-Efficient Services" comme les offres proposant l'usage d'un produit plutôt que le produit lui-même. En outre, Bartolomeo et al. (2003) distinguent trois principaux types d'"Eco-Efficient Services": les "product-results services" qui « *offrent une solution complète aux besoins des clients* » (Bartolomeo et al., 2003, p. 831) (exemple des imprimantes Xerox et des pneus Michelin), les "product-utility services" qui « *impliquent une utilisation plus intensive des produits en encourageant les clients à abandonner la possession individuelle* » (Bartolomeo et al., 2003, p. 831) (exemple des services d'autopartage) et les "product-extension services" qui sont vendus en compléments d'un bien¹⁷. Le concept de "Product-Service-System" est également basé sur la substitution de services à des produits, surtout en partageant, mutualisant ou louant des biens matériels. Théoriquement, les "Eco-Efficient Services" et "Product-Service-System" sont supposés être meilleurs pour l'environnement de différentes manières : en changeant les comportements de consommation, en optimisant l'utilisation des biens, en prolongeant leur durée de vie, en encourageant la reconception des produits, etc. (Mont, 2002, 2004).

Au-delà de ces cadres théoriques, plusieurs études cherchent à estimer et quantifier les impacts environnementaux de ces nouveaux types de services. Nous nous intéressons particulièrement aux études sur les nouveaux services de mobilité. Elles portent principalement sur l'autopartage. L'idée générale est que ces nouvelles formes de mobilité, en mutualisant les équipements, permettent des économies d'énergie. Dans le modèle traditionnel de la possession automobile, ni le nombre de personnes par voiture, ni le nombre d'heures d'utilisation de celle-ci ne sont optimisés. La mutualisation de l'équipement par la location, l'autopartage ou même le covoiturage pourrait réduire le parc en circulation, ainsi que la consommation d'énergie par passager et par kilomètre. La plupart de ces études sont basées sur des enquêtes. Chacune est menée sur des membres de services d'autopartage d'une ville en particulier. Ceux acceptant de participer à l'étude sont interrogés sur leurs habitudes de mobilité avant et après leur adhésion au service : leur équipement automobile

¹⁷ L'efficacité environnementale de cette catégorie ne nous semble pas évidente

ou encore les distances parcourues annuellement avec les différents modes de transport par exemple.

La méthode utilisée et les questions posées sont similaires d'une étude à l'autre et les résultats sont cohérents. Ainsi, les études montrent que :

- Les utilisateurs de l'autopartage se déplacent moins en voiture que la moyenne (Baum et Pesch, 1994; Harms et Truffer, 1998; Meijkamp, 1998; Lane, 2005; Ryden et Morin, 2005; Zipcar, 2005; Communauto, 2006; Jemelin et Louvet, 2007). Cela s'explique par le fait que l'autopartage nécessite de l'organisation, notamment de réserver le véhicule à l'avance (Meijkamp, 1998).
- Les membres des services d'autopartage utilisent davantage les transports en commun que la moyenne (Baum et Pesch, 1994; Meijkamp, 1998; Ryden et Morin, 2005; Zipcar, 2005; Communauto, 2006). Cela s'explique par le fait que, avec l'autopartage, le coût réel de l'usage automobile est explicite tandis que, lorsque la voiture est possédée, chaque trajet est évalué à son coût marginal. Les individus peuvent donc plus facilement arbitrer entre la voiture et les autres moyens de transport (Bartolomeo et al., 2003).
- La flotte d'autopartage est composée de véhicules récents, qui consomment donc moins d'énergie et émettent donc moins de gaz à effet de serre que la moyenne (Meijkamp, 1998; Ryden et Morin, 2005). Certains voient même dans l'autopartage un marché potentiel pour les véhicules propres (électriques notamment) (Mont, 2004).
- L'équipement a une durée de détention par les services d'autopartage plus courte que la moyenne, ce qui permet leur mise à disposition auprès des ménages via le marché d'occasion (Meijkamp, 1998).
- Les utilisateurs de l'autopartage sont moins souvent motorisés que la moyenne. Le besoin global en automobile est donc réduit puisque les véhicules sont mutualisés (Baum et Pesch, 1994; Harms et Truffer, 1998; Meijkamp, 1998; Ryden et Morin, 2005; Zipcar, 2005; Communauto, 2006; Jemelin et Louvet, 2007).
- Les membres des services d'autopartage ont tendance à être plus conscients des impacts environnementaux de la mobilité (Meijkamp, 1998; Lane, 2005).

Ces résultats, bien qu'ils soient cohérents, présentent des faiblesses : la plupart reposent sur les déclarations et la mémoire des répondants (cette limite a été mise en évidence par Steinger et al. (1996) et Katzev (2003) qui ont trouvé des résultats contradictoires notamment concernant les parts modales ou encore les distances annuelles parcourues en voiture), certains n'analysent pas le concept dans son ensemble (ainsi une durée de

détention plus courte implique un besoin plus important de nouveaux équipements, mais permet également de fournir le marché de l'occasion en véhicules plus efficaces, etc.), et certains ne font pas la différence entre les causes et les effets (il est probable que les individus décident de faire de l'autopartage car ils sont préoccupés par les problèmes environnementaux et/ou car ils veulent se débarrasser de leur propre voiture. Mais cela ne signifie pas que ce soit le cas pour tout le monde).

Les premières initiatives datent du début des années 90. Elles étaient proposées par des coopératives locales. Mais il est difficile de changer les habitudes de mobilité. La voiture a longtemps été un marqueur social important et procure une indépendance à son propriétaire. De plus, les coûts et manques de professionnalisme des opérateurs d'autopartage pourraient être des obstacles au développement de cette solution de mobilité (Shaheen et Sperling, 1999; Mont, 2004). Ainsi, l'autopartage est encore un phénomène marginal. Il représente moins de 1% du trafic dans les pays où il est expérimenté.

Afin d'accélérer le développement de l'autopartage, certaines études recommandent de développer la continuité entre les modes, en proposant une carte d'accès commune par exemple (Blandin, 2011; Sperling et Shaheen, 1999), de développer des partenariats entre les modes, par exemple les sociétés de location courte durée pourraient fournir les opérateurs d'autopartage lors des périodes de forte demande (Mont, 2004), de proposer un accès facile aux véhicules, en multipliant le nombre de points d'accès par exemple (Mont, 2004; Sperling et Shaheen, 1999) ou encore d'automatiser la réservation et le paiement¹⁸ (Sperling et Shaheen, 1999).

2. Une évaluation des conditions d'économies d'énergie par une méthodologie d'approche globale de la mobilité

Afin d'estimer l'impact réel sur les consommations d'énergie des nouveaux services de mobilité, nous commençons par étudier les besoins de mobilité en France et ceux pouvant être assurés par les NSM. Puis, nous adoptons le modèle théorique développé par Fourcroy et al. (2012) et définissant les services en termes de caractéristiques. Ainsi, nous cherchons à identifier les évolutions causées par les NSM et qui entraînent des consommations ou des économies d'énergie. Enfin, nous tentons d'évaluer les changements que ces NSM

¹⁸ Aujourd'hui, la réservation, la gestion des clés et le paiement sont automatisés dans la plupart des services d'autopartage.

pourraient entraîner en termes de durée et de fin de vie des véhicules afin d'estimer s'ils peuvent réduire la consommation d'énergie grise.

Pour discuter des problématiques énergétiques et environnementales liées aux nouveaux services de mobilité tels que le covoiturage, l'autopartage et la location courte durée, nous nous basons sur les résultats de différentes enquêtes françaises : l'Enquête Nationale des Transports en Déplacements (SOeS, 2008), l'étude de marché annuelle de la LCD (CNPA, 2000 à 2011) et l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobiles (BIPE, 2011).

2.1. Les besoins de mobilité en France

2.1.1. Observations générales

Il est possible de présenter la répartition des modes de transport utilisés pour les déplacements quotidiens de deux façons différentes : en proportion du nombre de déplacements grâce aux résultats de l'OMA ou en proportion des distances parcourus grâce aux résultats de l'ENTD (tableau 16).

Tableau 16 – Répartition des moyens de transport utilisés pour les déplacements quotidiens

	Voiture	Deux-roues	Marche et vélo	Transport en commun
% des déplacements	74%	4%	42%	23%
% des kilomètres	83%	1.3%	2.7%	13%

Source : calculs, d'après l'OMA (BIPE, 2011) et l'ENTD (SOeS, 2008)

Le tableau 16 montre que la plupart des déplacements quotidiens sont réalisés en voiture, à pied ou en vélo. Il montre également que la majorité des distances sont parcourues en voiture et en transports en commun. La voiture est utilisée pour trois quart des déplacements et pour parcourir la très grande majorité des kilomètres. Inversement, la marche et le vélo concernent plus de 40% des déplacements, mais seulement pour parcourir 1.3% des kilomètres.

Il est également possible d'estimer la distribution des différents modes de transport selon le motif de déplacement. Le tableau 17 montre que la voiture est le mode de transport principal, quel que soit le motif de déplacement, en proportion du nombre de déplacement comme du nombre de kilomètres. Elle est suivie des transports en commun pour les déplacements pour motifs professionnels. Pour accompagner ou aller chercher quelqu'un, faire des achats, et pour les loisirs et les visites, la voiture est suivie par la marche (en proportion des déplacements réalisés) et les transports en commun (en proportion des distances parcourues).

Tableau 17 – Répartition des moyens de transport selon le motif de déplacement

% déplacements/ %kilomètres	Voiture	Deux-roues	Marche et vélo	Transports en commun
Motifs professionnels (dont le trajet domicile-travail)	67%/83%	2%/2%	15%/1%	16%/14%
Achat	57%/92%	1%/1%	29%/3%	13%/4%
Loisirs et visites	56%/83%	2%/2%	27%/4%	15%/11%
Accompagner ou aller chercher quelqu'un	71%/95%	0%/1%	19%/2%	11%/2%
Autres raisons	50%/71%	1%/1%	31%/3%	18%/26%

Source : calculs, d'après l'OMA (BIPE, 2011) et l'ENTD (SOeS, 2008)

Ces chiffres sont importants pour identifier les motifs de déplacement nécessitant ou non la voiture comme mode de transport principal, et donc ceux pour lesquels la voiture ne peut pas être facilement substituée par les transports en commun et donc pour lesquels il est intéressant d'essayer de remplacer la voiture personnelle par la voiture partagée. Pour les loisirs et les visites par exemple, il peut être possible de substituer la voiture par les transports en commun dans la mesure où ce sont des trajets plus ou moins longs et planifiés. Concernant les achats, beaucoup de kilomètres sont réalisés en voiture mais beaucoup de déplacements pour ce motif sont réalisés à pied. Cela s'explique par le fait que les achats ont lieu dans les commerces de proximité. Enfin, les transports en commun sont le plus utilisés (en fréquence et en distance) pour les déplacements pour raisons professionnelles.

2.1.2. Les besoins satisfaits par les nouveaux services de mobilité

L'Enquête Nationale des Transports et Déplacement (SOeS, 2008) montre que les principales contraintes liées à l'achat automobile sont le prix d'achat et le coût d'usage. Parmi les ménages non motorisés, seulement 5% déclarent avoir pris en compte l'environnement dans leur décision. Pour les personnes renonçant à la voiture, les transports en commun sont la principale alternative. Le covoiturage ou la location automobile sont mentionnés par très peu de répondants et seulement comme une seconde alternative. En outre, selon l'OMA (BIPE, 2011), seulement 1% des personnes interrogées déclarent ne pas avoir acheté de voiture pour faire du covoiturage, emprunter celle de proches ou en louer une.

Le réseau français des opérateurs d'autopartage¹⁹, représentant une douzaine de services dans différentes villes, regroupe 11 200 membres partageant plus de 500 voitures. Avec le service parisien Autolib' (lancé en décembre 2011), nous avons observés une augmentation significative du nombre de membres et de voitures. En effet, fin 2013, le service comptait plus de 100 000 abonnés et plus de 2 000 véhicules.

Selon l'OMA (BIPE, 2013) moins de 1% des répondants déclarent faire de l'autopartage public, 1% de l'autopartage privé.

D'autre part, 7% des Français faisaient du covoiturage en 2011 (OMA, BIPE) : 3% pour se rendre sur le lieu de travail, 3% pour les vacances et les week-ends et 4% pour les achats et les loisirs. Cette proportion a atteint 14% en 2013.

Selon la branche LCD du Conseil National des Professionnels de l'Automobile (CNPA), environ 7% des Français ont réalisé une location automobile chaque année de 2000 à 2010. En 2011, cette proportion a augmenté et atteint 12%.

Les nouveaux services de mobilité sont des marchés de niche mais pourraient se développer dans les prochaines années sous l'effet de l'augmentation du prix des carburants notamment ou encore de la couverture médiatique des nouveaux comportements durables.

2.2. Evaluation selon la définition des services en termes de caractéristiques

Deux approches sont mobilisées : la comparaison des caractéristiques des nouveaux services de mobilité avec celles de la mobilité traditionnelle utilisant la voiture personnelle, et la comparaison des caractéristiques des individus utilisant ces NSM avec celles des individus ne les utilisant pas.

2.2.1. Caractéristiques des usagers des NSM en termes de motorisation et de mobilité

La comparaison des caractéristiques des utilisateurs de NSM à celles des personnes ne les utilisant pas est réalisée à travers la comparaison de l'équipement (c'est-à-dire les caractéristiques techniques) et les NSM qu'ils utilisent.

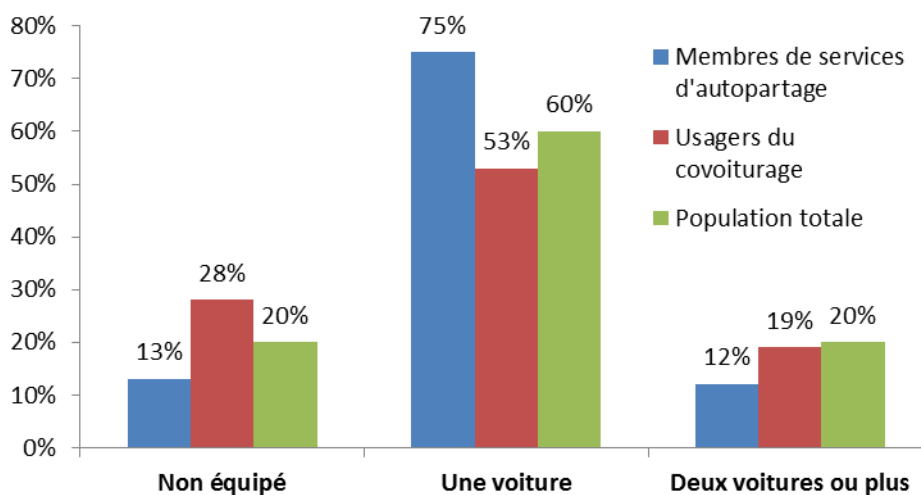
Selon l'OMA (BIPE, 2011) environ 85% des personnes faisant de l'autopartage possèdent au moins une voiture comme le montre la figure 30, tandis que 21% de la population totale n'est pas motorisé. Les ménages faisant de l'autopartage sont donc plus souvent équipés que la population totale, mais moins souvent multi-équipés. En revanche, parmi les

¹⁹ www.franceautopartage.com, consulté en avril 2012

utilisateurs réguliers d'Autolib', 70% n'ont pas de voiture personnelle (source Autolib' mars 2012).

Les personnes faisant du covoiturage sont moins souvent motorisées comme le montre la figure 30. Cela indique que les personnes déclarant faire du covoiturage sont plutôt des passagers et que les conducteurs ne le déclarent pas forcément.

Figure 30 – Equipement automobile des ménages

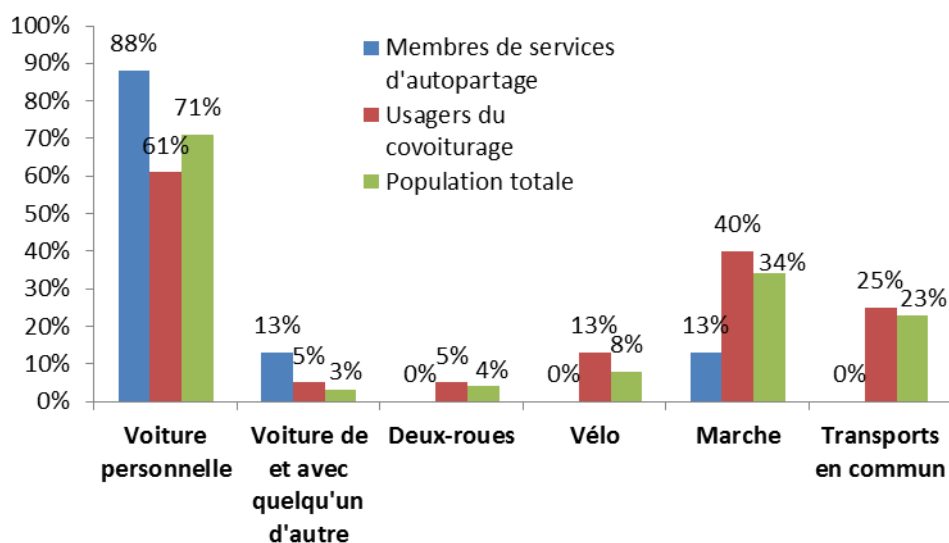


Source : calculs d'après l'OMA (BIPE, 2011)

Lorsqu'ils sont motorisés, les Français parcourent en moyenne 14 000 km par an avec leur voiture. Les personnes faisant du covoiturage parcourent également 14 000 km par an en moyenne. Les personnes faisant de l'autopartage parcourent 11 000 km avec leur voiture en moyenne et moins de 1 000 km avec une voiture louée (distance estimée par France Autopartage). Dans la mesure où nous ne connaissons pas les distances annuelles moyennes parcourues par les utilisateurs des NSM avant de faire du covoiturage ou de l'autopartage, il est impossible de comparer et de conclure sur une éventuelle baisse de l'usage automobile par les utilisateurs des NSM.

Il est possible de comparer la distribution des modes de transport utilisés par les usagers de NSM à celle de la population totale comme le montre la figure 31.

Figure 31 – Répartition des modes de transport utilisés au quotidien



Source : calculs d'après l'OMA (BIPE, 2011)

Comme le montre la figure 31, les personnes faisant du covoiturage utilisent moins la voiture personnelle que l'ensemble de la population et davantage tous les autres modes ce qui signifie qu'ils sont plus "multimodaux" que la moyenne. Les personnes faisant de l'autopartage utilisent davantage la voiture que la population totale mais n'utilisent pas les transports en commun alors qu'ils vivent en milieu urbain ce qui peut signifier qu'ils ont une forte préférence pour la voiture. Ces résultats doivent être pris avec précaution étant donné le faible nombre d'usagers de l'autopartage dans notre échantillon.

2.2.2. Evolutions sur le vecteur des caractéristiques techniques

Selon le Comité des Constructeurs Français d'Automobile (CCFA, 2011), le parc automobile français compte environ 31 millions de voitures âgées de 8 ans en moyenne. Comme le montre le tableau 18, le parc est principalement composé de petits segments de gamme.

De plus, 42% du parc est constitué par des véhicules essence et 58% par des voitures diesel. La consommation moyenne des véhicules essence étant de 7,82L/100 km et celle des voitures diesel de 6,56 L/100km, la consommation moyenne du parc automobile français est de 7,05L/100km.

La consommation de carburants des voitures utilisées pour faire du covoiturage est impossible à connaître dans la mesure où il s'agit de véhicules personnels. Nous faisons donc l'hypothèse qu'elle est la même que celle du parc automobile français total.

Concernant les véhicules partagés dans le cadre des services d'autopartage français, nous possédons des informations sur un parc de près de 500 voitures. Comme le montre le tableau 18, la part des petits segments dans le parc de véhicules en autopartage est plus importante que celle du parc français total.

Tableau 18 – Composition du parc automobile français à celle du parc de véhicule en autopartage

Segment	Parc français	Parc en autopartage
Inférieur	47%	78%
Moyen	43%	9%
Supérieur	5%	4%
Autre	6%	8%

Source : CCFA (2011) et interviews téléphoniques auprès des différents services d'autopartage en France (interrogés en avril 2012)

La consommation moyenne de carburant des voitures en autopartage est de 4,8L/100 km, donc très inférieure à celle du parc total. Les véhicules en autopartage sont principalement essence ou diesel, mais certains services proposent des voitures hybrides ou électriques (c'est le cas d'Autolib'). En outre, depuis 2012, les voitures en autopartage doivent respecter des conditions en termes d'émissions de CO₂ pour que les opérateurs puissent obtenir le label "Autopartage".

Les véhicules proposés par les sociétés de location courte-durée sont neufs et respectent donc les normes d'émissions. Les immatriculations réalisées par la LCD en 2011 respectent la répartition en segments de gamme observée sur le marché total comme le montre le tableau 19. Comme les véhicules en LCD sont utilisés 18 mois en moyenne, le parc est similaire aux immatriculations. Nous considérons donc que la consommation moyenne de carburant du parc en LCD est la même que celle des nouvelles immatriculations. Selon l'ADEME (2012), 70% d'entre elles sont des voitures diesel, la consommation moyenne de ces véhicules est de 4,9L/100 km et celle des véhicules essence de 5,5 L/100km. La consommation moyenne des voitures en LCD est donc de 5,08 L/100 km, ce qui est inférieur à celle du parc total.

Tableau 19 – Répartition des immatriculations LCD et totales en 2011

Segment	Immatriculations de véhicules LCD	Immatriculations totales de véhicules neufs
Inférieur	38%	39%
Moyen	38%	31%
Supérieur	19%	26%

Source: CCFA (2011)

2.2.3. Evolutions sur le vecteur des compétences

Le terme "compétences" doit être entendu dans son sens le plus large. Il inclut les connaissances, les valeurs et les habitudes déterminant les comportements individuels.

L'OMA (BIPE, 2011) montre que les personnes faisant du covoiturage ou de l'autopartage ne sont pas plus intéressés par les nouvelles propulsions (hybride, électrique, biocarburants) que l'ensemble de la population. Elles ne semblent pas avoir de valeurs significativement différentes concernant la motorisation ou l'usage automobile. Nous identifions un potentiel effet d'aubaine lorsque les tarifs incluent une durée de location et une distance à parcourir : certains usagers peuvent être encouragés à parcourir davantage de kilomètres que nécessaire afin de rentabiliser la location. Cependant, il est probable que le recours systématique à ces services réduise ce biais. En outre, de moins en moins de services proposent ce type de tarifs.

2.3. Durée de vie, intensité d'usage et fin de vie

La durée moyenne de détention automobile d'un ménage est de cinq ans (OMA, BIPE, 2011) et la distance annuelle moyenne parcourue en voiture était de 14 000 kilomètres en 2010²⁰.

Le covoiturage est réalisé en voiture personnelle donc nous considérons que sa durée de vie et son intensité d'usage sont les mêmes que ceux d'un véhicule de la population totale. La fin de vie est également la même : soit le véhicule est conservé par le ménage jusqu'à sa mise à la casse, soit il est revendu sur le marché de l'occasion.

Les opérateurs d'autopartage gardent leurs véhicules trois ans en moyenne durant lesquels ils parcourent en moyenne 20 000 kilomètres par an²¹. Les sociétés de LCD conservent leurs voitures 18 mois en moyenne durant lesquels elles sont louées 240 jours par an pour environ 120 kilomètres. Les véhicules utilisés par les sociétés de LCD et les opérateurs d'autopartage sont revendus sur le marché de l'occasion rendant ainsi accessibles aux ménages²² des véhicules récents et plus efficaces.

²⁰ Source: CCFA, 2012

²¹ Source: Réseau France Autopartage

²² Source: interviews téléphoniques auprès des opérateurs français d'autopartage

3. Discussion

3.1. Le covoiturage

En terme de consommation d'énergie, le covoiturage ne semble pas avoir d'influence sur le comportement du conducteur ou encore les caractéristiques techniques des voitures. Ainsi, la consommation de carburants par kilomètre est la même que lors d'un trajet traditionnel en voiture, mais la consommation par tête est réduite. En outre, les personnes qui font du covoiturage sont, en moyenne, moins motorisées que la moyenne. Si le covoiturage augmente de manière significative, nous pouvons envisager que la consommation d'énergie nécessaire à la mobilité des individus diminue et que le besoin de véhicules particuliers (ainsi que l'énergie grise associée) recule.

Cependant, certains autres résultats nous invitent à reconsidérer ces conclusions optimistes. Notre premier point concerne le développement du covoiturage. Il s'agit d'un service de mobilité existant depuis de nombreuses années et dont la pratique a évolué dans les dernières années. Une des barrières à son développement est qu'il s'agit d'une solution intermédiaire entre le transport individuel et le transport collectif et qu'il n'est donc pas aussi flexible que le premier. Ainsi, le covoiturage est une solution pour des trajets programmés (se rendre sur son lieu de travail, partir en vacances ou en week-end, etc.). Même pour les trajets domicile-travail, certaines professions requièrent de la flexibilité et ne permettent donc pas de s'organiser à plusieurs. Les enquêtes montrent également que les personnes faisant du covoiturage ne sont pas plus intéressées par les modes de transport propres que l'ensemble de la population et qu'elles choisissent le covoiturage principalement pour des raisons économiques. Les politiques dédiées à la croissance de ce comportement devraient donc principalement avoir pour objectif de faciliter son organisation et de rendre la tarification plus explicite. De plus, il semble y avoir un risque d'effet rebond important : le covoiturage n'est pas un mode confortable et pratique donc en cas d'amélioration de la contrainte budgétaire, les individus pourraient être tentés de retourner vers des modes individuels plus pratiques.

En outre, il est faux de penser que, les personnes faisant du covoiturage étant moins équipées que la moyenne, si le covoiturage augmente alors le besoin en véhicules particuliers diminuera. Le lien causal entre recours au covoiturage et absence de motorisation semble fonctionner dans le sens contraire. En effet, les individus pratiquant le covoiturage sont plutôt modestes et choisissent cette solution pour des raisons financières. En outre, les personnes non motorisées ne considèrent pas le covoiturage comme le premier

mode alternatif à la voiture personnelle. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que c'est parce qu'ils n'ont pas de voiture que les individus convoitent et non que c'est parce qu'il existe une offre de covoiturage que les individus renoncent à la voiture personnelle. En effet, le covoiturage n'est pas une solution flexible et ne peut donc pas être une alternative unique à la voiture individuelle. Les raisons qui poussent les ménages à se passer d'une voiture sont les contraintes financières, ainsi que les difficultés de circulation et de stationnement en milieu urbain.

S'il permet des économies d'énergie par passager, le covoiturage ne semble pas pouvoir constituer une alternative capable de réduire les consommations d'énergie dans les transports : il s'agit d'une solution non flexible, pratiquée par un profil particulier d'individus. La solution n'est donc pas de faire croître le covoiturage et d'attendre les économies d'énergie associées, mais d'encourager l'abandon de la voiture personnelle en offrant plusieurs alternatives. De plus, le covoiturage devrait être facilité. Ainsi des politiques sont mises en place pour faciliter la circulation et le stationnement de ceux faisant du covoiturage en les autorisant à circuler dans les voies de bus ou en leur réservant des places de parking.

3.2. L'autopartage et la location courte durée

Concernant les performances de l'autopartage et de la location courte durée, les résultats semblent correspondre à ceux présentés dans la littérature. Les véhicules proposés par ces services sont neufs, plus petits et consomment moins d'énergie que ceux possédés par la population totale²³. De plus, ces services permettent de disposer d'un véhicule adapté au trajet à réaliser (même si en réalité le choix des modèles est souvent limité). Il existe donc un potentiel de réduction de consommation d'énergie comme le mentionne la littérature.

Cependant, nous pensons que plusieurs caractéristiques de l'autopartage et de la LCD pourraient ralentir ou entraver l'atteinte de ces potentiels théoriques.

Ainsi, ces services n'encouragent pas toujours des comportements "verts" puisque dans certains cas, le carburant n'est pas directement payé par l'utilisateur mais inclut dans le tarif de location (essentiellement dans le cas de l'autopartage). De plus, puisque l'utilisateur ne possède pas le véhicule, il n'a aucune incitation à prendre soin de celui-ci, ce qui peut accélérer son renouvellement. Ces biais de comportement sont des exemples du problème principal-agent.

²³ En France le label "autopartage" régleme nte notamment les consommations de carburants et les émissions de GES des véhicules partagés

Les opérateurs d'autopartage et de location courte durée proposent également des véhicules électriques, hybrides ou fonctionnant au gaz. Cela renforce l'idée, déjà énoncée dans la littérature, selon laquelle ces services sont plus "durables" que le transport traditionnel en voiture personnelle. Cependant, il est important de mentionner que les véhicules loués ont une durée de détention très limitée (18 mois à trois ans). Ils sont ensuite vendus sur le marché de l'occasion. Selon le point de vue, cela peut être perçu comme une barrière au développement des énergies alternatives (si les opérateurs ne les choisissent pas par peur de ne pas pouvoir les revendre) ou bien comme un catalyseur pour leur développement (la demande des services d'autopartage ou sociétés de LCD renforce leur développement, permet la croissance de leur production, les rends accessibles au grand public pouvant l'essayer via les services de location puis pouvant l'acquérir à des prix plus bas sur le marché de l'occasion). Jusqu'à récemment, en France, les opérateurs d'autopartage ont principalement proposé des véhicules thermiques. Mais depuis décembre 2011, le service parisien Autolib' propose des véhicules électriques.

De plus, la conclusion mise en évidence dans la littérature et selon laquelle les membres des services d'autopartage parcourraient moins de kilomètres en voiture que la population totale mérite d'être discutée. La plupart des études font ce constat sur la base d'enquêtes reposant sur des estimations ex-post ou ne distinguant pas les membres selon qu'ils possédaient une voiture ou non avant de faire de l'autopartage. Dans leur article, Steining et al. (1996) ont fait cette distinction et ont réalisé des mesures avant et après le lancement de l'expérimentation d'autopartage. Cette étude montre que si les personnes ayant une voiture avant l'adhésion tendent à réduire la distance parcourue en voiture, celles n'étant pas motorisées au contraire ne peuvent que les augmenter. Par conséquent, le résultat final dépend de la proportion de personnes n'ayant pas de voitures avant d'adhérer à un service d'autopartage. En outre, il existe un risque d'effet rebond en milieu urbain où beaucoup ne sont pas motorisés mais habitués à utiliser les transports en commun : ils pourraient commencer à utiliser la voiture partagée. Celle-ci permet en effet davantage de flexibilité mais pourrait aussi créer un "besoin automobile" qui n'existait pas forcément auparavant.

Des mesures doivent être prises pour réduire les biais de comportement et encourager les usagers à adopter l'éco-conduite²⁴. En outre, des mesures doivent également être prises pour minimiser le risque d'effet-rebond en particulier en facilitant la multimodalité. Par

²⁴ Certaines actions ont déjà été mises en place par différentes organisations comme la fixation d'un prix par unité de distance parcourue

ailleurs, l'autopartage ne devrait pas cibler des individus ayant renoncé à la voiture mais plutôt ceux contraints par l'usage de leur véhicule et souhaitant renoncer à la possession.

Un autre argument est développé dans la littérature : l'autopartage et la location courte durée permettent d'abandonner la voiture privée et ainsi de réduire le parc en circulation et la production automobile (et donc les consommations d'énergie associées). Nos résultats ne nous permettent pas de vérifier si l'autopartage incite à l'abandon de l'équipement privé ou non. Cependant, ils indiquent que les membres de services d'autopartage possèdent une seule voiture et ne sont pas multi-équipés. Ce type de service semble donc plutôt être une solution de remplacement de la seconde voiture. Cela ne remet donc pas en cause la conclusion sur la réduction de besoin de voiture privée. Cependant, la relation entre le besoin automobile et la production semble plus critiquable. En effet, l'autopartage implique un besoin de véhicules neufs alors qu'il remplace un véhicule qui aurait pu être acheté sur le marché de l'occasion et n'aurait donc pas créé de production supplémentaire. Et il est probable que ce soit le cas dans la mesure où ce sont plutôt les jeunes qui utilisent les services d'autopartage alors qu'ils sont plus souvent équipés de véhicules d'occasion, l'âge moyen de l'acheteur neuf étant d'environ 52 ans. C'est donc seulement avec un fort déploiement des services d'autopartage et de location courte durée que nous pourrions observer leur impact sur la production automobile.

4. Conclusion

Les nouveaux services de mobilité automobile apparaissent comme des exemples d'application du concept d'économie de la fonctionnalité. L'argument environnemental est donc également convoqué pour encourager l'usage de la voiture partagée. Grâce à l'approche globale de la mobilité, ainsi qu'au modèle d'analyse des consommations d'énergie dans les services que nous avons adopté, nous avons pu discuter l'impact énergétique de la voiture partagée. Ainsi, les nouveaux services de mobilité automobile (autopartage et LCD surtout) proposent des véhicules neufs, et par conséquent à la pointe des performances en termes de consommations de carburants et donc d'émissions de dioxyde de carbone. De plus, leur usage est mutualisé ce qui permet potentiellement de réduire le besoin d'équipement et donc le nombre de véhicules en circulation. En outre, la voiture partagée n'est pas à disposition des ménages en permanence comme peut l'être la voiture personnelle. Il s'agit donc davantage d'un moyen de transport parmi d'autres qui ne peut être utilisé pour tous les déplacements des individus, qui les emploient donc de manière occasionnelle. La voiture partagée favorise donc la multimodalité à l'inverse de l'usage exclusif de la voiture personnelle. Enfin, les services de location (LCD et autopartage public)

conserver les véhicules pour une durée restreinte puis les revendent sur le marché de l'occasion. Ils contribuent ainsi à rendre des véhicules efficaces plus accessibles aux ménages, mais présentent également un renouvellement fréquent et soutenant donc un besoin en nouveaux équipements. En outre, les NSM apparaissent comme de nouvelles solutions s'inscrivant dans la palette des modes de transport et pouvant donc être utilisés par des individus ne se déplaçant pas du tout en voiture auparavant. Par conséquent, nous montrons que les NSM permettent de réaliser des économies d'énergie à condition qu'ils viennent en remplacement d'un équipement automobile personnel (évitant une motorisation non existante ou remplaçant une existante) et qu'ils s'insèrent dans l'ensemble des choix modaux comme un mode de transport parmi d'autres, utilisés de manière non exclusive, surtout par des personnes se déplaçant autrement auparavant. Pour autant, il convient de relativiser ces conclusions dans la mesure où le parc de véhicules concernés est aujourd'hui encore très confidentiel.

Conclusion première partie

Dans cette partie, nous nous sommes attachés à identifier les vecteurs de changements dans le rapport des ménages à l'automobile, à en estimer les potentiels de développement de manière objective, ainsi qu'à en discuter les impacts énergétiques et environnementaux.

Dans le premier chapitre, les vecteurs de changement de comportement identifiés sont les nouveaux services de mobilité automobile, plus précisément le covoiturage, l'autopartage et la location courte durée apparaissant comme des solutions de mutualisation de l'équipement automobile et illustrant bien le phénomène de déconnexion entre usage et possession de celui-ci. Les potentiels de développement de ces services ont ensuite été évalués de manière objective, en croisant des critères économiques et de condition d'usage : celui du covoiturage est intéressant (30%) tandis que la LCD et l'autopartage apparaissent comme des solutions pour des groupes de ménages relativement restreints et ciblés. Enfin, grâce au recours au concept d'économie de la fonctionnalité, ainsi qu'à une méthode d'analyse des consommations d'énergie dans les services, nous montrons que ces NSM permettent de réaliser des économies d'énergie, à condition qu'ils viennent bien en remplacement d'un équipement automobile personnel et non qu'ils s'y ajoutent ou soient utilisés par des non automobilistes auparavant.

Ces premiers résultats nous montrent donc l'importance d'analyser plus précisément les comportements de mobilité en général d'une part, et les décisions de motorisation des ménages d'autre part, afin d'estimer la place que peut prendre la voiture partagée dans les déplacements quotidiens, ainsi que sa pérennité, sur la base de critères non seulement purement objectifs mais tenant également compte des spécificités des ménages français.

Deuxième partie : Quels choix modaux pour les ménages français en 2020 ?

Suite à l'identification des principaux vecteurs de changements de comportements automobiles et de leur analyse aux plans économique et énergétique, il convient à présent d'en déterminer l'ampleur probable dans un futur proche. En effet, la possibilité d'usage des nouveaux services de mobilité automobile de même que leur rentabilité par rapport à la voiture possédée est une condition nécessaire mais non suffisante à leur adoption par les ménages. En outre, si ces derniers y recourent de manière occasionnelle, qu'en est-il de leur usage pour les déplacements quotidiens ? Ainsi, les potentiels de développement du covoiturage, de l'autopartage et de la location courte durée calculés dans la partie précédente apparaissent comme des taux d'usage pouvant être atteints au maximum et correspondant à la part des Français susceptibles de les utiliser au moins une fois dans l'année. Or il n'est pas certain que l'ensemble de la population pouvant objectivement abandonner la voiture personnelle pour la voiture partagée le fasse. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'en estimer les parts de marché futures sur la base de critères non purement économiques, mais relevant également de caractéristiques des ménages sélectionnant le mode de transport, notamment leurs besoins de mobilité, à l'origine même du choix modal.

Pour cela, nous réalisons dans un premier temps une analyse fine des comportements de mobilité des ménages français à partir de l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobile du BIPE fournissant des données détaillées sur leur mobilité quotidienne. Plus précisément, il s'agit de mettre en évidence les principaux déterminants des choix modaux en général et de l'usage de la voiture en particulier à partir d'analyses statistiques approfondies. Puis nous utilisons ces déterminants afin d'estimer un modèle économétrique de choix modaux permettant également de réaliser des projections de ces derniers dans le but de prédire de potentiels transferts de la voiture personnelle vers d'autres modes.

Chapitre 4 - Mobilité et usage automobile : une analyse approfondie des déterminants des choix modaux selon une approche statistique

Nous cherchons désormais à expliquer comment se fait le choix du mode de transport, et notamment l'importance de la voiture. Plus précisément, l'objectif de ce chapitre est d'obtenir une segmentation détaillée de la population étudiée selon différents profils de mobilité et de motorisation dans le but de mettre en évidence les principaux déterminants des choix relatifs à l'intensité d'usage et d'équipement automobile des ménages.

Dans un premier temps, nous étudions précisément le besoin de mobilité pour déterminer les choix modaux les plus pertinents à analyser. Ainsi, nous nous appuyons sur l'activité des ménages, c'est-à-dire les motifs de déplacement décrits dans l'OMA, ainsi que les distances associées. Nous partons donc du besoin initial de déplacement, point de départ de la nécessité de choisir un mode de transport. En outre, nous nous basons sur l'ensemble des variables socio-économiques décrivant les ménages (revenus, taille du ménage ...) et déterminant également leurs déplacements et leurs choix modaux afin de dresser les profils des usagers des différents modes de transport. Enfin, nous réalisons une analyse en composante principale permettant de déterminer les variables explicatives des choix modaux les plus pertinentes, ainsi qu'une segmentation aboutissant à la définition de profils complets de mobilité et d'équipement automobile.

1. Les besoins de mobilité

Nous nous basons sur la vague d'octobre 2010 de l'OMA afin d'étudier les besoins de mobilité des ménages. En effet, dans cette vague, aux différents motifs de déplacement sont associés des modes, ainsi que des distances et des durées de déplacement. Nous définissons donc le besoin de déplacement comme la distance à parcourir pour réaliser une activité (motif de déplacement).

1.1. Des besoins de déplacement...

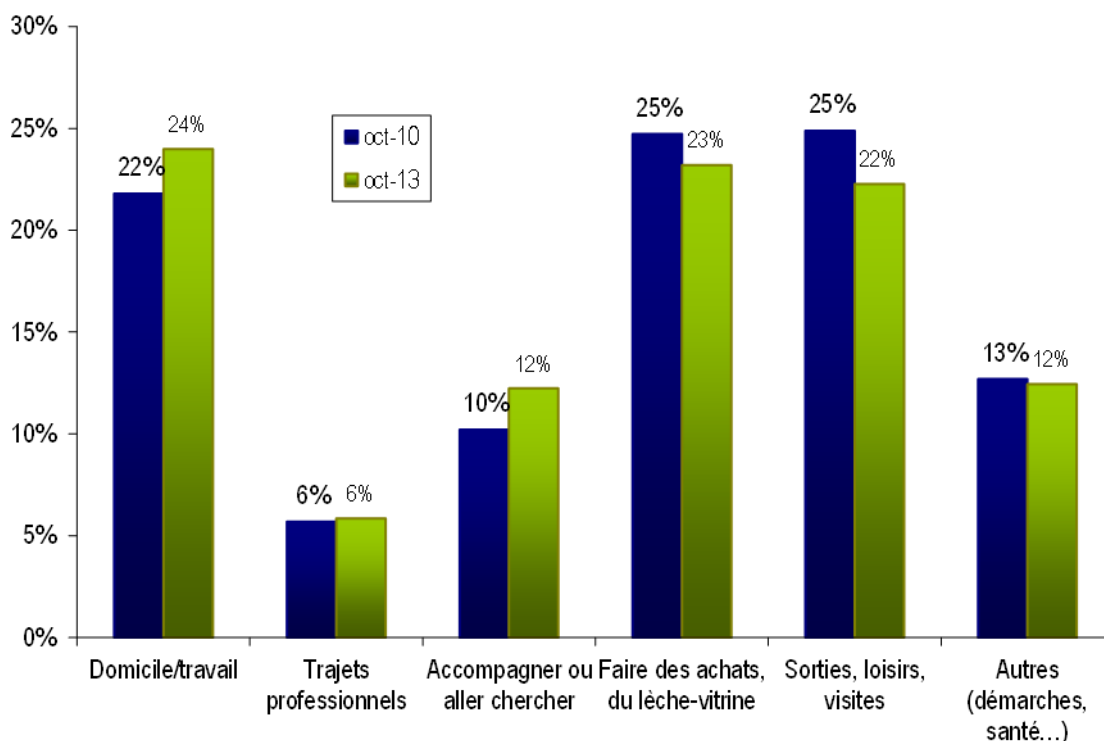
Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, le besoin de mobilité est généralement un besoin secondaire lié à la nécessité de se rendre sur son lieu de travail ou d'étude, aller faire des courses ou encore rendre visite à de la famille ou des amis.

Dans l'OMA, les besoins de déplacement sont approchés grâce à une question sur l'usage de différents modes de transport pour six motifs de déplacement identifiés (voir question n°4 du questionnaire en annexe B) :

- Domicile/travail,
- Trajets professionnels en journée,
- Accompagner ou aller chercher quelqu'un,
- Faire des achats, du lèche-vitrine,
- Sorties, loisirs, visites famille et amis,
- Autres (démarches, santé...).

Les principaux motifs de déplacement sont les sorties, les achats, ainsi que les trajets domicile-travail. Comme nous l'avons déjà observé dans le cas de l'ENTD, la répartition entre les différents motifs varie très peu dans le temps, traduisant la constance des besoins de déplacement. Ainsi, comme le montre la figure 32, entre octobre 2010 et octobre 2013, nous n'observons qu'un à deux points de changement dans la répartition des différents motifs de déplacement observés dans l'OMA.

Figure 32 – Evolution de la répartition des motifs de déplacement en semaine



Source : BIPE-OMA octobre 2010 et 2013

1.2. ...assurés par un ensemble de modes de transport

Pour assurer ces besoins de déplacements, différents modes de transport peuvent être utilisés : la voiture, les transports en commun, le vélo, etc.

Dans l'OMA, l'usage des différents modes de transport est appréhendé à travers une question sur le(s) moyen(s) de déplacement utilisé(s) un jour de semaine normal et une question sur l'usage de différents modes de transport pour les différents motifs de déplacement identifiés (voir questions n°3 et 4 du questionnaire en annexe B).

Les différents modes identifiés en octobre 2010 sont :

- Le véhicule personnel,
- Le véhicule d'entreprise,
- Le véhicule loué,
- Le véhicule de et avec quelqu'un d'autre (conjoint, collègue...),
- Le 2-3 roues personnel,
- Le 2-3 roues loué,
- Le vélo personnel,
- Le vélo public ou loué,
- La marche à pied,
- Les transports en commun (train, bus, métro, tramway, RER...).

Etant donné le très faible usage (<5% de l'échantillon) des véhicules d'entreprise, véhicules loués, véhicules de et avec quelqu'un d'autres, 2-3 roues loués et vélo loué, ces modes sont agrégés de la façon suivante :

- La voiture comprenant le véhicule personnel, le véhicule d'entreprise, le véhicule loué et le véhicule de et avec quelqu'un d'autre,
- Le 2-3 roues motorisé comprenant le 2-3 roues personnel et le 2-3 roues loué,
- Le vélo comprenant le vélo personnel et le vélo loué.

1.2.1. Répartition générale des modes

Confidentiel

1.2.2. Répartition modes/motifs

Confidentiel

1.2.3. Modes exclusifs et multimodalité

Confidentiel

1.3. Les choix modaux à étudier

Confidentiel

2. Les profils des usagers des différents modes de transport

2.1. Motorisation des ménages selon le choix modal un jour de semaine normal

Confidentiel

2.2. Catégorie de la commune d'habitation, infrastructures de transport et choix modal

Confidentiel

2.3. Profil sociodémographique et choix modal

Confidentiel

3. Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Dans cette section, il convient de comprendre précisément les relations mises en évidence dans la section précédente afin d'être en mesure de montrer les déterminants principaux des choix modaux et des niveaux de motorisation. Pour cela, nous utilisons l'analyse des données qui a pour objectif de mettre en évidence les relations existantes entre plusieurs variables afin d'en retirer l'information principale.

3.1. La méthode

3.1.1. La méthode d'analyse des données

L'analyse de données est un ensemble de techniques descriptives basées sur l'algèbre matriciel.

Elle comprend différentes méthodes :

- l'analyse en composantes principales (ACP) utilisée pour étudier des données quantitatives ;
- l'analyse factorielle des correspondances (AFC) utilisée sur des données qualitatives ;
- l'analyse des correspondances multiples (ACM) généralisant la précédente.

L'analyse factorielle des correspondances s'applique à des situations où les individus sont décrits par deux variables nominales. L'analyse en correspondances multiples s'applique aux séries statistiques d'individus décrits par plusieurs variables nominales ou ordinales, types de données dont nous disposons.

L'ACM a pour objectif de mettre en évidence différents types de relations :

- entre les modalités de différentes variables,
- entre les individus statistiques,
- entre les variables.

Il s'agit donc d'analyser les oppositions ou proximités entre modalités de variables.

Ainsi, si deux modalités d'une même variable sont proches, alors les individus qui les possèdent sont semblables du point de vue des autres variables. Si deux modalités de deux variables différentes sont proches, alors ce sont les mêmes individus qui les possèdent.

3.1.2. Le choix des variables

L'ACM est réalisée à partir des données de la vague d'octobre 2010 de l'OMA du BIPE. Outre les besoins de déplacement, les données retenues pour réaliser l'ACM font essentiellement référence aux caractéristiques socio-démographiques et économiques des ménages employées pour dresser les profils d'utilisateurs décrits dans la section précédente.

Ainsi, suite à l'analyse réalisée plus haut, nous cherchons à éclairer le choix entre les différents modes décrits dans le tableau 20.

Tableau 20 – Répartition modale à étudier

Mode	Label	Modes	Fréquence
1	Mod1	Voiture seule	55.45%
2	Mod2	2-3 roues motorisé	2.24%
3	Mod3	Vélo	2.84%
4	Mod4	Marche	9.31%
5	Mod5	Transports en commun	4.22%
6	Mod6	Marche+transports en commun	10.69%
7	Mod7	Voiture + marche	8.38%
8	Mod8	Voiture+autres	6.86%

Les variables faisant référence aux besoins de mobilité et aux caractéristiques socio-démographiques prises en compte sont le sexe, l'âge, la situation de famille, le nombre d'enfants dans le foyer, le nombre d'actifs dans le foyer, le statut d'activité, la CSP, le niveau d'étude, le niveau de revenu du ménage, son équipement automobile, la catégorie de la commune de résidence, les infrastructures de transport à proximité du domicile, l'équipement du ménage en vélo et deux-roues motorisé, ainsi que les durées et distances par motif de déplacement (soit 27 questions et 112 modalités, voir le détail des variables en annexe F).

3.2. Les résultats de l'ACM

Deux analyses ont été réalisées, avec et sans les variables concernant la durée des déplacements par motif. Nous avons retenu la seconde analyse dont les résultats sont présentés ci-après (les résultats de la première analyse se trouvent en annexe F) et qui comportent donc 21 questions et 88 modalités.

3.2.1. L'inertie du nuage de points

L'ACM est réalisée sur un tableau disjonctif complet sur la base de la vague d'octobre 2010 de l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobile du BIPE à l'aide du logiciel SAS²⁵

L'inertie du nuage des individus ou des modalités est :

$$\Phi^2 = (K-Q) / Q$$

Où K désigne le nombre de modalités et Q le nombre de questions.

Dans notre cas, $\Phi^2 = (88-21)/21 = 3,19$

La contribution absolue d'une modalité à l'inertie du nuage de points est :

$$Cta(M_k) = (1-f_k) / Q$$

Où f_k est la fréquence de k

La contribution relative est :

$$Ctr(M_k) = Cta(M_k) / \Phi^2$$

L'inertie totale correspond à la somme des inerties de chacune des variables.

3.2.1.1. Les valeurs propres

Dans l'ACM, la décroissance des valeurs propres est très lente. Ainsi, dans notre cas, si l'on devait retenir 80% de l'inertie du nuage de points, cela nous conduirait à prendre en compte 39 axes (voir tableau des valeurs propres complet en annexe G).

Benzécri (1992) propose une méthode afin de calculer des "taux modifiés" d'inertie expliquée par chacune des valeurs propres.

La moyenne des valeurs propres est égale à :

$$\lambda_m = 1 / Q$$

On ne conserve que les valeurs propres supérieures à cette moyenne ($1/21=0.0476$ dans notre cas, soit 26 valeurs propres) et on calcul $\lambda' = (\lambda - \lambda_m)^2$.

Le taux d'inertie modifié est alors égal à :

$$\lambda' / \sum \lambda'$$

²⁵ Les traitements SAS sont disponibles sur demande auprès de l'auteur

On ne conserve que les valeurs propres dont le taux d'inertie modifié est supérieur à la moyenne ($1/26=3,8\%$), soit 6 axes dans notre cas (tableau 21, tableau complet des valeurs propres en annexe G).

Tableau 21 – 10 premières lignes du tableau des valeurs propres

	Valeur singulière	Valeur propre	Khi-2	Pourcentage	Pourcent. cumulé	$\lambda' = (\lambda - \lambda_m)^2$	Taux d'inertie modifiée
1	0.4507	0.20313	6412	6.28	6.28	0.0241837	39%
2	0.39064	0.1526	4817	4.72	11	0.011021	18%
3	0.36503	0.13325	4206	4.12	15.12	0.0073327	12%
4	0.3459	0.11964	3777	3.7	18.82	0.005187	8%
5	0.33005	0.10893	3439	3.37	22.19	0.003759	6%
6	0.32286	0.10424	3291	3.22	25.42	0.0032059	5%
7	0.29954	0.08972	2832	2.77	28.19	0.0017725	3%
8	0.29737	0.08843	2792	2.73	30.93	0.0016655	3%
9	0.28274	0.07994	2524	2.47	33.4	0.0010446	2%
10	0.2742	0.07518	2373	2.33	35.72	0.0007596	1%

3.2.1.2. Etude des variables

Les contributions des variables à la formation de l'inertie du nuage dépendent essentiellement du nombre de leurs modalités. Il est cependant possible de comparer leur contribution à l'inertie d'un axe à leur contribution à l'inertie du nuage, afin d'avoir une idée de l'importance prise par chacune dans la formation d'un axe. Dans notre cas, nous obtenons les contributions résumées dans le tableau 22.

Par exemple, la part des variables "Age" et "Nombre d'enfant" dans la formation du premier axe est supérieure à leur part dans l'inertie totale du nuage.

Tableau 22 – Tableau des contributions des variables à l’inertie du nuage et des axes

Variable	Contribution à l’inertie du nuage	Contribution à l’inertie de l’axe 1	Contribution à l’inertie de l’axe 2	Contribution à l’inertie de l’axe 3	Contribution à l’inertie de l’axe 4	Contribution à l’inertie de l’axe 5	Contribution à l’inertie de l’axe 6
Mode	0.1043	0.0414	0.1233	0.0170	0.0150	0.0398	0.0846
Genre	0.0149	0.0041	0.0003	0.0000	0.0029	0.0178	0.0073
Age	0.0751	0.0932	0.0899	0.0117	0.0178	0.0771	0.1558
Situation famille	0.0230	0.0207	0.0643	0.0523	0.0735	0.0091	0.1555
Nombre d’enfants	0.0447	0.0571	0.0147	0.0118	0.0232	0.0312	0.0040
Nombre d’actifs	0.0298	0.1197	0.0405	0.0414	0.0538	0.0498	0.0082
Statut d’activité	0.0760	0.1231	0.1139	0.0093	0.0103	0.1144	0.1858
CSP	0.0756	0.0110	0.0123	0.0137	0.0282	0.1151	0.0125
Niveau d’étude	0.0446	0.0260	0.0054	0.0219	0.0212	0.0945	0.0107
Niveau de revenu	0.0892	0.0527	0.0126	0.0522	0.0670	0.0860	0.0138
Equipement automobile	0.0149	0.0419	0.0620	0.0328	0.0136	0.0064	0.0013
Catégorie de commune d’habitation	0.0893	0.0022	0.0482	0.0037	0.0165	0.0920	0.0172
Equipement vélo	0.0149	0.0092	0.0011	0.0079	0.0016	0.0027	0.0123
Equipement moto	0.0148	0.0066	0.0105	0.0000	0.0006	0.0011	0.0328
Infrastructures de transports publics	0.0149	0.0001	0.0187	0.0012	0.0020	0.0614	0.0060
Distance trajets domicile-travail	0.0444	0.1214	0.0148	0.0962	0.0255	0.0098	0.0013
Distance trajets professionnels	0.0443	0.0510	0.0060	0.0420	0.0084	0.0115	0.0044
Distance trajets accompagnement	0.0446	0.0475	0.0675	0.1410	0.1238	0.0489	0.0370
Distance trajets achat	0.0446	0.0626	0.1275	0.1656	0.1956	0.0544	0.0661
Distance trajet sortie	0.0446	0.0633	0.0974	0.1607	0.1821	0.0438	0.1138
Distance trajets autres	0.0447	0.0451	0.0697	0.1177	0.1174	0.0329	0.0698

Nous pouvons donc déduire les variables qui contribuent le plus à la formation de chacun des axes :

- Axe 1 : âge, nombre d'enfants, nombre d'actifs, statut d'activité, équipement automobile, distance des déplacements (tous motifs),
- Axe 2 : mode, âge, situation de famille, nombre d'actifs, statut d'activité, équipement automobile, infrastructures de transports publics, distance des déplacements hors domicile-travail et trajets professionnels,
- Axe 3 : situation de famille, nombre d'actifs, équipement automobile, distance des déplacements hors trajets professionnels,
- Axe 4 : situation de famille, nombre d'actifs, distance des déplacements hors domicile-travail et trajets professionnels,
- Axe 5 : genre, âge, nombre d'actifs, statut d'activité, catégorie socio-professionnelle (CSP), niveau d'étude, catégorie de commune d'habitation, infrastructures de transports publics, distances des déplacements pour accompagnement et achat,
- Axe 6 : âge, situation de famille, statut d'activité, équipement 2-3 roues motorisé, distances des déplacements pour achat, sortie, et autres motifs.

Enfin, les variables équipement vélo et niveau de revenu ne semblent pas jouer de rôle important, mais cette dernière est fortement liée à la situation familiale, au nombre d'actifs dans le ménages, au statut d'activité, ainsi qu'à la CSP.

3.2.1.3. Etude des axes

L'étude des axes consiste à trouver les similitudes entre les modalités de part et d'autre de l'origine et à expliquer le contraste entre les extrêmes.

Pour chaque axe, il est pertinent de centrer l'analyse sur les modalités dont la contribution à la formation de l'axe est supérieure à la moyenne ($1/88$ modalités = 0.0114 dans notre cas).

Les modalités contribuant le plus à la formation des axes sont présentées en annexe G.

L'axe 1 semble opposer les déplacements locaux (tous motifs) de plus longues distances réalisés par des actifs (deux actifs dans le ménage), entre 25 et 45 ans, avec enfants (deux enfants au foyer), aux retraités/préretraités de plus de 60 ans, non motorisés, aux revenus les plus modestes (moins de 1500€ mensuel), sans enfant au foyer, ayant un niveau d'étude inférieur au bac, vivant seul et se déplaçant en marche à pied et transports en commun pour les sorties, les achats et les autres motifs sur des distances moyennes inférieures.

L'axe 2 semble opposer les retraités/préretraités de 60 à 70 ans se déplaçant exclusivement en voiture pour des déplacements pour achat, sortie, accompagnement et autres motifs de distances longues et moyennes supérieures, aux élèves/étudiants vivant en cohabitation/colocation, âgés de moins de 25 ans, non motorisés, habitant Paris, se déplaçant à pied et/ou en transports en commun, en 2-3 roues motorisés pour les achats, les sorties, accompagner quelqu'un ou un autre motif sur de courtes distances.

L'axe 3 semble opposer les déplacements tous motifs sur distances moyennes supérieures réalisés par des couples double actif ayant des revenus entre 3000 et 4000€ mensuels, aux déplacements tous motifs sur distances longues réalisés par des célibataires actifs non motorisés et aux revenus les plus modestes (moins de 1500€ mensuel).

L'axe 4 semble opposer les déplacements pour achats, sorties, autres motifs et accompagnement de distances moyennes inférieures réalisés par des personnes vivant en couple dans un ménage avec deux personnes actives, cadres supérieurs, ayant des revenus annuels supérieurs à 60 000€, ayant fait des études supérieures à bac+2 et ayant deux enfants au foyer, aux déplacements tous motifs de distances moyennes supérieures réalisés par des personnes actives vivant seules aux revenus les plus modestes (moins de 15 000€ annuels), âgées de moins de 25 ans et non motorisées.

L'axe 5 semble opposer les déplacements pour achats, accompagnement, sorties, autres motifs sur distances moyennes inférieures réalisés par des chômeurs ou femmes au foyer ne disposant pas d'infrastructures de transport à proximité de leur domicile, vivant en milieu périurbain ou rural, ayant un niveau d'étude inférieur au baccalauréat et aux revenus les plus modestes (moins de 25 000€ annuel), aux cadres et retraités ayant fait des études supérieures à bac+2, disposant d'infrastructures de transport à proximité de leur domicile, vivant en Ile-de-France, ayant des revenus plutôt élevés (supérieurs à 45 000€ annuel) et se déplaçant en marche à pied et transports en commun.

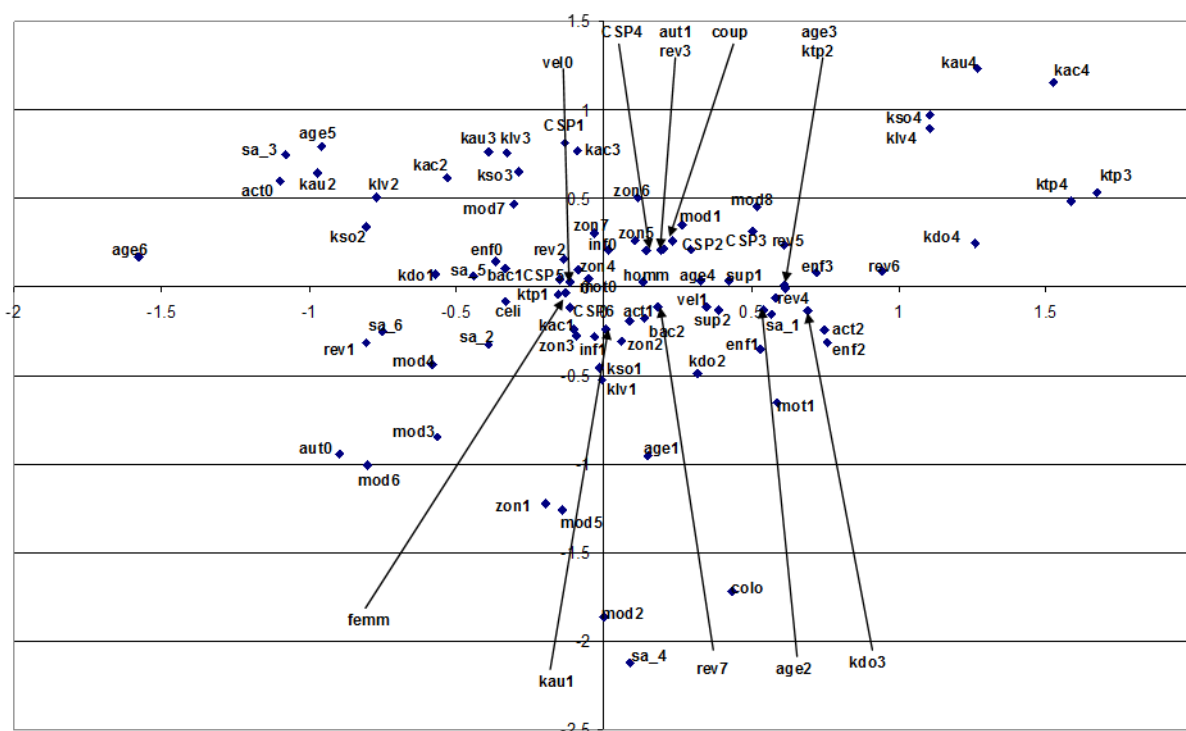
L'axe 6 semble opposer les élèves/étudiants vivant en cohabitation/colocation, de moins de 25 ans, équipés d'un 2-3 roues motorisé et se déplaçant avec, en voiture ou autre mode pour des sorties, des achats, des accompagnements ou autres motifs de distances moyennes à longues, aux actifs entre 35 et 55 ans se déplaçant pour les sorties, les achats et autres motifs, sur des distances courtes.

3.2.2. Plan factoriel principal

Le plan principal (axe 1 et axe 2) représenté dans la figure 33 montre des groupes distincts : les forts besoins de déplacement, le 2/3 roues motorisé fortement associé aux élèves et étudiants, les transports en commun fortement associés à Paris intra-muros, les retraités plutôt associés aux distances moyennes inférieures.

Par ailleurs, les modes vélo, marche à pied et transports en commun sont plutôt associés aux femmes, aux inactifs, aux personnes vivant seules, sans enfants aux revenus modestes et aux ménages non motorisés, alors que le mode automobile (seul ou combiné) est plutôt associé aux hommes, actifs, vivant en couple, avec enfants, aux revenus moyens à élevés et aux ménages motorisés.

Figure 33 – Plan factoriel principal



3.2.3. Segmentation

Suite à l'ACM, nous réalisons une segmentation selon la méthode de classification ascendante hiérarchique. L'arbre segmenté sortie sous SAS est présenté en annexe G.

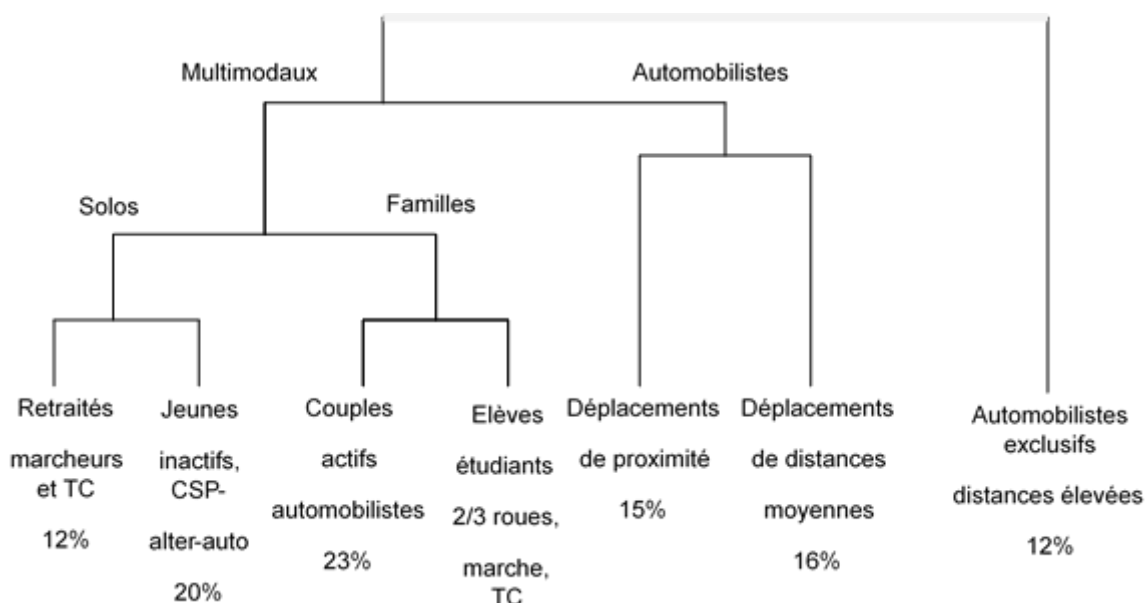
Il est pertinent de le couper au niveau d'un saut important dans la mesure où l'on obtient alors une répartition de bonne qualité, les individus regroupés en-dessous de la coupure

étant suffisamment proches et ceux placés au-dessus suffisamment éloignés pour avoir des caractéristiques distinctes.

Ainsi, on observe un saut important entre la partition en sept classes et les partitions en 6, 5, 4, 3, 2, 1 classes. Nous étudions donc plus précisément cette partition (figure 34).

Le premier niveau de partition en deux classes distingue une classe des six autres. Elle regroupe les individus surreprésentés parmi les plus forts besoins de déplacement pour tous les motifs et se déplaçant essentiellement en voiture. Ils ont entre 30 et 60 ans, vivent en couple, ont des enfants au foyer, sont bi-actifs, agriculteurs, artisans, commerçants, chefs d'entreprise, cadres supérieurs, professions libérales, cadres moyens ou professions intermédiaires, ont des revenus annuels supérieurs à 25 000€. Ils vivent en banlieue, milieu périurbain ou rural, ne disposent plutôt pas d'infrastructures de transport à proximité de leur domicile et sont motorisés.

Figure 34 – Segmentation en sept classes des comportements de mobilité



Le reste de la population se découpe ensuite en deux classes distinguant essentiellement les personnes utilisant la voiture (exclusivement ou combinée à un ou plusieurs autres modes) et les personnes étant plutôt multimodales.

Le troisième niveau de partition s'opère entre les individus utilisant la voiture pour leurs déplacements quotidiens : les uns ont des besoins de déplacement à proximité alors que les autres parcourent plutôt des distances moyennes supérieures dans la mesure où ils habitent en banlieue, milieu périurbain, ou rural.

Au sein du groupe des multimodaux, on distingue ensuite les personnes vivant seules, plutôt inactives, les ouvriers, de moins de 30 ans ou plus de 60 ans, sans enfant au foyer, aux revenus plutôt modestes (moins de 25 000€ annuels), vivant à Paris ou une grande ville-centre, non motorisées, et se déplaçant en deux-roues, marche à pied et/ou transports en commun, des personnes vivant en famille, dans un ménage comptant deux actifs, de moins de 60 ans, avec enfants au foyer, élèves, étudiants ou artisans, commerçants, chefs d'entreprise, cadres, avec des revenus annuels supérieurs à 25 000€, motorisées, vivant en Ile-de-France ou grande ville-centre, et se déplaçant en voiture, 2/3 roues motorisé, marche à pied ou transports en commun.

La première sous-classe des multimodaux se distingue ensuite entre les plus de 60 ans, retraités/préretraités, vivant seuls, se déplaçant en marche à pied, et les moins de 30 ans, inactifs ou employés, ouvriers, vivant seuls ou en colocation, se déplaçant en deux-roues, marche à pied et/ou transports en commun.

Enfin, la seconde sous-classe des multimodaux distingue les plus de 30 ans, vivant en couple, actifs, se déplaçant en voiture, des moins de 30 ans, vivant chez leurs parents, élèves, étudiants, se déplaçant en 2/3 roues motorisé, marche à pied et/ou transports en commun.

Par conséquent, les variables les plus discriminantes, découpant successivement les différentes classes sont (la répartition des variables dans les différentes classes est présentée en annexe G) :

- les besoins de déplacement, plutôt associés à la catégorie de la commune d'habitation et donc à la disponibilité ou non d'infrastructures de transport à proximité du domicile,
- le mode utilisé (voiture/autres modes),
- la situation de famille (seul/en couple), plutôt associée au niveau de revenu et à la motorisation,
- l'âge fortement lié au statut d'activité.

4. Conclusion

Ce chapitre, dédié à l'analyse fine des habitudes de mobilité quotidiennes, nous a permis de mettre en évidence les différentes variables décrivant les ménages et déterminant leurs choix modaux. Grâce à l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobiles du BIPE (octobre 2010), nous avons ainsi réalisé des statistiques descriptives à partir des motifs et modes de déplacement quotidiens, de leur distance et de leur durée, et décrivant les besoins

de mobilité des ménages français, afin de mettre en évidence la répartition modale (ou de combinaison de modes) la plus significative du point de vue statistique. Le découpage le plus pertinent à étudier prend ainsi en considération l'usage exclusif de la voiture, le recours au deux-roues, au vélo, à la marche, aux transports en commun, ainsi qu'aux combinaisons marche-transports en commun, voiture-marche, et voiture-autres modes.

Des statistiques bi-variées ont ensuite été réalisées afin de croiser deux à deux l'usage de ces différents modes (ou combinaisons de modes) avec les principales variables socio-démographiques décrivant les ménages, leur motorisation, ou encore l'offre de transport dont ils disposent. Ainsi, nous montrons que les usagers de la voiture (exclusivement ou combinée à d'autres modes) sont largement surreprésentés parmi les ménages motorisés (inversement pour les autres modes), les ménages résidant en milieu rural, périurbain, banlieue et petites villes de province. En outre, il s'agit plus souvent d'hommes, entre 30 et 60 ans, actifs, en couple et avec des enfants.

Enfin, la méthode statistique d'analyse des données a été utilisée afin de construire des profils de mobilité et d'équipement automobile des ménages français sur la base de l'ensemble de leurs caractéristiques principales. Ainsi, nous mettons en évidence sept profils aux attitudes semblables. Par ailleurs, les variables permettant la différenciation entre ces classes, et donc les plus discriminantes des comportements observés sont les besoins de déplacement, plutôt associés à l'offre de transport à proximité du domicile, le mode de déplacement utilisé (voiture/autres modes), la situation de famille (plutôt associé au niveau de revenu et à la motorisation) et l'âge fortement lié au statut d'activité.

Ce chapitre se présente donc comme une analyse préliminaire à la construction d'un modèle logit multinomial permettant de mesurer le poids de chacune de ces variables dans les choix modaux en général, et d'expliquer le choix de la voiture partagée plus précisément.

Chapitre 5 - Voiture personnelle ou modes alternatifs ? Prédire de potentiels transferts modaux à l'aide d'une approche économétrique

Comme nous l'avons vu précédemment la mobilité des ménages français est caractérisée par la prépondérance automobile. Cependant, celle-ci est aujourd'hui remise en question. Ainsi, les transports en commun sont de plus en plus plébiscités en milieu urbain et de nouveaux comportements d'usage automobile émergent, notamment dans le but de mutualiser les coûts à l'usage (covoiturage) ou à l'achat (autopartage). Dans un contexte où les voitures particulières (principalement utilisées par les ménages) représentent plus de la moitié des consommations routières de carburants et sont responsables de plus de la moitié des émissions de dioxyde de carbone du secteur des transports, la voiture partagée (covoiturage, autopartage) apparaît comme un exemple d'application du business model de l'économie de la fonctionnalité et permettrait de réaliser des économies d'énergie si elle venait en remplacement d'une possession automobile (comme nous l'avons démontré dans le chapitre 2). En outre, l'usage des transports en commun permet de diminuer les consommations d'énergie par tête. Il convient donc de s'interroger sur les déterminants des choix modaux des ménages français pour leurs déplacements locaux quotidiens, notamment l'importance de la voiture, pour prédire de potentiels transferts modaux de la voiture personnelle vers les modes alternatifs (transports en commun, deux roues ou encore voiture partagée).

A partir de données d'enquête (OMA, BIPE, novembre 2010), nous nous basons sur les variables les plus discriminantes des différents profils de mobilité mis en évidence dans le chapitre précédent afin d'estimer un modèle logit multinomial expliquant les choix modaux des ménages français. Ces derniers sont également déterminés par leurs caractéristiques propres (coûts et temps de transport par exemple) prises en compte dans un modèle logit conditionnel. A partir des modèles estimés, nous proposons des prévisions des parts modales à horizon 2020 et leurs appliquons des intervalles de confiance déterminés à partir d'une méthode de bootstrap.

Dans ce chapitre, nous présenterons une brève revue de la littérature sur les choix modaux des ménages et leurs déterminants. Puis nous décrirons la méthode ainsi que les données utilisées. Les résultats d'estimation des modèles seront ensuite présentés avant la quatrième section dédiée aux prévisions des parts modales des ménages français à horizon 2020 et aux éventuels transferts modaux. Enfin, les résultats d'estimation des modèles et de prévisions seront discutés.

1. Revue de littérature

De manière générale, la décision unique d'un individu parmi plusieurs alternatives non ordonnées est modélisée à travers les modèles logit multinomiaux. Ces modèles sont donc largement utilisés afin d'expliquer les choix modaux des individus.

Les modèles de choix modaux tels que ceux estimés par Train (1978), Carson (1994) ou plus récemment Hensher (2008) sont principalement construits à partir de données quantitatives décrivant les caractéristiques des différents modes (coûts, temps de transfert, temps de transport...). Ils peuvent alors être utilisés afin de tester les effets d'une politique de transport (construction d'une nouvelle route, création d'une nouvelle ligne de transports en commun, etc.). Ainsi, à partir d'un échantillon interrogé avant la mise en place du Bay Area Rapid Transit à San Francisco en 1973, Train (1978) a développé un modèle destiné à mesurer l'effet de ce service en terme de répartition modale. A partir de ce même type de modèle, Carson (1994) a cherché à savoir comment peut évoluer la part modale de la voiture si son coût d'usage augmente. De façon plus générale, les recherches sur les choix modaux ont mis en évidence que ceux-ci sont influencés par le niveau de services (différentiels de temps et de coûts de déplacement notamment), les caractéristiques des individus et des ménages telles que le niveau de revenu, l'équipement automobile ou encore la zone du lieu de résidence et du lieu de travail (Stopher et Meyberg, 1975 ; Koppelman et Pas, 1980, Kanafani, 1983 ; Ben-Akiva et Lerman, 1985 ; Wachs, 1991).

Par ailleurs, les choix modaux peuvent être étudiés pour un type de trajet particulier, le plus souvent les déplacements domicile-travail. C'est en particulier ce qu'ont étudié Train (1978) à San Francisco, Hensher (2008) dans six villes australiennes, Liu (2007) à Shangaï, Khattak et de Palma à Bruxelles (1997).

Certains ce sont également intéressés aux impacts des évènements inattendus sur le choix modal. Ainsi, Khattak et Le Colletter (1994), et Khattak et al. (1994) ont pu montrer que des temps de trajets en voiture plus longs qu'à l'habitude peuvent inciter les automobilistes à utiliser les transports en commun. Par ailleurs, Khattak et de Palma (1997) ont montré que des conditions météorologiques défavorables incitent la moitié des automobilistes bruxellois à changer leur horaire de départ ou bien leur itinéraire.

Il peut également être question de l'interdépendance entre le choix du mode de transport et du motif de déplacement, et notamment de l'organisation des trajets en fonction de l'emploi du temps de la journée. Toute une partie de la littérature s'intéresse ainsi aux choix modaux sur la base de l'activité des ménages (activity-based demand model). Damm (1983), Golob

et Golob (1983), ou encore Kitamura (1988) ont réalisé une revue de la littérature sur ce sujet. On retient essentiellement que Pas (1984) a montré que des facteurs démographiques tels que le statut d'activité, le genre ou la présence d'enfants dans le foyer ont des effets significatifs sur les activités et, par conséquent, les déplacements. Kitamura (1984) a identifié l'interdépendance entre les choix de destination dans les chaînes de déplacement. Bhat et Koppelman (1993) ont proposé un modèle d'analyse basé sur l'organisation des activités, l'emploi du temps. Plus spécifiquement et toujours sur la base de l'activité des ménages, les premiers modèles de chaînes de déplacement (tour-based models) ont été développés dans les années 70 et 80 aux Pays-Bas principalement (Daly et al., 1983 ; Gunn et al., 1987 ; Hague Consulting Group, 1992 ; Gunn, 1994). Ils ont ensuite été utilisés pour modéliser les déplacements dans différents pays et villes : Stockholm (Algers et al., 1995), Salerno, Italie (Cascetta et al., 1993), Boise, Idaho (Shiftan, 1995), le New-Hampshire (Rossi et Shiftan, 1997) ou encore Boston (Bowman et Ben-Akiva, 2001). Une conclusion essentielle mise en évidence par Krygsman et al. (2007) est qu'il existe des variations dans l'ordre du choix entre le mode et le motif de déplacement. Mais dans la majorité des cas, le choix du motif est réalisé avant celui du mode. Cela indique donc que le choix du mode dépend plutôt du motif et de la chaîne de déplacements envisagée.

Et c'est précisément de ce besoin de mobilité que nous sommes partis pour tenter d'expliquer les choix modaux, ainsi que de variables caractéristiques des individus et de variables caractéristiques des choix offerts (les coûts associés aux différents modes et les temps de transport).

2. Méthode et données

Comme nous l'avons décrit dans l'introduction de ce chapitre, de potentiels transferts modaux de la voiture personnelle vers les modes alternatifs (transports en commun et voiture partagée notamment) sont à prévoir. Le but de ce chapitre est donc d'expliquer les choix modaux des ménages français pour proposer des prévisions de parts modales à horizon 2020. Comme nous l'avons mis en évidence dans la section précédente, le choix du mode de transport est basé sur différents facteurs : les caractéristiques des modes et des ménages. De façon classique, les choix modaux sont modélisés à travers les modèles logit multinomiaux. Dans les trois prochaines sections, nous développons l'approche économétrique utilisée pour prévoir les parts modales, puis nous présentons les données considérées pour estimer les modèles logit multinomiaux.

2.1. Modèles empirique et théorie des choix discrets

Nous nous situons dans un cas où chaque individu i ($i=1,\dots,n$) a le choix y entre six alternatives : voiture personnelle (personnelle/d'entreprise), voiture partagée (louée/de quelqu'un d'autre), 2-3 roues motorisé, vélo, marche, transport en commun, d'où $j=0,\dots,m$ et $m+1=6$. Nous cherchons donc à étudier la décision unique d'un individu parmi ces six alternatives non ordonnées.

Dans la théorie microéconomique classique du consommateur, les individus sont censés maximiser leur utilité U , représentant leurs préférences, en achetant une quantité q de biens optimale compte tenu de leur contrainte budgétaire $pq=R$ (où p correspond au prix des biens et R au revenu des individus). La méthode de maximisation de l'utilité sous contrainte budgétaire ne peut être appliquée au cas du choix modal dans la mesure où les individus n'arbitrent pas sur des quantités de biens mais entre des options possibles. Les modèles de choix discrets peuvent alors être appliqués afin de modéliser des comportements de choix parmi un ensemble discret de choix possibles.

Dans le cas du choix modal, l'individu i compare donc les différents niveaux d'utilité associés aux différents choix et opte pour celui qui maximise son utilité parmi les $j=1,\dots,6$ choix.

Pour l'individu i , l'utilité du choix j est :

$$U_{ij} = f(\beta X_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Où β est un vecteur de paramètres inconnus, X_{ij} un vecteur de caractéristiques individuelles ou de caractéristiques propres aux différents choix et ε_{ij} un terme d'erreur aléatoire.

La théorie microéconomique du choix du consommateur fait l'hypothèse que les individus sont rationnels, disposent d'une information parfaite, font partie d'une population homogène, que l'ensemble des choix offerts est exhaustif et fini, et que les modalités sont mutuellement exclusives. Autrement dit, chaque individu ne peut choisir qu'une et une seule modalité. Ainsi, l'individu maximise son utilité et la probabilité que l'individu i choisisse le mode j correspond donc à la probabilité que l'utilité de j soit supérieure à celle associée à tous les autres modes. Par exemple, pour $j=0$:

$$\text{Prob}(y_i=0)=\text{Prob} (U_{i0} > U_{i1}, U_{i0} > U_{i2}, \dots U_{i0} > U_{im}) \quad (2)$$

2.2. Modèle logit multinomial

Les modèles logit multinomiaux sont des modèles de choix probabilistes dont l'utilisation essentielle est de rendre compte de choix individuels en présence d'utilité stochastique. Ces modèles à choix discrets postulent donc que la probabilité qu'un individu choisisse une option est fonction de ses caractéristiques individuelles, ainsi que des caractéristiques des choix offerts. Introduit à la fin des années 60 par McFadden (1968) et Theil (1969), le terme de modèle logistique multinomial est dû à Nerlove et Press (1973). Ce modèle multinomial a été développé à la suite des premiers modèles binaires (deux choix : occurrence ou non d'un évènement) développés en biologie, sociologie ou psychologie.

Il a été utilisé pour de multiples applications et notamment au cas du choix d'une profession (Boskin, 1974 ; Schmidt et Strauss, 1975) ou de la participation au marché du travail (Killingsworth et Heckman, 1986 ; Pencavel, 1986 ; Rodgers, 1989).

Il a également largement été appliqué aux choix modaux.

Il existe trois types de modèles multinomiaux en fonction de la variable à expliquer :

- ordonnés : les valeurs prises par les variables multinomiales sont ordonnées,
- séquentiels : les choix sont effectués selon une séquence bien précise, le plus souvent dans le temps, et dont les réalisations successives conditionnent l'ensemble des modalités futures,
- non ordonnés : les valeurs prises par les variables ne sont pas ordonnées.

De même, on distingue les modèles multinomiaux selon la distribution du terme d'erreur qui peut être logistique (modèle logit) ou normale (modèle probit). Les deux méthodes donnent des résultats similaires mais la première est plus souvent utilisée dans la mesure où l'estimation du modèle probit est très complexe. C'est la raison pour laquelle nous ne présentons ici que les modèles logit sous leurs différentes formes.

Dans le cas étudié, il s'agit d'un modèle non ordonné et l'on distingue le modèle logit multinomial indépendant (ou logit multinomial) et le modèle logit conditionnel. La distinction repose essentiellement sur la nature des variables retenues : des caractéristiques propres aux individus dans le premier cas et des caractéristiques des différentes options possibles dans le second.

Modèle logit non ordonné

Le cas du choix entre différents modes de transport est représenté à travers le modèle multinomial non ordonné. En effet, les modalités possibles de Y (choix du mode de transport parmi 6 alternatives) n'est le reflet d'aucun classement ou d'aucune hiérarchie sous-jacente.

Ce contexte privilégie l'approche en terme de fonction d'utilité. On retrouve ainsi l'expression du modèle empirique. Supposant que chaque modalité j induit un niveau de satisfaction U_{ij} , l'individu choisi la modalité j qui maximise son utilité U_{ij} . L'utilité que retire un individu i de la modalité j n'est pas la même que celle que retirerait un autre individu i' de cette même modalité. L'utilité varie selon une fonction déterministe V_{ij} , ainsi qu'une variable aléatoire ε_{ij} :

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}.$$

Mais il convient d'être prudent : bien que les utilités retirées d'une même modalité puissent être différentes d'un individu à l'autre, l'expression de la fonction d'utilité est la même pour tous les individus. Par ailleurs, le jeu de coefficients β_j varie d'une modalité à l'autre, sauf à supposer que toutes les occurrences sont équiprobables.

Ce modèle peut être rendu opérationnel si et seulement si on suppose que les erreurs aléatoires ε_{ij} sont indépendantes et statistiquement distribuées selon une loi de Weibull (McFadden, 1973) :

$$F(\varepsilon_{ij}) = \exp(e^{-\varepsilon_{ij}}) \quad (3)$$

Dans ce cas, la différence entre les erreurs suit une distribution logistique.

Loi de Weibull

Loi de probabilité continue couvrant toute une famille de lois, telle que les lois exponentielles ($k=1$) ou de Rayleigh ($k=2$), importantes en matière de processus stochastique.

Cette loi est principalement appliquée aux durées de vie, c'est-à-dire dans le cas où un taux évolue comme puissance du temps.

Il est ensuite nécessaire de trouver une forme fonctionnelle à la combinaison linéaire des x_{ij} dont dépend la probabilité que l'individu i, choisisse la catégorie j. Cette forme doit respecter les conditions d'une probabilité (probabilité comprise entre 0 et 1 et somme des probabilités égale à 1).

Pour assurer la stricte positivité, la forme exponentielle est privilégiée (ce qui par ailleurs fonde le modèle logit) et pour obtenir des valeurs inférieures à 1, la valeur est normée par la somme des $e^{\beta_k x_i}$.

Dans ce cas, la probabilité que l'individu i choisisse la modalité 0, c'est-à-dire la probabilité pour que l'utilité de l'individu i soit alors maximum est :

$$\text{Prob}(y_i=0) = \frac{e^{v_{ij}}}{\sum_{k=1}^m e^{v_{ik}}} \quad (4)$$

Tel quel, le modèle génère une indétermination levée par la normalisation $\beta_0=0$. Ainsi, chaque probabilité de choix est comprise entre 0 et 1 et la somme de ces dernières équivaut à 1.

Parmi les modèles non ordonnés, deux sous-catégories de modèles sont à distinguer selon que l'on satisfait ou non l'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes, ou hypothèse IIA.

Hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes

Dans le modèle logit multinomial, les probabilités de faire tel ou tel choix sont indépendantes les unes des autres, c'est-à-dire que le rapport p_{ij}/p_{ik} est indépendant des autres possibilités de choix restantes et ne dépend que des variables explicatives. Autrement dit, il n'est pas modifié par l'introduction d'une nouvelle alternative.

$$\frac{p_{ij}}{p_{il}} = \frac{\frac{e^{v_{ij}}}{\sum_{k=1}^m e^{v_{ik}}}}{\frac{e^{v_{il}}}{\sum_{k=1}^m e^{v_{ik}}}} = e^{(v_{ij}-v_{il})}$$

Ainsi, dans un modèle à 6 choix de modes de transport, les probabilités relatives entre le choix de la voiture ou des transports en commun sont toujours spécifiées de manière identique, quels que soient les autres choix possibles.

Mais cette hypothèse est parfois trop restrictive pour modéliser les comportements et ne s'applique pas dans tous les cas comme le montre l'exemple bien connu dans la littérature du bus bleu/bus rouge (Debreu, 1960).

Supposons que les individus aient le choix entre la voiture et un bus bleu, et que ces deux modalités aient la même fonction d'utilité, c'est-à-dire que ce choix est indifférent pour les individus. La probabilité de choisir la voiture P_v est donc égale à la probabilité de choisir le bus bleu P_{bb} : $P_v = P_{bb} = 1/2$ et $P_v/P_{bb} = 1$.

Si l'on introduit la possibilité de choisir un bus rouge et sous l'hypothèse IIA (pour Independence of Irrelevant Alternatives), l'estimation du modèle logit aboutit aux probabilités suivantes : $P_v = P_{bb} = P_{br} = 1/3$, d'où $P_v/P_{bb} = 1$ et $P_{bb}/P_{br} = 1$.

Cependant, dans la mesure où les individus ne préfèrent pas la voiture au bus et qu'ils sont plutôt indifférents à la couleur du bus, alors on devrait obtenir : $P_v = 1/2$ et $P_{bb} = P_{br} = 1/4$. Le modèle Logit n'est alors pas adapté à la description de cette situation : il sous-estime la probabilité de choisir la voiture et surestime celle de choisir le bus.

Dans les cas où le modèle Logit ne respecte pas l'hypothèse IIA, il est possible d'estimer un modèle logit emboîté (nested logit) prenant en compte les interdépendances entre les différentes modalités, ainsi que les substitutions possibles.

Ainsi, si l'hypothèse d'IIA n'est pas vérifiée, deux modèles alternatifs peuvent être utilisés : le modèle logit hiérarchisé ou le modèle probit multinomial.

D'autre part, suivant la forme de la fonction $v(x_{ij})$, plusieurs modèles peuvent être estimés :

- le modèle logit multinomial indépendant (ou logit multinomial) obtenu pour une fonction $v(.)$ linéaire dont les paramètres β_j diffèrent selon les modalités et dont les variables explicatives varient uniquement en fonction des individus : $v(x_{ij}) = x_{ij}\beta_j$,
- le modèle logit conditionnel obtenu pour une fonction $v(.)$ linéaire dont les paramètres β_j sont indépendants des modalités et dont les variables explicatives diffèrent selon les modalités et les individus : $v(x_{ij}) = x_{ij}\beta_j$,
- le modèle logit universel obtenu pour toute fonction $v(.)$ continue dont les paramètres β_j sont conditionnels aux modalités et à l'ensemble des variables explicatives du modèle : $v(x_{ij}) = v(\beta_j, x_{ij})$.

Modèle logit multinomial indépendant

La probabilité que l'individu i , compte tenu de ses caractéristiques x_i , choisisse le mode $j=0$ s'écrit :

$$\text{Prob}(y_i=0) = \frac{e^{v_{ij}}}{\sum_{k=1}^m e^{v_{ik}}} = \frac{e^{x_i \beta_j}}{1 + \sum_{k=1}^m e^{x_i \beta_k}} \quad (5)$$

L'estimation du vecteur ligne de paramètres β est obtenue par la méthode de maximisation de la Log vraisemblance de l'échantillon (Mc Fadden, 1968).

Ainsi, les choix des individus étant indépendants, la fonction de vraisemblance sur l'échantillon correspond au produit des probabilités individuelles $L(\beta)$:

$$L(\vec{\beta}) = \prod_{i=1}^N \prod_{k=1}^K P_{ij}$$

Si la variable dummy $d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i \text{ a choisit } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$, l'expression précédente peut s'écrire :

$$L(\vec{\beta}) = \prod_{i=1}^N \prod_{k=1}^K (P_{ij})^{d_{ij}}$$

D'où :

$$\text{Log } L(\vec{\beta}) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K d_{ij} \cdot \log P_{ij}$$

Enfin :

$$\frac{p_{ij}}{p_{ik}} = \frac{\frac{e^{x_i \beta_j}}{1 + \sum_{k=1}^m e^{x_i \beta_k}}}{\frac{1}{1 + \sum_{k=1}^m e^{x_i \beta_k}}} = e^{x_i \beta_j}$$

Autrement dit, si β_{kj} est positif, alors tout accroissement de la valeur x_{kj} contribue à rendre plus probable le choix de la modalité j par rapport à la modalité k .

Une fois les estimations des différents coefficients à disposition, il est possible de calculer :

- les effets marginaux d'une variable explicative x_i sur la probabilité pour que l'individu choisisse j :

$$\rho(P_{ij} | x_j) = (d\Phi(x_j \beta_k)) / (d(x_j \beta_k)) \cdot (\partial x_j \beta_k) / (\partial x_j) = \Phi'(x_j \beta_k) \cdot (\beta_{jk})$$

- l'élasticité de ce choix par rapport à x_i :

$$\varepsilon(P_{ij} | x_j) = (\partial P_{ij}) / (\partial x_j) \cdot x_j / P_{ij} = (d\Phi(x_j \beta_k)) / (d(x_j \beta_k)) \cdot (\partial (x_j \beta_k)) / (\partial x_j) \cdot x_j / (\Phi(x_j \beta_k))$$

A noter : les valeurs de l'effet marginal comme de l'élasticité dépendent du point à partir duquel on les mesure. Pour cette raison, on les calcule le plus souvent au point moyen.

Modèle logit conditionnel

Le modèle logit conditionnel a pour variables explicatives des caractéristiques z_j des choix j .

La définition du modèle logit multinomial conditionnel défini par McFadden (1973) est la suivante : la probabilité que l'individu i choisisse la modalité j est :

$$\text{Prob}(y_i=j) = \frac{e^{\beta z_{ij}}}{1 + \sum_{k=1}^m e^{\beta z_{ik}}} \quad (6)$$

$$\text{Où } z_{i,j}^* = x_{i,k} - x_{i,0}$$

L'étude du rapport des probabilités montre que l'hypothèse IIA est vérifiée :

$$\frac{p_j}{p_k} = \frac{p_{ij}}{p_{ik}} = \frac{e^{\beta z_{ij}}}{e^{\beta z_{ik}}} = e^{((z_{ij} - z_{ik})\beta)}$$

Ce rapport des probabilités est indépendant des alternatives autres que j et k .

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour estimer les paramètres d'un modèle logit conditionnel : maximum de vraisemblance, méthode des moments, méthode non paramétrique et semi-paramétrique.

Le coefficient ainsi obtenu s'interprète comme ceci : si le coefficient associé au coût par exemple est négatif, alors tout accroissement du différentiel de coût entre le choix k et le choix 0 contribue à réduire la probabilité de choisir k par rapport à 0.

L'intérêt de cette modélisation est de permettre le calcul de la probabilité d'une option virtuelle. Ainsi, il est possible de calculer la probabilité de choisir un mode de transport non existant jusqu'à présent dans la mesure où l'on est capable d'en évaluer le temps de transport ainsi que son coût.

Une fois les coefficients calculés, il est possible de calculer les variations marginales et les élasticités des probabilités par rapport aux différentes variables explicatives par rapport au point moyen.

Ainsi, en reprenant la définition du modèle logit conditionnel et en supprimant les indices pour alléger les notations nous obtenons :

$$\partial P(j/z) / \partial z_j = P(j/z) [1 - P(j/z)]\beta$$

$$\partial P(h/z) / \partial z_j = - P(j/z) P(h/z)\beta$$

Il est également possible de calculer les élasticités des probabilités :

$$E_j = \partial \ln P(j/z) / \partial \ln z_j = [1 - P(j/z)] \beta z_j$$

Indicateurs de qualité

Plusieurs indicateurs destinés à juger la qualité de l'ajustement du modèle aux données ont été construits.

Le coefficient ρ^2 ou pseudo- R^2 a été défini par McFadden (1973) et est égal à :

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ln L}{\ln L_0}$$

Où L est la valeur de la vraisemblance du modèle et L_0 la valeur de la vraisemblance du modèle réduite aux seuls termes constants, sans variables explicatives.

Mais ce coefficient n'est pas l'équivalent du coefficient de détermination R^2 du modèle linéaire dans la mesure où il n'en possède pas plusieurs propriétés. Il ne prend pas ses valeurs dans l'intervalle]0,1[et reste toujours faible.

Estrella (1998) a donc proposé un autre indicateur possédant les propriétés statistiques du R^2 égal à :

$$\Phi_0 = 1 - \frac{\ln L}{\ln L_0} \frac{-2 \ln L_0}{n}$$

Où n est la taille de l'échantillon.

Ces deux indicateurs ont ensuite été améliorés. Ben-Akiva et Lerman (1985) ont ainsi proposé le coefficient $\hat{\rho}^2$ construit sur le rapport des vraisemblances corrigé du nombre de paramètres à estimer :

$$\hat{\rho}^2 = 1 - \frac{(\ln L - (K+1) \times (J-1))}{\ln L_0}$$

De même, Estrella a proposé un indicateur ajusté :

$$\Phi^{a_0} = 1 - \frac{\ln L - (K+1) \times (J-1)}{\ln L_0} \frac{-2 \ln L_0}{n}$$

Un indicateur de la capacité prédictive du modèle peut également être calculé. Il s'agit de comparer les probabilités prédites par le modèle et les probabilités réelles observées sur les données.

Nous évaluons ensuite les estimations obtenus à partir d'un ensemble de tests statistiques portant sur les coefficients ainsi que sur l'ensemble du modèle.

Tests de validité

- Test de Student

Le calcul de la statistique de test t de Student nous permet de tester la significativité d'un coefficient β_j , c'est-à-dire sa non nullité.

Soit t :

$$t = \frac{\hat{\beta}_j}{S_j} \sim N(0,1)$$

où $\hat{\beta}_j$ est le coefficient estimé et S_j son écart type.

La statistique de test t est comparée à la valeur critique dans la table de la loi normale (1,96 pour un intervalle de confiance de 95%). Si t est supérieur à cette valeur critique, alors on rejette l'hypothèse de nullité du coefficient estimé et le coefficient est donc significatif.

- Signe des coefficients

Il s'agit de vérifier que les signes des coefficients estimés sont conformes à ce que l'on pouvait prévoir.

- Test de l'hypothèse IIA

Il s'agit de vérifier l'hypothèse d'indépendance d'une alternative non pertinente qui valide la forme du modèle Logit.

Cette hypothèse peut être testée (Hausman et Mc Fadden, 1984). Ainsi si l'IIA est valide, alors les paramètres des modèles estimés sur plusieurs sous-ensembles de l'échantillon total ne doivent pas être statistiquement différents. Autrement dit, si une sous-partie des choix est non pertinente alors son omission dans le modèle ne change pas les estimations des paramètres, de même que l'ajout de choix est inefficace mais ne rend pas pour autant le modèle non significatif.

Le test consiste en l'estimation d'un modèle sur l'ensemble des modalités puis sur un sous-ensemble de modalités. Ainsi, on note $\hat{\beta}_s$ les coefficients estimés sur le sous-modèle et $\hat{\beta}_g$ les estimations pour le même sous-vecteur de coefficients, obtenues à partir du modèle global.

Les matrices de variance-covariance \hat{V}_s et \hat{V}_g sont définies de la même manière.

La statistique de test est la suivante :

$$s = (\hat{\beta}_s - \hat{\beta}_g)' (\hat{V}_g - \hat{V}_s)^{-1} (\hat{\beta}_s - \hat{\beta}_g)$$

Sous l'hypothèse nulle, la statistique s suit une loi du χ^2 dont le nombre de degrés de liberté est égal au rang de la matrice $\hat{V}_g - \hat{V}_s$. Si la statistique s est supérieure à la valeur critique trouvée dans la table du χ^2 on rejette l'hypothèse nulle, la propriété IIA n'est donc pas vérifiée. Il convient alors d'employer la méthode d'estimation d'un modèle logit emboîté.

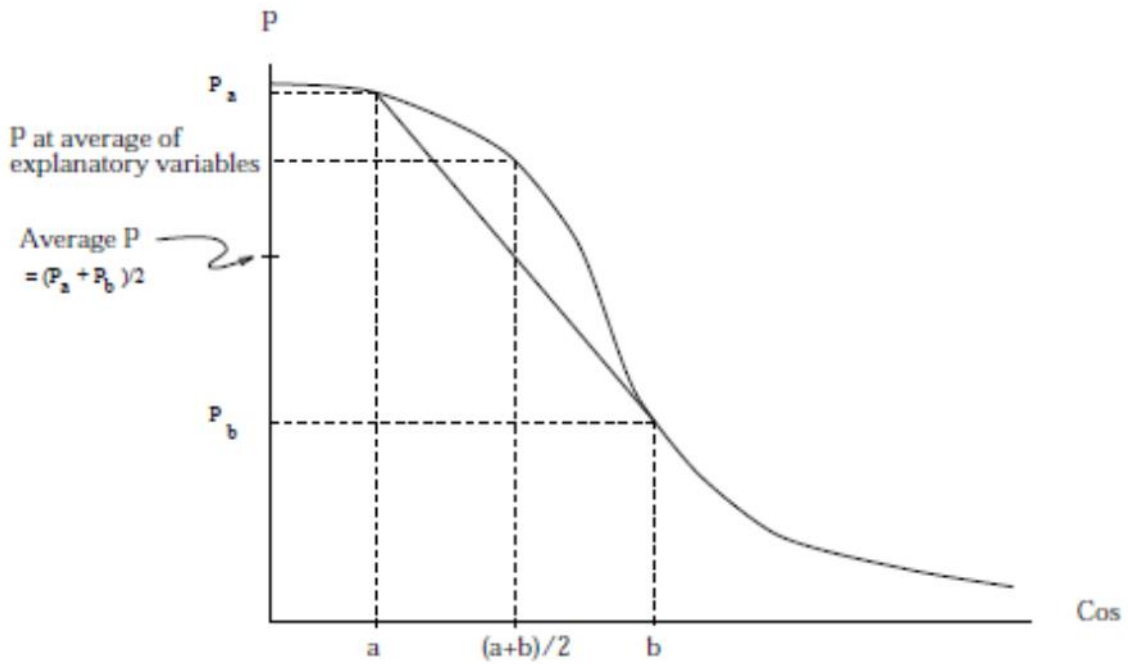
Mais selon Hausman et McFadden (1984), l'IIA est théoriquement peu vraisemblable dans de nombreuses applications. Toutefois, il précise que l'expérience empirique montre que le modèle logit multinomial est relativement robuste dans de nombreux cas, ce qui conserve une certaine validité opérationnelle à l'utilisation répandue de ces modèles.

2.3. Les intervalles de prédictions bootstrap

Une fois le modèle logit multinomial estimé, des prévisions peuvent être réalisées. Pour cela, nous considérons un jeu de données concernant les valeurs futures des variables explicatives X_i à partir desquelles nous pouvons prédire la probabilité de choisir chacun des modes de transport $\text{Prob}(y_i=j)$. Mais dans le cas d'un modèle logit, il est seulement possible de proposer des prévisions pour un individu supplémentaire respectant en moyenne les évolutions présentées précédemment concernant les variables explicatives. Or comme le montre la figure 35, la distribution de la probabilité n'étant pas linéaire, la probabilité moyenne prédite par le modèle n'est pas égale à la probabilité à la moyenne des variables explicatives. Il est donc impératif de fournir des prédictions avec intervalles de confiance. Pour ce faire, nous utilisons la méthode de bootstrap par paires des données de notre échantillon.

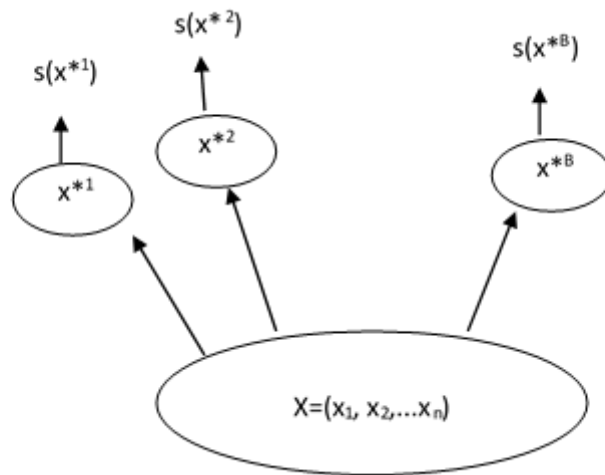
Le principe du bootstrap consiste à tirer avec remise B échantillons aléatoires de taille N dans l'échantillon des données d'origine de manière à construire la fonction de répartition empirique bootstrap d'une statistique considérée comme décrit dans la figure 36.

Figure 35 – La probabilité à la moyenne des variables n'est pas égale à la probabilité moyenne



Source : Laboratoire d'économétrie, Université de Californie, Berkley, 2000

Figure 36 – Schéma du processus bootstrap



Source : d'après Efron et Tibshirani (1993), page 13

B échantillons bootstrap sont générés à partir des données d'origine X. Chaque échantillon bootstrap $x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*B}$ contient N éléments générés par tirage aléatoire avec remise dans l'échantillon d'origine X. Sur chaque échantillon bootstrap $x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*B}$ une statistique considérée s est calculée et on obtient la distribution empirique des $s(x^{*B})$.

Dans le cas d'un modèle économétrique, on répète un grand nombre de fois un tirage aléatoire avec remise de N individus de la population d'origine de manière à obtenir B échantillons bootstrap. On estime le modèle sur chacun des b ($b=1, \dots, B$) échantillons de manière à obtenir une distribution empirique des probabilités prédites par le modèle.

Plus précisément, dans le cas d'un modèle de régression linéaire de type $Y = X\beta + \varepsilon$ avec Y un vecteur $(n,1)$ de variables à expliquer, X une matrice (n,p) de variables explicatives, β le vecteur des coefficients à estimer $(p,1)$ et ε le vecteur des erreurs aléatoires $(n,1)$, deux méthodes bootstrap sont envisageables :

- Le bootstrap des résidus

A chaque itération b ($b=1, \dots, B$), un échantillon des Y^* est constitué à partir du modèle théorique bootstrap $Y^* = X\beta + u^*$ (où β sont les estimateurs du modèle et u^* est un terme aléatoire issu des résidus \hat{u} de la régression initiale). Un nouveau couple (Y^*, X) est alors disponible pour réaliser une estimation des paramètres de la régression β .

- Le bootstrap par paires

Cette méthode consiste à rééchantillonner dans les données d'origine les paires (x, y) .

A chaque itération b ($b=1, \dots, B$), le vecteur Y et la matrice X sont reconstruits grâce aux n tirages aléatoires avec remise des paires (x, y) et les coefficients du modèle sont estimés, permettant d'en obtenir la distribution statistique.

Dans notre cas précis, à chaque itération, le modèle logit a été estimé et les probabilités prédites pour chaque mode de transport ont été conservées afin d'en obtenir la fonction de répartition.

Le bootstrap des paires est moins sensible aux hypothèses que le bootstrap des résidus et est plus robuste dans la mesure où ce sont les individus (les paires) qui sont tirés de façon aléatoire sans fixer de modèle à priori, alors que le bootstrap des résidus est soumis à l'hypothèse forte que le modèle estimé est vrai.

En outre, il est préférable de fournir des intervalles de confiance lors de la réalisation de simulations ou de prévisions, ce qui permet de rendre compte de leur précision. En effet, l'intervalle de confiance permet de déterminer dans quelle mesure l'estimation peut se rapprocher ou s'éloigner de la vérité.

De manière générale, les intervalles de confiance standard d'un paramètre θ sont calculés de la manière suivante :

$$[\theta^* - \sigma_{(\theta)} \cdot t_{(1-\alpha), n-p} ; \theta^* + \sigma_{(\theta)} \cdot t_{(\alpha), n-p}]$$

où $\sigma_{(\theta)}$ est l'écart-type du paramètre θ et t sont les quantiles (α) et $(1-\alpha)$ de la distribution de Student à $n-p$ degrés de liberté.

Les intervalles de confiance bootstrap sont calculés selon deux méthodes principales : les approches percentile et percentile-t.

- La méthode percentile

Cette méthode consiste à trier les variables d'intérêts θ dont la répartition a été obtenue par bootstrap par ordre croissant. Pour un degré de confiance $(1-2\alpha)$, l'intervalle de confiance du paramètre est alors :

$$[\theta^*(\alpha B), \theta^*((1-\alpha)B)]$$

$\theta^*(\alpha B)$ représente αB -ième valeur de la liste ordonnée des B réplifications bootstrap. Il s'agit donc des valeurs telles que $\alpha\%$ des réplifications ont fourni des θ^* plus petits (grands).

- La méthode percentile-t

Cette méthode est proche de la construction des intervalles de confiance standards.

Les intervalles de confiance sont :

$$[\theta^* - \sigma_{(\theta)} \cdot t'_{(1-\alpha), n-p} ; \theta^* + \sigma_{(\theta)} \cdot t'_{(\alpha), n-p}]$$

où $\sigma_{(\theta)}$ est l'écart-type du paramètre θ et t' sont les quantiles (α) et $(1-\alpha)$ de la distribution des z^*_j , variables aléatoires définies comme :

$$z^*_j = (\theta^*_j - \theta^*) / \sigma_{(\theta)}$$

Cette méthode utilise donc une statistique pivot nous permettant de nous passer de l'hypothèse de normalité. En effet, cette procédure estime directement la distribution des Z à partir des données de l'échantillon. Cette table est ensuite utilisée pour construire des intervalles de confiance à la manière d'une loi normale ou de Student.

A partir de notre échantillon initial de 1413 individus, nous avons répliqué 1000 échantillons bootstrap sur lesquels nous avons estimé le modèle logit multinomial indépendant (Efron et Tibshirani, 1993, préconisent d'effectuer 1000 réplifications pour obtenir des intervalles de confiance bootstrap).

A partir de la distribution empirique des probabilités prédites par le modèle pour les 6 choix modaux, des intervalles de prédiction selon la méthode percentile ont été construits.

2.4. Données et statistiques descriptives

Comme nous l'avons décrit dans la revue de littérature, les choix modaux dépendent des besoins de transport, des caractéristiques des individus et des ménages, ainsi que des caractéristiques des différents modes de transport. Autrement dit, ces choix sont déterminés par des données individuelles basées sur des enquêtes. Afin d'expliquer les choix modaux des ménages français, nous nous sommes donc principalement basés sur un échantillon de 1413 personnes interrogées en octobre 2010 dans le cadre de l'Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobile (OMA) du BIPE. Nous prenons en compte trois principales questions (cf. questionnaire en annexe B) concernant les modes de transport utilisés un jour de semaine normal (il s'agit du principal mode de transport utilisé), le mode associé à chaque motif de déplacement et la distance parcourue avec les différents moyens de transport. Ainsi, nous définissons les besoins de transport comme les distances à parcourir pour les différents motifs de déplacement.

La variable à expliquer est le choix modal un jour de semaine normal qui comporte dans un premier temps cinq modalités (voiture, 2-3 roues motorisé, vélo, marche, transports en commun), une distinction étant ensuite observée entre la voiture personnelle (privée ou d'entreprise) et la voiture partagée (louée-autopartage/de et avec quelqu'un d'autre-covoiturage). Nous prenons en compte le mode de transport principal c'est-à-dire celui avec lequel l'individu parcourt la plus grande distance. Les statistiques descriptives concernant ces choix modaux sont confidentielles.

L'analyse des correspondances multiples réalisée dans le chapitre précédent nous a montré que les variables les plus discriminantes sont : les besoins de déplacement/les distances à parcourir (en km/motif), le type de zone de la commune de résidence (densité), la situation de famille (célibataire, en couple, en cohabitation/colocation), la motorisation, l'âge, le statut d'activité et le revenu.

Deux variables explicatives sont continues : les besoins de déplacement, c'est-à-dire les distances parcourues mesurées en kilomètre et l'âge mesuré en années. La variable statut d'activité est binaire : inactif/actif.

De manière générale, les résultats d'un modèle logit multinomial sont assez complexes à interpréter. En effet, il est nécessaire de choisir, pour la variable à expliquer, ainsi que pour chaque variable explicative qualitative, une modalité de référence par rapport à laquelle les résultats de l'estimation sont interprétés. Afin d'éviter cette complexité, les variables explicatives qualitatives retenues ont été assimilées à des variables quantitatives continues.

En effet, la variable zonage par exemple présente les modalités 1 à 7, allant de Paris au milieu rural, autrement dit de la densité d'habitation la plus forte à la plus faible. De même, la situation de famille présente les modalités seul, célibataire (1), en couple (2) et en cohabitation ou colocation (3) ce qui correspond au nombre de personnes dans le foyer. De la même manière, la variable motorisation découpée entre 0 voiture, 1 voiture, 2 voitures ou plus correspond au nombre de voitures à disposition dans le ménage. Enfin, la variable revenu est découpée en classes continues.

En outre, il est possible de modéliser les choix modaux à partir de leurs caractéristiques propres : leurs coûts ou encore le temps de transport. La dépense supportée par le voyageur pour les transports en commun en France a été calculée pour la Fédération Nationale des Usagers des Transports (Beauvais consultants, 2012). En outre, les coûts associés à la voiture personnelle et au deux-roues motorisé correspondent aux montants retenus par l'administration fiscale pour la déduction des frais réels sur les impôts sur le revenu²⁶. Concernant la voiture partagée, nous lui attribuons la moitié du coût de la voiture personnelle. Il s'agit d'une approximation entre le covoiturage concernant deux personnes ou plus (dans ce cas le coût de la voiture partagée peut être divisé par plus de deux) et l'autopartage dont le prix est généralement supérieur à la moitié du coût de la voiture personnelle. Les coûts associés à la marche et au vélo sont nuls. Pour l'année 2010, les hypothèses retenues pour les coûts associés aux différents modes de transport sont présentées dans le tableau 23.

Tableau 23 – Hypothèses sur les coûts associés aux différents modes de transport (dépenses par voyageur en centimes€/km)

Mode	Coût (centimes€/km)
Voiture personnelle	53
Voiture partagée	27
2-3 roues motorisé	33
Vélo	0
Marche	0
Transports en commun	
Ile-de-France	11
Villes de province	13
TER	6

Source : Beauvais consultants (2012), impôts.gouv.fr (consulté en juin 2013)

Enfin, le temps nécessaire à chaque mode de transport pour réaliser un trajet a également été pris en compte afin d'expliquer le choix entre les différents modes de transport. Il a été calculé à partir de la distance à parcourir et de la vitesse moyenne associée à chacun des

²⁶ impôts.gouv.fr

modes présentée dans le tableau 24 (ces deux variables étant celles observées en moyenne lors de la vague de novembre 2010 de l'OMA) :

Tableau 24 – Vitesses moyennes associées aux différents modes de transport

Mode	Vitesse moyenne (en km/h)
Voiture personnelle	42
Voiture partagée	42
2-3 roues motorisé	42
Vélo	23
Marche	8
Transports en commun	33

Source : calculs d'après OMA, BIPE, novembre 2010

Le modèle est estimé à l'aide du logiciel SAS 9.4 et grâce aux procédures *logistic* et *Mdc*²⁷.

3. Résultats

La variable à expliquer étant une variable qualitative présentant un nombre limité de modalités non ordonnées, nous utilisons un modèle de choix discret : le modèle logit multinomial.

Plus précisément, nous utilisons deux types de modèle logit : multinomial simple ou indépendant, et conditionnel. La distinction entre ces deux types de modèles repose essentiellement sur la nature des variables explicatives retenues. Le premier intègre des variables explicatives qui sont des caractéristiques des individus, alors que le second intègre des variables explicatives qui sont des caractéristiques des choix offerts et donc qui diffèrent selon les modalités de la variable à expliquer et selon les individus (le coût de transport essentiellement).

3.1. *Modèle logit multinomial*

Dans un premier temps, nous cherchons à estimer un modèle logit multinomial expliquant le choix modal entre cinq modes différents (voiture, 2-3 roues motorisé, vélo, marche, transports en commun) par les variables explicatives distance à parcourir, densité de la zone d'habitation, motorisation du ménage, âge de l'individu, situation de famille, statut d'activité de l'individu et revenu du ménage. La distance à parcourir correspond au log des kilomètres parcourus chaque jour avec le mode de transport principal, la densité de la commune de résidence est un indice allant de 1 pour Paris à 7 pour le milieu rural, la motorisation du

²⁷ Les traitements SAS sont disponibles sur demande auprès de l'auteur

ménage correspond à trois cas : le ménage n'a pas de voiture, une voiture, ou deux voitures ou plus, la situation de famille renvoie à trois cas également : célibataire, en couple ou en famille/cohabitation, enfin le statut d'activité est représenté par une variable binaire : 1 si la personne est active, 0 sinon. A chacune de ces variables explicatives sont associés à priori cinq paramètres, chacun mesurant l'effet de la variable sur le choix de l'un des cinq modes de transport. Mais la condition d'identification du modèle impose d'annuler tous les paramètres associés à une catégorie que l'on choisit comme catégorie de référence. Dans ce cas, nous choisissons la voiture afin de pouvoir mesurer l'effet des variables explicatives sur la probabilité de choisir un mode de transport plutôt que la voiture.

Un premier modèle est estimé avec l'ensemble des variables explicatives citées. Les indicateurs de qualité du modèle sont assez bons (ρ^2 de McFadden : 0.55 et indicateur d'Estrella, indicateur plus proche du coefficient de détermination R^2 du modèle linéaire : 0.92), mais les indicateurs de significativité associés aux paramètres de revenu sont trop élevés pour que l'on puisse affirmer que ce dernier a un effet sur le choix modal dans l'échantillon que nous étudions. Cette conclusion ne peut être généralisée à la population totale dans la mesure où la significativité des paramètres dépend de la taille de l'échantillon. Nous décidons tout de même de retirer le revenu des variables explicatives.

Le nouveau modèle estimé présente des indicateurs de qualité identiques ce qui indique que la variable revenu n'avait pas d'effet important sur le choix modal dans l'échantillon d'étude. Dans le tableau 25, les paramètres de la constante prennent en compte le fait que les catégories ne sont pas également représentées. En outre, la distance a un effet négatif sur l'usage des modes alternatifs à la voiture : plus la distance à parcourir est importante et plus on choisira la voiture. De même, plus la densité de la commune d'habitation est faible, plus le ménage est motorisé, plus la personne est âgée, et plus on utilisera la voiture. Contrairement à l'intuition, plus il y a de personnes dans le ménages et plus les modes alternatifs à la voiture sont utilisés. Cela s'explique par le fait que, s'il y a par exemple une seule voiture dans un ménage de quatre personnes et que cette voiture est toujours utilisée par la même personne, alors les autres se déplacent avec d'autres moyens de transport. Les statistiques descriptives nous ont déjà montré une forte relation entre le fait d'être en cohabitation/colocation et l'usage des modes alternatifs à la voiture. On a certainement ici un effet de construction, la modalité "en cohabitation/colocation" regroupant clairement les personnes en colocation ou les enfants vivant chez leurs parents.

Tableau 25 – Paramètres estimés – Modèle à cinq choix

Variable	2-3 roues	Vélo	Marche	Transports en commun
Constante	3.2857*** (1.1514)	6.4928*** (1.0187)	6.2422*** (0.7206)	4.8740*** (0.5725)
Distance à parcourir	-0.6785*** (0.2188)	-1.8303*** (0.2154)	-2.3194*** (0.1449)	-0.6920*** (0.0933)
Densité de la commune d'habitation	-0.2580** (0.1164)	-0.2642*** (0.1056)	-0.2232*** (0.0653)	-0.4987*** (0.0546)
Motorisation (nombre de voiture dans le ménage)	-3.8146*** (0.4227)	-2.9380*** (0.3551)	-1.5580*** (0.2146)	-1.9083*** (0.1795)
Age	-0.0749*** (0.0155)	-0.0549*** (0.0106)	-0.0160** (0.00711)	-0.0265*** (0.005626)
Situation de famille (Nombre de personnes dans le foyer)	1.2203*** (0.2889)	0.7562*** (0.2958)	0.5567*** (0.2098)	0.7844*** (0.1551)
Statut d'activité (inactif/actif)	0.7325 (0.4534)	-0.3412 (0.3739)	-0.2758 (0.2514)	-0.3234* (0.1956)
Nombre d'observations		1413		
Log-vraisemblance		-1025		
ρ^2 de McFadden		55.03		
Indicateur d'Estrella		92.36		

La catégorie voiture est la référence

Ecart-type entre parenthèse

**** : significatif au seuil de 1% ; ** : significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 10%*

Enfin, la variable statut d'activité ne semble pas avoir d'effet significatif sur le choix modal.

Voyons maintenant si cela est vrai concernant la distinction entre la voiture personnelle ou la voiture partagée.

Nous avons désormais le choix entre six modes de transport (la voiture personnelle/d'entreprise étant la catégorie de référence) et estimons le modèle avec les mêmes variables que ci-dessus.

Tableau 26 – Paramètres estimés – Modèle à six choix

Variable	Voiture partagée	2-3 roues	Vélo	Marche	Transports en commun
Constante	-3.8070** (1.9152)	3.6326*** (1.0709)	6.1623*** (0.9501)	5.8934*** (0.6520)	4.5689*** (0.5291)
Distance à parcourir	-0.2625 (0.2946)	-0.6165*** (0.2174)	-1.8559*** (0.2151)	-2.3348*** (0.1451)	-0.7297*** (0.0920)
Densité de la commune d'habitation	0.3062 (0.1879)	-0.2449** (0.1145)	-0.2455** (0.1059)	-0.2080*** (0.0655)	-0.4802*** (0.0544)
Motorisation (nombre de voiture dans le ménage)	-2.6028*** (0.5760)	-3.8533*** (0.4233)	-3.0637*** (0.3527)	-1.6787*** (0.2157)	-2.0262*** (0.1811)
Age	-0.0107 (0.0170)	-0.0722*** (0.0140)	-0.0519*** (0.0102)	-0.0121* (0.006302)	-0.0233*** (0.005149)
Situation de famille (Nombre de personnes dans le foyer)	1.1477** (0.5057)	1.1749*** (0.2767)	0.8464*** (0.2909)	0.6427*** (0.2084)	0.8741*** (0.1534)
Nombre d'observations	1413				
Log- vraisemblance	-1079				
ρ^2 de McFadden	57.39				
Indicateur d'Estrella	95.3				

La catégorie voiture personnelle/d'entreprise est la référence

Ecart-type entre parenthèse

**** : significatif au seuil de 1% ; ** : significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 10%*

Les indicateurs de qualité du modèle sont assez bons (ρ^2 de McFadden : 0.58 et indicateur d'Estrella : 0.95), mais les indicateurs de significativité associés aux paramètres du statut d'activité sont trop élevés pour que l'on puisse affirmer que ce dernier a un effet sur le choix modal dans l'échantillon que nous étudions.

Nous décidons donc de retirer cette variable du modèle ce qui ne détériore pas la qualité de celui-ci comme le montre le tableau 26.

Seules les variables de motorisation et de situation de famille semblent avoir un effet sur le choix entre la voiture personnelle et la voiture partagée. Evidemment, une personne non motorisée ne pourra qu'utiliser la voiture partagée. Contrairement à l'intuition, l'âge ne semble pas avoir d'effet sur ce choix. La décision d'équipement semble donc être à approfondir.

Il importe tout de même de rester très vigilant avec ces conclusions dans la mesure où, sur l'échantillon observé, nous disposons de très peu d'individus utilisant la voiture louée/de quelqu'un d'autre.

L'interprétation des paramètres peut être plus précise si l'on regarde les rapports des probabilités relatives (ou odds ratio) estimés (calculés selon la formule suivante : $\exp[\text{paramètre estimé}]$).

Tableau 27 – Odds ratio

Variable	Voiture partagée	2-3 roues	Vélo	Marche	Transports en commun
Distance à parcourir	0.769	0.540	0.156	0.097	0.482
Densité de la commune d'habitation	1.358	0.783	0.782	0.812	0.619
Motorisation (nombre de voiture dans le ménage)	0.074	0.021	0.047	0.187	0.132
Age	0.989	0.930	0.949	0.988	0.977
Situation de famille (Nombre de personnes dans le foyer)	3.151	3.238	2.331	1.902	2.397

La catégorie voiture personnelle est la référence

Le tableau 27 montre que l'augmentation de la distance d'une unité diminue la chance de l'usage de tous les autres modes par rapport à la voiture personnelle : de 0.23 points (1-0.769) pour la voiture partagée, de 0.46 points pour le 2-3 roues motorisé, de 0.84 points pour le vélo, de 0.90 points pour la marche et de 0.52 points pour les transports en commun. Concernant la voiture partagée, ce résultat montre qu'à partir d'un certain niveau de besoin de déplacement, il est préférable de posséder sa voiture personnellement plutôt que de la

louer et que les individus sont donc bien rationnels : un certain niveau de distance à parcourir justifie l'achat automobile et une fois achetée, la voiture personnelle est utilisée pour être rentabilisée.

De même, la diminution de la densité de la zone d'habitation diminue cette même probabilité de 0.38 points pour les transports en commun à 0.19 points pour la marche, mais augmente la probabilité de l'usage de la voiture partagée. Ainsi, la baisse de la densité de la commune de résidence multiplie par 1.358 la probabilité d'utiliser la voiture partagée par rapport à la voiture personnelle. Cela signifie que la voiture partagée pourrait davantage se développer dans les zones peu denses où elle est déjà davantage répandue.

Une année supplémentaire diminue également cette probabilité : de 0.07 points pour le 2-3 roues motorisé à 0.01 points pour la voiture partagée.

Une voiture possédée supplémentaire diminue également cette probabilité : de 0.98 points pour le 2-3 roues à 0.81 points pour la marche. Autrement dit, la variable de motorisation est essentielle, son effet sur les probabilités de choisir les différents modes est le plus important, avec celui de la situation de famille. Autrement dit, une fois acheté, le véhicule est utilisé quasi exclusivement. Cette conclusion a déjà été largement démontrée dans la littérature (Ben-Akiva et Lerman, 1985; Kanafani, 1983; Koppelman et Pas, 1980; Stopher et Meyberg, 1975; Wachs, 1991).

Avec une personne supplémentaire dans le ménage, il y a 1.9 fois plus de chances de choisir la marche que la voiture personnelle ou encore 3.24 fois plus de chances de choisir le 2-3 roues. Ainsi, plus on est nombreux dans le ménage, même s'il est motorisé, et moins on a de chance d'utiliser la voiture.

Afin de faciliter l'interprétation en se passant de la catégorie de référence, il est également possible de calculer les effets moyens des variables (tableau 28). Le principe est de fixer toutes les variables explicatives sauf une. En la faisant varier, on cherche à estimer de combien de points augmente ou diminue en moyenne la probabilité de choisir tel ou tel mode de transport. On calcul donc des différences de probabilités prédites par le modèle ou dérivées moyennes dans le cas de variables continues, et non les paramètres estimés.

L'augmentation de la distance à parcourir augmente de 0.15 points en moyenne la probabilité d'utiliser une voiture personnelle/d'entreprise, de 0.0022 points en moyenne la probabilité d'utiliser une voiture louée/ de quelqu'un d'autre, de 0.0049 points en moyenne la probabilité d'utiliser un 2-3 roues motorisé, mais diminue de 0.02 points en moyenne la probabilité d'utiliser un vélo, de 0.14 points en moyenne la probabilité d'utiliser la marche et de 0.0022 points en moyenne la probabilité d'utiliser les transports en commun.

Tableau 28 – Effets moyens des variables sur les probabilités/dérivées moyennes

Variable	Voiture personnelle	Voiture partagée	2-3 roues	Vélo	Marche	Transports en commun
Distance à parcourir	0.1544093	0.0022432	0.0048511	-0.0199224	-0.1393765	-0.0022046
Densité de la commune d'habitation	0.0470693	0.0037639	0.00054865	0.00027372	0.00088473	-0.0525404
Motorisation (nombre de voiture dans le ménage)	0.2718331	-0.0132694	-0.0477211	-0.0387158	-0.0277781	-0.1443488
Age	0.0030383	0.00001866	-0.0011210	-0.0009111	0.00045313	-0.0014780
Situation de famille (Nombre de personnes dans le foyer)	-0.1091402	0.0064126	0.0117214	0.0056227	0.0114906	0.0738928

On peut également se demander si l'âge a un effet linéaire sur le choix modal, autrement dit, si passer de 49 à 50 ans a le même effet sur la probabilité de choisir la voiture personnelle que de passer de 29 à 30 ans. Pour prendre en compte les effets non linéaires des variables explicatives, nous découpons les variables en classes :

- Distance : inférieure à 10 km, entre 10 et 20 km, entre 20 et 30 km et plus de 30 km ;
- Age : moins de 30 ans, 30-39 ans, 40-49 ans, 50-59 ans, 60-69 ans et plus de 70 ans ;
- Motorisation : aucune voiture, une voiture, deux voitures ou plus ;
- Densité : Paris intramuros, pôle urbain de Paris hors Paris, grande ville-centre, petite ville-centre, banlieue, périurbain, rural ;
- Situation de famille : seul, en couple, en cohabitation/colocation.

Dans ce cas, les différences de probabilités sont celles présentées dans le tableau 29. Il montre qu'aucune variable n'a d'effet uniforme sur le choix modal.

De manière générale, la hausse des distances à parcourir augmente la probabilité d'utiliser la voiture ou le 2-3 roues motorisé et diminue celle d'utiliser le vélo ou la marche. Pour les transports en commun en revanche, l'effet est plus complexe.

Tableau 29 – Effets moyens des variables sur les probabilités/dérivées moyennes

Variable	Voiture personnelle	Voiture partagée	2-3 roues	Vélo	Marche	Transports en commun
Distance	0.1544093	0.0022432	0.0048511	-0.0199224	-0.1393765	-0.0022046
<10 km	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>
10-20 km	0.1305948	0.0080277	0.0248513	-0.0216843	-0.1417746	-0.0000149
20-30 km	0.2398656	0.0024131	0.0158909	-0.0091260	-0.2718819	0.0228384
>30 km	0.2722310	0.0069068	0.0057115	-0.0459986	-0.1594225	-0.0794282
Densité	0.0470693	0.0037639	0.00054865	0.00027372	0.00088473	-0.0525404
Paris intramuros	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>
Ile de France hors Paris	0.0543874	0.0081047	0.0045555	-0.0225119	0.0012760	-0.0458116
Grande ville-centre	0.1261268	0.0639398	-0.0184410	0.00058230	-0.0052105	-0.1669974
Petite ville-centre	0.1818641	0.0698728	-0.0232787	-0.0148017	0.0053402	-0.2189967
Banlieue	0.1573011	0.0671095	0.0010914	-0.0073226	-0.0556982	-0.1624813
Périurbain	0.1676947	0.0729965	-0.0004114	-0.0075666	0.0448204	-0.2775337
Rural	0.2801798	0.0737746	0.0097767	0.0018803	-0.0024201	-0.3631914
Motorisation	0.2718331	-0.0132694	-0.0477211	-0.0387158	-0.0277781	-0.1443488
Aucune voiture	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>
Une voiture	0.4073975	-0.0129068	-0.0481306	-0.0353055	-0.0764982	-0.2345564
Deux voitures ou plus	0.4480622	-0.0202667	-0.0729307	-0.0738134	-0.0516052	-0.2294463
Age	0.0030383	0.00001866	-0.0011210	-0.0009111	0.00045313	-0.0014780
<30 ans	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>
30-39 ans	0.0443299	-0.0028788	0.0080134	-0.0094750	0.0365007	-0.0764901
40-49 ans	0.0641673	0.0025815	-0.0100000	-0.0313944	0.0591366	-0.0844911

50-59 ans	0.0308500	-0.0008824	-0.0109398	-0.0169080	0.0290659	-0.0311857
60-69 ans	0.0958405	-0.0006724	-0.1771641	-0.0042327	0.0574734	0.0287552
>70 ans	0.1542761	0.0092693	-0.1814015	-0.0544733	0.0526248	0.0197046
Situation de famille	<i>-0.1091402</i>	<i>0.0064126</i>	<i>0.0117214</i>	<i>0.0056227</i>	<i>0.0114906</i>	<i>0.0738928</i>
Seul	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>	<i>ref</i>
En couple	-0.0376349	-0.0011657	0.0071347	0.0072211	0.0099178	0.0145269
Cohabitation/colocation	0.0194102	0.0135736	-0.1579142	0.0111985	-0.0207762	0.1345080

Par rapport à l'effet moyen des distances à parcourir, la probabilité d'utiliser la voiture personnelle/d'entreprise augmente à mesure que les distances à parcourir augmentent également : de 0.1306 points lorsque l'on a entre 10 et 20 km à parcourir (par rapport à avoir moins de 10 km à parcourir), puis de 0.1093 points (0.2399-0.1306) lorsque l'on a entre 20 et 30 km à parcourir et seulement de 0.324 points lorsque l'on a plus de 30 km à parcourir.

L'augmentation de la distance à parcourir augmente la probabilité d'utiliser une voiture louée/de quelqu'un d'autre de 0.008 points lorsque l'on a entre 10 et 20 km à parcourir, mais la diminue de 0.0056 points entre 20 et 30 km, puis l'augmente de 0.0044 points au-delà de 30 km (par rapport à avoir moins de 10 km à parcourir).

La valeur de -0.0022 qui mesure l'impact d'un kilomètre supplémentaire à parcourir sur la probabilité de choisir les transports en commun ne tient pas compte du fait qu'avoir entre 10 et 20 km à parcourir diminue cette probabilité, alors qu'avoir entre 20 et 30 km à parcourir (plutôt qu'entre 10 et 20km) l'augmente, et enfin que cette probabilité diminue lorsque les distances sont supérieures à 30 km.

La diminution de la densité de la commune d'habitation augmente la probabilité d'utiliser la voiture et diminue celle d'utiliser les transports en commun. Mais passer d'une petite ville-centre à la banlieue diminue cette probabilité, de même que celle de la marche alors qu'elle augmente la probabilité d'utiliser les deux-roues (motorisés ou non), ainsi que les transports en commun. Par ailleurs, passer du pôle urbain de Paris hors Paris à la grande ville-centre a un impact plus important (à la hausse comme à la baisse) sur toutes les probabilités (sauf la marche) que de passer de Paris au PUP hors Paris ou encore d'une grande ville-centre à une petite ville-centre. Par ailleurs, passer du milieu périurbain au milieu rural augmente la probabilité d'utiliser la voiture personnelle le plus fortement (+0.11 points). Enfin, passer du

PUP de Paris à une grande ville-centre et de la banlieue au milieu périurbain diminue le plus fortement la probabilité d'utiliser les transports en commun (-0.12 points en moyenne).

L'effet positif de la motorisation sur la probabilité d'utiliser la voiture personnelle/d'entreprise et négatif sur la probabilité d'utiliser les autres modes se retrouve. Mais le fait d'être multi-équipé a un impact moindre sur la probabilité d'utiliser la voiture personnelle/d'entreprise que le fait d'être mono-équipé. De même, posséder plusieurs voitures par rapport à n'en posséder qu'une diminue moins la probabilité d'utiliser la voiture louée/de quelqu'un d'autre et les transports en commun que posséder une voiture par rapport à ne pas en posséder du tout. Autrement dit, la motorisation est un déterminant important dans la mesure où elle semble systématiquement diminuer la probabilité d'utiliser d'autres modes de transport. Par ailleurs, posséder une seule voiture semble suffire.

L'impact de l'âge sur la probabilité d'utiliser les différents modes n'est pas du tout homogène. Être trentenaire (par rapport à avoir moins de 30 ans) augmente considérablement la probabilité d'utiliser la voiture personnelle/d'entreprise et diminue celle d'utiliser la voiture louée/de quelqu'un d'autre. Mais par la suite (être quarantenaire et cinquantenaire par rapport à être trentenaire et quarantenaire), les probabilités diminuent et augmentent respectivement. Enfin, elles augmentent toutes les deux par la suite. Comme le montrent les statistiques descriptives, l'autopartage et le covoiturage ne sont pas spécifiques aux jeunes.

Test de la propriété IIA

Afin de vérifier l'hypothèse IIA, nous avons réalisé le test proposé par Hausman et Mc Fadden (1984).

Ainsi, nous avons calculé la statistique de test s pour 5 sous-groupes (tableau 30) différents dans lesquels nous avons à chaque fois retiré une modalité (sauf la voiture personnelle qui est la catégorie de référence). Ainsi, nous considérons A_1 le sous-groupe excluant la voiture partagée, A_2 excluant le deux-roues, A_3 excluant le vélo, A_4 excluant la marche et A_5 excluant les transports en commun.

Comme montré par Hausman et Mc Fadden (1984), la statistique de test peut être négative, notamment dans le cas de petits échantillons. Cela ne remet alors pas en cause la propriété IIA.

Tableau 30 – Résultats du test de la propriété IIA

	S	p-value
A₁ : voiture partagée exclue du sous-groupe	Statistique négative	
A₂ : deux-roues motorisé exclu du sous-groupe	2,6645332	1,00
A₃ : vélo exclu du sous-groupe	Statistique négative	
A₄ : marche exclue du sous-groupe	6,0857236	0,99
A₅ : transports en commun exclus du sous-groupe	16,570484	0,87

Dans le cas des sous-groupes excluant le deux-roues motorisé, la marche et les transports en commun, la statistique de test suit une loi du χ^2 à 24 degrés de liberté (tableau 30). Dans le sous-groupe excluant le deux-roues motorisé, la statistique de test est inférieure à la valeur critique (à 99,5%) donc nous ne rejetons pas H_0 , la p-value=1 nous indique d'ailleurs que l'on a 100% de chance de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle d'indépendance. L'hypothèse IIA est donc bien vérifiée dans ce cas. De même, dans le sous-groupe excluant la marche, la statistique de test est inférieure à la valeur critique (à 99,5%) donc nous ne rejetons pas H_0 , la p-value=0,99 nous indique d'ailleurs que l'on a 99% de chance de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle d'indépendance. Enfin, dans le sous-groupe excluant les transports en commun, la p-value=0,87 nous indique que l'on a 87% de chance de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle. Nous ne rejetons donc pas l'hypothèse IIA au seuil de 87% et avons 13% de chances pour que notre modèle ne respecte pas cette propriété.

Dans ce cas, il conviendrait d'estimer un modèle logit emboîté. Cependant, l'estimation d'un tel modèle nécessite de disposer de variables explicatives variant d'un individu à l'autre, mais également d'un choix à l'autre, autrement dit de variables propres aux différents choix, aux différents modes de transport (Afsa Essafi, p. 85). Il est donc possible d'estimer un modèle logit emboîté seulement à partir d'un modèle conditionnel.

3.2. Modèle logit conditionnel

Afin de prendre en compte la rationalité économique des individus dans leurs choix modaux, nous avons estimé un modèle logit conditionnel, prenant en compte comme variables explicatives les caractéristiques des choix : le coût et le temps de transport dans notre cas.

Par ailleurs, nous introduisons également des constantes spécifiques à chaque mode de transport afin de prendre en compte leurs caractéristiques propres difficilement captées par ailleurs (le confort notamment).

Tableau 31 – Paramètres estimés et odds ratio du modèle logit conditionnel

Variable	Paramètres estimés	Odds ratio
Cs_VP_partagée	-4.2787*** (0.2931)	0.014
Cs_moto	-2.1629*** (0.1711)	0.042
Cs_vélo	-2.6704*** (0.1585)	0.069
Cs_marche	-0.4331*** (0.1155)	0.649
Cs-TC	-0.9830*** (0.0710)	0.374
Coût	-0.0016** (0.0008)	0.998
Temps	-0.0055*** (0.0007)	0.994
Nombre d'observations	1413	
Log-vraisemblance	-1573	
ρ^2 de McFadden	37.89	
Indicateur d'Estrella	81.57	

La catégorie voiture personnelle/d'entreprise est la référence

Ecart-type entre parenthèse

**** : significatif au seuil de 1% ; ** : significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 10%*

Le tableau 31 montre que les paramètres associés aux constantes sont tous négatifs ce qui confirme la préférence pour la voiture personnelle par rapport à tous les autres modes de transport, pour son confort, sa flexibilité...

Le paramètre associé à la variable de coût est négatif. Ainsi, un coût élevé n'incite pas, de manière générale, à la mobilité. Ce résultat montre donc que la mobilité est un besoin arbitrageable sur la base de son coût monétaire. De même, un temps de transport trop long n'incite pas non plus à la mobilité.

Ainsi, les odds ratios montrent que l'augmentation du coût du mode de transport d'un centime d'euro par kilomètre diminue de 0.005 points la probabilité de l'utiliser (1-0.995). De même, l'augmentation du temps de transport d'un mode d'une minute diminue de 0.006 points la probabilité de l'utiliser.

4. Prévisions à horizon 2020 et intervalles de prédictions bootstrap

L'idée de la simulation est d'essayer de prévoir les choix modaux à horizon 2020 à partir des modèles estimés. Dans l'idéal, nous disposerions d'un nouvel échantillon de population représentatif de la population française de 2020 qui nous permettrait, à partir des probabilités prédites par le modèle, d'obtenir la répartition modale en 2020. Mais nous devons nous contenter de réaliser des simulations à partir de "cas d'école". Pour essayer d'approcher au plus près de la réalité, nous fixons les principales variables explicatives en fonction de leur évolution la plus probable en moyenne à horizon 2020.

4.1. Le modèle logit multinomial indépendant

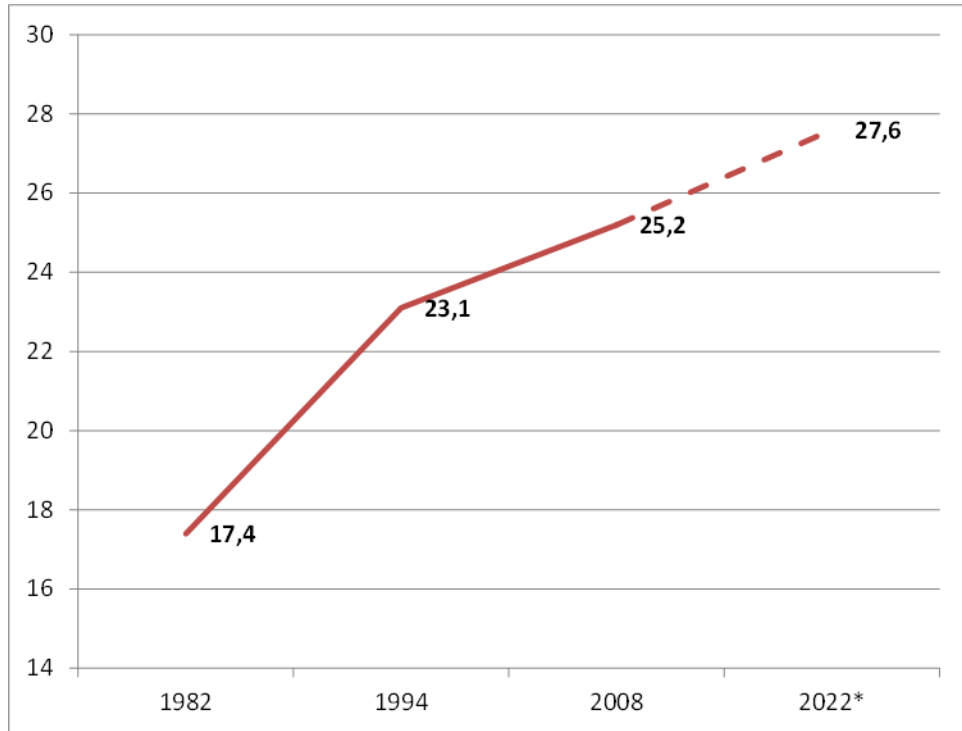
4.1.1. Les hypothèses

Le modèle multinomial indépendant est estimé à partir des variables explicatives suivantes : la distance à parcourir, la catégorie de la commune d'habitation, l'âge, la motorisation du ménage et la situation de famille.

Concernant le besoin de déplacement, nous nous sommes basés sur les chiffres des Enquêtes Nationales des Transports (INSEE, 1982 ; INSEE, 1994 ; SOeS, 2008). Leur évolution est présentée dans la figure 37.

La projection à horizon 2022 est celle de l'ajustement logarithmique réalisé sur les données antérieures et poursuivant la tendance observée. En effet, selon un récent rapport remis au Ministre des Transports (Commission « Mobilité 21 », 2013), les besoins de transport devraient continuer à croître à horizon 2020, mais à un rythme plus faible que dans le passé.

Figure 37 – Kilométrage moyen parcouru quotidiennement



Source : Projection d'après Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Ces évolutions ont été appliquées aux données de notre échantillon. Par conséquent, l'évolution du log des distances parcourues, en moyenne, à horizon 2020 est présentée dans le tableau 32 :

Tableau 32 – Evolution des log des distances à parcourir

Années	2010	2020
Log distance parcourue	3,029	3,102

Source : Projection d'après OMA, BIPE, Novembre 2010 et Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Ce résultat est celui s'appliquant en moyenne sur l'échantillon total, mais la croissance observée entre 2010 et 2020 est appliquée aux distances moyennes observées dans chacun des sous-groupes utilisés pour réaliser les simulations (les différentes zones d'habitats, puis les différents profils de mobilité issus de la segmentation réalisée dans le chapitre précédent).

Dans notre échantillon, l'âge moyen est de 47,2 ans en 2010. Selon les projections de la population réalisées par le BIPE (Migrations résidentielles, 2010), l'âge moyen en 2020 devrait augmenter de 1,5 ans comme le montre le tableau 33. Là encore, la croissance observée en moyenne entre 2010 et 2020 est appliquée à l'âge moyen observé dans chaque sous-groupe.

Tableau 33 – Evolution de l'âge moyen de la population

Années	2010	2020
Age moyen de la population	47,2	48,74

Source : Projection d'après OMA et Migrations résidentielles, BIPE, 2010

Dans notre échantillon, les personnes vivant en couple sont majoritaires. Selon les projections, ce mode de cohabitation devrait rester dominant à horizon 2020 mais le nombre de ménages "solo" devrait progresser (tableau 34) :

Tableau 34 – Evolution de la situation de famille

Années	2010	2020
Vie seul	42%	45%
Vie en couple	55%	52%
Vie en cohabitation, colocation	3%	3%

Source : Projection d'après OMA et Migrations résidentielles, BIPE, 2010

Concernant l'évolution de la répartition des ménages entre aires urbaines et rurales, les projections de Migrations Résidentielles du BIPE ne montrent pas d'évolutions significatives à horizon 2020. Par conséquent, nous ne faisons pas évoluer la structure en fonction de la catégorie de commune d'habitation.

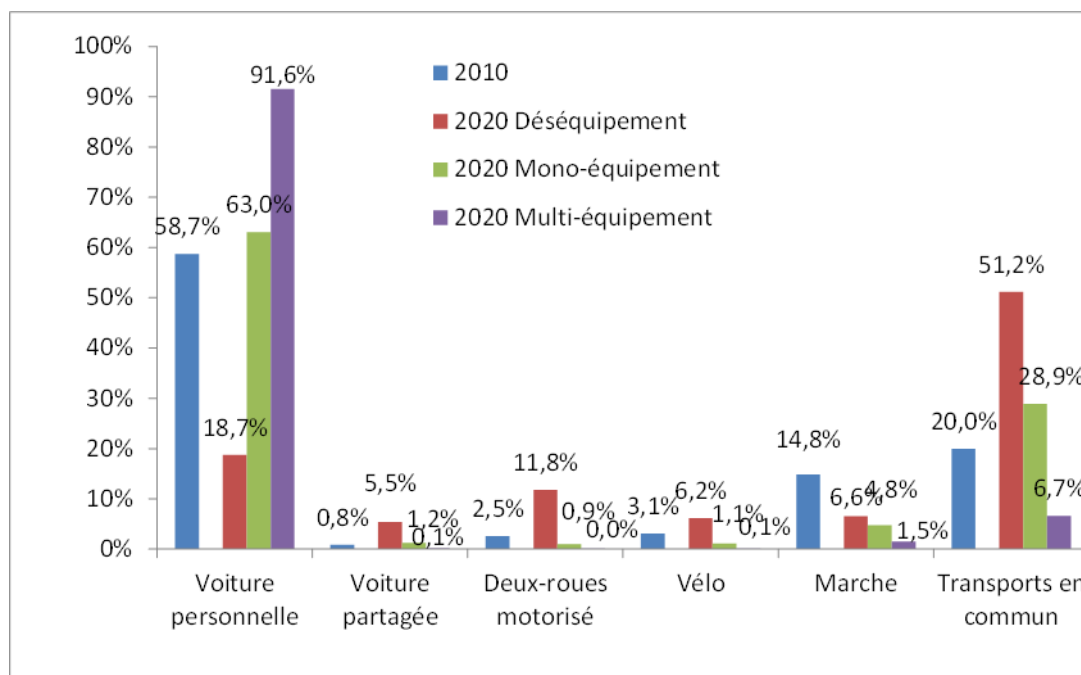
Enfin, la motorisation semblant être une variable explicative primordiale des choix modaux, nous avons donc réalisé les projections selon 3 scénarios : la majorité des ménages n'est pas équipée (Déséquipement), la majorité des ménages a une voiture en moyenne (situation actuelle et donc scénario central Mono-équipement) et la majorité des ménages est multi-équipée (Multi-équipement).

4.1.2. Les projections

Nous avons dans un premier temps décliné les prévisions selon la zone de résidence et la motorisation du ménage pour obtenir des résultats "objectifs", en fonction des besoins de

mobilité et de l'offre de transport dans chacune des zones. Les résultats agrégés correspondent à la moyenne pondérée des probabilités prédites par le modèle pour chacune des zones selon la méthode préconisée par Ben-Akiva et Lerman (1985). Ils donnent les répartitions modales présentées dans la figure 38 :

Figure 38 – Evolution des parts modales en France entre 2010 et 2020 selon trois scénarios de motorisation – Modélisation par zone



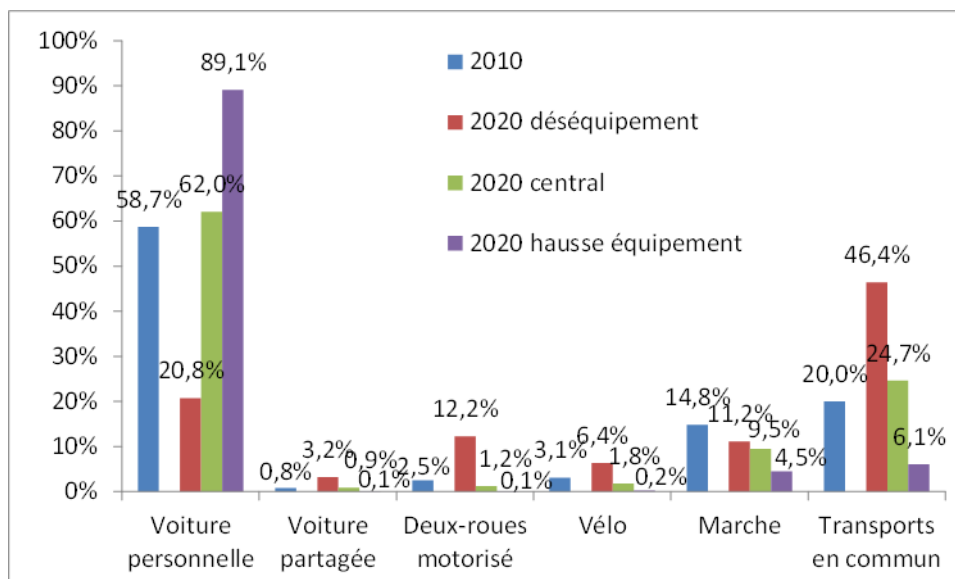
Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

A l'origine, dans l'échantillon, 18% des ménages ne sont pas motorisés, 62% sont mono-équipés et 20% multi-équipés. Donc finalement, le mono-équipement est le scénario central et dans ce cas, les parts modales de la voiture et des transports en commun augmentent. On observe également une hausse de la voiture partagée, une baisse de la moto et du vélo. En fonction de la motorisation du ménage, les choix modaux varient beaucoup. Ainsi, lorsque les ménages n'ont pas de voiture personnelle, la part des transports en commun augmente fortement, les choix modaux sont mieux répartis et la voiture partagée est davantage utilisée. C'est évidemment dans ce cas que la part de marché de la voiture partagée est la plus importante. En revanche, lorsque les ménages sont multi-équipés, la voiture personnelle est la plus largement sollicitée.

Nous avons également réalisé les projections à partir des différents profils de mobilité mis en évidence par la segmentation réalisée dans le chapitre précédent. Les prévisions ont été réalisées au point moyen de chaque profil, toujours selon différents scénarios de motorisation du ménage, afin d'obtenir des résultats plus proches des comportements réellement observés (l'application du modèle par profil de mobilité en 2010 fournit des

résultats plus proches de la répartition modale observée que l'application du modèle par zone d'habitation). Les résultats agrégés donnent les répartitions modales présentées dans la figure 39.

Figure 39 - Evolution des parts modales en France entre 2010 et 2020 selon trois scénarios de motorisation – Modélisation par profil de mobilité



Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

Ces résultats montrent également une forte disparité des probabilités prédites selon la motorisation du ménage. En outre, ils prennent mieux en compte les habitudes de mobilité et notamment le fait que les profils sont caractérisés par des besoins de mobilité (en terme de distance à parcourir) différents, ce que ne reflétait pas l'approche par catégorie de commune d'habitation (pour laquelle on se basait sur un kilométrage moyen par zone). Ainsi, la part de la marche à pied ne chute pas et celle des transports en commun ne bondit pas. Par ailleurs, la voiture partagée ne se déploie que dans un scénario de déséquipement, scénario dans lequel les transports en commun deviennent le mode principal et la répartition modale est la plus équilibrée. Plus précisément, il convient de détailler ces conclusions générales en discutant les résultats profil par profil.

Tableau 35 – Evolution des parts modales des retraités marcheurs et TC entre 2010 et 2020

Année	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	26,38%	1,84%	0%	3,07%	35,58%	33,13%
2020 0 voiture	16,43%	1,12%	1,49%	7,3%	42,9%	30,76%
IC bootstrap	[12,53 ; 20,94]	[0,19 ; 2,37]	[0,53 ; 2,8]	[3,75 ; 10,7]	[35,82 ; 50,1]	[24,89 ; 37,66]
2020 1 voiture	56,87%	0,27%	0,1%	1,19%	27,59%	13,98%
IC bootstrap	[50,06 ; 63,41]	[0,06 ; 0,55]	[0,04 ; 0,19]	[0,55 ; 2,06]	[22,01 ; 33,98]	[10,74 ; 17,49]

Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

Le tableau 35 présente les résultats associés au profil des “retraités marcheurs et TC”. Ce premier profil de mobilité est particulier dans la mesure où il regroupe des personnes appartenant en majorité à des ménages non motorisés, ce qui constitue donc le scénario central. Nous n'étudions donc qu'un seul scénario alternatif : celui de l'équipement (1 voiture). Dans ce cas, la probabilité d'utiliser la voiture personnelle augmente alors que celle de tous les autres modes diminue. N'étant, par nature, pas très automobilistes, les retraités marcheurs et TC ne constituent pas une cible importante pour la voiture partagée : 2,37% au maximum comme le montrent les intervalles de prédiction bootstrap.

Tableau 36 – Evolution des parts modales des jeunes inactifs alter-auto entre 2010 et 2020

Année	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	48,07%	0,70%	7,37%	8,77%	13,68%	21,40%
2020 0 voiture	24,68%	1,89%	13,77%	7,93%	6,74%	44,98%
IC bootstrap	[19,8 ; 29,82]	[0,27 ; 3,93]	[8,1 ; 19,62]	[4,26 ; 11,68]	[3,97 ; 9,63]	[37,94 ; 51,6]
2020 1 voiture	75,61%	0,41%	0,85%	1,15%	3,79%	18,18%
IC bootstrap	[72,02 ; 79,04]	[0,06 ; 0,77]	[0,41 ; 1,26]	[0,56 ; 1,78]	[2,4 ; 5,31]	[15,05 ; 21,18]
2020 2 voitures	95,89%	0,04%	0,03%	0,07%	0,91%	3,06%
IC bootstrap	[93,99 ; 97,39]	[0 ; 0,12]	[0,01 ; 0,06]	[0,02 ; 0,16]	[0,43 ; 1,52]	[1,87 ; 4,65]

Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

De même, les “jeunes inactifs alter-auto” (tableau 36) utilisent, en moyenne, moins la voiture (personnelle ou partagée) que l'ensemble de la population, et davantage les deux roues (motorisé ou non) et les transports en commun. Ils sont pourtant en majorité motorisés (une voiture), comme l'ensemble des autres profils à l'exception des retraités marcheurs et TC.

Dans le cas d'un déséquipement, la part modale de la voiture partagée pourrait atteindre 3,93% au maximum pour ce profil.

Les "couples actifs automobilistes" (tableau 37) en revanche utilisent davantage la voiture personnelle que l'ensemble de la population et constituent une cible intéressante pour la voiture partagée, surtout dans le cas d'un déséquipement, scénario dans lequel l'usage des transports en commun pourrait également se développer de manière significative, d'autant plus qu'il s'agit d'un profil de personnes vivant en milieu urbain (Ile-de-France et grande ville-centre de province).

Tableau 37 – Evolution des parts modales des couples actifs automobilistes entre 2010 et 2020

Année	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	66,26%	0,00%	0,61%	2,13%	7,60%	23,40%
2020 0 voiture	17,21%	3,33%	16,53%	5,68%	4,03%	53,23%
IC bootstrap	[12,80 ; 21,94]	[0,74 ; 5,97]	[9,62 ; 23,65]	[2,56 ; 9,30]	[2,21 ; 6,26]	[44,83 ; 60,84]
2020 1 voiture	66,91%	0,93%	1,33%	0,98%	2,93%	26,93%
IC bootstrap	[63,7 ; 70,3]	[0,15 ; 1,59]	[0,64 ; 2,05]	[0,46 ; 1,56]	[1,65 ; 4,15]	[24,01 ; 29,89]
2020 2 voitures	93,97%	0,11%	0,04%	0,07%	0,78%	5,02%
IC bootstrap	[92,08 ; 95,64]	[0,01 ; 0,3]	[0,01 ; 0,08]	[0,02 ; 0,14]	[0,42 ; 1,22]	[3,41 ; 6,81]

Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

Tableau 38 – Evolution des parts modales des élèves, étudiants alter-auto entre 2010 et 2020

Année	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	15,38%	1,92%	23,08%	1,92%	1,92%	55,77%
2020 0 voiture	2,31%	1,42%	41,06%	7,23%	1,97%	46,00%
IC bootstrap	[1,28 ; 3,77]	[0,06 ; 3,50]	[24,32 ; 57,9]	[2,11 ; 14,18]	[0,84 ; 3,55]	[31,73 ; 60,98]
2020 1 voiture	23,11%	1,24%	8,81%	3,32%	3,54%	59,97%
IC bootstrap	[16,8 ; 29,11]	[0,03 ; 3,63]	[3,19 ; 15,47]	[1,34 ; 6,30]	[1,93 ; 5,48]	[50,99 ; 68,08]
2020 2 voitures	71,34%	0,41%	0,64%	0,51%	2,1%	25,01%
IC bootstrap	[63,61 ; 78,86]	[0,00 ; 1,67]	[0,09 ; 1,67]	[0,14 ; 1,06]	[1,12 ; 3,25]	[17,88 ; 32,83]

Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

Les “élèves/étudiants alter-auto” utilisent principalement les transports en commun, ainsi que le deux-roues motorisé comme le montrent le tableau 38. Ils sont également les seconds usagers de la voiture partagée, mais leur faible usage de la voiture (personnelle ou partagée) ne fait pas d’eux une cible prioritaire pour la voiture partagée. Ainsi, un moindre usage de la voiture personnelle s’accompagne d’une hausse des deux-roues (motorisés ou non) et de la marche.

Les “automobilistes” (tableaux 39 et 40) au contraire, utilisent davantage la voiture personnelle que l’ensemble de la population. Plus leurs besoins de mobilité sont importants et plus ils l’utilisent. Ils constituent donc des cibles privilégiées pour la voiture partagée, mais également pour les deux-roues et les transports en commun, essentiellement dans un scénario de déséquipement.

Tableau 39 – Evolution des parts modales des automobilistes, déplacements de proximité entre 2010 et

Année	2020					
	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	61,76%	0,98%	0,00%	1,96%	24,02%	11,27%
2020 0 voiture	11,15%	2,31%	7,47%	10,05%	19,36%	49,66%
IC bootstrap	[8,19 ; 14,43]	[0,47 ; 4,36]	[3,54 ; 11,71]	[5,69 ; 15,22]	[13,53 ; 24,95]	[42,48 ; 56,93]
2020 1 voiture	50,80%	0,8%	0,67%	2,05%	16,15%	29,52%
IC bootstrap	[47,24 ; 54,46]	[0,15 ; 1,40]	[0,30 ; 1,09]	[1,05 ; 3,06]	[12,63 ; 19,21]	[26,21 ; 33,00]
2020 2 voitures	87,74%	0,12%	0,03%	0,18%	5,16%	6,78%
IC bootstrap	[84,19 ; 90,72]	[0,01 ; 0,29]	[0,01 ; 0,06]	[0,05 ; 0,34]	[3,42 ; 7,29]	[4,61 ; 9,06]

Source : projection de l’auteur d’après l’OMA, BIPE (2010)

Ce sont les “automobilistes exclusifs” parcourant les plus grandes distances qui constituent la cible privilégiée pour l’usage de la voiture partagée au quotidien comme le montre le tableau 41. Ils sont d’ailleurs les principaux usagers de ce mode en 2010. Elle pourrait même atteindre 16% des parts modales de ce profil de mobilité. Cependant, même dans ce cas, la voiture partagée ne deviendrait pas le mode principal, qui resterait la voiture personnelle (voiture d’entreprise évidemment) et les transports en commun atteindraient un tiers des parts modales. La part du deux-roues motorisé se développerait également de manière importante. En outre, ces trois derniers profils sont les plus motorisés mais une offre développée de voiture partagée pourrait modifier leurs habitudes d’équipement automobile.

Tableau 40 – Evolution des parts modales des automobilistes, déplacements de distances moyennes entre 2010 et 2020

Année	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	76,00%	0,00%	0,00%	0,89%	10,67%	12,44%
2020 0 voiture	21,93%	3,70%	9,35%	4,56%	5,69%	54,77%
IC bootstrap	[16,94 ; 27,48]	[0,97 ; 6,55]	[4,24 ; 14,74]	[2,00 ; 7,95]	[3,11 ; 8,80]	[47,45 ; 61,70]
2020 1 voiture	71,12%	0,87%	0,61%	0,69%	3,4%	23,31%
IC bootstrap	[67,38 ; 74,58]	[0,17 ; 1,47]	[0,27 ; 0,98]	[0,28 ; 1,16]	[1,87 ; 4,79]	[20,16 ; 26,30]
2020 2 voitures	94,86%	0,1%	0,02%	0,04%	0,87%	4,11%
IC bootstrap	93,18 ; 96,43	0,01 ; 0,27	0,00 ; 0,04	0,01 ; 0,1	0,45 ; 1,39	2,76 ; 5,69

Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

Tableau 41 – Evolution des parts modales des automobilistes exclusifs parcourant des distances élevées entre 2010 et 2020

Année	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	80,37%	2,45%	0,61%	0,00%	9,20%	7,36%
2020 0 voiture	41,35%	8,36%	12,71%	1,48%	0,87%	35,22%
IC bootstrap	[32,99 ; 49,89]	[1,84 ; 16,33]	[5,64 ; 21,92]	[0,39 ; 3,16]	[0,33 ; 1,61]	[25,86 ; 43,74]
2020 1 voiture	87,93%	1,24%	0,55%	0,14%	0,34%	9,79%
IC bootstrap	[85,02 ; 90,80]	[0,33 ; 2,16]	[0,26 ; 0,94]	[0,04 ; 0,30]	[0,14 ; 0,62]	[7,20 ; 12,43]
2020 2 voitures	98,34%	0,11%	0,01%	0,01%	0,07%	1,46%
IC bootstrap	[97,65 ; 98,99]	[0,01 ; 0,26]	[0,00 ; 0,03]	[0,00 ; 0,02]	[0,02 ; 0,13]	[0,85 ; 2,13]

Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

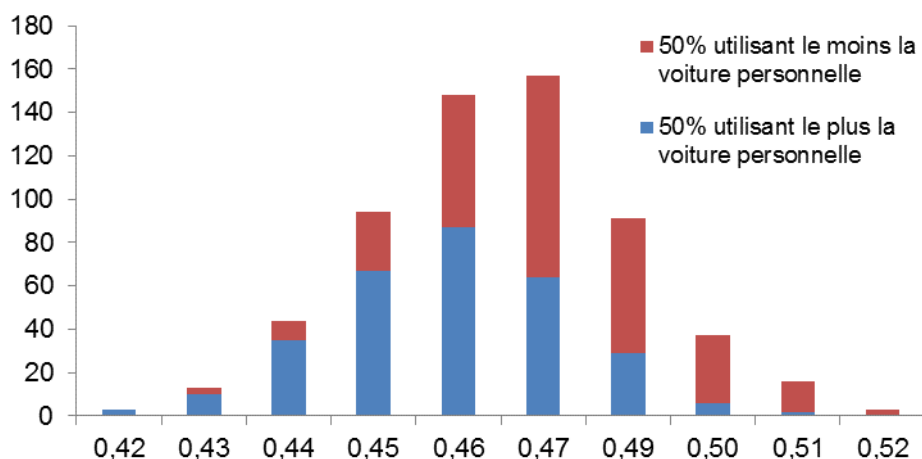
4.1.3. Les substitutions

A partir des répliques bootstrap, nous avons obtenu les distributions statistiques des différentes probabilités prédites par le modèle logit multinomial indépendant. Dans le cas du déséquipement, nous étudions les transferts modaux potentiels de la voiture personnelle vers les transports en commun, le 2-3 roues motorisé et la voiture partagée en distinguant

les probabilités de les utiliser selon que l'on soit au-dessus ou en-dessous de la médiane de la probabilité d'usage de la voiture personnelle.

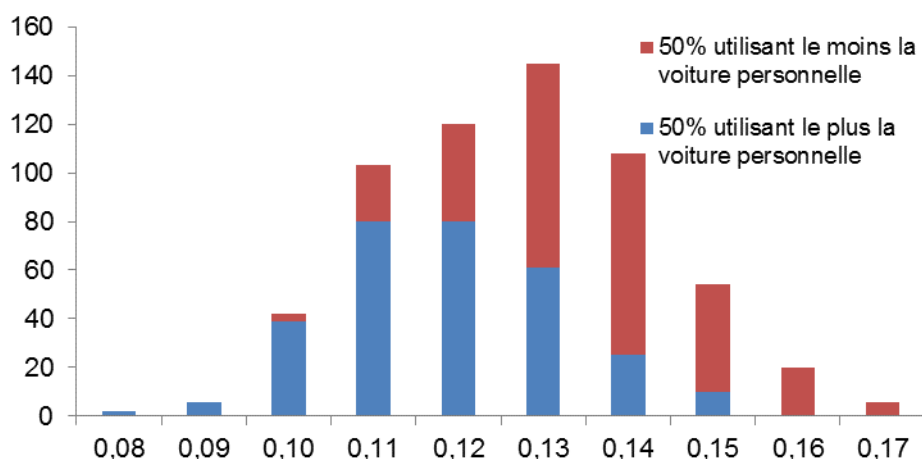
Comme le montrent les figures 40, 41 et 42, les personnes utilisant le moins la voiture sont plus nombreuses parmi les usagers des transports en commun, des deux-roues motorisés et de la voiture partagée.

Figure 40 – Distribution statistique des probabilités prédites pour les transports en commun en 2020



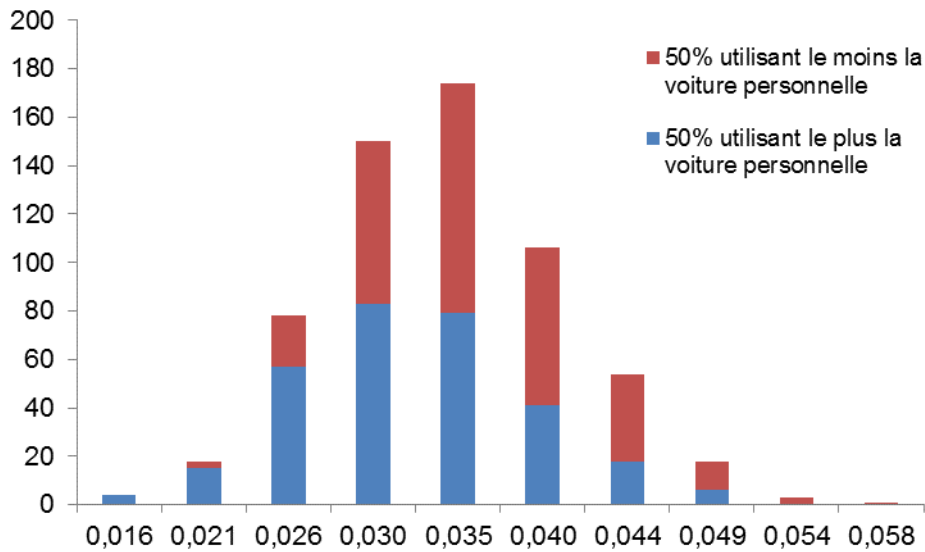
Source : auteur, d'après projections sur la base de l'OMA, BIPE (2010)

Figure 41 – Distribution statistique des probabilités prédites pour le deux-roues motorisé en 2020



Source : auteur, d'après projections sur la base de l'OMA, BIPE (2010)

Figure 42 - Distribution statistique des probabilités prédites pour la voiture partagée en 2020



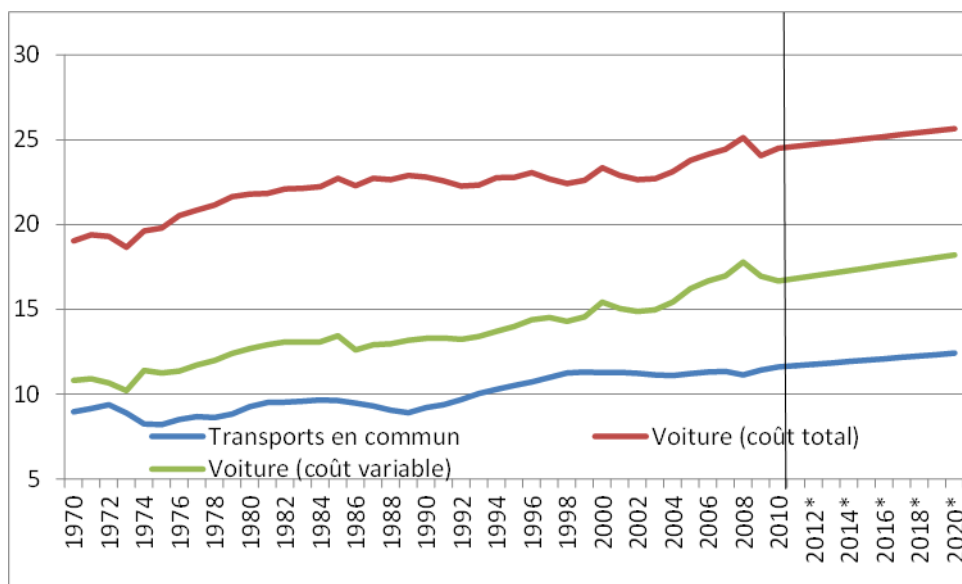
Source : auteur, d'après projections sur la base de l'OMA, BIPE (2010)

4.2. Le modèle logit multinomial conditionnel

4.2.1. Les hypothèses

Le modèle multinomial conditionnel est estimé à partir des variables de coût et de temps de transport.

Figure 43 – Evolution des dépenses pour la voiture et les transports en commun entre 1970 et 2020, et projection à 2020 (en centimes d'€/km)



Source : projection d'après Beauvais consultants (2012)

Concernant les coûts de transport, nous nous sommes basés sur le calcul des dépenses supportées par le voyageur pour la voiture et les transports en commun entre 1970 et 2010 réalisé pour la Fédération Nationale des Usagers des Transports (Beauvais consultants, 2012). La projection de ces coûts à horizon 2020 correspond à la projection de l'ajustement linéaire des coûts observés entre 1970 et 2010 (figure 43).

Afin de projeter les dépenses associées à l'usage des deux-roues motorisés et de la voiture partagée à horizon 2020, nous leur avons appliqué la même évolution que celle observée sur les dépenses associées à l'usage de la voiture personnelle. Par conséquent, les dépenses de transport à horizon 2020 vont donc continuer à augmenter. En outre, le coût variable de la voiture (coût associé à l'usage de la voiture partagée) aura presque doublé entre 1970 et 2020, tandis que le coût total de la voiture (coût associé à l'usage de la voiture personnelle) aura progressé moins rapidement. En outre, nous construisons également un scénario dans lequel une taxe carbone est appliquée. En effet, lors de la conférence environnementale des 20 et 21 septembre 2013, l'entrée en vigueur d'une Contribution Climat-Energie (CCE) en 2014 a été annoncée (Nodé-Langlois, 21 septembre 2013) et il convient donc d'analyser les changements de comportement qu'elle pourrait induire. Le prix de la tonne de carbone est fixé à 7€ en 2014, puis augmentera à 14,5€ en 2015 et 22€ en 2016. A horizon 2020, nous retenons donc un prix du CO₂ à 22 €/tonne. A ce prix, l'impact de la taxe sur le coût d'usage au kilomètre de la voiture ou du deux-roues motorisé est quasi nul (0,4 centimes d'€/km). Nous appliquons donc des taxes très élevées afin d'observer d'éventuelles inflexions dans les comportements d'usage des différents modes de transport.

Enfin, nous faisons évoluer les temps de transport à horizon 2020 en fonction de l'évolution des distances à parcourir dont les hypothèses ont été présentées dans la section 4.1.1. de ce chapitre, les vitesses restant constantes. Par conséquent, l'évolution des temps moyens de parcours avec chaque mode de transport (basée sur la distance moyenne à parcourir) est résumée dans le tableau 42.

Tableau 42 – Evolution de temps moyens de parcours avec chaque mode de transport (en minutes)

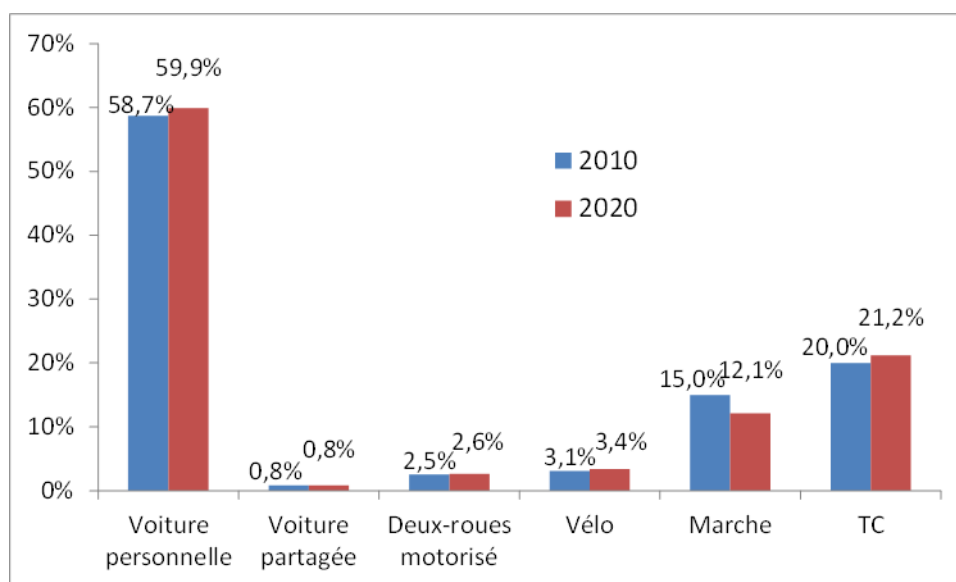
Années	2010	2020
Voiture	50	53
2-3 roues motorisé	50	53
Vélo	89	95
Marche	248	267
TC	62	67

Source : Projection d'après OMA, BIPE

4.2.2. Les projections

Les prévisions sont réalisées au point moyen de l'échantillon et donnent la répartition modale présentée dans la figure 44. Ces résultats montrent que l'augmentation des distances à parcourir entre 2010 et 2020 rend les modes motorisés davantage nécessaires. Par conséquent, la voiture personnelle et les transports en commun resteront les modes les plus probablement choisis à horizon 2020. En outre, les coûts de transport continuant d'augmenter de manière linéaire pour tous les modes de transport, les différentiels de coûts ne varient pas. Les arbitrages se font donc plutôt en termes de temps de transport que de coût.

Figure 44 – Evolution des parts modales en France entre 2010 et 2020



Source : projection de l'auteur d'après l'OMA, BIPE (2010)

Les intervalles de confiances bootstrap associés aux probabilités d'usage des différents modes de transport sont présentés dans le tableau 43.

Tableau 43 – Evolution des parts modales et intervalles de confiance en 2020

Année	Voiture personnelle	Voiture partagée	Deux-roues motorisé	Vélo	Marche	Transports en commun
2010	58,7%	0,8%	2,5%	3,1%	15,0%	20,0%
2020	59,9%	0,8%	2,6%	3,4%	12,1%	21,2%
IC bootstrap	[57,06 ; 67,23]	[0,44 ; 1,23]	[1,92 ; 3,3]	[2,55 ; 4,17]	[0,58 ; 15,17]	[18,91 ; 25,91]

Concernant la voiture partagée plus précisément, les évolutions attendues en termes de coûts et de temps de transport à horizon 2020 ne semblent pas avoir d'effet sur son déploiement, sa part modale restant constante en moyenne entre 2010 et 2020, et atteignant au mieux 1,23% comme le montrent les intervalles de confiance.

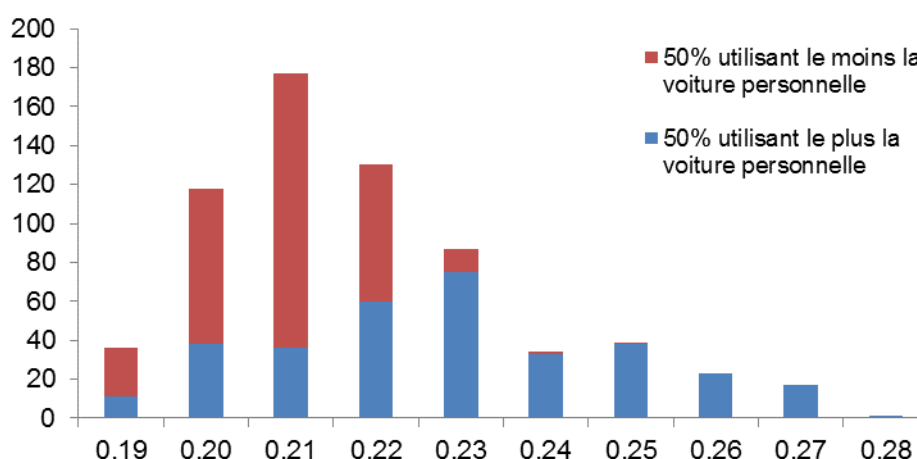
Nous avons également réalisé des simulations en prenant en compte une taxe carbone sur les coûts d'usage de la voiture et du deux-roues motorisé. A 22€/tonne de CO₂, les coûts d'usage ne varient pas et il n'y a donc aucune conséquence sur les choix modaux par rapport à la situation dans laquelle il n'y a pas de CCE. A des niveaux de taxe très élevés, les coûts varient légèrement mais l'on n'observe pas de transferts modaux. Enfin, même avec un doublement des coûts automobiles, nous n'observons pas de transferts modaux.

4.2.3. Les substitutions

Comme dans le cas du modèle logit multinomial, nous obtenons les distributions statistiques des probabilités prédites. Nous étudions donc les transferts modaux potentiels de la voiture personnelle vers les transports en commun, le 2-3 roues motorisé et la voiture partagée en distinguant les probabilités de les utiliser selon que l'on soit au-dessus ou en-dessous de la médiane de la probabilité d'usage de la voiture personnelle.

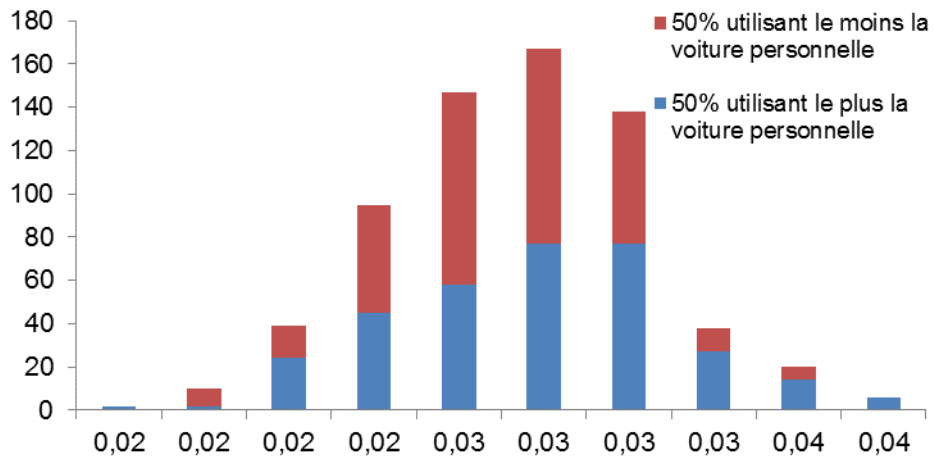
Comme le montrent les figures 45, 46 et 47, les personnes utilisant le moins la voiture personnelle en 2020, utiliseraient également le moins les transports en commun et le deux-roues motorisé alors que des transferts potentiels vers la voiture partagée sont possibles.

Figure 45 - Distribution statistique des probabilités prédites pour les transports en commun en 2020



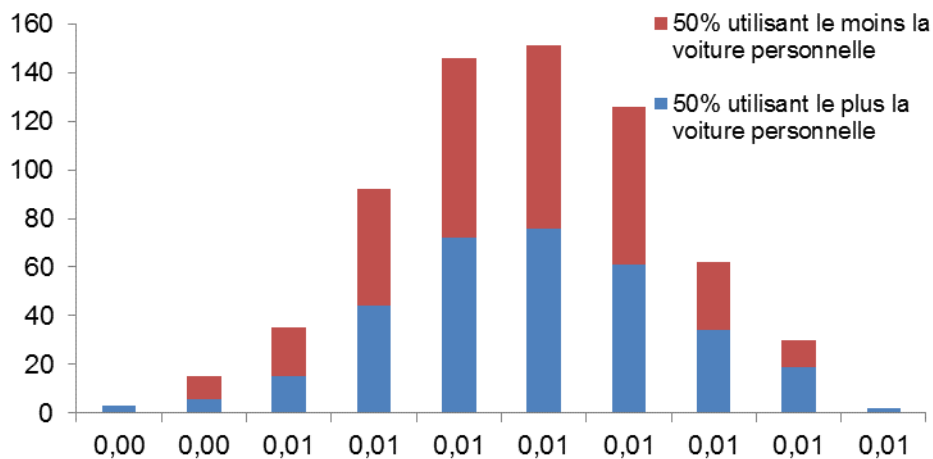
Source : auteur, d'après projections sur la base de l'OMA, BIPE (2010)

Figure 46 - Distribution statistique des probabilités prédites pour le deux-roues motorisé en 2020



Source : auteur, d'après projections sur la base de l'OMA, BIPE (2010)

Figure 47 - Distribution statistique des probabilités prédites pour la voiture partagée en 2020



Source : auteur, d'après projections sur la base de l'OMA, BIPE (2010)

5. Discussion

Tout d'abord, les conclusions doivent être prises avec précaution, essentiellement celles à propos de la voiture partagée, dans la mesure où nous ne disposons pas d'un échantillon très important pour analyser les comportements de mobilité et il y a peu d'observations concernant la voiture partagée dans les déplacements quotidiens. Cependant, l'Observatoire

des Mobilités et Arbitrages Automobiles du BIPE est la seule enquête représentative de la population française et prenant en compte la voiture partagée comme mode de transport au quotidien. En effet, les Enquêtes Ménages Déplacements ne concernent que des milieux urbains et l'Enquête Nationale des Transport ne prend pas en compte la voiture partagée parmi les moyens de transport utilisés au quotidien.

Les projections réalisées à partir du modèle logit simple ou indépendant l'ont été par profils de mobilité spécifiques, permettant ainsi de rendre compte de la diversité des habitudes de mobilité. Cependant, l'application du modèle logit conditionnel par profils de mobilité ne permet pas d'approcher la répartition modale observée pour chaque groupe en 2010 de manière satisfaisante. Les simulations à horizon 2020 ont donc été réalisées au point moyen de l'échantillon. Cela signifie que, outre les considérations purement rationnelles du point de vue économique (budget et budget-temps de transport), les choix modaux sont bien déterminés par d'autres facteurs tenant davantage aux caractéristiques des ménages et de leurs besoins de transport. Les deux approches sont donc complémentaires.

Les projections à partir du modèle indépendant ont été réalisées selon trois cas de motorisation du ménage. Nous montrons que l'usage de la voiture personnelle ne pourrait décroître que dans le cas où le ménage se déséquipe. Les transports en commun deviendraient alors le premier mode de déplacement et la voiture partagée se développerait. Cependant, cette situation de démotorisation des ménages paraît peu probable à horizon 2020. Pour autant, des évolutions dans les habitudes d'équipement automobile des ménages sont observées. C'est la raison pour laquelle il convient d'étudier précisément ces phénomènes pour prévoir le niveau de motorisation future des ménages. Par ailleurs, même dans le cas d'un déséquipement des ménages, la part modale de la voiture personnelle n'est pas nulle. Cela est dû au fait que nous avons assimilé la voiture d'entreprise à la voiture personnelle dans la mesure où le ménage l'a à sa disposition en permanence de la même manière qu'une voiture qu'il posséderait. En 2010, 2,6% de l'échantillon utilise la voiture d'entreprise comme mode de déplacement quotidien. Les prévisions à horizon 2020 montrent que la voiture personnelle pourrait atteindre 20% des parts modales dans le cas du déséquipement des ménages. Cela signifie qu'il y aura toujours un besoin de voitures à disposition des ménages mais que le mode de détention peut changer : la voiture ne sera pas nécessairement détenue par le ménage.

Le modèle conditionnel a été estimé à partir de variables de coût et de temps notamment. Une estimation globale des paramètres associés à ces deux variables a été réalisée dans la mesure où l'estimation de paramètres déclinés par mode de transport ne fonctionne pas (les paramètres ne sont pas significatifs et/ou de signes contraires à la logique). Il serait donc

nécessaire de réaliser ces estimations sur un échantillon de taille plus importante. Ceci nous permettrait en effet de mesurer précisément les arbitrages entre les modes de transport de manière à être en mesure de calibrer des mesures de politiques publiques efficaces et justes (acceptables).

Ainsi, la voiture personnelle et les transports en commun devraient rester les modes les plus probablement choisis en 2020 ce qui implique que l'offre de transport en commun soit suffisamment disponible dans toutes les zones d'habitation.

En outre, les prévisions à partir du modèle logit conditionnel prenant en compte une éventuelle taxe carbone pourraient être réalisées par décile de revenu afin de mettre en évidence les incidences d'une telle taxe sur des ménages plus ou moins aisés et dépendants de leur voiture, ce que masque la prévision à partir d'un point moyen.

Enfin, la méthode utilisée dans ce chapitre pour essayer de mesurer le déploiement potentiel de l'usage de la voiture partagée pour les déplacements quotidiens ne permet pas de prendre en compte des phénomènes de diffusion ou encore des effets d'apprentissage. Les résultats présentés dans ce chapitre constituent donc des estimations de la valeur-plancher de l'usage de la voiture partagée à horizon 2020, la fourchette haute correspondant davantage aux potentiels pour le covoiturage et l'autopartage calculés dans le chapitre 2.

6. Conclusion

Les principaux déterminants du choix modal sont la distance à parcourir, la densité, l'âge, le statut de famille, la motorisation du ménage, ainsi que les coûts et temps de transport. A partir du modèle logit indépendant, nous confirmons que la motorisation est le facteur le plus déterminant des choix modaux des ménages français en général et de l'usage automobile en particulier. Ainsi, les simulations menées à horizon 2020 montrent une grande disparité selon le scénario de motorisation. En outre, plus la distance à parcourir est grande et plus les modes motorisés sont utilisés. Cependant, une hausse de cette distance diminue la probabilité d'utiliser la voiture partagée. Cela signifie que les individus ayant les besoins de mobilité les plus élevés sont motorisés (ce qui est alors plus rentable que de louer une voiture) et suggère que la voiture partagée peut difficilement devenir un mode de transport à part entière et utilisé exclusivement. Ainsi, les simulations montrent que la voiture personnelle devrait rester le mode de transport privilégié en 2020, sauf si les ménages se déséquipent, ce qui est le seul cas dans lequel la voiture partagée peut se développer, mais dans lequel les transports en commun seraient alors le mode principal. De plus, les "automobilistes" sont les principales cibles pour la voiture partagée ce qui signifie de

potentiels transferts de la voiture personnelle vers la voiture partagée. Cependant, les “automobilistes” sont également ceux ayant les plus importants besoins de déplacement et les plus motorisés. La relation entre motorisation et usage de la voiture partagée n’est donc pas simple, c’est la raison pour laquelle il convient de s’intéresser à l’évolution future de la motorisation des ménages.

En outre, l’estimation d’un modèle logit conditionnel basé sur les variables de coût et de temps montre que le choix modal est également un choix rationnel. Mais pas seulement, c’est pourquoi les deux approches sont complémentaires : la seule rationalité économique n’explique pas à elle seule les choix modaux. A horizon 2020, la hausse des distances à parcourir rend les modes motorisés davantage nécessaires. La voiture personnelle et les transports en commun resteront donc les modes de déplacement principaux. En outre, avec une hausse linéaire des coûts associés aux différents modes de transport, les différentiels de coûts varient peu et les arbitrages se font donc plutôt en termes de temps de transport que de coût. Ainsi, même avec une taxe carbone faisant augmenter les coûts d’usage de la voiture et du deux-trois roues motorisé, nous n’observons pas de transferts modaux. Concernant la voiture partagée plus précisément, les seules évolutions attendues en termes de coûts et de temps de transport ne semblent pas avoir d’effet sur l’évolution de sa part modale dans les trajets quotidiens. En effet, celle-ci devrait rester constante entre 2010 et 2020. Cependant, du point de vue de la rationalité économique, nous observons davantage de transferts potentiels de la voiture personnelle vers la voiture partagée que vers les transports en commun et le deux-roues motorisé. Par conséquent, la principale variable déterminante de l’usage de la voiture partagée est l’équipement automobile du ménage. Cependant, la relation entre la voiture partagée et la motorisation n’est pas évidente et le déséquipement des ménages n’est pas très réaliste à horizon 2020. C’est la raison pour laquelle il convient maintenant de travailler sur l’évolution de la motorisation des ménages.

Conclusion deuxième partie

Cette partie a été consacrée à l'analyse fine des comportements de mobilité en général et d'usage automobile en particulier afin d'en dévoiler les principaux déterminants, puis de projeter les choix modaux à horizon 2020 de manière à mettre en évidence les potentiels transferts de la voiture personnelle vers d'autres modes, la voiture partagée notamment.

Dans le chapitre 4, nous montrons que les besoins de mobilité des ménages sont très largement assurés par la voiture, de manière exclusive ou combinée à d'autres modes de transport, en raison notamment des distances à parcourir. Par ailleurs, l'usage des différents moyens de déplacement est déterminé par un ensemble de variables socio-démographiques notamment. Ainsi, nous mettons en évidence sept profils de mobilité et d'équipement automobile se distinguant les uns des autres en fonction de leurs besoins de déplacement (les distances à parcourir), la densité de la zone d'habitation, la situation de famille, le revenu et la motorisation du ménage, ainsi que l'âge et le statut d'activité de l'individu.

Ces principaux déterminants des comportements de mobilité des ménages français nous permettent d'estimer un modèle de choix modaux dans le chapitre 5. Celui-ci montre que la motorisation des ménages est le déterminant principal de ce choix. En outre, ce dernier dépend également de variables propres aux différents modes de transport : le coût et le temps de trajet. Les projections à 2020 montrent que la voiture personnelle et les transports en commun resteront les moyens de déplacement principaux. Des transferts modaux de la voiture personnelle vers la voiture partagée sont envisageables dans le cas d'une baisse de l'équipement automobile des ménages, d'où la nécessité d'analyser plus précisément l'évolution de leur motorisation dans la dernière partie de cette thèse.

Troisième partie : quels niveaux de motorisation des ménages français en 2020 ?

L'équipement automobile est donc le second phénomène identifié comme manifestation des changements de comportement sur le marché automobile. Plus précisément, il s'agit d'analyser l'évolution du niveau de motorisation des ménages, c'est-à-dire de leur taux d'équipement ou encore du nombre moyen de véhicules qu'ils détiennent. Ce dernier a progressé au fur et à mesure des générations et de l'amélioration concomitante du niveau de vie des ménages. Cependant, dans le contexte actuel de contrainte budgétaire et de réaménagement de l'espace urbain réduisant la place de la voiture en ville, nous observons une diminution et une modification de l'usage automobile (baisse des kilométrages annuels parcourus en voiture, usage partagé de celle-ci), ainsi qu'un léger recul de la motorisation des plus jeunes, surtout en milieu urbain. La question principale portant sur l'équipement automobile aujourd'hui est donc celle de la saturation : a-t-on atteint le niveau maximal de motorisation des ménages ? Plus encore, il s'agit de s'interroger sur une éventuelle rupture, une mutation profonde du rapport à l'automobile, notamment dans un contexte de développement des nouveaux services de mobilité, qui pourrait se traduire par une baisse de la motorisation des jeunes générations. Or, le calcul des potentiels de déploiement de la voiture partagée montre que celle-ci n'est pas toujours plus rentable que la possession automobile. Par conséquent, il n'est pas évident que l'offre de voiture partagée, notamment d'autopartage, soit suffisante pour venir en remplacement de la possession automobile.

Dans les deux chapitres suivants, nous chercherons donc à expliquer l'évolution passée de la motorisation des ménages français à partir d'une analyse dynamique, afin de pouvoir la projeter à horizon 2020.

Chapitre 6 – Mobilité et équipement automobile, une analyse générationnelle rétrospective

Les indicateurs d'évolution de la mobilité et de l'équipement automobile des ménages mis en évidence dans le premier chapitre montrent une saturation de celles-ci. En outre, les conclusions du chapitre précédent nous confirment que la progression de l'usage automobile va de pair avec celle la motorisation des ménages. Par conséquent, afin d'être en mesure de proposer des projections de celle-ci, il convient dans un premier temps de réaliser une étude rétrospective dédiée à la compréhension de l'évolution passée des habitudes de mobilité et d'équipement automobile afin d'en mettre en évidence les déterminants globaux. En effet, si le chapitre 4 nous a permis de révéler les facteurs discriminants de ces comportements à une date précise, à partir de données en coupe instantanée, il importe à présent de s'intéresser aux déterminants de plus long terme à partir de données d'enquêtes réalisées à intervalles de temps réguliers et suffisamment longs pour prendre en compte la dynamique de ces comportements. Entre effet d'âge, de génération et d'époque, l'approche générationnelle apparaît donc comme la plus pertinente pour analyser l'évolution de la mobilité en générale et de l'équipement automobile en particulier sur le long terme.

Ainsi, dans un premier temps, nous décrivons la démarche méthodologique de cette approche générationnelle, après avoir présenté les analyses proposées dans la littérature du phénomène de saturation de l'équipement et de l'usage automobile. Puis, à partir des données des enquêtes transport nationales, nous réalisons une étude rétrospective générationnelle dédiée à la compréhension de l'évolution des habitudes de mobilité (motifs, fréquence, distance des déplacements) et surtout d'équipement automobile des ménages français afin de mettre en évidence les principaux faits marquants de leur évolution et de les replacer dans le contexte global de l'époque.

1. Revue de littérature

La revue de littérature concernera dans un premier temps la problématique de la saturation de la mobilité automobile et de la motorisation des ménages, puis elle traitera de la méthodologie de l'approche générationnelle des comportements, principalement à travers la vision de Bernard Prétel (2000), spécialiste des générations.

1.1. La saturation de la mobilité et de l'équipement automobile

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, l'équipement automobile a progressé avec la hausse des revenus, et aujourd'hui, plus de 80% des ménages français sont motorisés. Mais, nous observons un découplage entre la possession et l'usage automobile. En effet, depuis le début des années 2000, l'usage automobile en France diminue chaque année : les Français parcourent de moins en moins de kilomètres avec leur véhicule. Ce phénomène a également été observé dans d'autres pays occidentaux. Ainsi, le constat d'un ralentissement de la croissance de la mobilité automobile remonte aux années 90 (Schipper et al., 1993). Plusieurs rapports dont celui de Puentes et Tommer (2009) ont ensuite porté sur la mise en évidence de cette moindre croissance de l'usage automobile en analysant les tendances des véhicules-km à partir de séries statistiques nationales. L'idée d'un pic (le "peak car") a été récemment formalisée (Millard-Ball et Shipper, 2010) et traduit le découplage observé entre la croissance des revenus et celle de l'intensité de l'usage automobile. Beaucoup se sont donc interrogés sur les raisons de cette stabilisation de la mobilité automobile. Newman et Kenworthy (2011) ou encore Goodwin (2012) proposent un résumé de ses différentes origines. Les facteurs économiques en sont une. En effet, les coûts de détention et d'usage automobile, notamment la hausse des prix des carburants, et la pression qu'ils font peser sur le budget incitent les automobilistes à rationaliser l'usage de leur véhicule. En outre, ce phénomène est encouragé par l'amélioration des réseaux et de la qualité des transports en commun parallèlement à une nouvelle vision de l'aménagement urbain vers une redensification, une relocalisation des activités et des commerces en centre-ville et un aménagement de la voirie pour favoriser l'usage des modes doux, laissant donc moins de place à la voiture individuelle et accentuant le "désamour" pour celle-ci en milieu urbain. Newman et Kenworthy (2011) expliquent également cette remise en cause par le vieillissement de la population vivant en centre-ville et pratiquant donc moins la conduite, ainsi que par la constance du budget-temps de transport d'une heure en ville mise en évidence par Marchetti (1994). Autrement dit, avec la hausse de la congestion urbaine, la voiture est moins plébiscitée en ville. Goodwin (2012) avance également plusieurs arguments liés à de nouvelles habitudes et préférences, et aux nouvelles technologies. Ainsi, les jeunes ne sont plus aussi attachés à la voiture que les générations précédentes, le passage du permis de conduire et l'achat automobile ne sont plus des rites d'entrée dans la vie adulte. De plus, les jeunes sont davantage préoccupés par les questions environnementales, moins attachés à la possession et développent des comportements de mobilité malins de façon à gagner du temps (multimodalité) et de l'argent (location et partage automobile). Ces nouveaux comportements s'inscrivent dans de nouvelles habitudes de

travail, d'achat et de loisir : télé-travail, e-commerce, ou encore e-loisirs, favorisés par l'essor des nouvelles technologies de l'information et de la communication, notamment l'accès désormais illimité à Internet. Les faits marquants de la période actuelle définissent donc les habitudes de la jeune génération qui s'inscrivent en rupture avec celles des précédentes. Ainsi, concernant précisément la mobilité, des données issues de l'enquête nationale déplacement suédoise (Frändberg et Vilhelmson, 2011) montrent que la mobilité continue d'augmenter, notamment la mobilité en voiture. En revanche, la mobilité des plus jeunes s'inscrit dans une contre-tendance. En effet, une réduction de leur mobilité quotidienne, ainsi que de leurs voyages longue distance sont observées. Une étude menée auprès des 20-29 ans dans six pays industrialisés (Litman, 2014) montre d'ailleurs une baisse des distances parcourues par cette tranche d'âge depuis la fin des années 90 et le début des années 2000. De plus, Kuhnimhof et al. (2012) montrent une baisse de la détention du permis de conduire des plus jeunes et un usage moins exclusif de la voiture. En France, les différentes enquêtes transports (enquêtes nationales et enquêtes locales) montrent un recul du taux de détention chez les 18-24 ans (Madre, et al., 2012).

Ces phénomènes observés soulèvent donc la question de la saturation de l'équipement automobile. Théoriquement, trois scénarios sont possibles selon Goodwin (2010-2011) : une reprise de la croissance, une saturation à un niveau à préciser ou un retournement de tendance suite à un plateau à définir. Plus précisément, il s'agit de répondre à la question suivante : les jeunes français vont-ils, au cours de leur vie, garder les mêmes habitudes de déplacements ? En effet, selon une étude de l'INSEE (Bodier, 1996), la voiture est une habitude qui se prend tôt. L'équipement en voiture et les habitudes de mobilité se font jeune. Autrement dit, si le comportement de mobilité suit le cycle de vie des ménages (le pic du nombre de déplacements quotidiens est atteint lors de la vie active des ménages), les nouvelles générations se distinguent des anciennes, et chaque génération a un comportement de mobilité propre. Par conséquent, l'analyse de la mobilité des jeunes générations et la comparaison par rapport aux anciennes peut être un indicateur d'éventuels changements. Ainsi, nous pourrions assister à la fin de la progression de la motorisation et de l'intensité d'usage automobile au fil des générations, en milieu urbain notamment. C'est en effet essentiellement en zone urbaine que l'on observe les principales inflexions en termes d'usage automobile dans les différentes enquêtes françaises (Madre, et al., 2012). Une analyse rétrospective de la mobilité et de l'équipement automobile basée sur des cohortes d'individus distinguées selon leur zone d'habitation apparaît donc pertinente. En effet, Dargay (2002) a étudié les facteurs déterminants la motorisation en milieu rural et urbain et a montré que les ménages ruraux sont moins sensibles aux coûts automobiles du fait d'un manque d'alternatives. Ils sont donc potentiellement moins vecteurs de

changements que les ménages urbains. Ainsi, dans son ouvrage *L'automoville* (2010), Coulaud décrit les étapes de la diffusion de l'automobile en parallèle de l'évolution des lieux de vie durant le 20^{ème} siècle : de « *la ville sans l'automobile* » jusqu'à la Grande Guerre à « *l'étalement urbain et la prospérité automobile [...] de 1975 à nos jours* » (page 7). Il montre surtout comment l'organisation des villes d'aujourd'hui autour de la voiture procure des avantages mais également des inconvénients conduisant à sa remise en question. Or comme il le précise, dès la crise des années 70 les inconvénients de l'automobile sont mises en évidence : « *A lire la presse de l'époque, une nouvelle ère s'ouvrait pour la voiture, pour la maison, pour le monde : celle des énergies renouvelables. On ne parlait pas encore couramment du développement durable. L'âge d'or de la voiture était derrière nous, le marché était saturé et l'on allait vers un simple renouvellement du parc. Les voitures qui subsisteraient seraient silencieuses, économes en essence, électriques. La marche à pied, le vélo, les transports en commun allaient renaître. [...] Ces intentions n'ont jamais cessé d'être...des intentions.* » (page 184). Ce discours ressemble étrangement à celui d'aujourd'hui. « *Mais les décisions prises vont toujours à l'encontre des discours parce qu'elles conviennent à tout le monde* » (page 292). Coulaud montre ainsi que malgré ses inconvénients, la voiture a encore de beaux jours devant elle, du fait de la difficulté de changer les modes de vie et comportements de mobilité. Ces derniers ne peuvent varier que dans l'espace : d'une zone d'habitation à une autre (en milieu urbain essentiellement), et dans le temps : d'une génération à une autre.

Il convient donc maintenant de présenter la méthodologie de l'approche générationnelle des évènements.

1.2. L'approche générationnelle

Dans le premier chapitre, nous avons vu que la mobilité et la décision de motorisation d'un ménage sont déterminées par un ensemble de variables sociodémographiques et économiques, le revenu en particulier. Or ces deux types de variables sont intimement liés. Ainsi, au cours du cycle de vie, l'effet revenu n'est pas uniforme : chez les jeunes les ressources sont prioritairement affectées à l'équipement, notamment automobile ; à l'âge mûr l'équipement plafonne ; enfin l'accroissement des ressources des personnes âgées n'est pas consacré à l'automobile. En outre, l'analyse longitudinale menée à partir de données d'enquêtes sur l'équipement des ménages (Madre, Gallez, 1993) met en évidence les phases de diffusion de la voiture particulière en France, des phases très marquées par l'évolution de la situation économique française et du niveau de vie de la population :

- jusqu'au milieu des années 60 les générations consécutives ont accru leur équipement,
- du milieu des années 60 au milieu des années 80, les trajectoires des différentes générations sont pratiquement parallèles : on parle alors de phase de croisière,
- puis l'écart entre les trajectoires des deux dernières générations se réduit : il s'agit de la phase de saturation.

Les habitudes de mobilité ou encore la diffusion de la voiture parmi la population peuvent donc être définies par la combinaison de deux mouvements :

- l'évolution de la pyramide des âges,
- la modification des comportements due à des effets de cohorte ou de période.

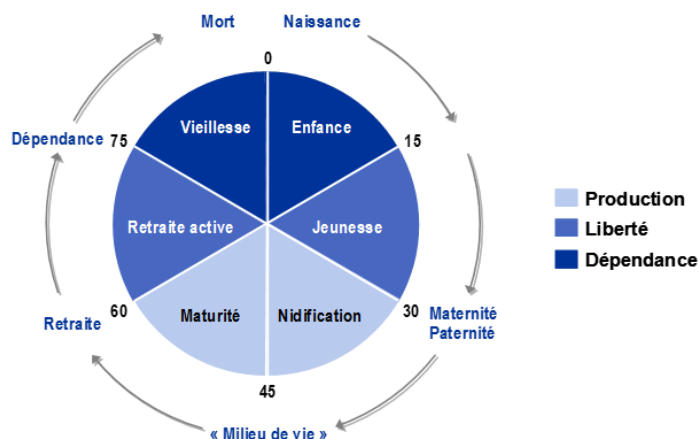
Ainsi, l'analyse générationnelle permet, en croisant l'âge (ou cycle de vie) et la période, de prendre en compte la dynamique historique et donc d'éviter les pièges d'une analyse transversale.

En effet, selon le sociologue Bernard Préel dans son ouvrage *Le choc des générations* (2000), « *Quand on veut interpréter une pratique, on doit se demander si elle est imputable à l'époque (tout le monde l'adopte à peu près en même temps), à l'âge ou, mieux, au cycle de vie (elle est spécifique d'une classe d'âge), ou bien à la génération (elle est le fait d'une promotion qui en est le fer de lance* » (page 15). Ainsi, il distingue les effets d'époque, d'âge et de génération. Selon Préel, (2000), « *l'époque marque les générations* », autrement dit, l'époque à laquelle nous vivons et ses faits marquants définissent notre génération. Ainsi, « *l'époque transforme le cycle de vie* » et par conséquent « *chaque génération a son propre calendrier* » et chaque génération est tiraillée entre « *deux fidélités : la fidélité à ses pères et la fidélité à ses pairs* » (page 7). Ainsi, toujours selon les termes de Préel, « *chacun vit une double histoire* » : celle de son âge et celle de son époque.

Tout d'abord, la vie suit un cycle au cours duquel Préel distingue trois âges : « *celui de l'initiative, où l'on apprend ; celui de la maturité, où l'on éprouve ; celui de la vieillesse, où l'on transmet. Trois temps nouveaux : le premier où l'on fait le deuil de l'enfance en découvrant le monde des "premières fois" ; le deuxième où l'on fait le deuil de la jeunesse en sachant que "ça ne sera plus jamais la première fois" ; le dernier où l'on fait le deuil de la liberté en se demandant : "Et si c'était la dernière fois ?"* » (page 41).

Il est également possible de définir le cycle de vie comme une succession d'étapes de 15 ans allant de l'enfance à la vieillesse (deux âges de dépendance) et marquées par des périodes de liberté (la jeunesse et la retraite active) et de production (les phases de nidification et de maturité). (Figure 48)

Figure 48 – Les différentes étapes du cycle de vie

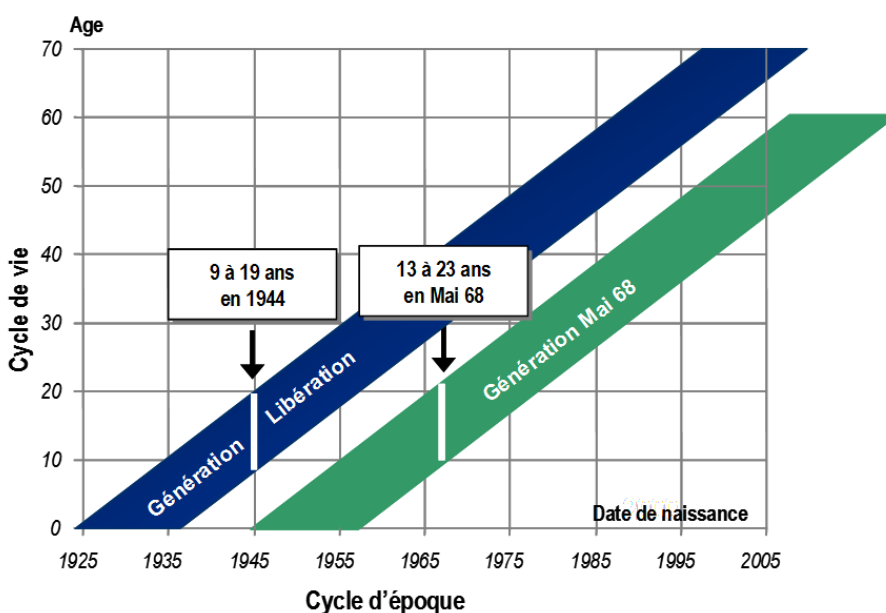


Source : BIPE

En outre, l'époque à laquelle vit chaque individu est le marqueur de sa génération. Autrement dit, selon Prél « *Les membres d'une génération ont en commun de partager un destin inscrit à la confluence de deux histoire : celle de l'époque, introduisant des évènements extérieurs qui les toucheront et les marqueront plus ou moins profondément, et celle du cycle de vie, enchaînant inexorablement les âges les uns après les autres* » (page 19).

En résumé, l'analyse générationnelle permet de comprendre les comportements à travers les différents effets d'âge et d'époque (figure 49). Ainsi, « *chaque génération suit son chemin à la charnière des deux axes du cycle de l'époque et du cycle de vie. Chacun se déplace sur sa "diagonale du fou", ponctuée par des âges qui eux aussi glissent et dérivent* » (page 49).

Figure 49 – Représentation de l'effet de génération



Source : BIPE

A partir de cette démarche méthodologique, Préel a défini les différentes générations du siècle précédent en regroupant les individus nés par périodes de dix ans: « *Comment découper les phases de l'époque et de la vie pour délimiter les générations ? Dans un premier temps, on a été tenté de retenir une périodisation de quinze en quinze ans. Le cycle de vie avec les six âges proposés se laisse aisément articuler : 15 ans, 30 ans, 45 ans, 60 ans, 75 ans...avec enfance, jeunesse, nidification, maturité, retraite, vieillesse. Et l'économie, qui progressivement impose sa loi, se laisse presque docilement découper en périodes de trente ans : « positives » (1885-1914, 1945-1975) et « négatives » (1914-1945, 1975-2000), chaque période englobant trois générations. On peut même aller au-delà et procéder à un découpage en sous-période de quinze années chacune avec des retournements et des inflexions « historiques » : 1900, 1914, 1929, 1945, 1960, 1975, 1989, 2005(?). Mais d'autres critères jouent leur rôle : technologiques (fin du XIX^{ème} siècle, fin du XX^{ème} siècle), politico-militaire (deux grandes guerres, effondrement de l'Union Soviétique), culturelle (révolte de la jeunesse, libération sexuelle). Les « marqueurs » des générations proposent donc d'autres découpages. Aussi a-t-on finalement opté par pragmatisme pour un découpage décennal » (page 59-60).*

Ainsi, sept générations ont été définies :

- Krach née entre 1916 et 1925 et marquée à 20 ans par la crise des années 30 et la montée des extrémismes dans les pays voisins (Allemagne avec Hitler, Italie avec Mussolini et Espagne avec Franco), puis la croissance et la modernisation du pays tout en maintenant ses valeurs traditionnelles,
- Libération née entre 1925 et 1935, marquée à 20 ans par la fin de la Seconde Guerre mondiale, puis par la croissance et la consommation de masse,
- Algérie née entre 1935 et 1944, marquée à 20 ans par la guerre d'Algérie, puis la croissance, le plein emploi, le développement du confort matériel et le début de la révolution culturelle,
- Mai 68 née entre 1945 et 1954, initiatrice de la révolution des mœurs et qualifiée par Préel de génération « *d'enfants gâtés* » car se situant dans une situation favorable mais ne retenant « *que le décalage entre [ses] projets et [ses réalisations]* » (page 87),
- Crise née entre 1955 et 1964, marquée à 20 ans par les chocs pétroliers des années 70, la fin de la croissance économique et la menace du chômage et de la précarisation de l'emploi,
- Gorby née entre 1965 et 1974, marquée à 20 ans par la fin de la Guerre froide et de la bipolarisation du monde, puis par les difficultés d'accès à l'emploi et qui, selon Préel « *encaisse les coups* » et « *se perçoit comme une victime* » (page 111) et

- Internet née entre 1975 et 1984 marquée à 20 ans par l'ère des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

L'approche générationnelle propose une représentation des événements en croisant les effets d'âge et de génération. Selon l'outil d'aide au marketing générationnel MAGE du BIPE, ces effets croisés définissent neuf cas types décrits dans la figure 50.

Figure 50 – Cas types d'effet d'âge et de génération

		Effet de génération		
		Négatif	Neutre	Positif
Effet d'âge	2008			
	2028			
	2028			

Source : BIPE

Toujours dans son ouvrage *Le choc des générations* (2000), Prél propose une analyse des comportements de consommation des jeunes générations. Concernant l'accès à la propriété du logement, il met en évidence une rupture à partir de la génération "Crise" : « jusqu'à la génération Mai 68, l'ascenseur social a bien fonctionné : toute génération est remplacée, au même âge, par une génération ayant un taux de propriétaire de 3% à 5% supérieur à la précédente. Si l'on préfère, on accède à la propriété de plus en plus tôt. En revanche, à partir de la génération Crise, la tendance s'inverse : le taux stagne puis se met à régresser. Le décalage des calendriers d'entrée dans la vie adulte aussi bien que la conjoncture immobilière peuvent expliquer cette rupture. [...] ». Il réalise un constat comparable pour l'accès au permis de conduire : « c'est la génération Libération qui franchit la plus haute marche, surplombant de vingt points le taux de détention du permis de la génération Krach. On n'ira pas beaucoup plus haut que la génération Mai 68, qui possède le permis à près de 90%. » (page 195).

En outre, il entrevoit déjà les changements de modes de consommation et notamment le mouvement vers une remise en cause de la possession, notamment automobile : « Il faudra tout bonnement s'entraîner à la maîtrise de soi et pratiquer la dépossession. Il ne s'agira plus seulement de ne pas se laisser avoir, mais bien de se déprendre du goût de l'avoir. Plus

seulement d'être le producteur de sa consommation, mais bien de se détacher du vieux réflexe paysan de la propriété, de cette envie de se sécuriser en s'entourant de mille objets "au cas où", de mille objets à soi. L'élégance, le style et pour tout dire le luxe reviendront peut-être demain à ceux qui auront la sagesse de se détacher d'une appropriation, coûteuse financièrement et contraignante pour les nomades que nous sommes devenus. [...] trois Français sur quatre gagneraient au change s'ils vendaient leur voiture et n'utilisaient que des taxis et voitures de louage. N'acheter que le prix de l'usage, le "service" rendu par un bien peut apparaître bien préférable à l'équipement systématique qui débouche vite sur l'engorgement. Là, plus de problèmes de maintenance, de renouvellement. On est à la fois débarrassé des charges d'entretien et assuré d'être toujours à la pointe du progrès. » (pages 204-205).

L'approche générationnelle va maintenant être adoptée afin d'analyser l'évolution passée de la mobilité et de l'équipement automobile des ménages français selon les différentes zones d'habitation de ces derniers, première étape de l'élaboration d'une analyse prospective de leur motorisation.

2. Etude rétrospective

Il convient à présent de revenir sur l'évolution passée de la mobilité avant de s'intéresser précisément à celles de l'équipement et de l'usage automobile.

Pour cela, nous adoptons donc l'approche générationnelle. Cependant, cette démarche requiert le respect de plusieurs conditions :

- Disposer d'un échantillon suffisamment large pour conserver des effectifs suffisants après décomposition en plusieurs générations,
- Un historique de données suffisamment long pour faire apparaître des générations différentes aux mêmes âges,
- Et un historique des points d'observations espacés régulièrement.

Nous disposons de l'enquête nationale des transports²⁸ (INSEE, 1982 ; INSEE, 1994 ; SOeS, 2008) décrivant les déplacements des ménages français afin de fournir une connaissance de leur mobilité, de leur usage des différents modes de transport, ainsi que de leur parc de véhicules et de leur intensité d'utilisation. Cette enquête propose un échantillon assez large puisque plus de 6 000 ménages ont été interrogés en 1981-1982, 20 000 ménages en 1993-

²⁸ Les trois dernières vagues de l'enquête nationale des transports ont été fournies par le réseau Quetelet

1994, et 30 000 en 2007-2008. En outre, l'enquête nationale des transports ayant lieu tous les 14 ans, nous avons créé quatre classes d'âge décrites dans le tableau 44 et nous permettant de suivre six générations.

Tableau 44 – Découpage des classes d'âge étudiées et suivies au fil des enquêtes

	1981-1982	1993-1994	2007-2008
Internet			18-30 ans
Sida		18-30 ans	31-44 ans
Crise	18-30 ans	31-44 ans	45-59 ans
30 Glorieuses	31-44 ans	45-59 ans	60 ans et plus
Libération	45-59 ans	60 ans et plus	
Années folles	60 ans et plus		

Source : Auteur, d'après Préel (2000)

Ces générations correspondent à celles décrites dans le tableau 45. Elles ont été construites en fonction des classes d'âge définies et le nom attribué correspond au fait marquant connu par la génération lors de ses 20 ans, de façon à s'approcher le plus possible des générations définies par Préel.

Tableau 45 - Générations retenues pour l'analyse générationnelle des comportements de mobilité et de motorisation

Génération	Date de naissance	20 ans vers
Années folles	Avant 1921	1930
Libération	1921-1936	1948
Trente Glorieuses	1937-1950	1963
Crise	1951-1963	1977
Sida	1964-1976	1990
Internet	1977-1990	2004

Source : Auteur, d'après Préel (2000)

Ainsi, la génération " Années folles" avait 60 ans et plus en 1981, la génération "Libération" avait 45 à 59 ans en 1981, puis 60 ans et plus en 1994, la génération "Trente Glorieuses" avait 31 à 44 ans en 1981, 45 à 59 ans en 1994, puis 60 ans et plus en 2008, la génération "Crise" avait 18 à 30 ans en 1981, 31 à 44 ans en 1994, puis 45 à 59 ans en 2008, la génération "Sida" avait 18 à 30 ans en 1994, puis 31 à 44 ans en 2008, enfin la génération "Internet" avait 18 à 30 ans en 2008.

2.1. La mobilité selon l'approche générationnelle

L'Enquête Nationale des Transports (INSEE, 1982 ; INSEE, 1994 ; SOeS, 2008) nous permet d'analyser l'évolution de la mobilité des différentes générations au fil du temps. Pour cela, nous nous intéressons à l'évolution de la fréquence des déplacements, de leurs motifs, des distances à parcourir, ainsi que des modes de transport utilisés.

Le traitement des données des enquêtes a été réalisé à l'aide du logiciel SAS version 9.4.²⁹.

Entre 1981 et 2008, le nombre moyen de déplacements par personne et par jour est resté stable, passant de 4,84 à 4,83. On observe tout de même un point plus bas en 1994 avec 4,14 déplacements par jour qui s'explique essentiellement par un effet d'époque : la récession alors subie par la France.

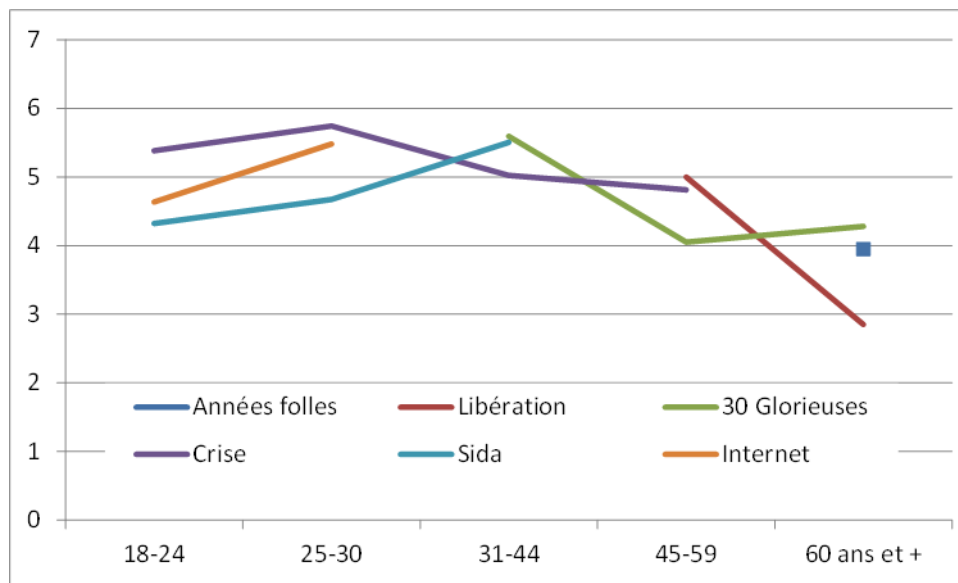
L'approche démographique montre également deux effets (figure 51) :

- Un effet d'âge qui traduit le cycle de vie des individus (scolarisation/étude, vie active/arrivée des enfants, puis retraite/départ des enfants du foyer) ; un rapport maximum de 1,76 entre le point le plus haut et le plus bas à des âges différents (à la même date d'enquête).
- Un effet générationnel : si le nombre moyen de déplacements quotidiens est relativement stable entre 1981 et 2008 pour les plus de 30 ans, les 18-30 ans de 2008 (génération "Internet") se déplacent moins qu'en 1981. La question est de savoir si cet effet générationnel négatif sera pérenne. Au total, le rapport entre le point le plus haut et le plus bas au même âge (pour des générations différentes) est de 1,5.

Si le nombre moyen de déplacements quotidiens est resté relativement stable en près de trente ans, les besoins de déplacements ont connu des évolutions en termes de motifs et de distances à parcourir.

²⁹ Les traitements SAS sont disponibles sur demande auprès de l'auteur

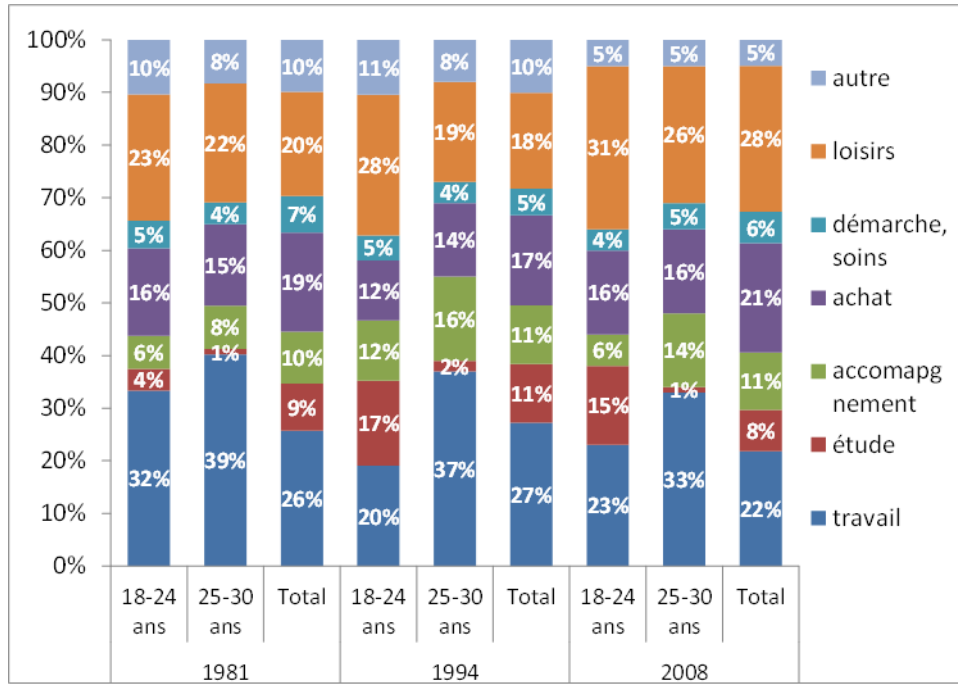
Figure 51 - Nombre moyen de déplacements locaux par personne et par jour (semaine et week-end), selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

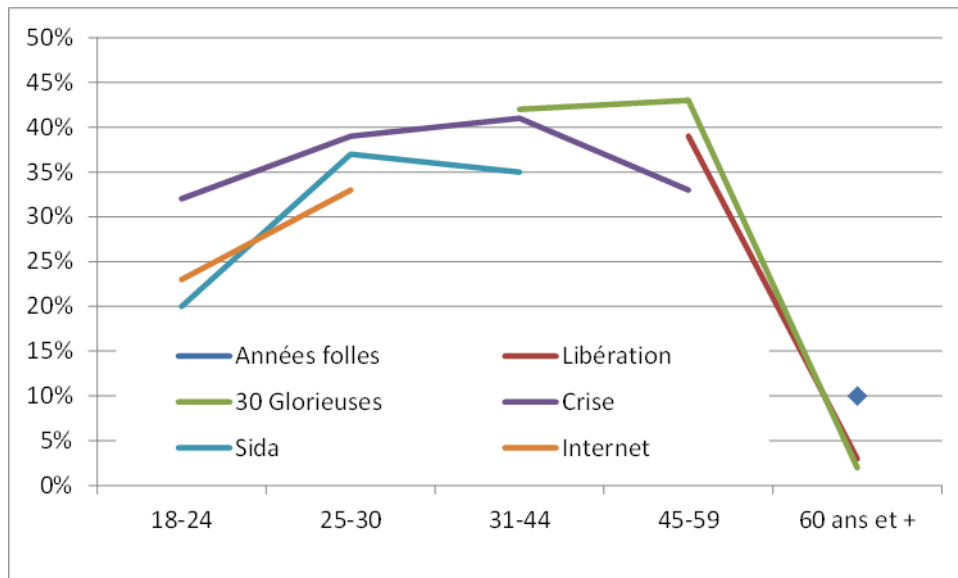
Ainsi, la répartition des motifs de déplacement a principalement évolué pour les jeunes de moins de 30 ans comme le montre la figure 52. En effet, entre 1981 et 1994, l'on observe une substitution des déplacements vers le lieu de travail par les déplacements vers le lieu d'étude en raison de la massification scolaire et de la durée des études. Par ailleurs, entre 1981 et 2008, la part des déplacements autres que ceux vers le lieu fixe de travail, d'étude ou de garde a augmenté pour l'ensemble de la population. Ce sont les déplacements vers les lieux de loisir qui ont le plus progressé, essentiellement chez les moins de 30 ans, principalement sous l'effet des mesures destinées à augmenter le temps libre : cinquième semaine de congés payés et passage du temps de travail hebdomadaire de 40 à 39 heures en 1982, puis passage à la semaine de 35 heures en 2000.

Figure 52 - Evolution des déplacements locaux selon le motif de déplacement (en % des déplacements)



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 53 - Evolution de la part des déplacements vers le lieu de travail, selon la génération

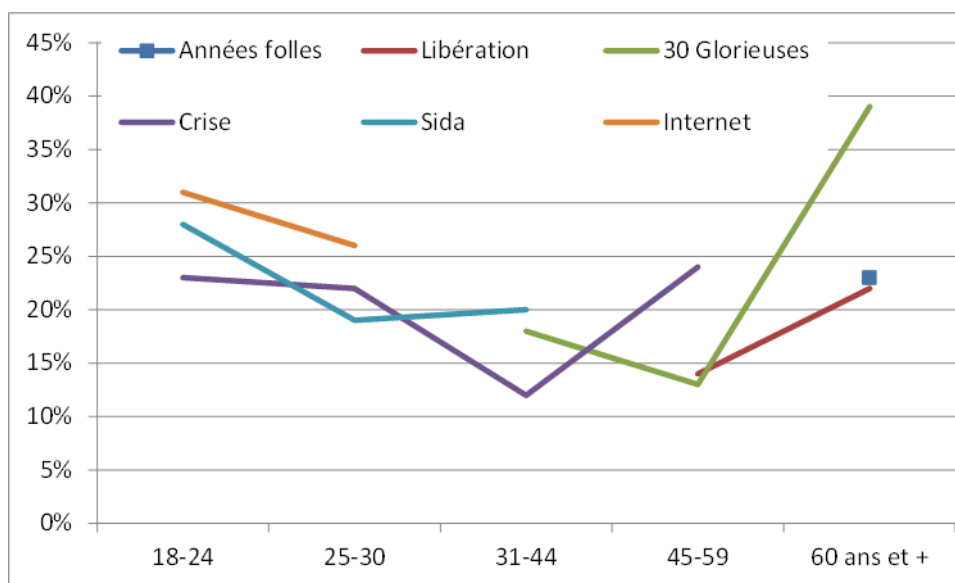


Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Plus précisément, concernant les déplacements vers le lieu de travail, l'on observe principalement un effet d'âge évidemment lié au cycle de vie (rapport maximum de 17,5 entre le point le plus haut et le plus bas à des âges différents). Par ailleurs, si l'effet générationnel était positif jusqu'à la génération "Crise" (la part des déplacements vers le travail était de plus en plus importantes au fil des générations), il est désormais négatif du fait de la massification scolaire et de l'augmentation des déplacements non professionnels. Enfin, le point bas des 18-24 ans en 1994 s'explique également par la crise économique de l'époque ayant entraîné un fort taux de chômage dans cette classe d'âge (figure 53).

Les déplacements vers le lieu de loisir subissent un effet d'âge inversé par rapport aux déplacements vers le lieu de travail, mais moins marqué (rapport de 2,3 contre 17,5) dans la mesure où, même actif, l'on essaie de conserver des temps de loisir. En revanche, l'effet de génération est positif : les déplacements vers le lieu de loisir n'ont fait qu'augmenter au fil des générations comme le montre la figure 54.

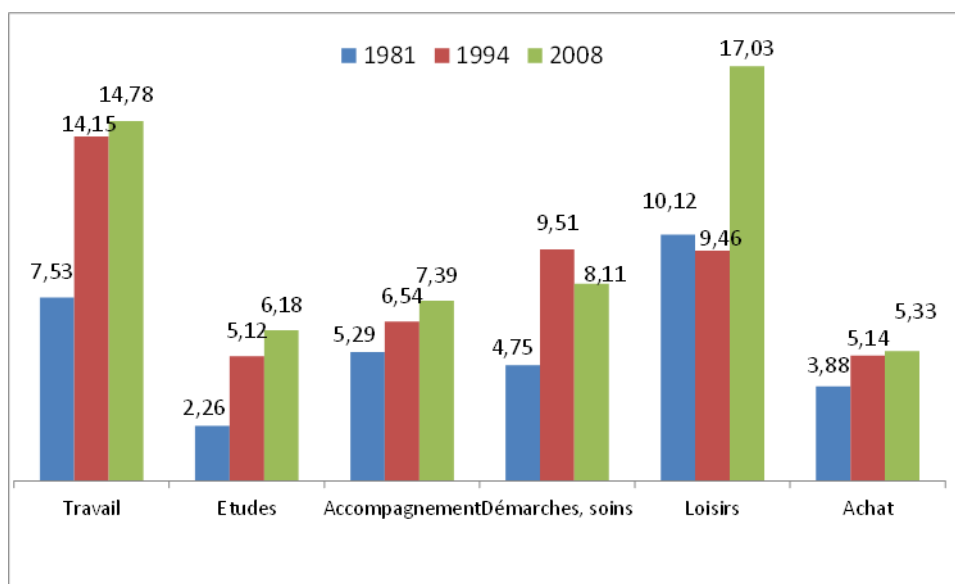
Figure 54 - Evolution de la part des déplacements vers le lieu de loisir, selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

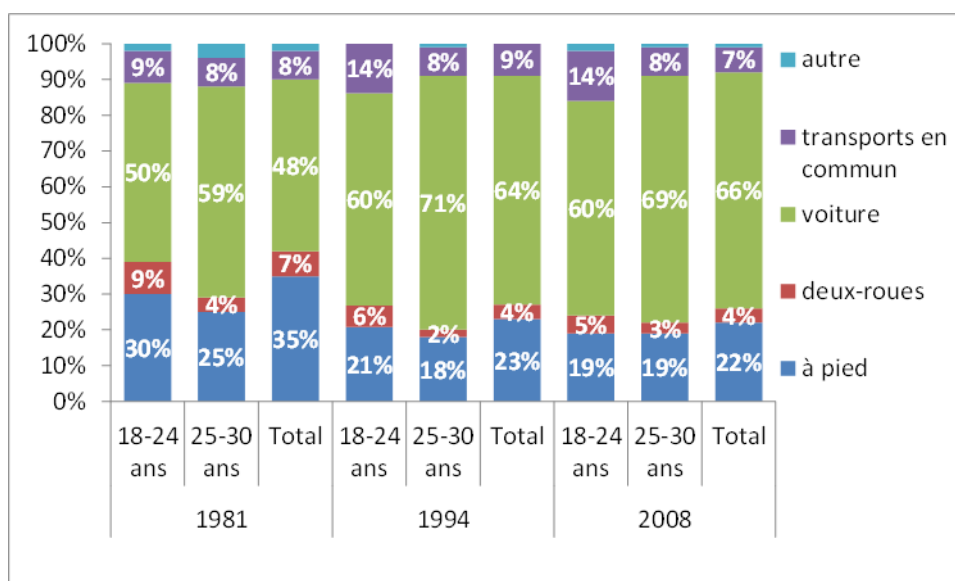
Pour chacun des différents motifs de déplacement, les distances à parcourir ont augmenté, principalement entre 1981 et 1994, pour toutes les tranches d'âge et toutes les générations (figure 55). Le ralentissement de la croissance des distances entre 1994 et 2008 illustre donc l'idée d'un pic de mobilité. Cependant, il ne concerne pas les distances parcourues pour les loisirs qui ont beaucoup progressées entre 1981 et 2008.

Figure 55 - Evolution des besoins de déplacement : distances à parcourir vers les différents lieux de déplacement, en km



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 56 - Evolution de la répartition des modes de déplacements

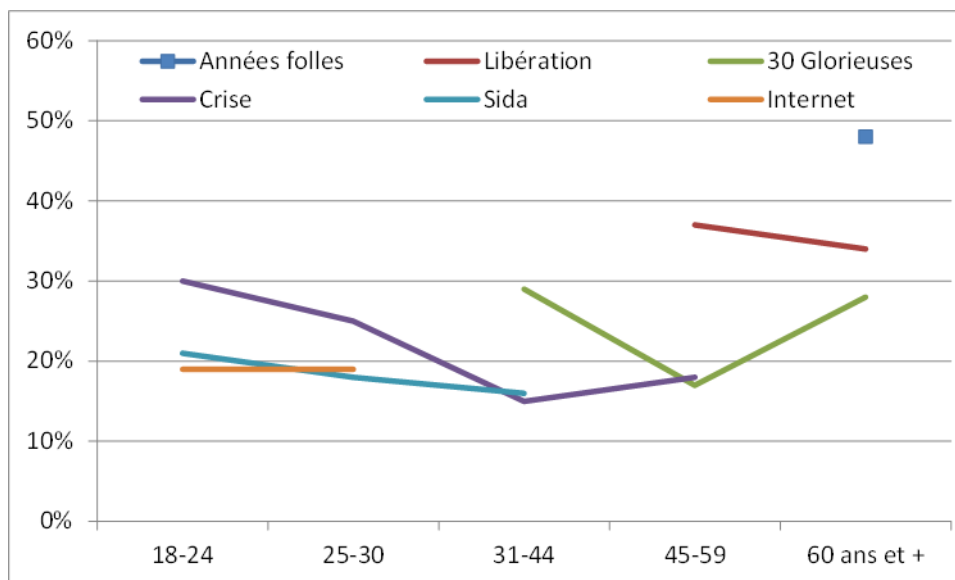


Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Concernant l'usage des différents modes de transport, les trente dernières années ont été marquées par la démocratisation automobile. En effet, entre 1981 et 2008, l'on observe une hausse puis une stabilisation de la part de la voiture dans les déplacements quotidiens et une baisse puis une stabilisation de la part des modes doux et collectifs (figure 56).

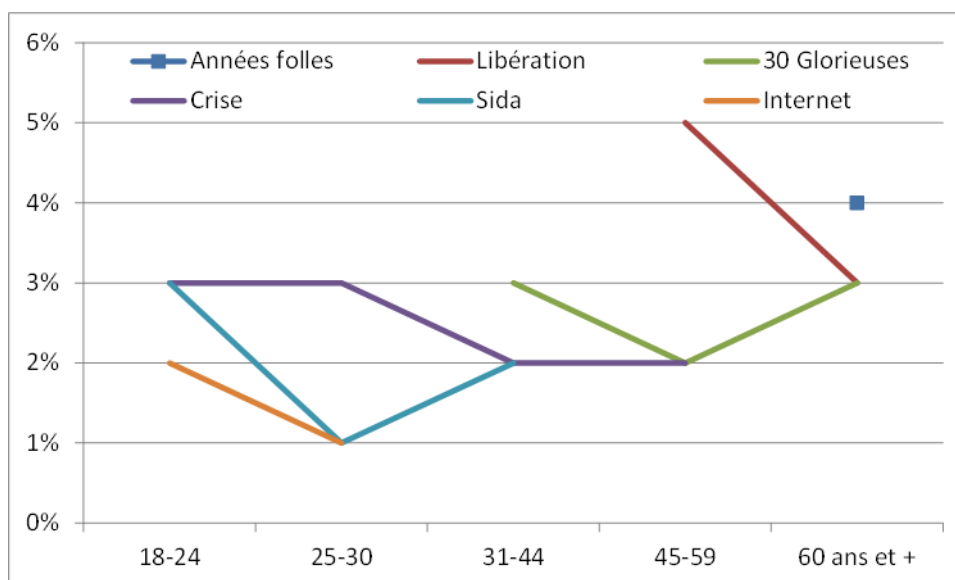
Plus précisément, il existe un effet générationnel négatif sur l'usage de la marche à pied. Cet effet est net entre 1981 et 1994 mais s'essouffle ensuite. Il semblerait que l'on ait atteint un plancher. D'autant plus que la génération "Internet" marche autant que la génération précédente ("Sida") et marche plus longtemps : la part de la marche ne décline pas à partir de 25 ans comme le montre la figure 57.

Figure 57 - Evolution de la part modale de la marche à pied selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 58 - Evolution de la part modale du vélo selon la génération

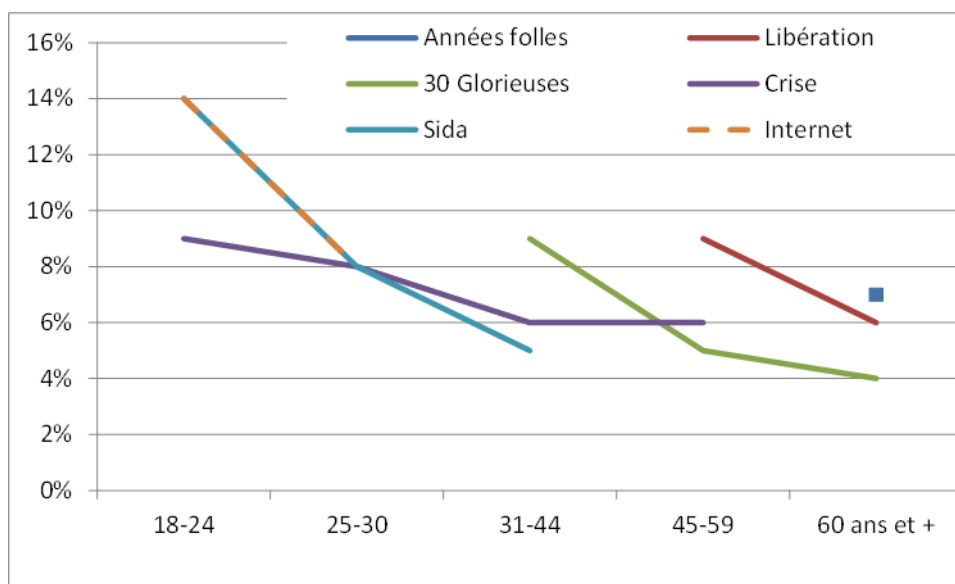


Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

De même, on observe un effet générationnel négatif sur l'usage du vélo qui s'essouffle entre 1994 et 2008 (figure 58). Il existe même un retour de la part du vélo en 2008 chez les 31-44 ans (génération "Sida") et les plus de 60 ans (génération "30 Glorieuses") sans doute sous l'effet du développement du vélo en libre-service.

L'usage des transports en commun a également été soumis à un effet générationnel négatif jusqu'aux générations "Sida" et "Internet" qui ont inversé cet effet comme le montre la figure 59. Plus précisément, l'usage des transports en commun a diminué au fil des générations pour les plus de 30 ans du fait de la concurrence automobile. Mais cet effet s'est essoufflé, supposant même une part incompressible de 4% des déplacements effectués en transports en commun. Les moins de 25 ans ont en revanche de plus en plus utilisé les transports en commun entre 1981 et 1994, notamment grâce aux politiques de la ville réintroduisant les transports en commun en ville. Ce phénomène illustre donc bien le retour vers les transports en commun, surtout chez les jeunes, évoqué dans la revue de littérature comme facteur explicatif du "peak car".

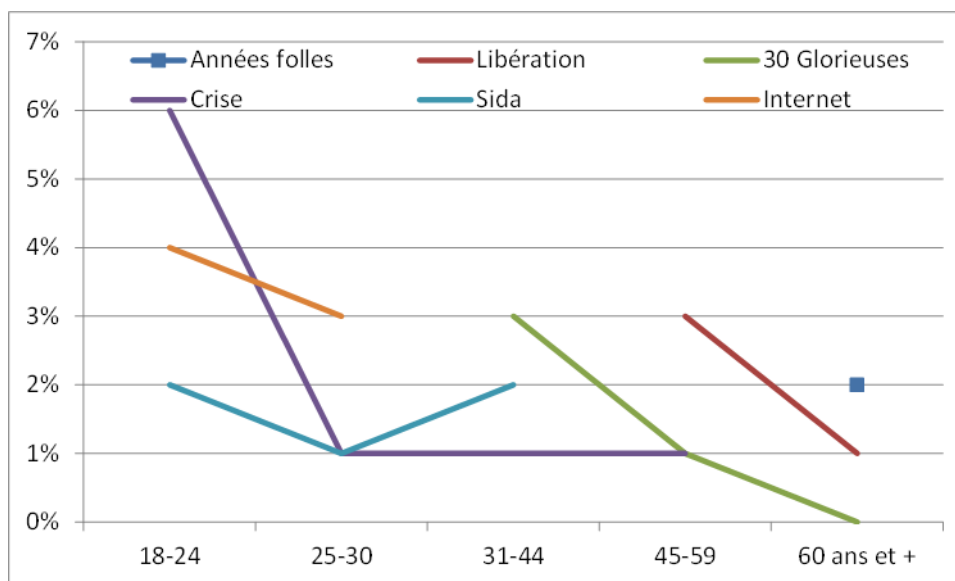
Figure 59 - Evolution de la part modale des transports en commun selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Du côté des modes motorisés individuels, l'usage des deux-roues motorisés a connu un effet générationnel négatif chez les plus de 45 ans entre 1981 et 2008 comme le montre la figure 60. Pour les moins de 45 ans en revanche, on observe un retour de l'usage des deux-roues motorisés en 2008, qui peut notamment s'expliquer par l'équivalence du permis B en 1996.

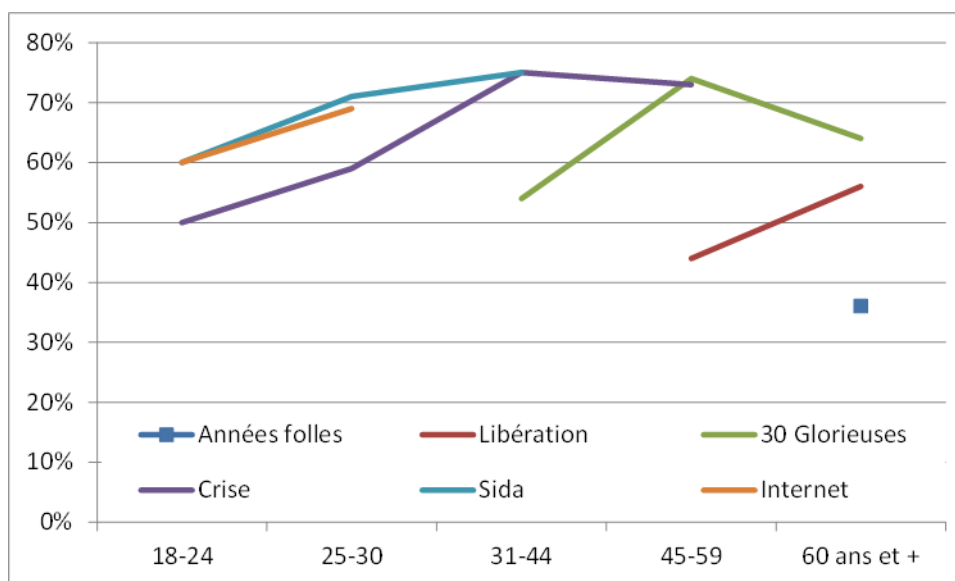
Figure 60 - Evolution de la part modale du deux-roues motorisé selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Enfin, l'usage de la voiture a connu un effet générationnel positif sous l'effet de sa diffusion dans la population. Cependant, cet effet s'essouffle puisque la part de la voiture n'a pas ou très peu progressé entre 1994 et 2008 quelles que soient les générations (figure 61). Dans ce contexte, la génération "Internet" ne se démarque donc pas de l'ensemble de la population mais traduit tout de même la saturation de l'usage automobile et donc l'idée de "peak car".

Figure 61 - Evolution de la part modale de la voiture selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

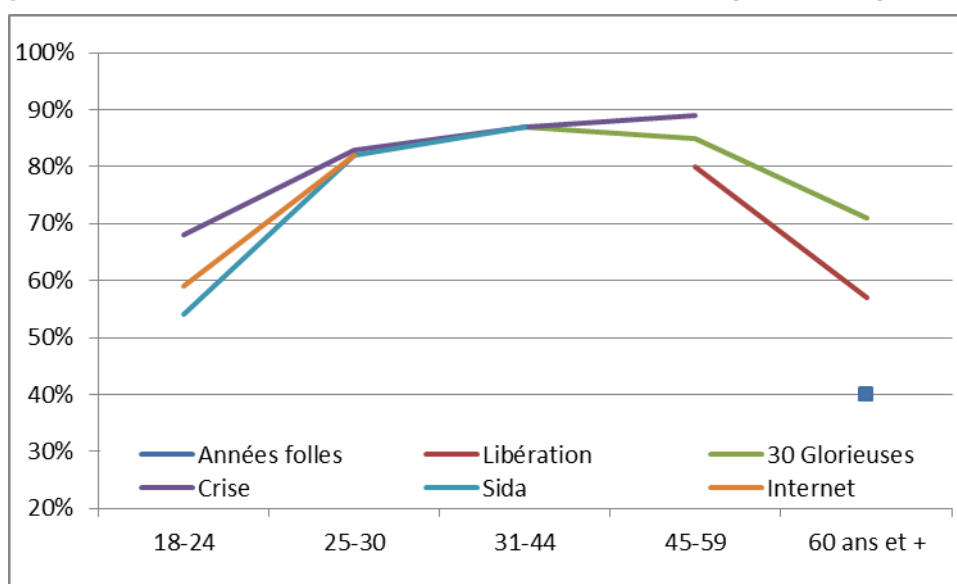
Comme nous l'avons démontré dans le chapitre précédent, l'importance de la part modale de la voiture s'explique principalement par la motorisation du ménage, elle-même fortement liée à l'évolution des revenus comme nous l'avons vu dans le chapitre 1 (section 2.3.3.).

Il convient maintenant de se focaliser sur l'équipement et l'usage automobile.

2.2. L'équipement et l'usage automobile selon l'approche générationnelle

L'Enquête Nationale des Transports (INSEE, 1982 ; INSEE, 1994 ; SOeS, 2008) nous permet également d'analyser l'évolution de la motorisation des ménages. Tout d'abord, l'équipement automobile suit un effet d'âge fonction du cycle de vie : le taux d'équipement atteint son maximum lors de la vie active du ménage comme le montre la figure 62. Par ailleurs, l'équipement automobile a connu un effet générationnel positif jusqu'à la génération "Crise". Cependant, les générations "Sida" et "Internet" sont moins équipées au même âge que la génération précédente, semblant ainsi inverser l'effet générationnel. Cependant, ce sont surtout les moins de 25 ans, plus souvent étudiants que ceux de la génération "Crise", qui s'équipent moins tandis que les 25 ans et plus sont aussi équipés au même âge que ceux de la génération précédente. Ils rattrapent donc le niveau d'équipement de leurs aînés à partir de 25 ans. Il s'agit donc à priori davantage d'une saturation de l'équipement que d'un déséquipement, donc essentiellement d'une augmentation de l'âge au premier équipement automobile.

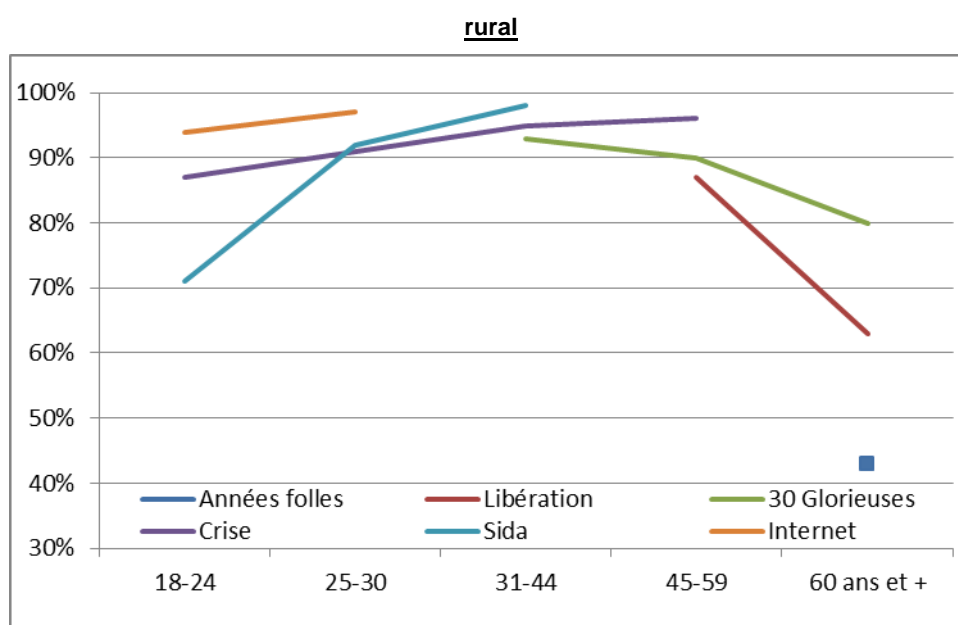
Figure 62 - Evolution du taux d'équipement automobile des ménages selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

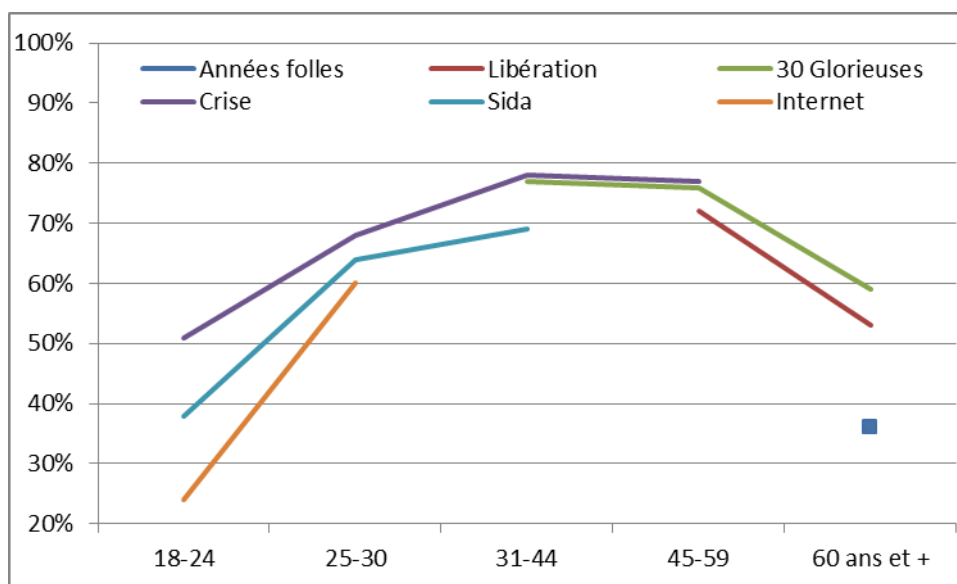
En outre, l'évolution de l'équipement automobile varie selon la zone d'habitation du ménage. En effet, si en milieu rural l'effet générationnel reste positif au fil des générations (l'équipement des ménages continue de progresser) comme le montre la figure 63, l'équipement automobile diminue depuis la génération "Crise" dans l'agglomération parisienne (figure 64). Ainsi, en milieu rural, la génération la plus équipée est la génération "Internet" tandis qu'il s'agit des générations "Trente Glorieuses" et "Crise" à Paris.

Figure 63 - Evolution du taux d'équipement automobile des ménages selon la génération, en milieu



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 64 - Evolution du taux d'équipement automobile des ménages selon la génération, dans l'agglomération parisienne

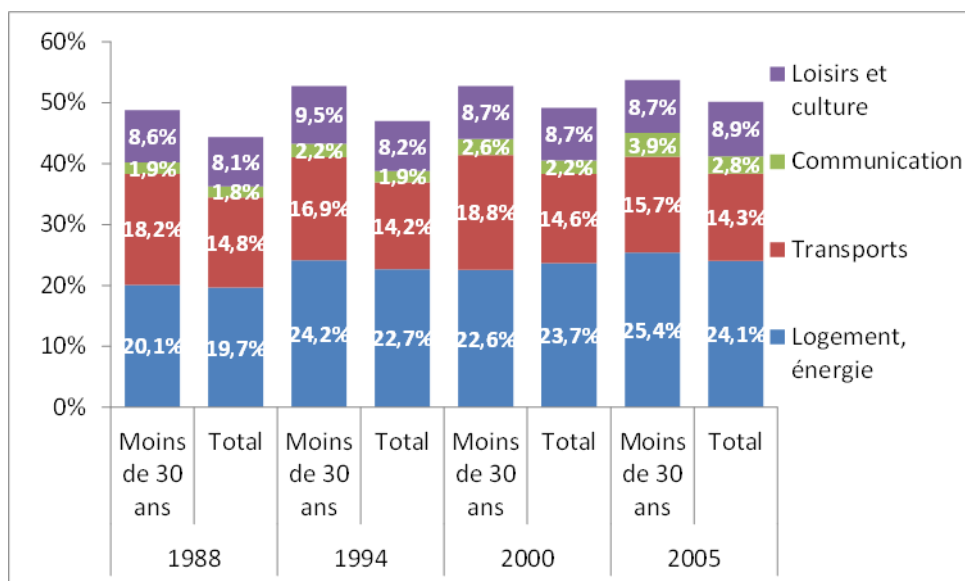


Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Dans le cadre de la diffusion de l'équipement automobile en France, les Franciliens peuvent être considérés comme précurseurs (Collet, et al., 2012). Cependant, ils disposent d'alternatives à l'automobile personnelle et subissent des contraintes (congestion urbaine et problèmes de stationnement notamment) qui n'existent pas dans toutes les zones d'habitation. Par conséquent, le déséquipement observé dans l'agglomération parisienne paraît difficilement transposable dans toutes les zones. Ainsi, l'analyse générationnelle de l'équipement automobile montre que seules les jeunes générations de l'agglomération parisienne ainsi que des agglomérations de plus de 20 000 habitants se déséquipent.

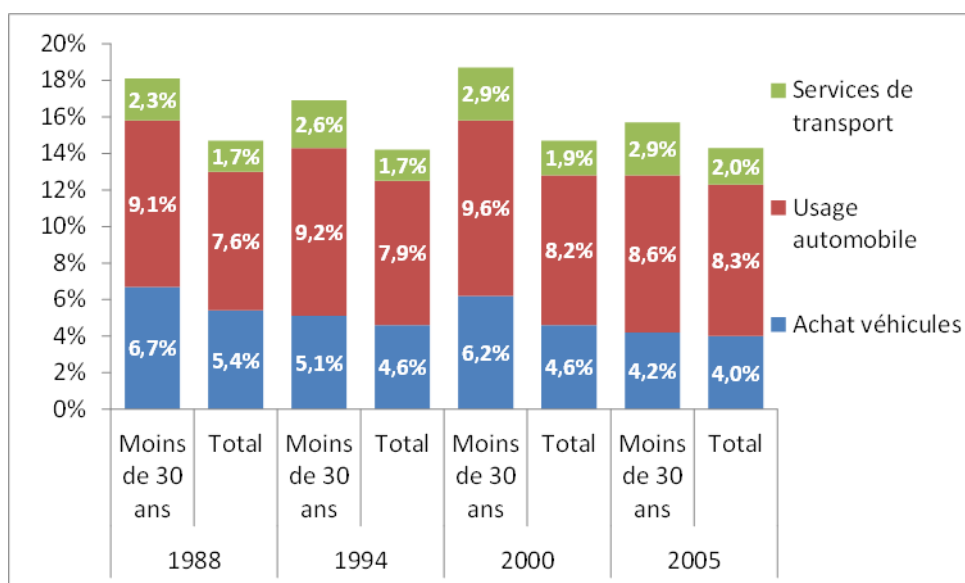
En outre, un élément particulièrement déterminant de l'équipement est le revenu, ainsi que la pression budgétaire de la voiture. Cependant, la pression du logement sur le budget des moins de 30 ans ne fait qu'augmenter, de même que celle de la communication, tandis que les ménages n'arbitrent pas sur les dépenses de loisirs et de culture. Par conséquent, si le budget transport de l'ensemble des ménages est resté plutôt stable, les moins de 30 ans l'ont réduit comme le montre la figure 65.

Figure 65 - Evolution de différents coefficients budgétaires en fonction de l'âge



Source : Comptes Nationaux (Eurostat) et Enquête Budget des Familles (INSEE)

Figure 66 - Evolution du coefficient budgétaire du poste transport en fonction de l'âge

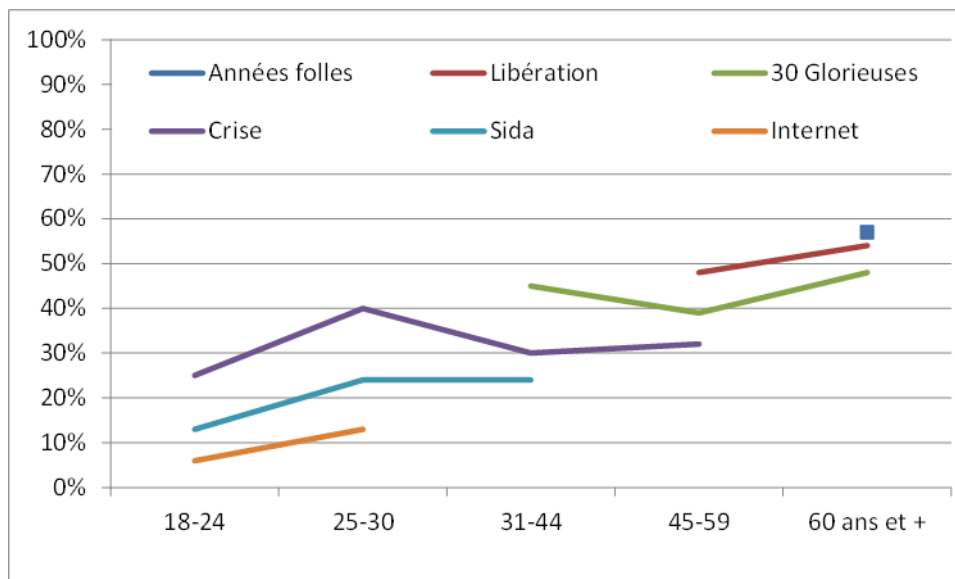


Source : Comptes Nationaux (Eurostat) et Enquête Budget des Familles (INSEE)

Par ailleurs, dans un contexte où les coûts d'usage automobile sont de plus en plus importants (carburants, entretien notamment), les ménages arbitrent en réduisant les dépenses d'achat automobile (figure 66).

Ainsi, la part des voitures achetées neuves suit un effet générationnel négatif : les ménages s'adaptent en achetant de plus en plus de voitures d'occasion (figure 67).

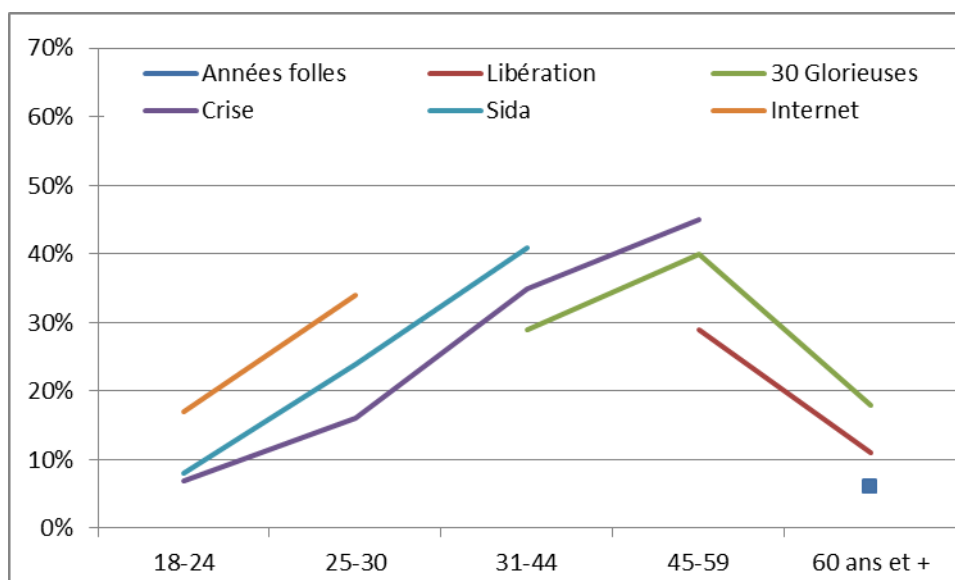
Figure 67 - Evolution de la part des voitures achetées neuves par les ménages selon la génération



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

En outre, les ménages équipés sont plus souvent multi-équipés comme le montre la figure 68.

Figure 68 – Evolution du taux de multi-équipement automobile des ménages selon la génération

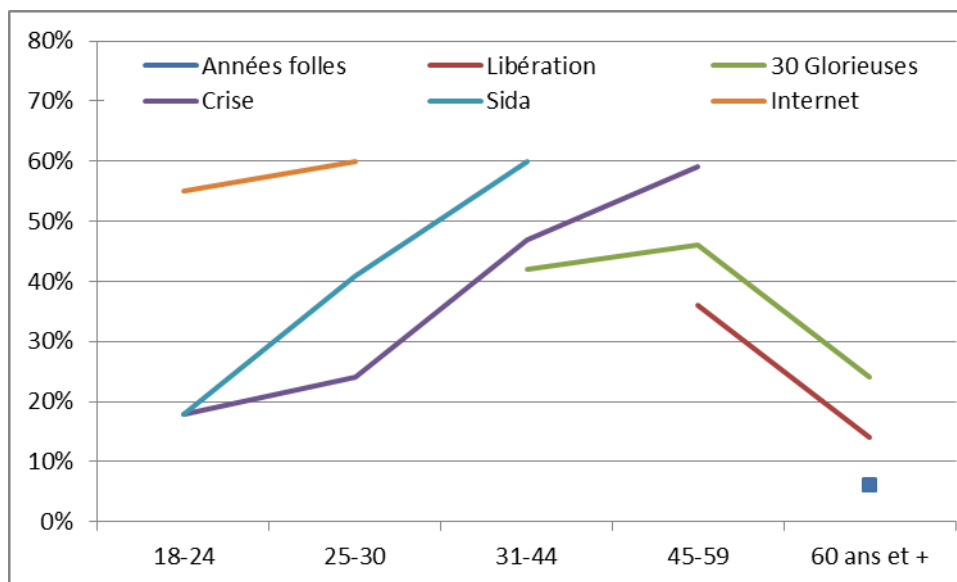


Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Mais là encore, les situations vis-à-vis du multi-équipement varient selon la zone d'habitation. Ainsi, il progresse au fil des générations en milieu rural (figure 69) et jusque dans les grandes

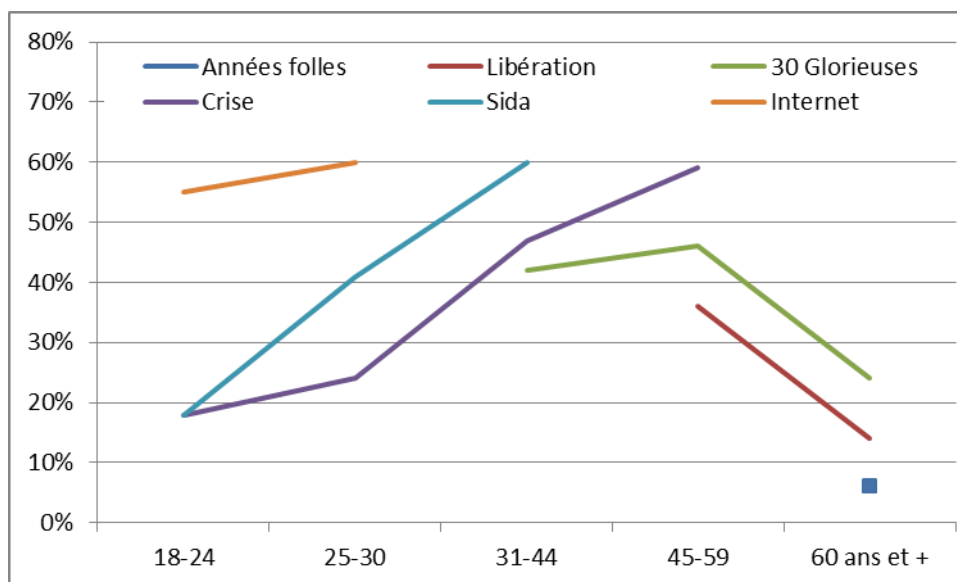
agglomérations (villes de plus de 100 000 habitants) alors qu'il stagne à Paris (figure 70) chez les 18-24 ans mais progresse chez les 25-30 ans. La génération la plus multi-équipée en milieu rural est donc la génération "Internet" tandis qu'il s'agit de la génération "Trente Glorieuses" à Paris.

Figure 69 - Evolution du taux de multi-équipement des ménages selon la génération en milieu rural



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

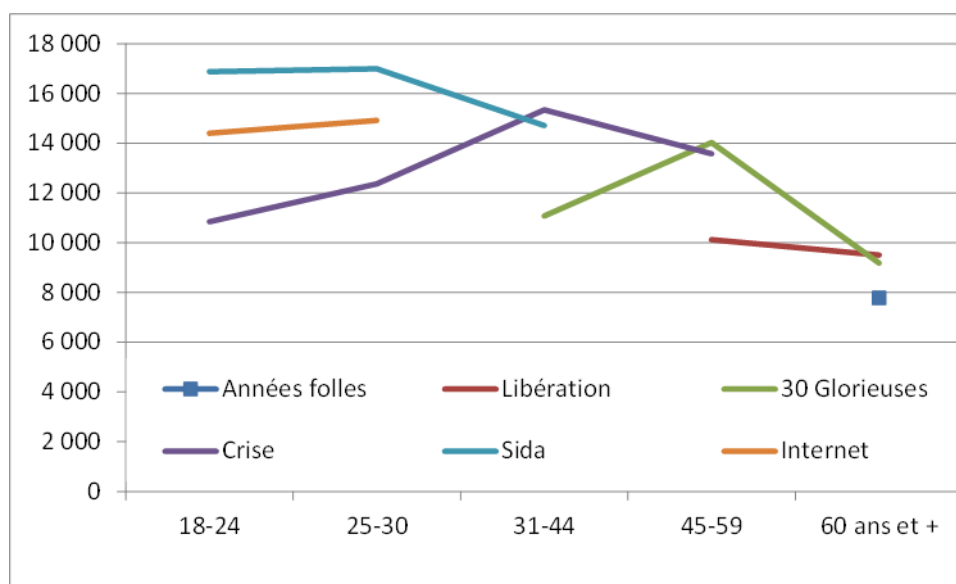
Figure 70 - Evolution du taux de multi-équipement des ménages selon la génération à Paris



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Dans ce contexte de contrainte budgétaire, l'usage automobile est en baisse. Ainsi, la figure 71 montre un effet générationnel positif concernant les distances parcourues en voiture personnelle qui s'inverse avec la génération "Internet". De plus en 2008, les 31-44 ans (génération "Sida"), les 45-59 ans (génération "Crise") et les 60 ans et plus (génération "Trente Glorieuses") parcourent moins de kilomètres avec leur voiture qu'en 1994. Ce phénomène va de pair avec la baisse des kilométrages annuels moyens observée depuis le début des années 2000, et qui, en 2008, concerne d'ailleurs l'ensemble de la population, dans toutes les zones d'habitation.

Figure 71 - Evolution des distances annuelles moyennes parcourues en voiture selon la génération (en km)



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

En outre, selon une étude menée auprès de membres d'un service d'autopartage (Louvet et Godillon, 2013), pour les moins de 30 ans, l'abonnement à l'autopartage a surtout permis de renoncer à l'achat d'une voiture (première acquisition ou seconde voiture) dans plus de 40% des cas. Autrement dit, les jeunes citadins disposent aujourd'hui d'une offre nouvelle qui pourrait changer la donne en termes d'équipement automobile.

3. Conclusion

L'analyse des comportements passés de mobilité et de motorisation des ménages sous l'angle des générations réalisée dans ce chapitre nous permet d'anticiper leurs futures trajectoires.

Depuis le début des années 2000 en France, nous observons la diminution de l'intensité de l'usage automobile. Ce phénomène, également observé dans d'autres pays industrialisés et connu sous l'expression de "peak car" s'explique principalement par des effets d'époque : pression sur le budget des coûts automobiles, réduction de la place dédiée à la voiture en ville, congestion urbaine, préoccupations environnementales, développement de la location et du partage automobile, ainsi que des technologies de l'information et de la communication. Ces effets d'époque amènent les ménages français, notamment les plus jeunes, à développer des comportements de mobilité différents de ceux de leurs aînés. Ainsi, au moment où elle acquiert ses habitudes de mobilité, la génération "Internet" est marquée par un contexte général différent de celui qu'a connu la génération précédente au même âge. De plus, une évolution majeure a modifié son cycle de vie : la généralisation des études supérieures et de leur durée ont repoussé son entrée dans la vie active et donc la phase de nidification. En outre, cette génération réside plus souvent en milieu urbain.

Par conséquent, en termes de mobilité, la génération "Internet" se distingue des précédentes en rompant avec les tendances observées jusqu'alors. En effet, jusqu'aux générations précédentes, l'on observe un effet générationnel négatif sur l'usage des modes doux et des transports en commun et un effet générationnel positif sur l'usage de la voiture individuelle. Ces effets se stabilisent avec la génération "Internet". Celle-ci n'inverse donc pas les effets générationnels mais apparaît tout de même comme la génération de la fin de la transition vers le "tout automobile". Autrement dit, cela laisse présager une stabilisation de l'usage automobile dans les années à venir : le retour de l'usage des modes doux, des transports en commun ou encore des deux-roues motorisés va de pair avec la diminution des distances parcourues en voiture par la génération "Internet" par rapport aux générations précédentes.

Ce phénomène soulève donc la question de l'évolution de la motorisation des ménages, notamment celle de sa saturation. En effet, la fin de l'augmentation du recours à l'automobile au fil des générations et la concurrence des autres modes laissent supposer une stabilisation de l'équipement automobile des ménages français. Ainsi, l'étude rétrospective de la motorisation des différentes générations montre que celle-ci a connu un effet générationnel positif jusqu'à la génération "Sida". En effet, les moins de 25 ans des générations "Sida" et

“Internet” sont moins équipées que les moins de 25 ans de la génération “Crise”. En outre, les 25-30 ans des générations “Sida” et “Internet” sont autant motorisés que les 25-30 ans de la génération précédente. Nous observons donc ici un simple report de l’âge d’achat du premier véhicule. Cependant, l’analyse distinguée selon la zone d’habitation montre que l’effet générationnel positif se poursuit en milieu rural, tandis qu’il s’est clairement inversé à Paris. En outre, la progression du temps libre a favorisé l’essor des déplacements de loisirs ainsi que des distances parcourues pour ce motif. Par conséquent, la jeune génération est désormais habituée à se déplacer souvent et relativement loin, ce qui nécessite l’usage de modes motorisés, la voiture notamment, et qui devrait donc avoir un impact sur les décisions de motorisation des ménages à l’avenir.

Par ailleurs, le multi-équipement continue de progresser au fil des générations. Ainsi, il semblerait que nous nous dirigeons vers une séparation entre d’une part, des ménages motorisés possédant plusieurs véhicules, par nécessité, mais se dotant plus souvent de véhicules d’occasion, et d’autre part, des ménages pas du tout équipés d’une automobile personnelle, mais recourant aux services de location en cas de besoin. Cela laisse donc penser que l’avenir du marché automobile en France se situera, non plus du côté des particuliers, mais de celui des sociétés, notamment les services de location automobile.

Suite à cette analyse rétrospective et afin de confirmer nos intuitions basées sur ces observations passées, il convient dans le chapitre suivant de proposer une analyse prospective du niveau de motorisation des ménages français à partir d’une méthode économétrique basée sur données de panel distinguant les différentes générations selon la densité de leur lieu de résidence.

Chapitre 7 – Vers une décroissance des niveaux de motorisation des ménages français ? L'apport de la modélisation en données de panel

Les nouveaux services de mobilité automobile, le covoiturage, la location automobile de très courte durée (autopartage), de courte durée ou de longue durée plus précisément, apparaissent comme des solutions pour certains trajets dans le premiers cas, en complément de l'usage des transports en commun dans les zones urbaines dans les deux cas suivants, ou comme une solution face au coût élevé que représente un achat automobile dans le dernier cas. En effet, le covoiturage, l'autopartage ou encore la location courte durée ne semblent pas pouvoir devenir des vecteurs de transport à part entière utilisés au quotidien pour l'ensemble des déplacements comme le montre le chapitre 5. En outre, un certain nombre de conditions doivent être respectées pour que ces services puissent venir en remplacement de la voiture personnelle comme nous l'avons mis en évidence dans le chapitre 2. Il est notamment nécessaire de parcourir une distance annuelle en voiture inférieure à la moyenne. Ces NSM apparaissent donc comme des modes parmi d'autres pour les multimodaux, soit près d'un tiers de la population en 2010 (section 1.2.3. du chapitre 4).

Cependant, leur apparition et leur déploiement peuvent potentiellement inviter une partie de la population à repenser ses habitudes de mobilité et plus précisément son usage exclusif de la voiture personnelle. Ainsi, les jeunes, moins attachés à la voiture et à sa possession, et les urbains, disposant de réseaux maillés de transports en commun, et donc plus souvent multimodaux, constituent les groupes pouvant potentiellement se passer de la possession automobile. En outre, nous avons vu que les choix modaux et d'équipement automobile sont interdépendants, le second étant le déterminant principal du premier, et que la voiture partagée ne pourrait se développer significativement que dans le cas où le ménage ne possède pas de voiture. La présence d'alternatives automobiles à la motorisation privée pourrait donc modifier les habitudes d'équipement automobile des ménages.

L'objet principal de ce chapitre est donc de mettre en évidence les déterminants de l'équipement automobile des ménages afin d'aboutir à une projection de celui-ci. Pour cela, nous proposons dans un premier temps une revue de littérature sur les différentes méthodes de modélisation de la motorisation des ménages. Puis nous présentons la méthode des données de panel, les données dont nous disposons, ainsi que la spécification du modèle utilisé et ses résultats. Enfin des projections à horizon 2020 sont réalisées et discutées.

1. Revue de littérature

Depuis la fin des années 50, différents types de modèles ont été développés pour prévoir l'évolution de la motorisation des ménages. De Jong et al. (2004) les classent en neuf catégories tandis que dans sa thèse, Huang (2007) n'effectue une distinction qu'entre les modèles statiques et dynamiques. Nous résumons ici ces classifications de modèles en suivant l'ordre chronologie de leur apparition.

Dans un second temps, nous nous intéressons plus particulièrement aux modèles en données de panel et pseudo-panel que nous utilisons dans la suite du chapitre.

1.1. Les modèles de prévision de l'équipement automobile : des modèles statiques agrégés aux modèles dynamiques désagrégés

En 1958, Tanner est le premier à proposer une projection de l'équipement automobile pour la Grande-Bretagne. Il s'agit alors d'une simple extrapolation de la tendance. Mais afin de contraindre le modèle et éviter que l'équipement n'augmente indéfiniment, Tanner (1958) propose un modèle expliquant le nombre de voitures par tête par une tendance et incluant un seuil de saturation. En 1978, il complète ce modèle en ajoutant le niveau de revenu et le coût de possession automobile comme variables explicatives. L'usage de cette théorie de la diffusion formalisée par la courbe en S s'est ensuite généralisée et a été utilisée pour prévoir les taux d'équipement automobile dans les pays en développement (Button et al., 1993) ou comparer l'évolution probable de celui-ci dans les pays développés comme dans les pays en développement (Dargay et Gately, 1999). Mais dès les années 70, les limites de ces modèles sont éprouvées. En effet, principalement basés sur l'évolution du revenu, ils s'appliquent bien aux pays en développement où la croissance de celui-ci reste le principal déterminant d'un équipement automobile encore en progression. Mais dans les pays occidentaux où l'on observe le phénomène de "peak car" et la saturation de la motorisation des ménages, des analyses plus fines s'imposent.

Apparaissent alors les modèles désagrégés dont la spécificité est de s'intéresser au nombre de voitures détenues par le ménage à partir de modèles de choix discrets basés sur le revenu et des variables socio-économiques supplémentaires. Ainsi Lerman et Ben-Akiva (1976) modélisent ce choix à partir de variables descriptives des ménages, de même que Burns et al. (1976), Bates et al. (1978), ou encore Train (1980). Ces modèles ont notamment permis de mettre en évidence l'importance de la zone d'habitation et donc de l'offre de transports en commun sur le choix d'équipement et ont été très utilisés dans les années 80 et 90 afin de réaliser des projections dans différents pays. Ainsi, le Landelijk Model Systeem développé

par le Hague Consulting Group (1989) pour modéliser le système de mobilité hollandais inclut un sous modèle de prévision de l'équipement des ménages à partir du revenu disponible, de la zone d'habitation, du genre et du nombre de personnes dans le ménage. En outre, le nombre de voitures du ménage est conditionné par le nombre de personnes détenant le permis de conduire afin de contraindre le modèle. Cette structure a ensuite été reprise pour modéliser la demande de transport en Ile-de-France (Hague Consulting Group, 1994). De même, en Grande-Bretagne, les modèles de prévisions de trafic (NRTF 1989 et 1997) ont progressivement inclus des modèles désagrégés pour prévoir le niveau de motorisation : tout d'abord en distinguant les ménages avec une seule voiture de ceux avec deux voitures ou plus, puis en désagrégeant les variables explicatives par niveau de revenu ou encore zone d'habitation, et en modélisant la probabilité d'avoir trois voitures ou plus, en autorisant le multi-équipement pour les personnes seules et en prenant en compte les véhicules d'entreprise (Whelan, 2007). Ce dernier élément est d'ailleurs intégré dans le sous-modèle de détention automobile du modèle du système de transport de Sydney (Hague Consulting Group, 2000) qui estime la détention de véhicules d'entreprise et la détention automobile totale des ménages. Les deux sont prédites à partir du revenu du ménage, de l'âge, du nombre de personnes détenant le permis de conduire, ou encore du coût du parking. Des tests de causalité révèlent que la motorisation personnelle est conditionnée par la détention d'un ou plusieurs véhicules d'entreprise. Plus récemment, ce type de modèle a été utilisé pour analyser les déterminants de l'équipement automobile en Espagne (Matas et Raymond, 2008) en 1980, 1990 et 2000. Les auteurs montrent que l'élasticité-revenu diminue avec l'augmentation de la détention automobile, que les habitants des zones rurales ont une élasticité-revenu inférieure à celle des habitants des zones urbaines, que ces derniers sont sensibles à la qualité des transports en commun, que le nombre d'actifs dans le ménage joue positivement sur le nombre de voitures détenues par le ménage et qu'il existe un effet de génération sur l'évolution de la motorisation. En outre, ils montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre l'usage de modèles de choix ordonnés ou non ordonnés tandis que Bhat et Pulugurta (1998) montrent la supériorité des seconds.

Les modèles de choix discrets ont également été utilisés pour modéliser concomitamment le nombre de véhicules et leur type ou leur intensité d'usage en Californie (Train, 1986), en Australie (Hensher et al., 1989), ou encore aux Pays-Bas (de Jong, 1989a, 1989b, 1991). Les modèles logit emboîtés sont alors utilisés pour modéliser dans un premier temps le choix du nombre de voitures à disposition du ménage, puis dans une seconde étape le type de véhicule (segment, modèle, ancienneté, etc.) (Train, 1986 ; Hensher et al., 1989). En outre, afin de prendre en compte l'hétérogénéité des préférences des ménages dans le choix du type de voiture, des modèles logit multinomiaux ou mixtes basés sur les préférences

déclarées et révélées ont été estimés (Train, 1986 ; Hensher et al., 1992 ; Brownstone et al., 2000) . Par ailleurs, les décisions d'équipement automobile et d'intensité d'usage de la voiture étant interdépendantes mais la première étant discrète et la seconde continue, des modèles joints sont utilisés afin de modéliser conjointement décision d'équipement et distance annuelle parcourue en voiture à partir du revenu du ménage, de la taille de celui-ci, de l'âge, du genre et du statut d'activité du chef de ménage (Train, 1986 ; de Jong, 1989a, 1989b, 1991).

Ces modèles de choix discrets présentent également des limites dans la mesure où ils ne permettent pas de prendre en compte la dynamique de la demande automobile dans le temps et notamment les effets revenus ou prix. Une seconde grande famille de modèles est apparue : les modèles dynamiques. Les premiers d'entre eux sont des modèles d'équilibre de marché basés sur les mécanismes d'équilibre entre l'offre et la demande de véhicules et proposés à l'origine par Cramer et Vos (1985) (cité dans RAND, 2002). Le principe de leur modèle est de prendre en compte le parc automobile d'une année t , le nombre de voitures achetées cette même année et la mise à la casse des anciens véhicules. Le modèle détermine l'équilibre offre/demande année après année, la première étant déterminée par le nombre de mises à la casse, l'âge moyen du parc et les achats automobiles des années précédentes, et la seconde par des variables démographiques, le revenu et les prix. Ce type de modèle a ensuite été mis en œuvre de manière désagrégée aux Pays-Bas notamment (DYNAMO, Meurs et al., 2006), ou encore comme sous-modèle intégré à des simulations des effets de politiques destinées à réduire les émissions du transport routier dans l'Union Européenne (TREMOVE, Transport & Mobility Leuven, 2007) ou au Danemark (ALTRANS, Kveiborg, 1999). Il est encore largement utilisé par les organismes de prévisions des marchés automobiles pour prévoir le marché de régime permanent de moyen terme notamment (BIPE, Observatoire Véhicules Légers France et Europe).

D'autres modèles se sont basés sur des séries temporelles et se sont distingués de l'approche selon la théorie de la diffusion en proposant des modèles de cointégration reposant sur la relation de long terme entre l'équipement et le revenu notamment, et se passant donc de l'hypothèse du seuil de saturation (Romilly et al., 1998, 2001).

Enfin, l'équipement automobile des ménages peut être modélisé comme une succession de décisions d'acquérir, remplacer puis se séparer de son véhicule. On parle alors de modèles dynamiques de transaction. Parmi eux, les modèles de durée sont classiquement utilisés (Gilbert, 1992 ; Hensher et Mannering, 1994 ; De Jong, 1996 ; Ramjerdi et al., 2000) afin d'expliquer la durée de détention automobile. Plus précisément, il s'agit de déterminer la probabilité d'achat automobile du ménage en expliquant le temps passé entre une

acquisition et son renouvellement à partir d'une fonction de survie et de variables socio-économiques, macro-économiques ou encore des caractéristiques de l'équipement à remplacer et du marché automobile. Plus récemment, ces modèles ont été enrichis afin de prendre en compte plusieurs types de transactions : l'acquisition d'un véhicule supplémentaire ou au contraire l'abandon du second véhicule (Mohammadian et Rashidi, 2007). Enfin, le phénomène de dépendance de l'utilité aux transactions passées a été modélisé (Mohammadian et Miller, 2003) afin de tenir compte du fait qu'un achat automobile passé a pu modifier l'utilité et le besoin du ménage en équipement automobile en le rendant familier avec le véhicule, son usage, etc.

Divers types de modèles ont donc été utilisés afin d'expliquer et de prévoir l'équipement automobile des ménages. Les modèles désagrégés et dynamiques sont désormais les plus pertinents dans ce domaine. Une manière d'employer ces deux dimensions est d'utiliser des données de panel.

1.2. Les modèles en données de panel

Les modèles en données de panel sont donc des modèles dynamiques désagrégés permettant de rendre compte des effets individuels dans leur diversité comme des effets temporels.

En effet, selon Baltagi (2008), les avantages des données de panel sont de mettre en évidence l'hétérogénéité entre les individus, la dynamique des ajustements et de procurer davantage d'informations que de simples données temporelles ou en coupe instantanée. En revanche, elles présentent des inconvénients, notamment des problèmes de collecte.

Le premier modèle de ce type a été développé par Kitamura (1987) sur la base des vagues du panel mobilité hollandais afin de déterminer conjointement les choix d'équipement automobile et l'intensité de la mobilité à travers le nombre de déplacements hebdomadaires. Puis ces mêmes données de panel ont à nouveau été utilisées pour modéliser de façon jointe la motorisation du ménage et les distances parcourues dans la semaine (Golob et van Wissen, 1989), ainsi que le nombre de voitures détenues par le ménage en incluant des variables retardées afin de prendre en compte la dépendance (Kitamura et Bunch, 1992). Plus précisément, Golob et van Wissen (1989) ont utilisé un modèle dynamique d'équations simultanées pour expliquer l'équipement et l'usage automobile. Leur démarche est particulièrement intéressante vis-à-vis de notre problématique dans la mesure où elle permet notamment de déterminer l'effet des changements dans le niveau de motorisation sur les choix modaux et inversement. La principale variable explicative est le revenu ainsi que les

distances parcourues avec les différents modes et le taux d'équipement du pas de temps précédent, le principal objectif étant de déterminer les interactions entre les variables endogènes. Ils montrent que le taux d'équipement est lié positivement au revenu des pas de temps $n-1$, n et $n+1$, de même que les distances parcourues en voiture, que leur intensité au pas de temps $n+1$ dépend de l'intensité d'usage des modes alternatifs lors du pas de temps n et que l'équipement a un effet positif sur les distances en voiture en $n+1$ et un effet négatif sur l'usage des modes alternatifs et inversement. En résumé, l'équipement automobile au pas de temps $n+1$ dépend des autres variables endogènes au pas de temps n et du revenu au pas de temps $n+2$. Plus récemment mais toujours aux Pays-Bas, Nobile et al. (1996) ont estimé un modèle probit multinomial à effets aléatoires pour expliquer le taux d'équipement et de multi-équipement. Hanly et Dargay (2000) ont également proposé un modèle en données de panel sur la base d'un panel de ménages britanniques afin d'expliquer leur motorisation et d'analyser l'effet de la détention automobile passée sur le statut de motorisation actuel. Ils montrent notamment une élasticité revenu décroissante avec le statut de motorisation passé du ménage laissant pressentir un seuil de saturation. De plus, sur la base des mêmes données, Dargay et Hanly (2007) ont estimé un modèle dynamique pour expliquer l'équipement automobile en se focalisant sur la volatilité des comportements (liés notamment à un déménagement ou un changement d'emploi ou de statut d'activité) et ont montré que les politiques publiques ont des effets plus importants si les comportements changent facilement que s'il existe des résistances au changement. A partir de l'enquête Living in Ireland (1995-2001) contenant des informations sur l'équipement automobile des ménages, Nolan (2010) analyse ses déterminants et montre un effet cycle de vie dans la détention automobile : elle augmente avec l'âge jusqu'à 50 ans et décroît ensuite, le niveau d'études, le statut d'activité, le statut marital et le nombre d'enfants au foyer ont un effet significatif sur l'équipement automobile, de même que le revenu du ménage. Les élasticités-revenu sont positives mais plutôt faibles en valeur absolue et sont plus élevées pour les ménages non motorisés lors de la période initiale. En outre, le fait d'être équipé ou non en période initiale ($n-1$) a un impact significatif sur la probabilité d'être équipé lors de la période n , indiquant ainsi un effet de dépendance à la situation passée et donc la persistance d'habitudes fortes. Enfin, dans le but de comparer les taux d'équipement de différents pays, certains ont utilisé des séries annuelles d'une vingtaine de pays (Dargay et Gately, 1999 ; Medlock et Soligo, 2002).

L'usage de ce type de modèle est conditionné par la disponibilité des données. Une solution peut donc être d'utiliser la méthode des pseudo-panels.

1.3. Les pseudo-panels

L'usage de pseudo-panels dans la modélisation de l'équipement automobile est une approche assez récente permettant de pallier le manque de données de panel. Comme l'expliquent de Jong et al. (2004) ou encore Baltagi (2008), des données de panel n'existent pas forcément dans tous les pays ou dans tous les domaines de recherche. Il s'agit alors, à partir de données en coupe instantanée basées sur un large échantillon, de créer des cohortes d'individus à suivre au fil des vagues et selon leurs caractéristiques moyennes comme le préconise Deaton (1985). Il précise également que cette méthode n'est pas confrontée au problème d'attrition, c'est-à-dire à la diminution de la probabilité qu'un individu reste dans l'échantillon au fil des périodes, auquel sont exposées les données de panel. Les cohortes doivent être construites à partir de variables invariantes dans le temps telle que la date de naissance par exemple. En outre, elles doivent refléter une homogénéité intra-cohortes et une hétérogénéité inter-cohortes. Enfin, en regroupant les individus en cohortes et en les représentant par leurs caractéristiques moyennes, l'on perd de l'information au niveau individuel.

La première utilisation de pseudo-panels dans l'analyse de la motorisation des ménages est celle de Dargay et Vythoukas (1999) à partir de l'enquête des dépenses des familles britanniques entre 1982 et 1993. Les ménages sont regroupés en cohortes sur la base de l'année de naissance du chef de famille. Les observations préliminaires montrent que les cohortes nées le plus tôt ont tendance à avoir un taux de motorisation inférieur à celui des cohortes suivantes. De plus, ils montrent que le revenu, le coût total de possession automobile, les tarifs des transports en commun, ou encore les caractéristiques socio-économiques des ménages déterminent leur équipement automobile, et notamment le cycle de vie. Enfin, l'élasticité-revenu est inférieure à l'unité ce qui montre que la voiture n'est plus considérée comme un bien de luxe.

Puis, à partir de la même enquête mais sur la période 1982-1995, Dargay (2002) propose une analyse des déterminants de l'équipement automobile en distinguant les ménages urbains des ménages ruraux. Les variables explicatives prises en compte sont le revenu, le coût de détention et d'usage automobile, ainsi que des variables sociodémographiques. Un modèle dynamique est estimé afin de prendre en compte les effets de court et long terme. Les résultats montrent un effet de cycle de vie sur la motorisation en forme de cloche, avec un maximum vers 50 ans, un effet générationnel positif, un équipement automobile plus élevés chez les ménages ruraux que chez les urbains et que les premiers sont moins sensibles aux coûts automobiles que les seconds. Huang (2007) utilise également ces données sur la

période 1982-2000 et montre un effet positif du revenu et de la dépendance à l'équipement passé sur la motorisation des ménages.

2. La méthode

Comme le décrit Baltagi (2008), à l'inverse des régressions à partir de données temporelles ou en coupe instantanée, une régression à partir de données de panel possède ces deux dimensions donc est doublement indicée :

$$Y_{it} = \alpha_i + X'_{it}\beta + u_{it} \quad i=1, \dots, N \text{ et } t=1, \dots, T ; \quad (1)$$

i indiquant la dimension individuelle et t la dimension temporelle. α_i est un scalaire, β est de dimension $K \times 1$ et X_{it} est la $i^{\text{ème}}$ observation pour K variables explicatives.

En outre, la plupart des modèles en données de panel utilise un terme d'erreur décomposé sous la forme :

$$u_{it} = \mu_i + v_{it} \quad (2)$$

Où μ_i indique les effets spécifiques individuels inobservables et v_{it} l'erreur restante. Cette dernière correspond au terme d'erreur classique dans une régression et varie avec les individus et le temps tandis que μ_i ne varie pas dans le temps.

Il s'agit donc d'un modèle de régression classique mais dans lequel il convient de déterminer l'origine de l'hétérogénéité. En tout premier lieu, il importe de déterminer si la relation entre la variable endogène et les variables exogènes est la même pour tous les individus. On parle alors de modèle pooled : la constante et les coefficients des paramètres sont identiques pour tous les individus. Le modèle s'écrit alors :

$$Y_{it} = \alpha + X'_{it}\beta + u_{it} \quad (3)$$

Si cette hypothèse d'homogénéité est rejetée, il est alors nécessaire de tester si les coefficients associés aux variables explicatives sont identiques. Dans le cas contraire, l'utilisation des données de panel n'est pas justifiée et le modèle doit être estimé pour chaque individu.

Si les paramètres des variables exogènes sont identiques pour tous les individus, l'hétérogénéité peut donc provenir des constantes α_i . On obtient alors un modèle avec effets individuels selon l'équation (1). L'usage des données de panel est alors justifié et il convient donc de déterminer la bonne spécification du modèle en fonction de la source d'hétérogénéité identifiée.

L'équation (1) peut être réécrite sous forme vectorielle :

$$Y = \alpha \iota_{NT} + X \beta + u = Z\delta + u \quad (4)$$

Où Y est un vecteur de dimension $NT \times 1$, X une matrice de dimension $NT \times K$, $Z = [\iota_{NT}, X]$, $\delta = (\alpha', \beta')$ et ι_{NT} un vecteur unité de dimension NT . D'où (2) peut s'écrire :

$$u = Z_{\mu} \mu + v \quad (5)$$

2.1. Le modèle à effets fixes

2.1.1. L'estimation

Dans le modèle à effets fixes, les relations entre la variable à expliquer et les variables indépendantes ne varient pas avec les individus. L'hétérogénéité provient donc des constantes individuelles α_i à estimer et qui sont supposées être fixes dans ce modèle qui s'écrit alors :

$$Y_{it} = \alpha_i + X'_{it}\beta + u_{it} \quad (3)$$

Dans l'écriture matricielle, μ_i est donc supposé être un paramètre fixe à estimer. Le modèle s'écrit alors :

$$Y = \alpha \iota_{NT} + X \beta + Z_{\mu} \mu + v = Z\delta + Z_{\mu} \mu + v \quad (6)$$

Afin d'estimer le modèle à effets fixes, l'on peut montrer que l'estimateur des moindres carrés ordinaires (MCO) obtenu à partir d'un modèle transformé que nous ne détaillons pas ici (pour plus de détails voir Baltagi, 2008, p.14-17) mais dans lequel les variables sont centrées par rapport à leur moyenne, permettant ainsi de rendre compte de la variabilité intra-individuelle et donc des effets temporels, est équivalent à l'estimateur à variables muettes indicatrices (Least Square Dummy Variables, LSDV), encore appelé estimateur within. En outre, il est le meilleur estimateur sans biais sous les hypothèses décrites dans le paragraphe suivant.

2.1.2. Les hypothèses

Les résidus v_{it} sont supposés indépendants et identiquement distribués, et vérifient les hypothèses des MCO. Autrement dit, l'espérance des résidus est supposée être nulle :

$$E(v_{it}) = 0.$$

En outre, le processus v_{it} est sans mémoire, c'est-à-dire que pour chaque individu, il n'y a pas de corrélation entre le processus v_{it} et les réalisations passées :

$$E(v_{it}, v_{is}) = \begin{cases} \sigma_\varepsilon^2 & t=s \\ 0 & \forall t \neq s \end{cases} \quad \text{ce qui implique que } E(v_i, v'_i) = \sigma_\varepsilon^2 I_T \text{ où } I_T \text{ désigne la matrice identité de dimension } (T, T).$$

Enfin, le processus v_{it} est supposé non corrélé pour deux individus et quelle que soit la date :

$$E(v_{it}, v_{js}) = 0, \forall j \neq i, \forall (t, s)$$

D'autre part, afin de tester la significativité de l'estimation avec variables instrumentales et donc l'existence d'effets fixes, un test d'égalité des coefficients peut être réalisé à partir de la statistique de Fisher suivante :

$$F = \frac{(R^2_{pooled} - R^2_{LSDV}) / (N-1)}{(1-R^2_{LSDV}) / (NT-N-K)} \sim F_{N-1, N(T-1)-K}$$

Ainsi, selon l'hypothèse nulle de ce test, les μ_i sont constants d'un groupe à l'autre et l'estimateur approprié est l'estimateur MCO. Inversement, selon l'hypothèse alternative, il existe des différences intra-groupes et l'estimateur est l'estimateur LSDV.

Enfin, afin de proposer des écart-types robustes en les corrigeant de l'hétéroscédasticité, la méthode proposée par Arellano (1987) peut être utilisée (méthode détaillée dans Baltagi, 2008, page 16).

Contrairement au modèle à effets fixes, la source de l'hétérogénéité peut également être exprimée à travers le terme d'erreur et donc de manière aléatoire dans le modèle à erreur composé ou modèle à effets aléatoires.

2.2. Le modèle à effets aléatoires

2.2.1. L'estimation

Dans le modèle à effets aléatoires ou modèle à erreurs composées, les spécificités individuelles α_i sont supposées être sous forme aléatoire. Plus précisément, les différentes variables explicatives d'un comportement ne sont pas toujours observables. Dans ce cas, elles sont approchées à travers la structure des résidus en distinguant les facteurs agissant différemment selon l'individu et la période, ceux dont l'influence dépend seulement de la période (effet temporel) et ceux dont l'influence dépend seulement de l'individu (effet

individuel). Le terme spécifique à l'individu se décompose donc en un terme fixe et un terme aléatoire spécifique à l'individu. Le modèle s'écrit toujours :

$$Y_{it} = \alpha_i + X'_{it}\beta + u_{it} \quad (3)$$

Mais, dans l'équation (2), le terme μ_i est supposé être aléatoire.

Dans le cadre du modèle aléatoire, l'on peut montrer que l'estimateur within est sans biais mais n'est pas le meilleur dans la mesure où il n'est pas de variance minimale lorsque les effets individuels sont aléatoires. Le meilleur estimateur sans biais est celui obtenu par la méthode des moindres carrés généralisés (MCG). Mais lorsque la matrice de variance covariance des résidus n'est pas connue, l'estimateur est obtenu en deux étapes : grâce à une estimation inter-individuelle et à une estimation intra-individuelle. L'estimateur MCG correspond alors à la moyenne pondérée des estimateurs within et between. Ce dernier est obtenu en appliquant les MCO sur le modèle centré sur la moyenne totale (pour une démonstration détaillée voir Baltagi, 2008, p.18-21).

2.2.2. Les hypothèses

La structure de résidus impose le respect de certaines hypothèses. Tout d'abord, ils sont i.i.d. et satisfont les conditions suivantes :

- $E(\mu_i) = E(v_{it}) = 0$
- $E(\mu_i, v_{it}) = 0$
- $E(\mu_i, \mu_j) = \sigma^2_\mu$ si $i=j$, 0 sinon
- $E(v_{it}, v_{js}) = \sigma^2_\mu$ si $i=j$ et $t=s$, 0 sinon
- $E(\mu_i, x'_{it}) = 0$

De même que dans le cas du modèle à effets fixes, la pertinence du modèle à effets aléatoires par rapport au modèle pooled doit être testée. Pour cela, le test de Breusch et Pagan (1980) (Baltagi, 2008, page 63) est utilisé dont la statistique de test est un multiplicateur de Lagrange basé sur les résidus du modèle pooled :

$$LM = \frac{NT}{2(T-1)} \left[\frac{T^2 \bar{e}' \bar{e}}{e'e} - 1 \right]^2 \sim \chi^2(1)$$

Sous l'hypothèse H_0 , $\sigma^2_\mu = 0$ ce qui signifie qu'il n'y a pas d'effets individuels et que l'estimateur approprié est l'estimateur MCO. Sous l'hypothèse alternative H_1 , $\sigma^2_\mu \neq 0$. Il existe donc bien des effets individuels sous forme aléatoire et l'estimateur est l'estimateur MCG.

2.3. Le test d'Hausman

Afin de choisir la bonne spécification entre le modèle à effets fixes et le modèle à effets aléatoires, le test de spécification d'Hausman peut être appliqué. Il consiste à repérer d'éventuelles corrélations entre les variables explicatives et les effets individuels dans le modèle à effets aléatoires.

Le principe du test est de considérer deux estimateurs d'un même modèle et de comparer la distance pondérée par la matrice de variance covariance entre les deux. Sous l'hypothèse nulle, les estimateurs LSDV et MCG sont supposés être non biaisés, tandis que sous l'hypothèse alternative, l'estimateur MCG ne l'est pas. Autrement dit, sous l'hypothèse H_0 les deux estimations ne diffèrent pas statistiquement donc un test basé sur leur différence est pertinent. Ainsi, dans les deux cas l'estimateur du modèle à effets fixes est non biaisé, sous l'hypothèse nulle les modèles à effets fixes et à effets aléatoires ne diffèrent pas et sous l'hypothèse alternative, le modèle à effets aléatoires n'est pas approprié et le modèle à effets fixes doit être utilisé.

La statistique du test d'Hausman est la suivante :

$$H = (\hat{\beta}_{MCG} - \hat{\beta}_{LSDV})' [var(\hat{\beta}_{MCG} - \hat{\beta}_{LSDV})]^{-1} (\hat{\beta}_{MCG} - \hat{\beta}_{LSDV})$$

3. Les données

Dans le chapitre précédent, nous avons utilisé l'enquête transport nationale afin de mettre en évidence l'évolution passée des habitudes de mobilité et de motorisation des ménages au fil des générations. Cette enquête a lieu tous les 13 à 14 ans et contient donc des informations à propos de la mobilité et de l'intensité de l'usage automobile, ainsi que des variables descriptives des ménages et expliquant leur motorisation. Le pseudo-panel est donc construit à partir des données des trois dernières vagues : 1981-1982, 1993-1994 et 2007-2008. Plus de 6 000 ménages ont été interrogés en 1981-1982, 20 000 ménages en 1993-1994, et 30 000 en 2007-2008. Ils sont répartis en différentes cohortes définies à partir de leur période de naissance. De plus, les principales variables influençant la motorisation des ménages et présentées dans la revue de littérature sont prises en compte, ainsi que leur évolution au fil du cycle de vie des cohortes.

3.1. La construction du pseudo-panel

Les cohortes sont construites à partir de deux caractéristiques les définissant : la génération et le lieu d'habitation. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'équipement automobile s'est diffusé au fur et à mesure des générations, celles nées avec la voiture étant plus souvent motorisées que les autres. En outre, la possession automobile est plus ou moins une nécessité selon la zone d'habitation et donc l'offre de transport à proximité du domicile.

Ainsi, nous construisons sept générations selon la classe d'âge du chef de famille. Les classes d'âge sont de 14 ans (avec un point de départ à 18 ans), soit la récurrence de l'enquête nationale des transports, afin de pouvoir les suivre dans le temps au fil des vagues. Nous définissons donc les classes suivantes : les 18-29 ans, les 30-44 ans, les 45-59 ans, les 60-74 ans et les 75 ans et plus. Nous leur attribuons les mêmes noms de génération que dans le chapitre précédent auxquels nous avons ajouté la génération "Belle époque" correspondant aux personnes de 75 ans et plus en 1981.

Afin de prendre en compte l'offre de transports en commun près du domicile, nous distinguons également les cohortes selon le lieu d'habitation. Ainsi, cinq catégories de zones d'habitation sont définies : le milieu rural, les villes de moins de 20 000 habitants, les villes entre 20 000 et 100 000 habitants, les villes de plus de 100 000 habitants et l'unité urbaine de Paris.

Au final, nous disposons donc de 75 observations de 35 cohortes. Ces cohortes sont suivies dans le temps lors des trois enquêtes et les variables expliquées et explicatives sont les moyennes observées dans chaque cohorte à chaque date d'enquête.

Ainsi, le nombre moyen de voitures par ménage est calculé pour chaque cohorte ainsi définie à partir du nombre de véhicules déclaré par chaque ménage. Il s'agit donc de la motorisation moyenne de chaque génération dans une zone d'habitation donnée. De même, les variables explicatives sont les moyennes calculées pour chaque génération de chaque zone d'habitation.

3.2. Description des variables exogènes et endogènes

La variable exogène est le nombre moyen de voitures détenues par le ménage. Il s'agit bien de véhicules particuliers, les véhicules utilitaires légers ou deux-roues étant exclus de l'analyse. Les figures 72 et 73 présentent le nombre moyen de voitures détenues respectivement par les ménages ruraux et parisiens.

Figure 72 – Nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, en milieu rural

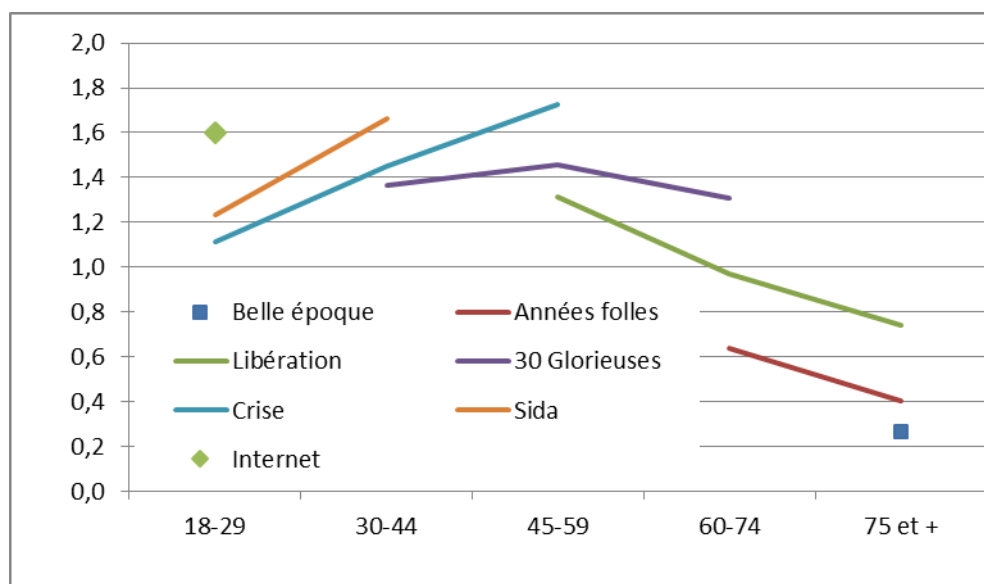
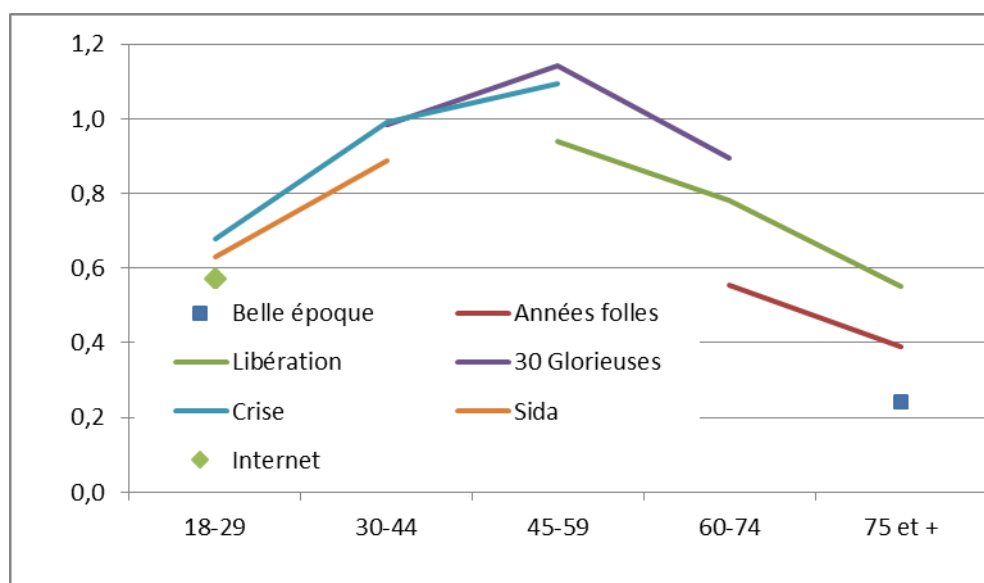


Figure 73 – Nombre moyen de voitures par ménages au fil des générations, à Paris



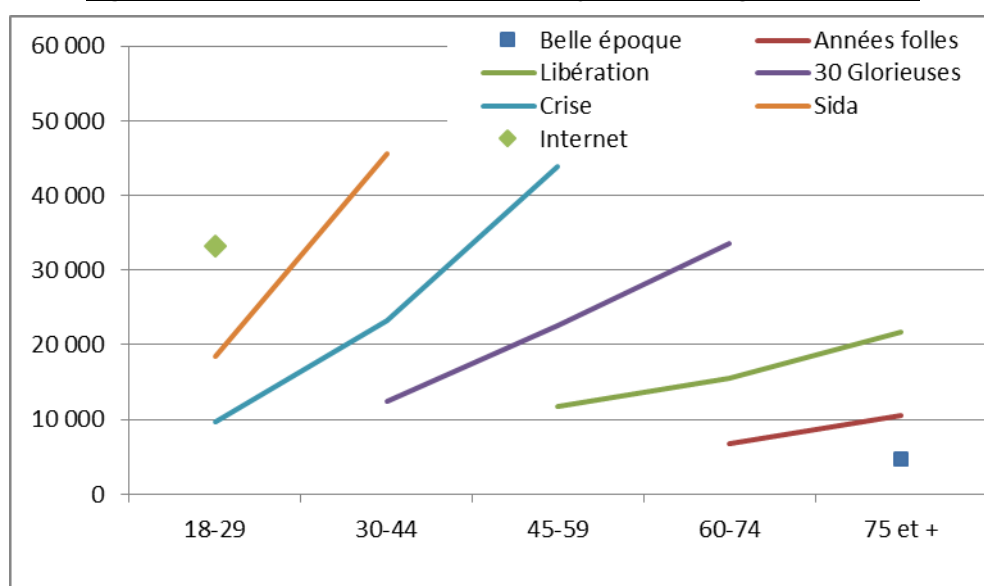
Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

D'une part, les ménages ruraux possèdent davantage de voitures, en moyenne, que les ménages parisiens. D'autre part, si la motorisation des premiers continue de progresser au fil des générations, celle des Parisiens décroît depuis la génération Crise.

Comme nous l'avons vu dans la revue de littérature, les principaux déterminants de la motorisation des ménages sont le revenu, de même que les caractéristiques socio-démographiques, ainsi que les coûts des différents modes ou encore l'équipement passé du ménage. Dans les enquêtes dont nous disposons, nous ne pouvons suivre dans le temps que le revenu du ménage, l'âge du chef de famille, le nombre de personnes dans le ménage, le nombre d'actifs, le nombre d'enfants et le diplôme le plus élevé du ménage.

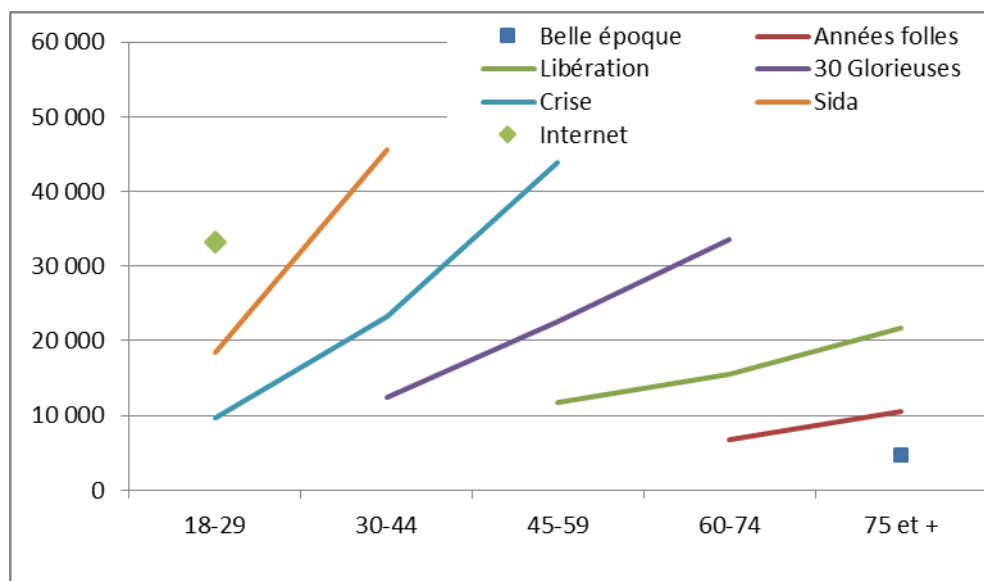
Le revenu correspond à la moyenne, dans la cohorte, du centre de la tranche de revenu annuel net du ménage en euros, dont l'évolution au fil des générations en milieu rural et à Paris est présentée dans les figures 74 et 75. Les revenus annuels ont augmenté au fil des générations mais les ménages parisiens disposent de niveaux de revenus supérieurs à ceux des ménages ruraux.

Figure 74 – Evolution du revenu annuel moyen des ménages ruraux, en €



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 75 – Evolution du revenu annuel moyen des ménages parisiens, en €



Source : Calcul de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Parmi les variables socio-démographiques caractérisant les ménages, les variables correspondent aux moyennes, dans chaque cohorte, de l'âge du chef de famille, du nombre de personnes dans le ménage, du nombre d'actifs et du nombre d'enfants.

En outre, dans le but de prendre en considération l'aspect économique, nous tentons d'expliquer la motorisation par le prix d'achat automobile et le prix des carburants. Il s'agit donc de variables variant dans le temps mais pas d'une cohorte à une autre. Le prix d'achat correspond à la moyenne des prix catalogues recensés dans l'enquête biannuelle de la Commission Européenne sur les prix des voitures et rétropolés jusqu'à 1981. Ainsi, nous retenons les prix suivants : 9 461€ en 1981-1982, 15 345€ en 1993-1994 et 20 987€ en 2007-2008. Il s'agit évidemment des prix des voitures neuves mais leur évolution plus que leur niveau importe dans l'estimation du modèle. Le prix des carburants correspond à la moyenne du prix au litre des différents carburants³⁰. Nous retenons donc les prix suivants : 0.625€/L en 1981-1982, 0.685 en 1993-1994 et 1.282 en 2007-2008.

³⁰ http://developpement-durable.bsocom.fr/statistiques/ReportFolders/ReportFolders.aspx?sRF_ActivePath=P,6831,6833,6927&sRF_Mode=0&sRF_Expanded=,,P,6831,6833,6927,,

4. La spécification du modèle d'équipement automobile

La variable dépendante correspond au nombre moyen de voitures détenues par la cohorte c à la date t . Les variables explicatives retenues sont celles identifiées dans la littérature comme les déterminants essentiels : le revenu, l'âge du chef de famille, les caractéristiques du ménage (taille, nombre d'enfants, nombre d'actifs), le prix d'achat automobile, ou encore le prix des carburants. En outre, nous incluons une variable muette correspondant à l'année 2008 qui se démarque des deux autres vagues d'enquête dans la mesure où les alternatives à l'usage en solo de la voiture personnelle se sont, sinon démocratisées, du moins fait connaître (covoiturage, autopartage).

Le nombre moyen de voitures détenues par chaque cohorte i à la date t est donc défini selon le modèle empirique suivant :

$$N_{it} = f(A_{it}, R_{it}, T_{it}, Ne_{it}, Na_{it}, Pa_t, Pc_t, alter)$$

Où :

- A_{it} : l'âge moyen du chef de ménage de la cohorte i à la date t ,
- R_{it} : le revenu mensuel moyen de la cohorte i à la date t ,
- T_{it} : la taille moyenne du ménage,
- Ne_{it} : le nombre moyen d'enfants du ménage,
- Na_{it} : le nombre moyen d'actifs dans le ménage,
- Pa_t : le prix d'achat moyen d'une voiture neuve à la date t et qui est donc le même quelle que soit la zone d'habitation,
- Pc_t : le prix moyen des carburants à la date t ,
- $alter$: le fait de disposer d'alternatives automobiles à la voiture personnelle.

Différentes combinaisons de variables ont été expérimentées, ainsi que différentes formes fonctionnelles de modèle (linéaire, semi-log, log-log, et log-inverse à l'image de celles testées par Dargay, 2002). Nous avons retenu la combinaison de variables et la forme fonctionnelle proposant le meilleur ajustement des données passées. Plus précisément, nous spécifions le modèle sous la forme fonctionnelle d'un modèle log-log de manière à obtenir directement les élasticités associées aux facteurs explicatifs retenus. Le modèle retenu est le suivant :

$$\ln N_{it} = \alpha_i + \beta_A \ln A_{it} + \beta_R \ln R_{it} + \beta_P \ln P_t + \beta_{alter} alter + u_{it}$$

Les différents groupes de facteurs déterminants l'équipement automobile sont représentés : le revenu, les prix et les caractéristiques du ménage. Parmi ces dernières, seul l'âge du chef

de famille est une variable significative. Représentant l'évolution du cycle de vie, l'on peut considérer qu'elle prend en compte d'autres variables comme la taille du ménage (en forme de cloche au fil du cycle de vie tout comme le nombre d'enfants au foyer ou encore le nombre d'actifs dans le ménage).

5. Les résultats empiriques

L'estimation du modèle est réalisée à l'aide du logiciel Stata 13. Différentes étapes sont nécessaires dans le but d'obtenir la spécification sans biais du modèle. Ainsi, des tests de spécification permettant de justifier la présence d'effets individuels d'une part, puis de déterminer la manière d'intégrer l'hétérogénéité dans le modèle d'autre part doivent être réalisés.

5.1. Le modèle à effets fixes

Nous commençons par estimer le modèle à effets fixes grâce à la commande `xtreg...`, `fe` et l'option `vce(robust)`³¹ afin de respecter l'hypothèse d'homoscédasticité des erreurs du modèle.

Tableau 46 – Estimation du modèle à effets fixes

Variable	Coefficient	Ecart-type	P-value
Constante	8.66	0.96	0.00
Age	3.39	0.41	0.00
Revenu	0.18	0.10	0.09
Prix d'achat	-2.46	0.18	0.00
Alternative	-0.32	0.96	0.00
Observations	75		
R ² within	0.935		
F test	F(34,6) = 45.87	Prob>F=0.00	

Le tableau 46 présente les résultats de l'estimation des coefficients du modèle à effets fixes. Les résultats du test de Chow montrent que le modèle à effets individuels est justifié et donc que le modèle à effets fixes l'emporte sur le modèle *pooled* (p-value <5%).

³¹ Les traitements Stata sont disponibles sur demande auprès de l'auteur

5.2. Le modèle à effets aléatoires

Dans un second temps, nous estimons le modèle à effets aléatoires grâce à la commande `xtreg...`, re du logiciel Stata 13.

Tableau 47 – Estimation du modèle à effets aléatoires

Variable	Coefficient	Ecart-type	P-value
Constante	3.23	0.85	0.00
Age	-0.37	0.12	0.00
Revenu	1.13	0.07	0.00
Prix d'achat	-1.37	0.15	0.00
Alternative	-0.08	0.04	0.07
Observations	75		
R ² within	0.791		
R ² between	0.680		
R ² overall	0.628		
LM	Chibar2 = 21.97	Prob>chibar2=0.00	

Le tableau 47 présente les résultats de l'estimation des coefficients du modèle à effets aléatoires. Tout d'abord, les résultats du test de Breusch-Pagan montre que le modèle à effets individuels est justifié et donc que le modèle à effets aléatoires l'emporte sur le modèle *pooled* (p-value <5%).

5.3. Le test d'Hausman

La dernière étape consiste à déterminer si la bonne spécification est le modèle à effets fixes ou celui à effets aléatoires. Pour cela nous appliquons le test d'Hausman dont les résultats sont présentés dans le tableau 48. La p-value associée au test est inférieure à 5% ce qui signifie que les coefficients estimés dans le modèle à effets aléatoires sont biaisés. Par conséquent, la bonne spécification est le modèle à effets fixes.

En outre, le test de Jarque-Bera présenté dans le tableau 49 montre que les résidus suivent une distribution normale (p-value>5%).

Tableau 48 – Résultats du test d’Hausman

	(b)* fixed	(B)**	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b- V_B)) S.E.
Age	3.386268	-.3707302	3.756998	0.3993769
Revenu	0.1756121	1.132574	-.9569616	0.0891936
Prix d’achat	-2.460579	-1.371012	-1.089567	0.0782954
Alternative	-0.317858	-0.0795522	-0.2383057	.
Test	chi2(4) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B) = 88.22 Prob>chi2 = 0.0000			

*b = non biaisé sous H_0 et H_1 ;

**B = biaisé sous H_1 , non biaisé sous H_0

Tableau 49 – Résultats du test de Jarque-Bera

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	Adj chi2(2)	Prob>chi2
Résidu	0.4412	0.0759	3.85	0.1460

5.4. Le modèle à variables muettes

Comme nous l’avons montré dans la section 2 de ce chapitre, l’estimation du modèle à effets fixes sur données de panel est équivalente à l’estimation par la méthode des MCO sur les mêmes données comportant des variables muettes correspondant aux différentes cohortes (commande reg de Stata). Cette méthode est particulièrement intéressante vis-à-vis de notre démarche dans la mesure où elle permet de mesurer les effets fixes associés à chacune des cohortes et pouvant être interprétés comme des effets “spatio-générationnels” ne pouvant pas être expliqués par les autres variables explicatives. Nous adoptons donc cette méthode dans le reste du chapitre. Les résultats sont présentés dans le tableau 50. Ils sont identiques à ceux présentés dans le tableau 46 ce qui confirme l’équivalence des deux méthodes d’estimation.

Tableau 50 – Estimation du modèle 1

Variable	Coefficient	Ecart-type	P-value
Constante	4.89	0.60	0.00
Age	3.39	0.41	0.00
Revenu	0.18	0.10	0.09
Prix d'achat	-2.46	0.18	0.00
Alternative	-0.32	0.96	0.00
Belle époque-Rural	0		
Belle époque – PV*	-0.27	0.02	0.00
Belle époque – VM**	-0.06	0.04	0.16
Belle époque – GV***	-0.34	0.04	0.00
Belle époque -Paris	-0.25	0.07	0.00
Années folles-Rural	1.38	0.13	0.00
Années folles-PV	1.35	0.15	0.00
Années folles-VM	1.20	0.19	0.00
Années folles-GV	1.07	0.18	0.00
Années folles-Paris	1.07	0.20	0.00
Libération-Rural	2.90	0.27	0.00
Libération-PV	2.79	0.28	0.00
Libération-VM	2.62	0.28	0.00
Libération-GV	2.67	0.29	0.00
Libération-Paris	2.55	0.32	0.00
30 Glorieuses-Rural	4.09	0.42	0.00
30 Glorieuses-PV	4.00	0.42	0.00
30 Glorieuses-VM	3.92	0.42	0.00
30 Glorieuses-GV	3.92	0.43	0.00
30 Glorieuses-Paris	3.73	0.45	0.00
Crise-Rural	5.11	0.55	0.00
Crise-PV	5.05	0.55	0.00
Crise-VM	5.00	0.54	0.00
Crise-GV	4.97	0.55	0.00
Crise-Paris	4.70	0.57	0.00
Sida-Rural	6.22	0.68	0.00
Sida-PV	6.17	0.68	0.00
Sida-VM	6.08	0.67	0.00
Sida-GV	6.03	0.68	0.00
Sida-Paris	5.61	0.69	0.00
Internet-Rural	7.53	0.81	0.00
Internet-PV	7.37	0.81	0.00
Internet-VM	7.25	0.81	0.00

Internet-GV	7.21	0.81	0.00
Internet-Paris	6.56	0.82	0.00
Observations	75		
R²	0.992		

* PV : Petite Ville

** VM : Ville Moyenne

*** GV : Grande Ville

Le R² montre que le modèle est de bonne qualité puisqu'il explique 99% des observations passées. Les résultats montrent que les coefficients associés aux variables explicatives sont significatifs (au seuil de 10% pour le revenu) et de signe attendu. Ainsi, le nombre moyen de voitures détenues par le ménage augmente avec l'âge et le revenu tandis qu'il diminue avec le prix d'achat automobile et la présence d'alternatives. Par ailleurs, les effets fixes pour chacune des cohortes sont également présentés dans le tableau 50. Les coefficients associés sont généralement positifs, reflétant ainsi la progression de l'équipement automobile au fil des générations, sauf pour les premières cohortes mais dont nous ne disposons que d'un point dans le temps. Les coefficients associés aux trois plus jeunes générations parisiennes sont cependant inférieurs à ceux des mêmes générations dans les autres zones d'habitation laissant supposer une moindre progression de la motorisation dans cette zone.

Cependant, comme le montrent les figures 72 et 73, l'effet de l'âge sur la détention automobile n'est pas linéaire. En effet, il est positif jusqu'à la classe d'âge 45-59 ans puis négatif. Autrement dit, la motorisation du ménage progresse de 18 à 45-59 ans et diminue ensuite. Par conséquent, il convient de remplacer la variable âge par une dummy valant 1 pour les classes d'âge de 18 à 59 ans et 0 sinon. Nous estimons à nouveau le modèle précédent mais le coefficient associé à cette variable n'est pas de signe attendu. Nous estimons également des modèles restreints dans lesquels les cohortes sont regroupées par génération et/ou zone d'habitation mais dont les résultats ne sont pas satisfaisants non plus (voir en annexe H).

Dans un second temps, nous retirons donc la variable muette correspondant à l'âge. En outre, nous proposons également un modèle restreint dans lequel nous estimons les coefficients regroupés de chaque génération d'une part et de chaque zone d'habitation d'autre part. Les résultats de ces deux modèles (2 et 3) sont présentés dans le tableau 51. Les modèles 2 et 3 sont de bonnes qualités et expliquent respectivement 98% et 96% des observations passées. Comme dans le modèle 1, les coefficients estimés dans le modèle 2 sont généralement de signes attendus et significatifs, seuls certains coefficients associés

aux cohortes ne l'étant pas. Par conséquent, le modèle restreint (modèle 3) a été estimé dans lequel tous les coefficients sont significatifs.

Tableau 51 – Estimation des modèles 2 et 3

Variable	Modèle 2			Modèle 3		
	Coefficient	Ecart-type	P-value	Coefficient	Ecart-type	P-value
Constante	3.54	0.82	0.00	3.26	0.73	0.00
Revenu	1.03	0.07	0.00	0.98	0.07	0.00
Prix d'achat	-1.48	0.14	0.00	-1.43	0.12	0.00
Alternative	-0.10	0.05	0.03	-0.09	0.04	0.05
Génération Belle époque						
Rural	-0.44	0.01	0.00			
Petite ville	-0.40	0.03	0.00			
Ville moyenne	-0.67	0.03	0.00			
Grande ville	-0.77	0.05	0.00			
Paris						
Génération Années folles				0.48	0.09	0.00
Rural	0.39	0.11	0.00			
Petite ville	0.22	0.06	0.00			
Ville moyenne	-0.01	0.17	0.94			
Grande ville	-0.15	0.19	0.44			
Paris	-0.37	0.15	0.02			
Génération Libération				0.85	0.08	0.00
Rural	0.70	0.06	0.00			
Petite ville	0.50	0.06	0.00			
Ville moyenne	0.37	0.12	0.00			
Grande ville	0.33	0.08	0.00			
Paris	-0.04	0.08	0.63			
Génération 30 Glorieuses				0.99	0.09	0.00
Rural	0.74	0.10	0.00			
Petite ville	0.60	0.12	0.00			
Ville moyenne	0.57	0.09	0.00			
Grande ville	0.46	0.10	0.00			
Paris	0.11	0.10	0.25			

Génération				1.02	0.08	0.00
Crise	0.75	0.09	0.00			
Rural	0.63	0.07	0.00			
Petite ville	0.62	0.06	0.00			
Ville moyenne	0.54	0.06	0.00			
Grande ville	0.09	0.08	0.23			
Paris				1.07	0.09	0.00
Génération Sida	0.79	0.07	0.00			
Rural	0.74	0.11	0.00			
Petite ville	0.74	0.08	0.00			
Ville moyenne	0.62	0.11	0.00			
Grande ville	0.04	0.07	0.60			
Paris						
Génération				1.18	0.11	0.00
Internet	1.04	0.06	0.00			
Rural	0.93	0.05	0.00			
Petite ville	0.79	0.05	0.00			
Ville moyenne	0.76	0.05	0.00			
Grande ville	0.01	0.06	0.86			
Paris						
Rural				-0.15	0.04	0.00
Petite ville				-0.23	0.04	0.00
Ville moyenne				-0.33	0.04	0.00
Grande ville				-0.71	0.05	0.00
Paris						
Observations	75			75		
R²	0.978			0.959		

De plus, la motorisation progresse avec le revenu et au fil des générations tandis qu'elle diminue avec le prix d'achat automobile, la présence d'alternatives à la possession automobile (location) et la densité de la zone d'habitation. Plus précisément, les paramètres associés au revenu et au prix d'achat peuvent directement être interprétés comme des élasticités. L'élasticité-revenu est inférieure à l'unité, ce qui est caractéristique d'un pays développé dans lequel la grande majorité des ménages est motorisée et la diffusion de l'automobile est arrivée à saturation, faisant de la voiture personnelle un bien normal. En outre, l'élasticité-prix est supérieure à l'unité en valeur absolue. Autrement dit, la motorisation diminue plus que proportionnellement à la hausse des prix d'achat automobile et est plus sensible à ces derniers qu'au revenu. Par ailleurs, les effets "générationnels" ont été isolés

et sont positifs, traduisant la progression de la motorisation de génération en génération. De même, les effets “spatiaux” ont été mis en évidence et sont négatifs : la motorisation décroît à mesure que la densité de la zone d’habitation et donc l’offre de transport augmentent.

6. Les prédictions à l’horizon 2020

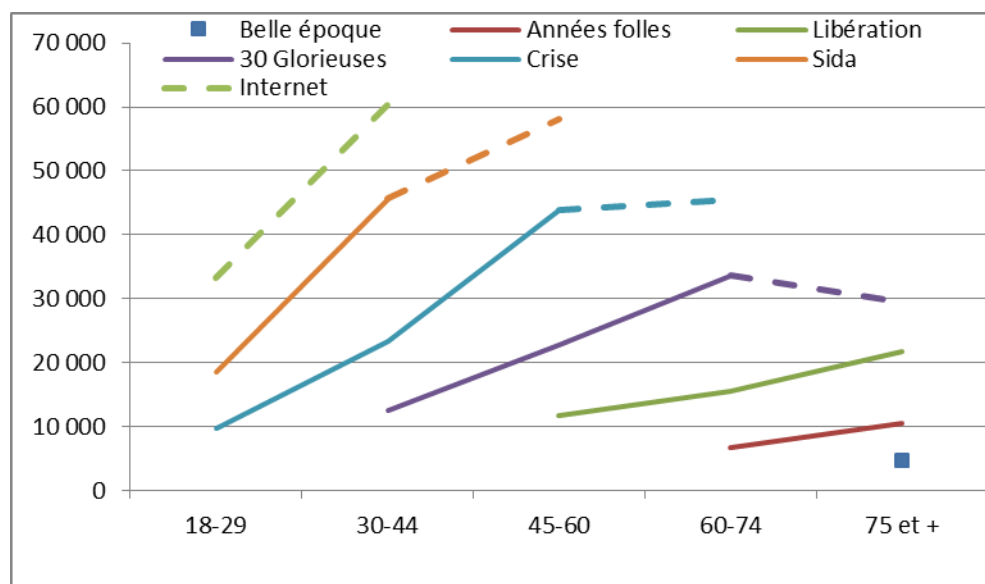
A partir des modèles 2 et 3, des prédictions de motorisation pour chaque cohorte à l’horizon 2020 ont été réalisées.

6.1. Les hypothèses

Des hypothèses sur les variables explicatives ont été réalisées, essentiellement à propos du revenu moyen des ménages et du prix d’achat des véhicules.

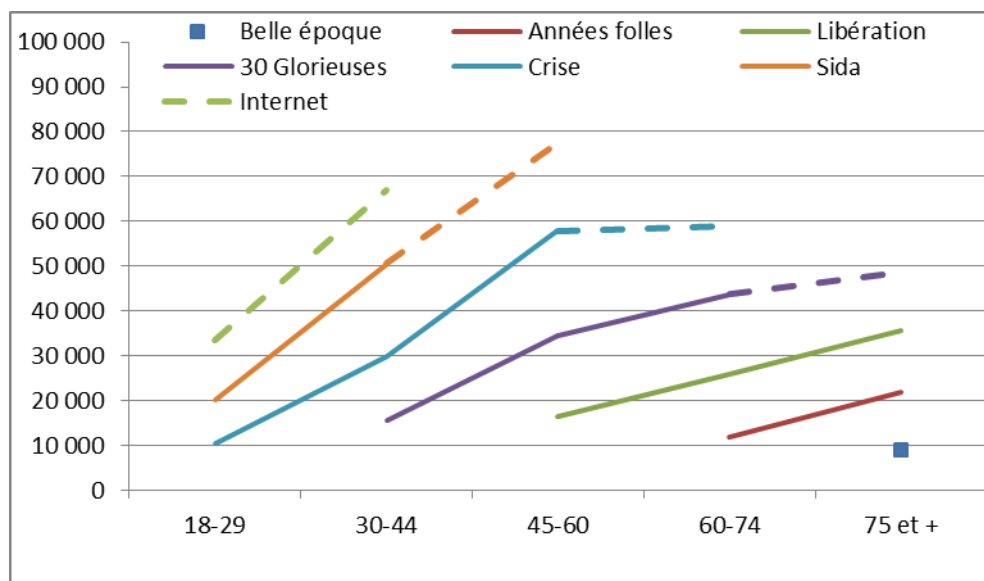
Tout d’abord, le revenu moyen à horizon 2020 correspond à la projection fournie par l’ajustement linéaire des revenus passés de chaque classe d’âge. Ainsi, les graphiques 76 et 77 résument les hypothèses concernant la zone rurale et Paris (les hypothèses concernant les autres zones sont présentées en annexe I).

Figure 76 – Hypothèses d’évolution du revenu annuel moyen des ménages ruraux, en €



Source : Hypothèses de l’auteur, d’après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 77 – Hypothèse d'évolution du revenu annuel moyen des ménages parisiens, en €



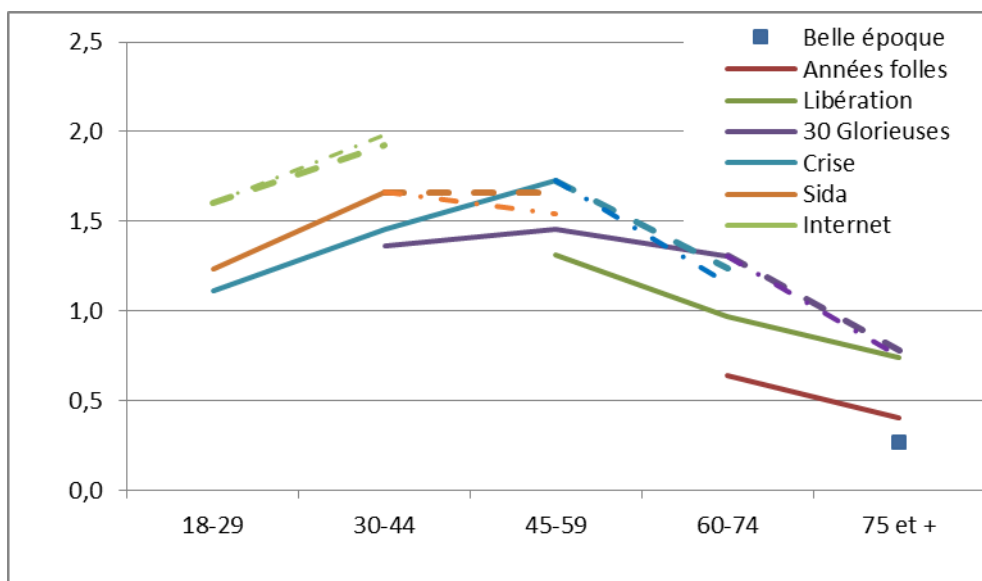
Source : Hypothèses de l'auteur, d'après Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

De même, le prix d'achat des véhicules en 2020 correspond à la projection à partir de l'ajustement linéaire des prix passés. Ainsi, le prix d'achat à horizon 2020 est de 26 790€.

6.2. Les prédictions

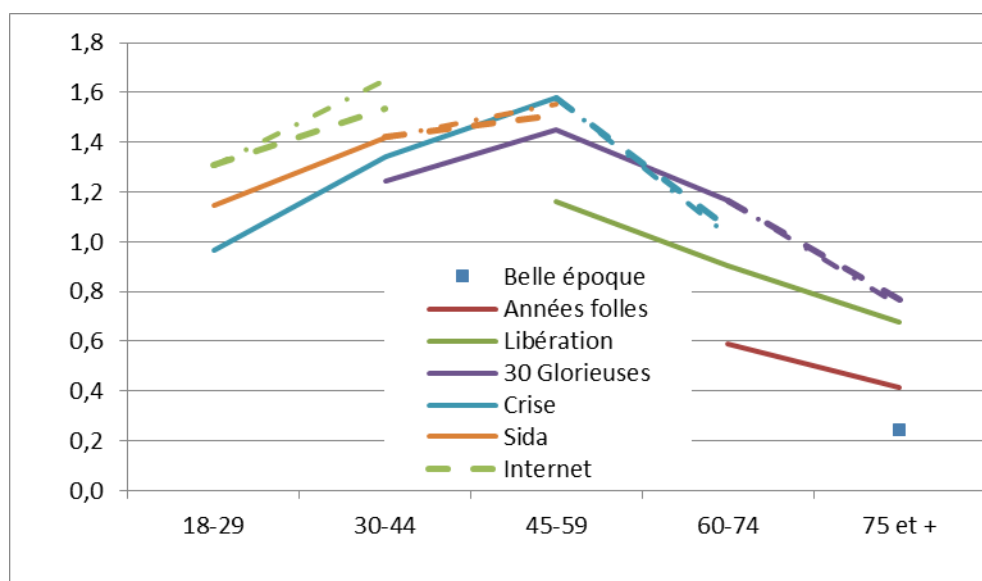
A partir des modèles estimés et présentés dans la section 5.4 et des hypothèses proposées précédemment, des prédictions de motorisation à horizon 2020 ont été réalisées. Nous les présentons ici (figures 78 à 82) à partir d'une approche générationnelle en distinguant les différentes zones d'habitation (modèle 2 en tiret et modèle 3 en tiret-point).

Figure 78 – Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, en milieu rural



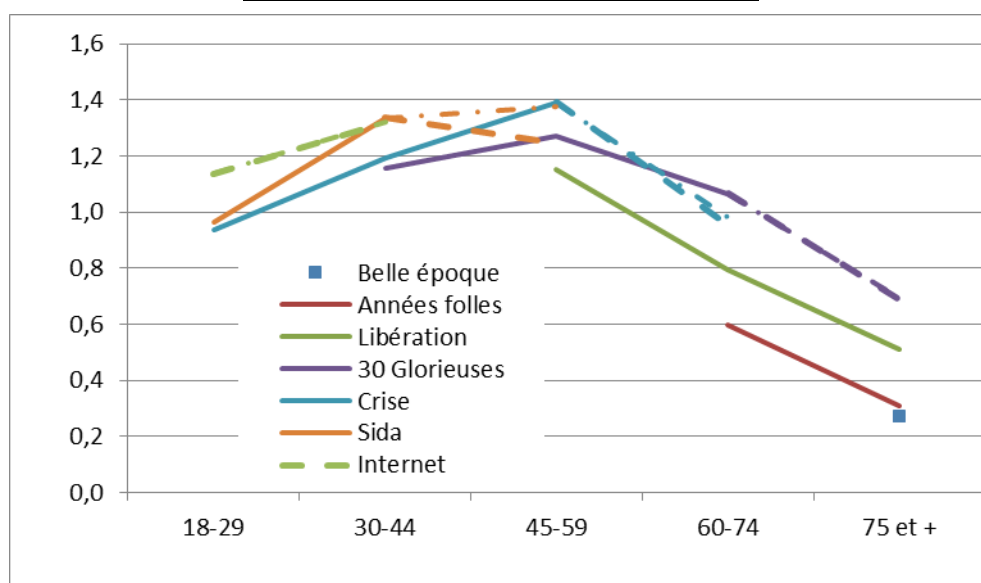
Source : Projections de l'auteur, d'après les modèles estimés et Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 79 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, dans les petites villes (moins de 20 000 habitants)



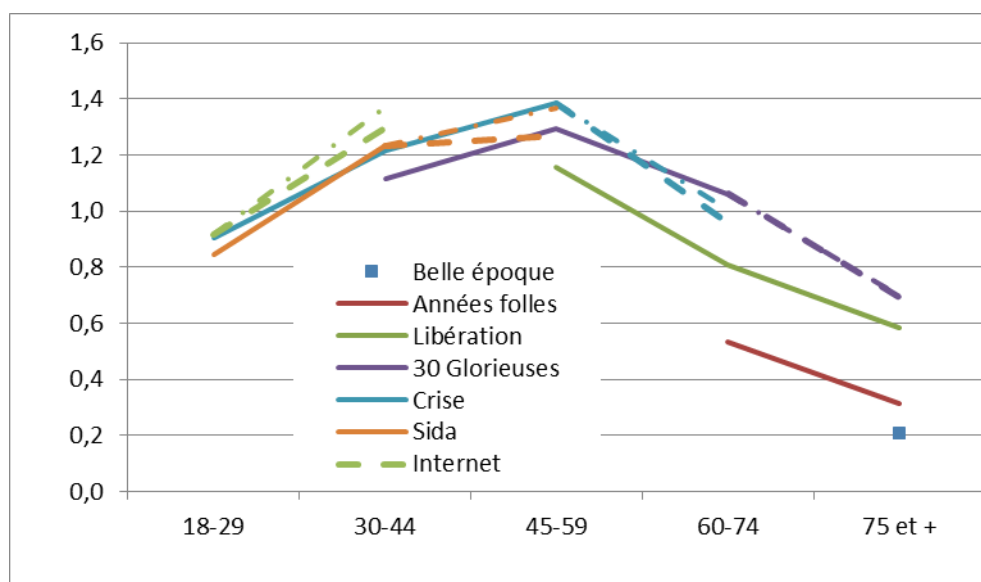
Source : Projections de l'auteur, d'après les modèles estimés et Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 80 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, dans les villes moyennes (entre 20 000 et 100 000 habitants)



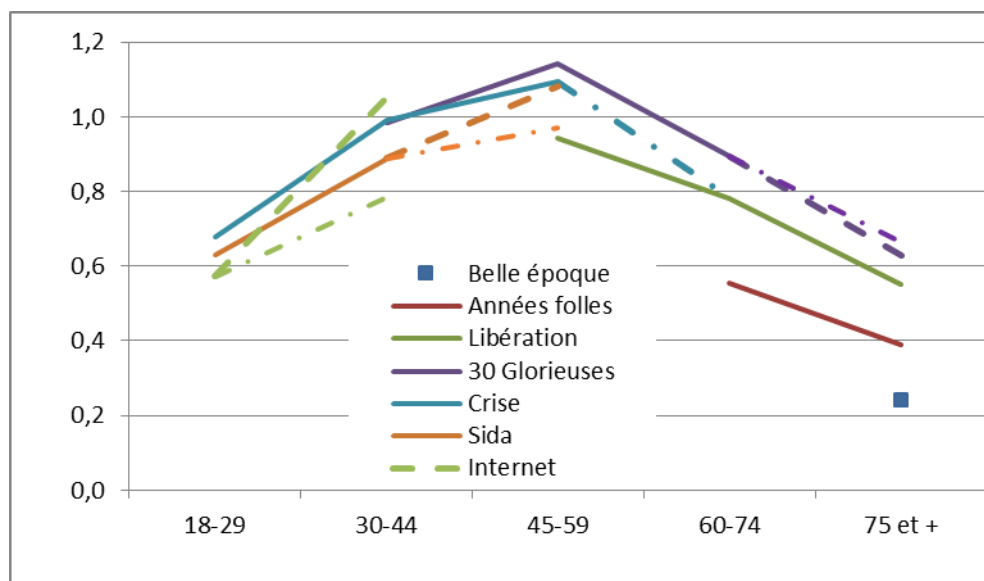
Source : Projections de l'auteur, d'après les modèles estimés et Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 81 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, dans les grandes villes (plus de 100 000 habitants)



Source : Projections de l'auteur, d'après les modèles estimés et Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

Figure 82 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations à Paris



Source : Projections de l'auteur, d'après les modèles estimés et Enquêtes Transport - 1981-1982 - (1982), INSEE ; Transports et communications - 1993-1994 - (1994), INSEE ; Transports et déplacements (ENTD) - 2008 - (2008), SOeS, Centre Maurice Halbwachs (CMH)

La génération "Internet", qui aura 30 à 44 ans à horizon 2020, continuera de s'équiper quelle que soit la zone d'habitation, respectant ainsi l'effet d'âge observé dans le passé. En revanche, l'effet générationnel, s'il restera globalement positif en province et négatif à Paris, sera d'une ampleur plus ou moins importante. Ainsi, en milieu rural et dans les petites villes, la motorisation des 30-44 ans de la génération "Internet" sera supérieure à celle de la même classe d'âge de la génération précédente, tandis qu'elle sera de même niveau dans les villes moyennes et les grandes agglomérations. A Paris, elle devrait rester inférieure à celle de la génération "Sida" (les prédictions du modèle 3 sont à privilégier étant donné que les variables muettes correspondant à Paris sont globalement non significatives dans le modèle 2). La rupture engagée à Paris depuis trois générations pourrait donc commencer à se mettre en œuvre à travers la plus jeune génération dans les villes de province de plus de 20 000 habitants à horizon 2020.

Mais la rupture pourrait également venir des générations "Sida" et "Crise". En effet, les projections montrent qu'à respectivement 45-59 ans et 60-74 ans, elles disposeront, en moyenne, d'autant de voitures particulières que la génération précédente au même âge, voire même de moins, quelle que soit la zone d'habitation.

La génération "30 Glorieuses" quant à elle sera, à 75 ans et plus, moins motorisée qu'à 60-74 ans (respectant ainsi l'effet d'âge), mais davantage équipée que la génération précédente au même âge (respectant ainsi l'effet de génération).

Autrement dit, il semblerait que l'effet d'époque ait une répercussion, à horizon 2020, sur les jeunes citadins, comme attendu, mais également plus globalement sur les moins de 75 ans et ce, quelle que soit la zone d'habitation. Il ne s'agit pas encore d'une inversion nette de tendance telle que l'on a pu l'observer à Paris depuis la génération "Crise" mais en tout cas des potentiels prémices de celle-ci. Une question demeure cependant : il s'agit de savoir si, comme lors de la phase de diffusion automobile, Paris et la région Ile-de-France restent précurseurs et dans ce cas l'on ira vers une décroissance de la motorisation globale, ou bien si l'on observera seulement une saturation en province.

7. Discussion

Tout d'abord, ce chapitre met en évidence la pertinence de l'usage de données de panel (pseudo-panels dans notre cas) qui permet à la fois de prendre en compte les effets individuels et temporels dans la décision d'équipement automobile des ménages.

Cependant, les résultats présentés et commentés précédemment doivent être pris avec précaution dans la mesure où l'information dont nous disposons est limitée. En effet, nous nous sommes basés sur les données des enquêtes transport nationales qui fournissent des éléments sur la mobilité des individus ainsi que sur la motorisation des ménages que nous avons utilisés dans le chapitre précédent pour une étude rétrospective. Nous avons donc poursuivi dans ce chapitre avec la même base de données qui ne nous a permis de disposer que de 75 observations. En outre, l'analyse de la motorisation des ménages pourrait également être réalisée à partir des enquêtes Budget des Familles de l'INSEE produites tous les cinq à six ans et qui fourniraient donc davantage d'observations.

Par ailleurs, l'usage de la modélisation économétrique est limité dans la mesure où elle ne permet pas de prendre en compte des éléments tels que la prise en compte de l'environnement des ménages dans leur décision d'équipement ou encore l'arrivée de nouvelles technologies. En outre, le fait que la variable de coûts des carburants ne soit pas significative ne pose pas de problème pour l'analyse dans la mesure où son interprétation est rendue difficile étant donnée l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules sur la période étudiée. Aussi, la méthode pourrait être utilisée afin de modéliser le choix du type de véhicule en termes de motorisation : essence, diesel ou nouvelles énergies (gaz, biocarburants, électrique). Il serait également possible d'estimer un modèle dynamique, c'est-à-dire incluant comme variable explicative le niveau d'équipement automobile du ménage lors du pas de temps précédent, afin de prendre en compte la dépendance à l'automobile. Cela nous permettrait en outre de disposer des élasticités de court et de long terme afin de distinguer les variables explicatives selon leur niveau d'influence dans le

temps. Enfin, l'on pourrait également estimer le modèle à l'aide de l'inverse du revenu afin de prendre en compte la saturation de l'équipement.

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons cherché à projeter le niveau de motorisation des ménages français en 2020. Comme l'avais mis en évidence la segmentation réalisée dans le chapitre 4, la motorisation des ménages est essentiellement liée à leurs besoins de transport, eux-mêmes déterminés par la composition (nombre de personnes, d'adultes et d'enfants) et l'activité du ménage (nombre d'actifs), à leur revenu, ainsi qu'à l'offre de transport dans leur zone d'habitation. En outre, le chapitre précédent a montré que les habitudes de mobilité et de motorisation des ménages sont également marquées par un facteur générationnel. Outre les dimensions individuelles et temporelles (à travers l'effet de génération) que permettent de prendre en compte les données de panel ou pseudo-panel, la principale contribution de ce chapitre est donc d'avoir mis en évidence la dimension spatiale (à travers l'effet de la zone d'habitation) dans la décision de motorisation des ménages. Ainsi, les modèles estimés montrent que le nombre moyen de véhicules par ménage progresse avec la génération, le revenu, tandis qu'il diminue avec le prix d'achat des véhicules, la densité de la zone d'habitation et donc le fait de disposer d'alternatives automobiles à la possession (location, covoiturage). En outre, l'élasticité-revenu est positive et inférieure à l'unité et l'élasticité-prix est négative et supérieure à l'unité, traduisant ainsi la situation d'un marché automobile mature et proche de la saturation. Ainsi, les projections à 2020 montrent que, globalement, la motorisation des ménages restera importante en milieu rural et dans les petites villes. De plus, elle continuera à décroître à Paris chez les jeunes générations, tandis qu'elle se stabilisera dans les grandes et moyennes villes, mais poursuivra sa croissance dans les petites villes et le milieu rural. Par ailleurs, la plus jeune génération ne sera pas la seule actrice de ces changements : les générations qui auront entre 30 et 60 ans en 2020 présenteront une motorisation globalement équivalente à celle des générations précédentes au même âge, voire même parfois inférieure, marquant ainsi une rupture avec l'effet générationnel positif observé jusqu'alors.

Par conséquent, étant donnés les résultats de la projection des choix modaux du chapitre 5, les scénarios de déséquipement pourraient se produire chez certains profils de mobilité, favorisant ainsi le transfert de la voiture personnelle vers les autres modes, notamment les transports en commun, le deux-roues motorisé et la voiture partagée.

Conclusion troisième partie

Cette partie a été dédiée à l'analyse des comportements d'équipement automobile sur le long terme afin d'en dévoiler les déterminants globaux de manière à projeter la motorisation des ménages français à horizon 2020. Pour cela, nous avons adopté une approche générationnelle permettant de prendre en compte à la fois les effets d'âge, et donc de cycle de vie, ainsi que les effets d'époque marquant les générations.

Dans un premier temps, le chapitre 6 a permis de mettre en évidence les évolutions passées de la mobilité en générale, et de l'équipement automobile des ménages en particulier. Ainsi, l'usage automobile ne progresse plus au fil des générations et est même concurrencé par les transports en commun ou encore les modes doux, notamment chez les moins de 30 ans. Par ailleurs, les jeunes s'équipent désormais d'un véhicule personnel plus tard que leurs aînés, en raison essentiellement d'un allongement de la durée des études et donc d'une entrée plus tardive dans la vie active. En outre, le phénomène de saturation de l'équipement automobile se traduit en France à travers une moindre progression du taux d'équipement des ménages au fil des générations, qui est même nulle pour la plus jeune. De même, le concept de "peak car" est illustré en France à travers la stabilisation de l'intensité de l'usage automobile. Entre la concurrence des autres modes de transport et le développement des nouveaux services de mobilité automobile, la voiture n'est donc plus le mode privilégié par les plus jeunes, ce qui pourrait remettre en cause l'idée de l'équipement individuel.

Ce chapitre rétrospectif a donc consisté en une étape préliminaire à l'exercice prospectif proposé dans le chapitre 7. A partir de la méthode des données de panel permettant de rendre compte à la fois des effets individuels et temporels, nous avons ainsi pu mettre en évidence que les principaux déterminants du niveau de motorisation des ménages sont le revenu, le prix d'achat automobile, la zone d'habitation et donc l'offre de transport, la génération, ainsi que la disponibilité d'alternatives à la possession automobile. Comme attendu, les projections à 2020 montrent que le niveau de motorisation des plus jeunes continuera à diminuer à Paris, à progresser en milieu rural et dans les petites villes de province, tandis qu'il se stabilisera dans les moyennes et grandes villes. En outre, les 30-60 ans ne seront globalement pas plus motorisés que les générations précédentes au même âge, rompant ainsi avec la dynamique générationnelle positive. Ces résultats montrent donc que des transferts de la voiture personnelle vers les modes alternatifs, notamment la voiture partagée, seront observés.

Conclusion générale

Avec la croissance des taux d'équipement et de multi-équipement des ménages en voitures personnelles, leur usage au quotidien est devenu le comportement de mobilité le plus répandu. Cependant, la voiture particulière engendre de multiples externalités négatives (congestion, problèmes de stationnement, pollution notamment) et pèse dans le budget des ménages. Ces derniers réagissent donc en changeant de comportements, notamment en rationalisant leur usage automobile (multimodalité, partage automobile, baisse du parcours annuel moyen) et en modifiant leurs habitudes d'acquisition (augmentation de la durée de détention automobile, acquisition de davantage de véhicules d'occasion ou de petits segments de gamme). En outre, différentes enquêtes montrent un intérêt grandissant pour la voiture partagée, le covoiturage et l'autopartage notamment, dans un contexte de multiplication des innovations dans le domaine des transports : vélos en libre-service, voitures en libre-service, voitures à énergies alternatives, voiture automatique, etc.

Cette thèse avait donc pour objectif d'étudier les changements de comportements se manifestant sur le marché automobile, et surtout d'en déterminer l'ampleur. Pour cela, nous avons identifié deux phénomènes principaux à analyser : les changements de comportements dans l'usage automobile et dans les niveaux d'équipement automobile. En outre, les nouveaux services de mobilité automobile que sont le covoiturage, l'autopartage et la location courte durée ont été identifiés comme les vecteurs principaux de ces changements et ont, par conséquent, fait l'objet principal de la thèse.

La première rupture concerne les nouveaux usages automobiles à travers le recours aux nouveaux services de mobilité automobile, et notamment aux différentes formes de partage définies dans le chapitre 2. Le covoiturage, l'autopartage ou encore la location courte durée ont ainsi été identifiés comme des alternatives à l'automobile. Les profils d'utilisateurs dressés montrent que si l'usage de la location courte durée s'est démocratisé ces dernières années, celui du covoiturage et de l'autopartage concerne encore des profils spécifiques. En outre, leurs potentiels de développement ont été calculés. Le covoiturage pourrait se généraliser tandis que les usages de la location courte durée et de l'autopartage devraient rester confidentiels. Dans le chapitre 3, nous avons ensuite discuté des économies d'énergie permises par ces nouveaux services de mobilité automobiles. Ainsi, alors que, selon le cadre théorique de l'économie de la fonctionnalité, ces derniers permettraient de réaliser des économies d'énergie grâce à l'efficacité des véhicules mis à disposition, ainsi qu'aux changements de comportements qu'ils induisent, nous montrons que des conditions doivent être vérifiées pour les atteindre. Les nouveaux services de mobilité doivent notamment venir

en remplacement de véhicules particuliers, et non s'y ajouter ou être adoptés en substitution d'un mode alternatif à la voiture.

Dans la seconde partie, nous avons donc cherché à expliquer les choix modaux des ménages français afin de les projeter en 2020, de manière à évaluer les potentiels transferts de la voiture personnelle vers d'autres modes, la voiture partagée notamment. A partir d'une méthode d'analyse des données, nous proposons une segmentation (chapitre 4) montrant que les principaux déterminants des choix modaux sont les besoins de déplacement, liés à la catégorie de la commune d'habitation et à la disponibilité ou non d'infrastructures de transport à proximité du domicile, la situation de famille, plutôt associée au niveau de revenu et à la motorisation, et l'âge, fortement lié au statut d'activité. Nous avons ensuite estimé des modèles de choix modaux (chapitre 5). Les principaux déterminants de ces choix sont la distance à parcourir, la densité de la commune de résidence, l'âge, le statut de famille, la motorisation du ménage, ainsi que les coûts et temps de transport. A partir du modèle logit indépendant, nous confirmons que la motorisation est le facteur le plus déterminant des choix modaux des ménages français en général et de l'usage automobile en particulier. Ainsi, les simulations menées à horizon 2020 mettent en évidence une grande disparité selon le niveau d'équipement automobile du ménage. En outre, la voiture personnelle devrait rester le mode de transport privilégié en 2020, sauf si les ménages se déséquipent, ce qui est le seul cas dans lequel la voiture partagée peut se développer, mais dans lequel les transports en commun seraient alors le mode principal. Des substitutions voiture personnelle/voiture partagée sont bien possibles à horizon 2020. Cependant, cela ne pourrait se produire que dans un scénario de démotorisation des ménages.

L'évolution de l'équipement automobile des ménages a donc été le second phénomène majeur à analyser, notamment à travers le prisme de l'apparition des nouveaux services de mobilité automobiles, et a fait l'objet de la troisième partie. A l'aide d'une approche générationnelle rétrospective (chapitre 6), nous montrons que la plus jeune génération se distingue des précédentes en rompant avec les tendances observées jusqu'alors. En effet, l'on observe un retour de l'usage des modes doux et des transports en commun, et un moindre recours à la voiture individuelle. De plus, nous observons un report de l'âge d'achat du premier véhicule de 18-24 ans à 25-30 ans, mais à un niveau identique à celui de la génération précédente, ainsi qu'une démotorisation des ménages parisiens, dont les comportements, souvent précurseurs, peuvent laisser présager une baisse générale de la motorisation des ménages. Cependant, le multi-équipement continue de progresser au fil des générations, quelle que soit la zone d'habitation. Enfin, un modèle expliquant le niveau de motorisation des ménages français à partir de la méthode des données de panel a été estimé (chapitre 7). Le niveau d'équipement automobile des ménages est principalement

déterminé par le revenu, le prix d'achat automobile, les facteurs "spatio-générationnels", ainsi que la présence d'alternatives à la possession automobile (location en générale). Les prédictions à horizon 2020 montrent que l'effet d'époque (les nouvelles offres de mobilité automobile essentiellement) aura une répercussion, à horizon 2020, sur les jeunes citadins, comme attendu, mais également plus globalement sur les moins de 75 ans et ce, quelle que soit la zone d'habitation. Il ne s'agit pas encore d'une inversion nette de tendance telle que l'on a pu l'observer à Paris depuis trois générations mais en tout cas des potentielles prémices de celle-ci. Une question demeure cependant : il s'agit de savoir si, comme lors de la phase de diffusion automobile, Paris et la région Ile-de-France restent précurseurs et dans ce cas l'on ira vers une décroissance de la motorisation globale, ou bien si l'on observera seulement une stagnation en province.

Cette thèse peut trouver deux domaines d'application majeurs. En effet, les prévisions des niveaux de motorisation peuvent être intégrées comme données d'entrées dans des modèles de projection du parc automobile destinés à prévoir le niveau moyen du marché automobile de moyen terme. En outre, les prévisions de choix modaux peuvent permettre de réaliser des projections de consommations d'énergie liées au transport en général, et de consommations de carburants en particulier.

Par ailleurs, des conclusions peuvent être tirées concernant le marché automobile. Ainsi, si la saturation de l'équipement en véhicules particuliers des ménages français semble bel et bien à l'œuvre, les constructeurs automobiles pourraient trouver davantage de débouchés du côté des services, même s'il existera toujours un besoin du côté des particuliers. Ainsi, les nouveaux services de mobilité automobile identifiés devraient cohabiter avec les modes traditionnels, davantage qu'entrer en concurrence avec eux. Il semblerait donc que nous entrions dans une ère de la multimodalité dans laquelle les individus choisissent un mode en fonction du trajet à effectuer de manière à l'optimiser selon la distance, les conditions, etc. La forme la plus aboutie d'offre de transport pourrait ainsi être le forfait mobilité associé à une plateforme réunissant l'ensemble des offres de transports et permettant aux utilisateurs d'optimiser leurs déplacements. Ces innovations en termes d'offre de transport impliquent un usage généralisé des technologies de l'information et de la communication par les usagers. En outre, ces évolutions concernent pour l'instant essentiellement les jeunes générations. Mais ces dernières étant "nées" avec, elles garderont leurs usages dans le futur et seront donc les générations du changement. En outre, il s'agit d'évolutions principalement associées à la mobilité urbaine. Par conséquent, les générations les plus âgées resteront attachées à leur voiture. De même, les populations rurales, et même jusque dans les villes de taille moyenne, ne se sentent pas concernées par les principales évolutions citées plus haut. Par conséquent, il convient également d'être vigilant sur le risque de rupture

entre générations et populations urbaine et rurale qui pourrait intervenir du fait de ces changements.

Ce travail ouvre de nouvelles perspectives de recherche dédiées à l'analyse de la mobilité en générale et des marchés automobiles en particulier, à travers le prisme du développement des services automobiles. Il serait ainsi pertinent d'approfondir le travail sur les niveaux de motorisation en analysant en détail les choix d'équipement automobile (segment de gamme, énergie, fréquence de renouvellement), et surtout l'impact du déploiement des offres de location (location longue durée ou encore location avec option d'achat) sur ceux-ci. En effet, ces dernières pourraient permettre de maintenir les niveaux de motorisation d'une part, et d'orienter les choix vers des énergies alternatives notamment.

En outre, les résultats obtenus peuvent servir de base à l'élaboration de politiques publiques en vue de soutenir ou d'orienter les changements de comportements de mobilité et d'équipement automobile des ménages. Ainsi, la projection des choix modaux montre que les transports publics pourraient être davantage utilisés en cas de déséquipement des ménages, ce qui implique des investissements destinés à augmenter et améliorer l'offre de ceux-ci. Par ailleurs, le modèle expliquant le niveau de motorisation montre que le prix d'achat automobile en est un déterminant essentiel. Des mesures fiscales sont bien adaptées pour orienter les comportements d'équipement automobile.

Enfin, notre travail a consisté à proposer des projections de moyen terme sur la base d'observations fines des comportements présents et passés. Il se limite donc à des projections à horizon 2020 qui ne permettent pas de prendre toute la mesure du potentiel de développement des nouveaux services de mobilité. Par conséquent, il serait intéressant de travailler sur des horizons plus lointains, mais nécessitant une approche différente, davantage prospective.

ANNEXES

Annexe A – Evolution du dispositif de bonus/malus écologique

Taux d'émission de CO2 (g/ km)	Montant du malus (en euros)					
	2008-2009	2010	2011	2012	2013	2014
de 131 à 135	0	0	0	0	0	150
de 136 à 140	0	0	0	0	100	250
de 141 à 145	0	0	0	200	300	500
de 146 à 150	0	0	0	200	400	900
de 151 à 155	0	0	200	500	1 000	1 600
de 156 à 160	0	200	750	750	1 500	2 200
de 161 à 165	200	750	750	750	1 500	2 200
de 166 à 170	750	750	750	750	1 500	2 200
de 171 à 175	750	750	750	750	1 500	2 200
de 176 à 180	750	750	750	750	2 000	3 000
de 181 à 185	750	750	750	1 300	2 600	3 600
de 186 à 190	750	750	750	1 300	3 000	4 000
de 191 à 195	750	750	1 600	2 300	5 000	6 500
de 196 à 200	750	1 600	1 600	2 300	5 000	6 500
de 201 à 230	1 600	1 600	1 600	2 300	6 000	8 000
de 231 à 240	1 600	1 600	1 600	3 600	6 000	8 000
de 241 à 245	1 600	1 600	2 600	3 600	6 000	8 000
de 246 à 250	1 600	2 600	2 600	3 600	6 000	8 000
251 et +	2 600	2 600	2 600	3 600	6 000	8 000

Taux de CO2 (g/ km)	Montant de l'aide en € pour les véhicules hybrides								
	Date de commande								
	2008	2009	2010	2011	2012 01/01 31/07	2012 01/08 31/12	2013	2014	
Taux ≤ 110	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	4 000	4 000	3 300	
De 111 à 130									
De 131 à 135						0	0	0	0
De 136 à 140					0				

Taux de CO2 (g/ km)	Montant de l'aide en € pour les autres véhicules									
	Date de commande									
	2008	2009	2010	2011	Du 01/01 au 31/07 2012	Du 01/08 au 31/12 2012	2013	2014		
Taux ≤ 20	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	7 000	7 000	6 300		
20 < T ≤ 50	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	4 000		
50 < T ≤ 60	5 000	5 000	5 000	5 000	3 500	4 500	4 500	3 300		
60 < T ≤ 90	1 000	1 000	1 000	800	400	550	550	150		
90 < T ≤ 95										
95 < T ≤ 100						400	100		200	200
100 < T ≤ 105					500					
105 < T ≤ 110	700	700	100	0	0	0	0	0		
110 < T ≤ 115										
115 < T ≤ 120										
120 < T ≤ 125	200	200	0	0	0	0	0	0		
125 < T ≤ 130										

Source : BIPE

Annexe B – Questionnaire Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobiles, BIPE, octobre 2010 (Sélection des questions utilisées pour les analyses nécessaires à la thèse)

Confidentiel

Annexe C – Profils des usagers du covoiturage et de l'autopartage

Confidentiel

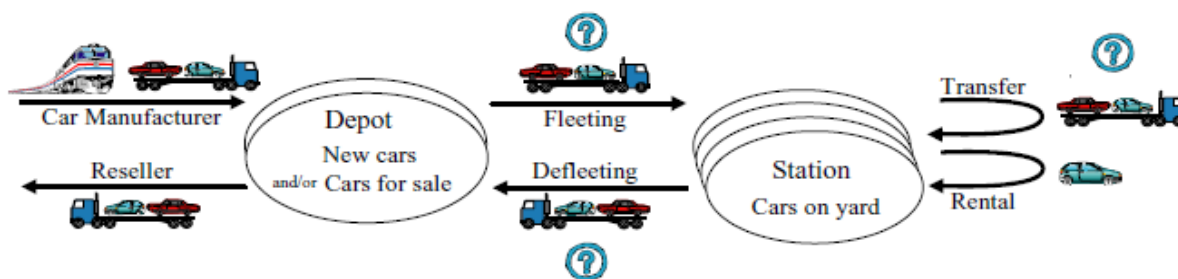
Annexe D – Hypothèses de calcul des tarifs de location courte durée et du coût total de possession

Hypotheses of calculation of rental tariffs

First we have to know the car holding period. It depends on the car acquisition status: some are bought by a buy-back contract and some are bought from the manufacturer.

A buy-back contract means that car hirers buy the car from the manufacturer who takes back the vehicle after 6 to 8 months for a price fixed by the contract. When hirers buy the car from the manufacturer, they rent them for 9 to 12 months and resell them on the second-hand car market in France and Europe. Holding period are short to avoid incurring maintenance costs.

The life cycle of a rented car is illustrated in this figure (Fink, Reiners, 2006, p.276):



Life cycle of car

The capital cost is the difference between the purchase price of the car and its resale price. Rental companies have 15 to 20% reduction by purchasing lots of vehicles so that the purchase prices for the different car segments are detailed in this table:

Small cars	7,834€
Medium cars	13,868€
Large cars	17,324€
MPVs	20,802€

Purchase prices according to car segments³²

After a year and nearly 18,000 km travelled, the car has lost 30% of its initial value. The residual value is critical because it defines the capital cost to amortize on the holding period of the car and to integrate to the rental tariff. The main difficulty of rental companies is to estimate this value when purchasing the vehicle. If it is overestimated, the company loses

³² Source : Peugeot, Renault, Citroën, Fiat, Smart, Volkswagen

money when reselling the car. If it is underestimated, the capital cost is overestimated and the rental tariff is too high. As a consequence, another company wins the contract.

Other costs to include in the rental rate are operating costs. According to the annual report of Europcar, those costs are 4,282 millions of Euro in 2010. With 193,154 cars, those costs are 22,169€ per vehicle.

Finally, costs of maintenance and insurance are included to the rental tariff. In 2009, they were 676€ and 210€ per household³³.

According to the hirers' representative³⁴, the utilization rate of the car must exceed 65% in order to return car rental activity: on 365 days in a year, a car must be rented 240 days.

Hypotheses of calculation of total cost of ownership and breakeven

The purchase price of the different car segments by households are detailed in this table:

Small cars	11,712€
Medium cars	20,733€
Large cars	25,900€
MPVs	31,100€

Purchase prices according to car segments³⁵

The annual average mileage is the average French mileage by car in 2011: 12,769 km³⁶.

The fuel price is the average fuel price in 2011: 1.54€³⁷.

The fuel consumptions are those presented on the websites of car manufacturers and detailed in this table:

Small cars	4.5L/100km
Medium cars	4.7L/100 km
Large cars	5.2L/100km
MPVs	5.4L/100km

Fuel consumption according to car segments³⁸

³³ Source : INSEE, household expenditure

³⁴ Mr Gallin, phone interview, 11th October 2011

³⁵ Source : Peugeot, Renault, Citroën, Fiat, Smart, Volkswagen

³⁶ Source : Compte des transports de la nation 2011

³⁷ Source : statistical service of the sustainable development ministry

³⁸ Source : Peugeot, Renault, Citroën, Fiat, Smart, Volkswagen

Maintenance and insurance costs are the same as for rented car.

The average holding period of a car by a French household is 5 years (BIPE, OMA) during which the car lose 20% of its initial value each year.

Total costs of ownership are then calculated by mileage travelled and compared to the rental fee by kilometers travelled (rental tariffs generally include 250km).

Annexe E – Durées et distances par modes de transport

Confidentiel

Annexe F - ACM 1 (avec les variables concernant la durée des déplacements)

L'ACM est réalisée à partir des variables résumées dans le tableau suivant :

Variable	Label	Description
Sexe	homm	Homme
	femm	Femme
Age	age1	Moins de 30 ans
	age2	Entre 30 et 39 ans
	age3	Entre 40 et 49 ans
	age4	Entre 50 et 59 ans
	age5	Entre 60 et 69 ans
	age6	Plus de 69 ans
Situation de famille	Celi	Célibataire, veuf ou divorcé
	coup	En couple : marié, pacsé, vie maritale
	colo	En cohabitation : colocation, chez les parents
Nombre d'enfants au foyer	Enf0	Aucun
	Enf1	Un
	Enf2	Deux
	Enf3	Trois ou plus
Nombre d'actifs au foyer	Act0	Aucun
	Act1	Un
	Act2	Deux ou plus
Statut d'activité	Sa_1	Actif
	Sa_2	Chômeur ayant déjà travaillé
	Sa_3	Retraité, pré-retraité
	Sa_4	Elève, étudiant
	Sa_5	Femme au foyer
	Sa_6	Autre sans profession
CSP	CSP1	Agriculteur exploitant
	CSP2	Artisan, commerçant, chef d'entreprise
	CSP3	Cadre supérieur, profession libérale
	CSP4	Cadre moyen, profession intermédiaire
	CSP5	Employé
	CSP6	Ouvrier
Niveau d'étude	Bac1	Avant le bac
	Bac2	Bac
	Sup1	Bac+2
	Sup2	Supérieur à bac+2
Niveau de revenu annuel (bruts avant impôts) du foyer	Rev1	Moins de 15 000€
	Rev2	De 15 000 à 25 000€
	Rev3	De 25 001 à 35 000€
	Rev4	De 35 001 à 45 000€
	Rev5	De 45 001 à 60 000€
	Rev6	Plus de 60 001€
	Rev7	Refus
Equipement automobile	Aut0	Non motorisé
	Aut1	Motorisé

Catégorie de la commune de résidence	Zon1	Paris intra-muros
	Zon2	Pôle urbain de Paris hors Paris
	Zon3	Grande ville centre (> 100 000 habitants)
	Zon4	Petite ville centre (< 100 000 habitants)
	Zon5	Banlieue
	Zon6	Périurbain
	Zon7	Rural
Infrastructures de transport à moins de 10 minutes à pied du domicile	Inf0	Pas d'infrastructures
	Inf1	Infrastructures
Equipement 2-3 roues	mot0	Non équipé d'une 2-3 roues motorisé
	mot1	Equippé d'une 2-3 roues motorisé
Equipement vélo	Vel0	Non équipé d'un vélo
	Vel1	Equippé d'un vélo
Durée des déplacements domicile-travail	Tdo1	Inférieur à 20 minutes
	Tdo2	Entre 20 et 40 minutes
	Tdo3	Entre 40 et 60 minutes
	Tdo4	Supérieur à 60 minutes
Durée des déplacements professionnels	Ttp1	Inférieur à 30 minutes
	Ttp2	Entre 30 et 50 minutes
	Ttp3	Entre 50 et 90 minutes
	Ttp4	Supérieur à 90 minutes
Durée des déplacements pour accompagner, aller chercher	Tac1	Inférieur à 18 minutes
	Tac2	Entre 18 et 30 minutes
	Tac3	Entre 30 et 52 minutes
	Tac4	Supérieur à 52 minutes
Durée des déplacements pour achat, lèche-vitrine	Tlv1	Inférieur à 18 minutes
	Tlv2	Entre 18 et 30 minutes
	Tlv3	Entre 30 et 50 minutes
	Tlv4	Supérieur à 50 minutes
Durée des déplacements pour sorties, loisirs, visites	Tso1	Inférieur à 20 minutes
	Tso2	Entre 20 et 30 minutes
	Tso3	Entre 30 et 55 minutes
	Tso4	Supérieur à 55 minutes
Durée des déplacements pour autres motifs	Tau1	Inférieur à 15 km
	Tau2	Entre 15 et 30 km
	Tau3	Entre 30 et 55 km
	Tau4	Supérieur à 55 minutes
Distance des déplacements domicile-travail	kdo1	Inférieur à 15 km
	kdo2	Entre 15 et 30 km
	kdo3	Entre 30 et 50 km
	kdo4	Supérieur à 50 km
Distance des déplacements professionnels	Ktp1	Inférieur à 20 km
	Ktp2	Entre 20 et 43 km
	Ktp3	Entre 43 et 80 km
	Ktp4	Supérieur à 80 km
Distance des déplacements pour accompagner, aller cherche	kac1	Inférieur à 10 km
	kac2	Entre 10 et 20 km
	kac3	Entre 20 et 40 km
	kac4	Supérieur à 40 km
	Klv1	Inférieur à 6 km

Distance des déplacements pour achat, lèche-vitrine	Klv2	Entre 6 et 16 km
	Klv3	Entre 16 et 33 km
	Klv4	Supérieur à 33 km
Distance des déplacements pour sorties, loisirs, visites	kso1	Inférieur à 7 km
	kso2	Entre 7 et 20 km
	kso3	Entre 20 et 39 km
	kso4	Supérieur à 39 km
Distance des déplacements pour autres motifs	kau1	Inférieur à 5 km
	kau2	Entre 5 et 15 km
	kau3	Entre 15 et 30 km
	kau4	Supérieur à 30 km

Dans notre cas, l'inertie du nuage de points est : $\Phi^2 = (112-27)/27 = 3,15$

Si l'on devait retenir 80% de l'inertie du nuage de points, cela nous conduirait à prendre en compte 46 axes (voir tableau des valeurs propres ci-dessous).

Selon la méthode de Benzécri (1992), on ne conserve que les valeurs propres dont le taux d'inertie modifié est supérieur à la moyenne ($1/32=3\%$), soit 7 axes dans notre cas.

	Valeur singulière	Valeur propre		Pourcentage	Pourcentage cumulé	$\lambda' = (\lambda - \lambda_m)^2$	Taux d'inertie modifié
1	0.44277	0.19605	7973	6.17	6.17	0.025285122	38%
2	0.39685	0.15749	6405	4.95	11.12	0.014508916	22%
3	0.35277	0.12445	5061	3.91	15.03	0.007641026	11%
4	0.32999	0.10889	4429	3.42	18.46	0.005162848	8%
5	0.30135	0.09081	3693	2.86	21.31	0.002891532	4%
6	0.2948	0.08691	3535	2.73	24.05	0.002487312	4%
7	0.28513	0.0813	3306	2.56	26.6	0.00195921	3%
8	0.27311	0.07459	3033	2.35	28.95	0.001410225	2%

9	0.26954	0.07265	2955	2.29	31.24	0.001268283	2%
10	0.2561	0.06559	2667	2.06	33.3	0.000815272	1%
11	0.25044	0.06272	2551	1.97	35.27	0.000659615	1%
12	0.24505	0.06005	2442	1.89	37.16	0.000529596	1%
13	0.23979	0.0575	2339	1.81	38.97	0.000418733	1%
14	0.23524	0.05534	2251	1.74	40.71	0.000334998	1%
15	0.2301	0.05294	2153	1.67	42.37	0.000252904	0%
16	0.22565	0.05092	2071	1.6	43.98	0.000192737	0%
17	0.22292	0.04969	2021	1.56	45.54	0.000160097	0%
18	0.22097	0.04883	1986	1.54	47.07	0.000139074	0%
19	0.21651	0.04688	1907	1.47	48.55	9.68839E-05	0%
20	0.21399	0.04579	1862	1.44	49.99	7.66144E-05	0%
21	0.2124	0.04511	1835	1.42	51.41	6.51727E-05	0%
22	0.20914	0.04374	1779	1.38	52.78	4.49297E-05	0%

23	0.20825	0.04337	1764	1.36	54.15	4.01064E-05	0%
24	0.20644	0.04262	1733	1.34	55.49	3.11695E-05	0%
25	0.20556	0.04225	1719	1.33	56.82	2.7175E-05	0%
26	0.20192	0.04077	1658	1.28	58.1	1.3935E-05	0%
27	0.20133	0.04053	1648	1.27	59.37	1.22008E-05	0%
28	0.2001	0.04004	1628	1.26	60.63	9.01779E-06	0%
29	0.19923	0.03969	1614	1.25	61.88	7.03821E-06	0%
30	0.19757	0.03903	1587	1.23	63.11	3.9719E-06	0%
31	0.19592	0.03839	1561	1.21	64.32	1.83051E-06	0%
32	0.19504	0.03804	1547	1.2	65.51	1.00593E-06	0%
33	0.19165	0.03673	1494	1.16	66.67		
34	0.19012	0.03615	1470	1.14	67.81		
35	0.18895	0.0357	1452	1.12	68.93		
36	0.18656	0.0348	1415	1.09	70.02		
37	0.18547	0.0344	1399	1.08	71.1		
38	0.18446	0.03403	1384	1.07	72.17		
39	0.18262	0.03335	1356	1.05	73.22		
40	0.17953	0.03223	1311	1.01	74.24		

41	0.17761	0.03155	1283	0.99	75.23		
42	0.17726	0.03142	1278	0.99	76.22		
43	0.17548	0.03079	1252	0.97	77.19		
44	0.17413	0.03032	1233	0.95	78.14		
45	0.17259	0.02979	1211	0.94	79.08		
46	0.17101	0.02924	1189	0.92	80		
47	0.16855	0.02841	1155	0.89	80.89		
48	0.1652	0.02729	1110	0.86	81.75		
49	0.16488	0.02719	1106	0.86	82.6		
50	0.16253	0.02642	1074	0.83	83.43		
51	0.16046	0.02575	1047	0.81	84.24		
52	0.15717	0.0247	1005	0.78	85.02		
53	0.15634	0.02444	994	0.77	85.79		
54	0.15407	0.02374	965	0.75	86.54		
55	0.15248	0.02325	946	0.73	87.27		
56	0.14985	0.02245	913	0.71	87.97		
57	0.14897	0.02219	903	0.7	88.67		
58	0.14664	0.0215	874	0.68	89.35		
59	0.14565	0.02121	863	0.67	90.02		
60	0.14176	0.0201	817	0.63	90.65		
61	0.14029	0.01968	800	0.62	91.27		
62	0.13646	0.01862	757	0.59	91.85		
63	0.13447	0.01808	735	0.57	92.42		
64	0.13098	0.01716	698	0.54	92.96		
65	0.12982	0.01685	685	0.53	93.49		
66	0.12672	0.01606	653	0.51	94		

67	0.12566	0.01579	642	0.5	94.49		
68	0.12273	0.01506	613	0.47	94.97		
69	0.11845	0.01403	571	0.44	95.41		
70	0.11686	0.01366	555	0.43	95.84		
71	0.11615	0.01349	549	0.42	96.26		
72	0.11393	0.01298	528	0.41	96.67		
73	0.11188	0.01252	509	0.39	97.06		
74	0.10723	0.0115	468	0.36	97.42		
75	0.10442	0.0109	443	0.34	97.77		
76	0.10218	0.01044	425	0.33	98.1		
77	0.09922	0.00984	400	0.31	98.41		
78	0.09612	0.00924	376	0.29	98.7		
79	0.0948	0.00899	365	0.28	98.98		
80	0.08216	0.00675	275	0.21	99.19		
81	0.07487	0.00561	228	0.18	99.37		
82	0.07252	0.00526	214	0.17	99.53		
83	0.07052	0.00497	202	0.16	99.69		
84	0.06959	0.00484	197	0.15	99.84		
85	0.0626	0.00392	159	0.12	99.96		
86	0.03108	0.00097	39	0.03	100		
87	0.00948	0.00009	4	0	100		
88	0.00659	0.00004	2	0	100		
89	0.00474	0.00002	1	0	100		
	Total	3.17947	129309	100			

- Etude de la contribution des variables

Variable	Contrib ution à l'inertie du nuage	Contrib ution à l'inertie de l'axe 1	Contrib ution à l'inertie de l'axe 2	Contrib ution à l'inertie de l'axe 3	Contrib ution à l'inertie de l'axe 4	Contrib ution à l'inertie de l'axe 5	Contrib ution à l'inertie de l'axe 6	Contrib ution à l'inertie de l'axe 7
Mode	0.0823	0.0237	0.0323	0.0360	0.0660	0.0847	0.0392	0.0410
Genre	0.0170	0.0028	0.0008	0.0003	0.0023	0.0019	0.0253	0.0291
Age	0.0593	0.0540	0.0428	0.0242	0.0501	0.1038	0.0691	0.0073
Situation famille	0.0236	0.0156	0.0121	0.0277	0.0908	0.1130	0.0354	0.0027
Nombre d'enfant s	0.0352	0.0273	0.0165	0.0124	0.0189	0.0252	0.0164	0.0115
Nombre d'actifs	0.0235	0.0631	0.0419	0.0426	0.0403	0.0119	0.0666	0.0012
Statut d'activité	0.0597	0.0743	0.0614	0.0232	0.0376	0.1484	0.1148	0.0139
CSP	0.0598	0.0080	0.0025	0.0043	0.0175	0.0250	0.1227	0.0451
Niveau d'étude	0.0352	0.0161	0.0033	0.0120	0.0043	0.0137	0.1172	0.0235
Niveau de revenu	0.0704	0.0248	0.0040	0.0374	0.0659	0.0025	0.1233	0.0042
Equipem ent automob ile	0.0118	0.0197	0.0054	0.0395	0.0692	0.0083	0.0038	0.0008
Catégori e de commun e d'habitat ion	0.0704	0.0021	0.0160	0.0058	0.0174	0.0143	0.1011	0.0183
Equipem ent vélo	0.0098	0.0043	0.0003	0.0035	0.0002	0.0180	0.0002	0.0065
Equipem ent 2-3 roues motorisé	0.0117	0.0047	0.0031	0.0002	0.0026	0.0266	0.0013	0.0091
Infrastru ctures de transport s publics	0.0117	0.0000	0.0035	0.0001	0.0057	0.0091	0.0727	0.0096
Durée trajets domicile -travail	0.0351	0.0884	0.0103	0.0761	0.0114	0.0002	0.0072	0.0447
Distance trajets	0.0351	0.0988	0.0141	0.0735	0.0096	0.0093	0.0079	0.0373

domicile -travail								
Durée trajets professionnels	0.0351	0.0527	0.0004	0.0320	0.0061	0.0046	0.0142	0.0293
Distance trajets professionnels	0.0350	0.0563	0.0002	0.0247	0.0102	0.0135	0.0129	0.0249
Durée trajets accompagnement	0.0352	0.0392	0.0648	0.0592	0.0569	0.0289	0.0093	0.0628
Distance trajets accompagnement	0.0352	0.0541	0.0683	0.0662	0.0498	0.0654	0.0119	0.0819
Durée trajets achat	0.0352	0.0426	0.1088	0.0670	0.0792	0.0224	0.0024	0.0662
Distance trajets achat	0.0352	0.0651	0.1258	0.0807	0.0374	0.0722	0.0061	0.0932
Durée trajet sortie	0.0352	0.0338	0.0836	0.0722	0.0625	0.0184	0.0041	0.0784
Distance trajet sortie	0.0352	0.0660	0.1094	0.0782	0.0497	0.0938	0.0024	0.0801
Durée trajets autres	0.0352	0.0283	0.0810	0.0478	0.0636	0.0195	0.0068	0.0739
Distance trajets autres	0.0353	0.0432	0.0875	0.0522	0.0448	0.0424	0.0057	0.0723

Par exemple, la part des variables “Nombre d’actifs” et “Statut d’activité” dans la formation du premier axe est supérieure à leur part dans l’inertie totale du nuage.

Nous pouvons donc déduire les variables qui contribuent le plus à la formation de chacun des axes :

- Axe 1 : nombre d’actifs, statut d’activité, équipement automobile, durées et distances des tous les motifs de trajets (sauf la durée des trajets pour autres motifs).
- Axe 2 : nombre d’actifs, statut d’activité, durées et distances des trajets pour accompagnements, achat, sorties et autres motifs.

- Axe 3 : situation de famille, nombre d'actifs, équipements automobile, durées et distances de tous les trajets sauf les trajets professionnels
- Axe 4 : situation de famille, nombre d'actifs, équipements automobile, distance des trajets pour accompagnement, durées et distances des trajets pour achat, sorties et autres motifs.
- Axe 5 : modes, âge, situation de famille, statut d'activité, équipement vélo et 2-3 roues motorisé, distances des trajets pour accompagnement, achat, sorties et autres motifs.
- Axe 6 : genre, âge, situation de famille, nombre d'actifs, statut d'activité, CSP, niveau de revenu, catégorie de la commune d'habitation, infrastructures de transports publics.
- Axe 7 : genre, durées et distances de tous les trajets sauf les trajets professionnels.

Enfin, la variable nombre d'enfant ne semble pas jouer de rôle important.

- Etude des axes

Pour chaque axe, il est pertinent de centrer l'analyse sur les modalités dont la contribution à la formation de l'axe est supérieure à la moyenne (1/112 modalités = 0.0089 dans notre cas).

Premier axe

Les modalités contribuant le plus à la formation de l'axe 1 (par ordre décroissant)

-	+
Act0	Kdo4
Sa_3	Tdo4
Kdo1	Kso4
Tdo1	Kac4
Age5	klv4
Auto0	Tac4
Klv2	Kau4
Rev1	Tlv4
Kso2	Sa_1
Mode6	Ttp4
Kau2	Ktp4
Tau2	Tso4
Age6	Ktp3
Tlv2	Act2
Enf0	Ttp3
	Tau4
	Age3
	Enf2

Cet axe semble opposer les longues durées et distances de déplacement tous motifs réalisées par des actifs entre 40 et 49 ans avec deux enfant aux courtes durées et distances de déplacement domicile-travail, pour achat, sorties et autres motifs réalisées par des non actifs (principalement retraités, de plus de 60 ans), non motorisé, sans enfants au foyer, aux revenus les plus modestes et se déplaçant principalement en marche à pied et transports en commun.

Second axe

Les modalités contribuant le plus à la formation de l'axe 2 (par ordre décroissant)

-	+
Klv1	Klv4
Kso1	Tlv4
Tlv1	Kau4
Tso1	Sa-3
Kau1	Tau4
Tau1	tso4
Kac1	Kso4
Sa_1	Klv3
Tac1	Kac4
Colo	Age5
sa_4	Act0
age1	Kso3
Mode6	Tac4
	Kau3
	Tlv3
	Tau3
	Tac3
	Tso3
	Kac3
	Kau2
	Klv2
	Tau2

Cet axe semble opposer les durées et distances de déplacement moyennes supérieures et longues pour achat, sortie, accompagnement et autres motifs réalisés par des non actifs, retraités, de plus de 60 ans aux courtes durées et distances de déplacement pour achat, sortie, accompagnement et autres motifs réalisés par des jeunes (moins de 25 ans) actifs ou élèves/étudiants vivant en cohabitation et se déplaçant principalement en marche à pied et transports en commun.

Troisième axe

Les modalités contribuant le plus à la formation de l'axe 3 (par ordre décroissant)

-	+
Tso4	Klv3
Auto0	Kso3
Tlv4	Kac3
Rev1	Kau3
Mode6	Tlv3
Tac4	Tso3
Kso4	Tac3
Celi	Tdo2
Tau6	Tau3
Age4	Kdo2
Act0	Tdo3
Kdo1	Act2
Ktp4	Kdo3
Sa_3	Ttp2
Kac4	Ktp2
Ttp4	coup
Mode4	
Klv4	
Tdo1	

Cet axe semble opposer les durées et distances de déplacement moyennes (inférieures et supérieures) pour achat, sortie, accompagnement, autres motifs et domicile-travail réalisées par des couples actifs aux longues durées et distances de déplacement pour sortie, achat, accompagnement, autres motifs et courtes durées et distances de déplacement domicile-travail réalisées par des non actifs (préretraités) célibataires entre 50 et 59 ans, non motorisés, aux revenus les plus modestes se déplaçant essentiellement en marche à pied et/ou transports en commun.

Quatrième axe

Les modalités contribuant le plus à la formation de l'axe 4 (par ordre décroissant)

-	+
Klv2	Auto0
Tlv2	Age1
Tac2	Rev1
Coup	Tso3
kac2	Celi
tau2	Tau3
kau2	Klv3
kso2	Sa_4
act2	Act1
tso1	Colo
mode2	Kso3
Aut1	Mode3
Rev6	Mode2
Tso2	Tac3
rev3	Kau3
CSP3	Klv3
	Mode6

Cet axe semble opposer les non motorisés, jeunes (moins de 25 ans), aux revenus les plus modestes, vivant seuls ou en cohabitation/colocation, élèves/étudiants ou actif, se déplaçant en deux-roues (2-3 roues motorisé ou vélo) ou marche à pied et transports en commun pour les sorties, achats, accompagnement et autres motifs de durées et distance moyennes supérieures, aux déplacements pour achat, accompagnement, sorties et autres motifs aux durées et distances moyennes inférieures réalisés par des personnes vivant en couple, dans un ménage de deux actifs (plutôt cadres supérieurs), motorisé, avec des revenus supérieurs à 2000€ mensuels et se déplaçant essentiellement en 2-3 roues motorisé.

Cinquième axe

Les modalités contribuant le plus à la formation de l'axe 5 (par ordre décroissant)

-	+
Mod1	Sa_4
Sa_3	Colo
Klv3	Age1
CSP2	Kso2
Ktp4	Kac2
	Klv2
	Kau2
	Mode2
	Mot1
	Tac2
	Vel1
	Tso4
	Mode5
	Sa_2

Cet axe semble opposer les élèves/étudiants ou chômeurs, jeunes (moins de 25 ans), vivant en cohabitation/colocation, équipés d'un deux-roues (2-3 roues motorisé ou vélo), se déplaçant en 2-3 roues motorisé ou transports en commun pour les sorties, accompagnement, achat, et autres motifs sur des distances moyennes inférieures, aux retraités ou artisans, commerçants, chefs d'entreprise se déplaçant exclusivement en voiture.

Sixième axe

Les modalités contribuant le plus à la formation de l'axe 6 (par ordre décroissant)

-	+
Bac1	Sup2
Act1	CSP3
Inf0	Age5
Sa_2	Inf1
Rev1	Sa_3
CSP5	Zon1
Rev2	Act0
Zon7	Zon2
Celi	Rev5
CSP6	Sa_4
Sa_5	Rev7
Zon6	Mode6
Femme	Rev6
Age3	CSP4
Mod1	Homm
Kac2	Rev4
	colo

Cet axe semble opposer les personnes ayant fait des études supérieures (supérieures à bac+2), cadres, retraités, disposant d'infrastructures de transports publics à proximité de leur domicile (habitants Paris ou l'Île-de-France), avec des revenus supérieurs à 3000€ mensuels et se déplaçant essentiellement en marche à pied et transports en commun, aux personnes ayant un niveau d'étude inférieur au baccalauréat, chômeurs ou femmes au foyer, employés ou ouvriers, ne disposant pas d'infrastructures de transports publics à proximité de leur domicile (vivant en milieu périurbain et rural, avec des revenus inférieurs à 2000€ mensuel et se déplaçant exclusivement en voiture.

Septième axe

Les modalités contribuant le plus à la formation de l'axe 7 (par ordre décroissant)

-	+
Kac3	Tau3
Klv3	Tso3
Tlv4	Tlv3
Kso3	Tdo3
Tac4	Kau2
Tso4	Klv2
Kau3	Ttp2
Tau4	Kso2
CSP5	Kdo4
Kdo2	Ktp3
Femme	Kau4
Mode4	Homme
Tac2	Kso4
Bac2	CSP6
Zone3	Mod2
	Tac3
	Klv4
	Kac4

Cet axe semble opposer les hommes, ouvriers se déplaçant en 2-3 roues motorisé aux femmes employées de centre-ville se déplaçant en marche à pied.

Annexe G - ACM 2

Tableau des valeurs propres

	Valeur singulière	Inertie principale	Khi-2	Pourcenta ge	Pourcent. cumulé	$\lambda' = (\lambda - \lambda_m)^2$	Taux d'inertie modifiée
1	0.4507	0.20313	6412	6.28	6.28	0.0241837	39%
2	0.39064	0.1526	4817	4.72	11	0.011021	18%
3	0.36503	0.13325	4206	4.12	15.12	0.0073327	12%
4	0.3459	0.11964	3777	3.7	18.82	0.005187	8%
5	0.33005	0.10893	3439	3.37	22.19	0.003759	6%
6	0.32286	0.10424	3291	3.22	25.42	0.0032059	5%
7	0.29954	0.08972	2832	2.77	28.19	0.0017725	3%
8	0.29737	0.08843	2792	2.73	30.93	0.0016655	3%
9	0.28274	0.07994	2524	2.47	33.4	0.0010446	2%
10	0.2742	0.07518	2373	2.33	35.72	0.0007596	1%
11	0.25871	0.06693	2113	2.07	37.79	0.0003729	1%
12	0.25425	0.06464	2041	2	39.79	0.0002897	0%
13	0.25137	0.06319	1995	1.95	41.75	0.0002425	0%
14	0.24308	0.05909	1865	1.83	43.57	0.0001316	0%
15	0.24261	0.05886	1858	1.82	45.39	0.0001264	
16	0.24058	0.05788	1827	1.79	47.18	0.0001053	
17	0.23686	0.0561	1771	1.74	48.92	7.193E-05	
18	0.23432	0.0549	1733	1.7	50.62	5.301E-05	
19	0.23368	0.05461	1724	1.69	52.31	4.887E-05	
20	0.2321	0.05387	1701	1.67	53.97	3.907E-05	
21	0.22956	0.0527	1664	1.63	55.6	2.582E-05	
22	0.22826	0.0521	1645	1.61	57.21	2.008E-05	
23	0.22617	0.05115	1615	1.58	58.8	1.247E-05	
24	0.22271	0.0496	1566	1.53	60.33	3.924E-06	
25	0.22154	0.04908	1549	1.52	61.85	2.134E-06	
26	0.21876	0.04786	1511	1.48	63.33	5.806E-08	
27	0.21658	0.04691	1481	1.45	64.78		
28	0.21465	0.04607	1454	1.42	66.2		
29	0.21336	0.04552	1437	1.41	67.61		
30	0.21161	0.04478	1414	1.38	69		
31	0.21036	0.04425	1397	1.37	70.36		
32	0.20875	0.04358	1376	1.35	71.71		
33	0.20713	0.0429	1354	1.33	73.04		
34	0.20635	0.04258	1344	1.32	74.36		
35	0.20257	0.04103	1295	1.27	75.62		

36	0.20017	0.04007	1265	1.24	76.86		
37	0.19847	0.03939	1243	1.22	78.08		
38	0.19401	0.03764	1188	1.16	79.25		
39	0.19306	0.03727	1177	1.15	80.4		
40	0.19053	0.0363	1146	1.12	81.52		
41	0.18583	0.03453	1090	1.07	82.59		
42	0.18261	0.03335	1053	1.03	83.62		
43	0.18151	0.03294	1040	1.02	84.64		
44	0.17862	0.0319	1007	0.99	85.63		
45	0.17531	0.03074	970	0.95	86.58		
46	0.16997	0.02889	912	0.89	87.47		
47	0.16846	0.02838	896	0.88	88.35		
48	0.16619	0.02762	872	0.85	89.2		
49	0.16538	0.02735	863	0.85	90.05		
50	0.15956	0.02546	804	0.79	90.84		
51	0.1552	0.02409	760	0.74	91.58		
52	0.1542	0.02378	751	0.74	92.32		
53	0.1509	0.02277	719	0.7	93.02		
54	0.14709	0.02164	683	0.67	93.69		
55	0.14279	0.02039	644	0.63	94.32		
56	0.14009	0.01962	620	0.61	94.93		
57	0.13807	0.01906	602	0.59	95.52		
58	0.13692	0.01875	592	0.58	96.1		
59	0.13274	0.01762	556	0.54	96.64		
60	0.13156	0.01731	546	0.54	97.18		
61	0.12712	0.01616	510	0.5	97.68		
62	0.12283	0.01509	476	0.47	98.14		
63	0.11765	0.01384	437	0.43	98.57		
64	0.11611	0.01348	426	0.42	98.99		
65	0.11305	0.01278	403	0.4	99.38		
66	0.10813	0.01169	369	0.36	99.74		
67	0.08245	0.0068	215	0.21	99.95		
68	0.03551	0.00126	40	0.04	99.99		
69	0.01087	0.00012	4	0	100		
70	0.00757	0.00006	2	0	100		
71	0.00538	0.00003	1	0	100		
	Total	3.23341	102072	100			

Etude des axes

- ✓ Axe 1 : actifs vs. retraité

-	+
Act0	Kdo4
Sa_3	Sa_1
Kdo1	Act2
Age5	Kac4
Auto0	Kso4
Rev1	Klv4
Enf0	Kau4
Kso2	Ktp4
Klv2	Ktp3
Age6	Enf2
Mode6	Age3
Kau2	Kdo3
Bac1	Age2
Celi	

- ✓ Axe2 : retraités vs. étudiants

-	+
Sa_4	Sa_3
Colo	Klv4
Age1	Age5
Klv1	Kso4
Aut0	Kau4
Kso1	Kac4
Mode6	Act0
Mode2	Klv3
Mode5	Mode1
Zon1	Kso3
Kau1	Kac3
Kac1	Kau3
	Klv2

- ✓ Axe3 : couples aisés distances moyennes supérieures vs. célibataires modestes longues distances

-	+
Kso4	Klv3
Kac4	Kso3
Klv4	Kac3
Kau4	Kau3
Kdo4	Kdo2
Celi	Act2
Rev1	Coup
Aut0	Ktp2
Ktp4	Rev4
Act1	Kdo3

- ✓ Axe 4 : couples actifs CSP+ vs. célibataires actifs modestes

-	+
Kso3	Klv2
Klv3	Kso2
Kac3	Kau2
Kau3	Kac2
Celi	Coup
Rev1	Act2
Act1	Rev6
Kdo3	CSP3
Klv4	Sup2
Age1	Enf2
Aut0	

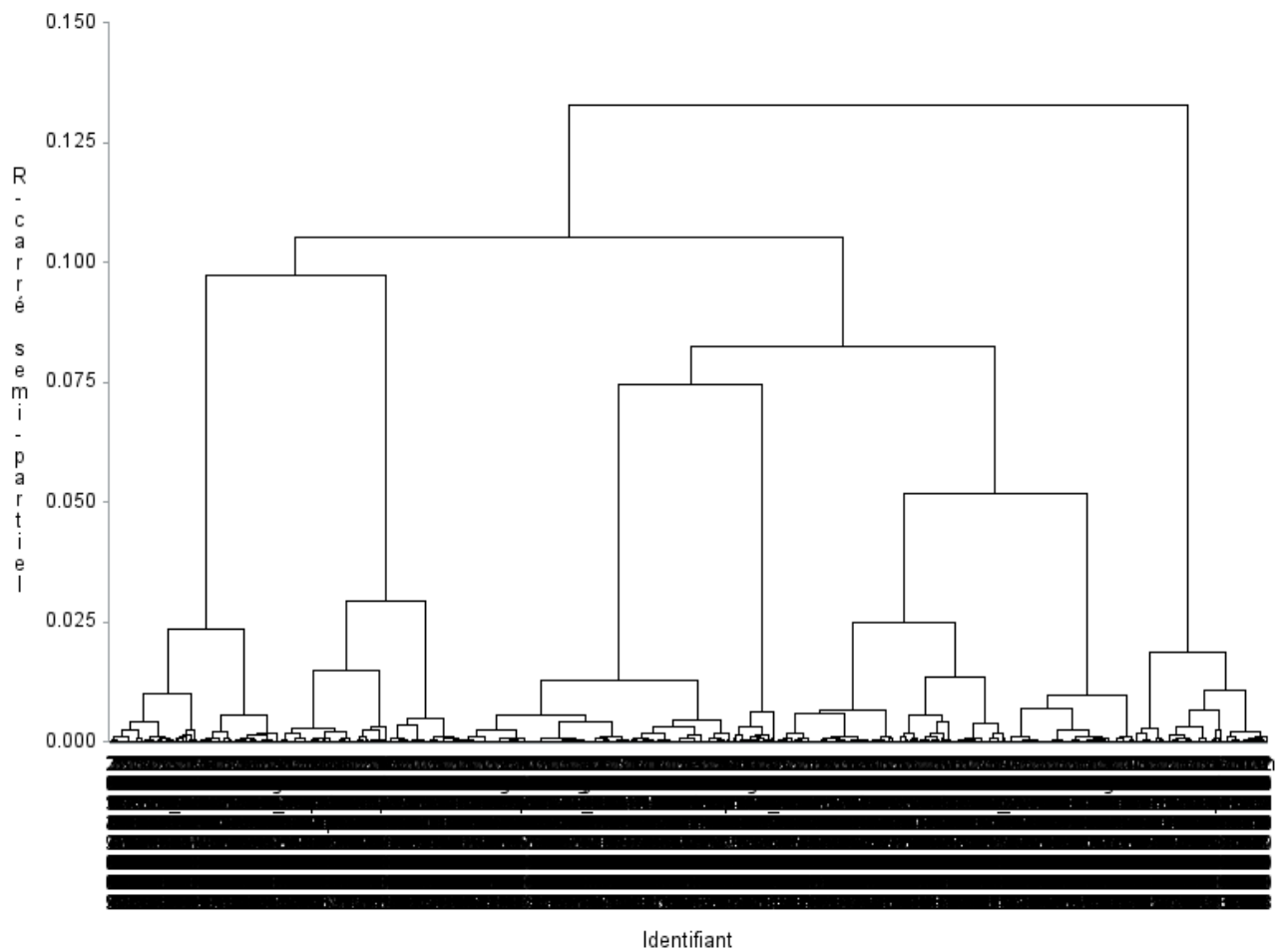
- ✓ Axe 5 : inactifs ruraux modestes vs. CSP+ parisiens aisés

-	+
CSP3	Klv2
Sup2	Kac2
Age5	Sa_2
Sa_3	Kso2
Inf1	Kau2
Act0	Inf0
Zon1	Bac1
Zon2	Rev1
Mod6	Zon6
Rev5	Sa_5
CSP4	CSP5
Rev7	Act1
	Rev2
	Zon7

✓ Axe 6 : élèves/étudiants vs. actifs

-	+
Kso1	Sa_4
Klv1	Colo
Age3	Age1
Sa_1	Kau4
Age4	Mod2
Kau1	Kso4
	Mot1
	Kso2
	Klv4
	Kac4
	Mod8
	Klv2

Résultats de la proc Tree sous SAS



Répartition des variables dans les différentes classes :

- Classe 1 : age6 (plus de 69 ans), enf0 (aucun enfant au foyer), kdo1, mod4 (marche à pied),
- Classe 2 : act0 (aucun actif dans le ménage), age5 (de 60 à 69 ans), kac2, kau2, klv2, kso2, mod2 (marche+VP), sa_4 (retraité, pré-retraité), sa_5 (femme au foyer), zone 4 (ville centre <100 000 habitants), zone6 (milieu périurbain)
- Classe 3 : CSP6 (ouvriers), act1 (un actif dans le ménage), aut0 (non motorisé), bac1 (niveau d'étude inférieur au bac), celi (célibataire ou vivant seul), inf0 (pas de transports en commun à proximité), mod3 (vélo), mod6 (marche+TC), rev1, rev2, sa_2 (chômeur), sa_6 (autre inactif), zone7 (milieu rural)
- Classe 4 : CSP2 (artisans, commerçants, chefs d'entreprises), CSP3 (cadres supérieurs, professions libérales), CSP4 (cadres moyens, professions intermédiaires), act2 (deux actifs ou plus dans le ménage), age2, age3, age4 (entre 30 et 60 ans), bac 2 (niveau d'étude équivalent au bac), enf1, enf2 (un ou deux enfants au foyer), homme, femme, inf1 (infrastructures de transports en commun à proximité), kac1, kau1, klv1, kso1, ktp1, mot0 (ne possède pas de 2-3 roues dans le foyer), rev4-rev7, sa_1 (actif), sup2(niveau d'étude supérieur à bac+2), vel0 (ne possède pas de vélo dans le foyer), zone2, zone3 (PUP hors Paris, ville centre > 100 000 habitants), zone5 (banlieue),
- Classe 5 : CSP5 (employés), aut1 (ménage motorisé), coup (vivant en couple ou situation matrimoniale), kac3, kau3, kdo2, kdo3, klv3, kso3, ktp2, mod1 (voiture exclusive), rev3, sup1(niveau d'étude bac+2), vel1 (possède un vélo dans le foyer),
- Classe 6 : CSP1 (agriculteurs exploitants), enf3 (trois enfants ou plus au foyer), kac4, kau4, kdo4, klv4, kso4, ktp3, ktp4, mod8 (voiture +autre),
- Classe 7 : age1 (moins de 30 ans), colo (vivant en cohabitation, en colocation), mod2 (2-3 roues motorisé), mod5 (transports en commun), mot1 (possède 2-3 roues dans le foyer), sa_4 (élève, étudiants), zone1 (Paris intra-muros).

Annexe H – Modèles initiaux données de panel

Régression MCO avec dummy individuelles

```
. reg lnnbvp dage lnrev lnachat alter c2-c35, vce(robust)
```

Linear regression

Number of obs = 75
 F(28, 36) = .
 Prob > F = .
 R-squared = 0.9812
 Root MSE = .10305

lnnbvp	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
dage	-.180177	.0681543	-2.64	0.012	-.3184004	-.0419536
lnrevenu	1.217835	.1042442	11.68	0.000	1.006418	1.429252
lnachat	-1.810455	.2053408	-8.82	0.000	-2.226906	-1.394005
alter	-.1543594	.0368103	-4.19	0.000	-.2290141	-.0797047
c2	-.4779885	.0201905	-23.67	0.000	-.5189368	-.4370403
c3	-.4771217	.0426559	-11.19	0.000	-.5636319	-.3906115
c4	-.7450082	.042615	-17.48	0.000	-.8314355	-.6585809
c5	-.8910237	.0685838	-12.99	0.000	-1.030118	-.7519293
c6	.3627662	.0722078	5.02	0.000	.216322	.5092105
c7	.161798	.0386582	4.19	0.000	.0833956	.2402004
c8	-.0849614	.1295903	-0.66	0.516	-.3477826	.1778598
c9	-.2413724	.171428	-1.41	0.168	-.5890446	.1062998
c10	-.5216374	.1478054	-3.53	0.001	-.8214006	-.2218742
c11	.6921892	.0592272	11.69	0.000	.5720709	.8123075
c12	.4725442	.055995	8.44	0.000	.3589811	.5861073
c13	.346482	.1114576	3.11	0.004	.1204354	.5725285
c14	.2852234	.0788372	3.62	0.001	.1253341	.4451126
c15	-.1315291	.0876586	-1.50	0.142	-.3093089	.0462508
c16	.7365397	.1017867	7.24	0.000	.5301066	.9429728
c17	.5837395	.1186208	4.92	0.000	.3431653	.8243137
c18	.5650047	.0950743	5.94	0.000	.3721851	.7578242
c19	.4445531	.1048808	4.24	0.000	.231845	.6572613
c20	.0556445	.0952831	0.58	0.563	-.1375985	.2488876
c21	.8013409	.1019591	7.86	0.000	.5945583	1.008123
c22	.6883932	.079993	8.61	0.000	.5261599	.8506266
c23	.6906166	.0784981	8.80	0.000	.5314151	.8498182
c24	.5949466	.0753351	7.90	0.000	.44216	.7477333
c25	.1115008	.0843468	1.32	0.195	-.0595624	.282564
c26	.8671207	.0916542	9.46	0.000	.6812374	1.053004
c27	.8326292	.1275154	6.53	0.000	.5740159	1.091242
c28	.853764	.1049458	8.14	0.000	.640924	1.066604
c29	.7267289	.1456272	4.99	0.000	.4313832	1.022075
c30	.1001601	.0879835	1.14	0.262	-.0782787	.2785989
c31	1.173518	.0855669	13.71	0.000	.9999799	1.347055
c32	1.082604	.0858895	12.60	0.000	.9084121	1.256796
c33	.9392938	.0858584	10.94	0.000	.765165	1.113423
c34	.9398163	.0893484	10.52	0.000	.7586093	1.121023
c35	.1416819	.0855755	1.66	0.106	-.0318733	.3152371
_cons	4.969307	1.109598	4.48	0.000	2.718938	7.219676

```
. reg lnrbvp dage lnrevenue lnrbpchat alter g2-g7 z2-z5, vce(robust)
```

Linear regression

```
Number of obs =    75
F( 14,    60) =   86.85
Prob > F      =   0.0000
R-squared     =   0.9608
Root MSE     =   .11536
```

lnrbvp	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
dage	-.11394	.059931	-1.90	0.062	-.2338199	.0059399
lnrevenue	1.07688	.097585	11.04	0.000	.8816805	1.272079
lnrbpchat	-1.602952	.1842759	-8.70	0.000	-1.971559	-1.234346
alter	-.1197852	.0423081	-2.83	0.006	-.204414	-.0351565
g2	.4780991	.0849399	5.63	0.000	.308194	.6480042
g3	.8788414	.0809396	10.86	0.000	.7169381	1.040745
g4	1.031711	.0899009	11.48	0.000	.8518828	1.21154
g5	1.102996	.0975411	11.31	0.000	.9078852	1.298108
g6	1.180951	.1129685	10.45	0.000	.9549808	1.406922
g7	1.325943	.1282372	10.34	0.000	1.069431	1.582456
z2	-.159005	.038115	-4.17	0.000	-.2352463	-.0827638
z3	-.2298061	.0439833	-5.22	0.000	-.3177857	-.1418264
z4	-.333361	.0468942	-7.11	0.000	-.4271635	-.2395586
z5	-.7402792	.0525277	-14.09	0.000	-.8453503	-.6352081
_cons	4.080484	1.013591	4.03	0.000	2.053001	6.107967

```
.
end of do-file
```

```
. reg lnrbvvp lnrev lnpackat alter c2-c35, vce(robust)
```

Linear regression

```
Number of obs =      75
F( 27,      37) =      .
Prob > F       =      .
R-squared      = 0.9781
Root MSE     =  .10988
```

lnrbvvp	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnrevenu	1.03421	.0711168	14.54	0.000	.8901135	1.178306
lnpackat	-1.484669	.1361612	-10.90	0.000	-1.760558	-1.20878
alter	-.0998617	.0452804	-2.21	0.034	-.1916085	-.0081149
c2	-.4424231	.0137742	-32.12	0.000	-.4703324	-.4145139
c3	-.4019837	.0291004	-13.81	0.000	-.4609467	-.3430206
c4	-.6699421	.0290726	-23.04	0.000	-.7288487	-.6110355
c5	-.7702139	.0467888	-16.46	0.000	-.865017	-.6754107
c6	.3932972	.1071523	3.67	0.001	.1761861	.6104083
c7	.2188729	.0601105	3.64	0.001	.0970773	.3406684
c8	-.012419	.1696037	-0.07	0.942	-.3560687	.3312307
c9	-.1526408	.1942918	-0.79	0.437	-.5463134	.2410319
c10	-.3710794	.154428	-2.40	0.021	-.6839802	-.0581787
c11	.7011609	.0575967	12.17	0.000	.584459	.8178628
c12	.5002683	.0579306	8.64	0.000	.3828898	.6176469
c13	.3724836	.116833	3.19	0.003	.1357575	.6092097
c14	.3278923	.0751258	4.36	0.000	.175673	.4801116
c15	-.0409475	.0834265	-0.49	0.626	-.2099857	.1280907
c16	.7387184	.1005024	7.35	0.000	.5350812	.9423557
c17	.5983343	.1222951	4.89	0.000	.3505407	.8461278
c18	.5677561	.0946586	6.00	0.000	.3759596	.7595526
c19	.4643179	.1048136	4.43	0.000	.2519453	.6766904
c20	.1128509	.0954963	1.18	0.245	-.0806429	.3063448
c21	.7464139	.0876153	8.52	0.000	.5688884	.9239395
c22	.6346547	.070341	9.02	0.000	.4921303	.7771791
c23	.6229053	.0636508	9.79	0.000	.4939365	.7518741
c24	.5405496	.0637705	8.48	0.000	.4113384	.6697608
c25	.0935369	.0767896	1.22	0.231	-.0620536	.2491274
c26	.7882875	.0747938	10.54	0.000	.6367408	.9398342
c27	.7415753	.1096108	6.77	0.000	.5194828	.9636678
c28	.7420033	.0791904	9.37	0.000	.5815484	.9024583
c29	.6182464	.1126909	5.49	0.000	.389913	.8465799
c30	.039229	.0735787	0.53	0.597	-.1098555	.1883136
c31	1.041395	.0576548	18.06	0.000	.9245749	1.158215
c32	.9337025	.0529038	17.65	0.000	.8265091	1.040896
c33	.7910207	.0530751	14.90	0.000	.6834803	.8985611
c34	.7589965	.0450859	16.83	0.000	.6676438	.8503492
c35	.0101922	.0578408	0.18	0.861	-.1070045	.1273888
_cons	3.536366	.8196795	4.31	0.000	1.875538	5.197195

```
.
end of do-file
```

```
. reg lnnbvp lnrev lnachat alter g2-g7 z2-z5, vce(robust)
```

Linear regression

```
Number of obs =    75
F( 13,    61) =   95.78
Prob > F      =   0.0000
R-squared     =   0.9593
Root MSE     =   .11658
```

lnnbvp	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnrevenu	.9848375	.069238	14.22	0.000	.8463875	1.123287
lnachat	-1.425694	.1185202	-12.03	0.000	-1.662689	-1.188698
alter	-.0900885	.0447891	-2.01	0.049	-.1796498	-.0005271
g2	.484033	.0856976	5.65	0.000	.31267	.6553959
g3	.8531248	.0775888	11.00	0.000	.6979763	1.008273
g4	.9881492	.0853834	11.57	0.000	.8174144	1.158884
g5	1.016949	.0809724	12.56	0.000	.8550347	1.178864
g6	1.071246	.0899466	11.91	0.000	.8913868	1.251105
g7	1.183736	.1057356	11.20	0.000	.9723044	1.395167
z2	-.1541762	.0371951	-4.15	0.000	-.2285524	-.0798
z3	-.2267448	.0429584	-5.28	0.000	-.3126454	-.1408441
z4	-.3253774	.0440884	-7.38	0.000	-.4135376	-.2372173
z5	-.7095993	.0475577	-14.92	0.000	-.8046967	-.6145019
_cons	3.25586	.7313738	4.45	0.000	1.793388	4.718333

```
.
end of do-file
```

```
. reg lnnbvp lnrev lnachat c2-c35, vce(robust)
```

Linear regression

```
Number of obs =      75
F( 26,   38) =      .
Prob > F       =      .
R-squared      =  0.9757
Root MSE      =  .11413
```

lnnbvp	Robust					[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.	t	P> t			
lnrevenu	.9797907	.0793103	12.35	0.000	.8192354	1.140346	
lnachat	-1.519274	.1373213	-11.06	0.000	-1.797267	-1.241282	
c2	-.431883	.0153612	-28.12	0.000	-.4629801	-.4007859	
c3	-.3797157	.0324531	-11.70	0.000	-.4454137	-.3140178	
c4	-.6476955	.0324221	-19.98	0.000	-.7133306	-.5820605	
c5	-.7344106	.0521794	-14.07	0.000	-.8400424	-.6287789	
c6	.4340596	.0850116	5.11	0.000	.2619627	.6061566	
c7	.2675018	.0426975	6.27	0.000	.1810652	.3539384	
c8	.0407939	.1497698	0.27	0.787	-.2623992	.343987	
c9	-.09463	.169704	-0.56	0.580	-.4381778	.2489177	
c10	-.2947458	.1329447	-2.22	0.033	-.5638782	-.0256134	
c11	.7496898	.0730193	10.27	0.000	.60187	.8975095	
c12	.5543547	.0781433	7.09	0.000	.3961619	.7125475	
c13	.4260594	.1318924	3.23	0.003	.1590572	.6930616	
c14	.3864077	.0922215	4.19	0.000	.1997149	.5731004	
c15	.0317673	.1060103	0.30	0.766	-.1828393	.246374	
c16	.8030333	.105136	7.64	0.000	.5901966	1.01587	
c17	.6663287	.1197237	5.57	0.000	.4239607	.9086967	
c18	.6322407	.1000614	6.32	0.000	.4296769	.8348044	
c19	.5338445	.1113044	4.80	0.000	.3085205	.7591685	
c20	.1934737	.1013779	1.91	0.064	-.0117551	.3987026	
c21	.811604	.1004362	8.08	0.000	.6082815	1.014926	
c22	.7001969	.0850941	8.23	0.000	.5279329	.872461	
c23	.6843065	.0725928	9.43	0.000	.5373501	.831263	
c24	.6058967	.0736835	8.22	0.000	.4567323	.7550612	
c25	.1696814	.0919304	1.85	0.073	-.016422	.3557847	
c26	.8604282	.0913249	9.42	0.000	.6755505	1.045306	
c27	.8100942	.1280089	6.33	0.000	.5509538	1.069235	
c28	.8043856	.0954553	8.43	0.000	.6111465	.9976248	
c29	.6816003	.1267542	5.38	0.000	.4249998	.9382008	
c30	.1166752	.0879954	1.33	0.193	-.0614623	.2948126	
c31	1.07642	.0677369	15.89	0.000	.9392941	1.213547	
c32	.9637556	.0620436	15.53	0.000	.8381549	1.089356	
c33	.8212601	.062251	13.19	0.000	.6952395	.9472808	
c34	.7795904	.0522855	14.91	0.000	.6737438	.8854369	
c35	.0454055	.0679576	0.67	0.508	-.0921675	.1829785	
_cons	4.312422	.6801536	6.34	0.000	2.935523	5.689321	

```
. reg lnnbvp lnrev lnachat g2-g7 z2-z5, vce(robust)
```

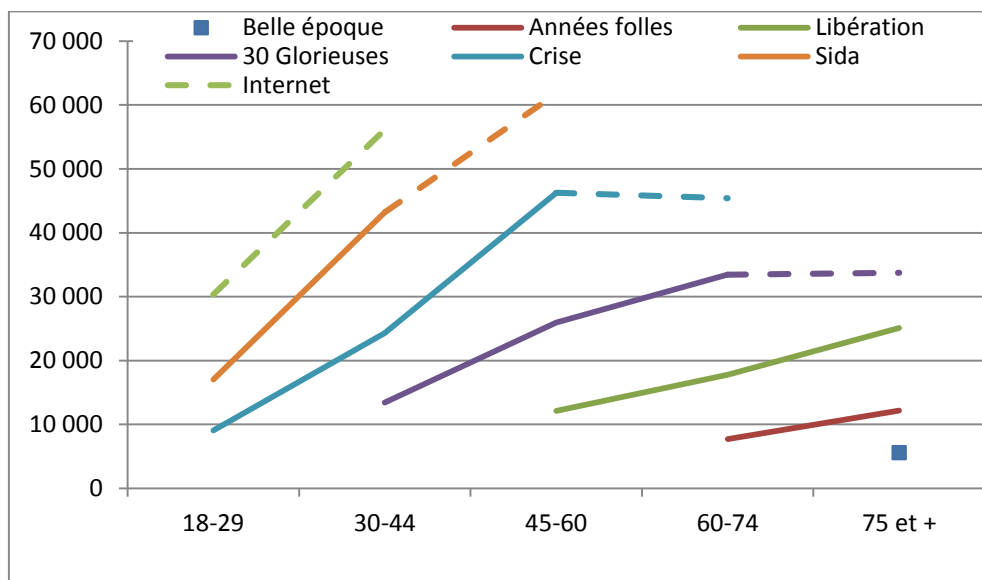
Linear regression

```
Number of obs =      75
F( 12,    62) = 103.73
Prob > F      = 0.0000
R-squared     = 0.9573
Root MSE     = .11841
```

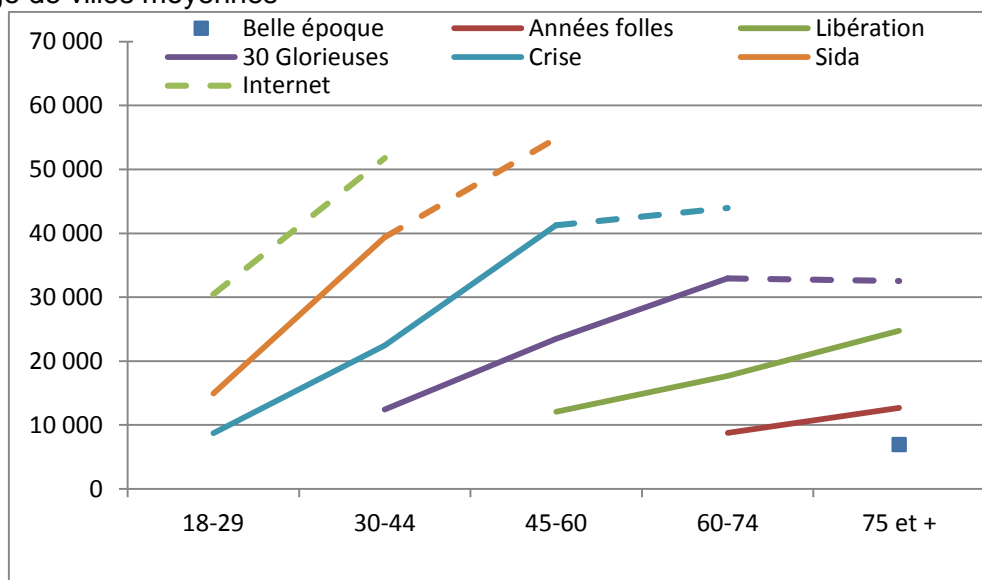
lnnbvp	Robust		t	P> t	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
lnrevenu	.9450337	.0706517	13.38	0.000	.8038031	1.086264
lnachat	-1.470065	.116059	-12.67	0.000	-1.702063	-1.238066
g2	.5158641	.0815128	6.33	0.000	.3529223	.6788059
g3	.8843312	.0768778	11.50	0.000	.7306547	1.038008
g4	1.028063	.0831763	12.36	0.000	.8617958	1.19433
g5	1.054914	.080805	13.06	0.000	.8933876	1.216441
g6	1.111932	.0899125	12.37	0.000	.9321996	1.291665
g7	1.190691	.105928	11.24	0.000	.9789434	1.402438
z2	-.152088	.0383765	-3.96	0.000	-.2288016	-.0753744
z3	-.2254209	.0434958	-5.18	0.000	-.3123678	-.1384741
z4	-.3219249	.0446286	-7.21	0.000	-.4111363	-.2327135
z5	-.6963317	.0488236	-14.26	0.000	-.7939286	-.5987348
_cons	4.007245	.5711824	7.02	0.000	2.865467	5.149022

Annexe I - Hypothèse sur le revenu annuel moyen des cohortes en 2020, en €

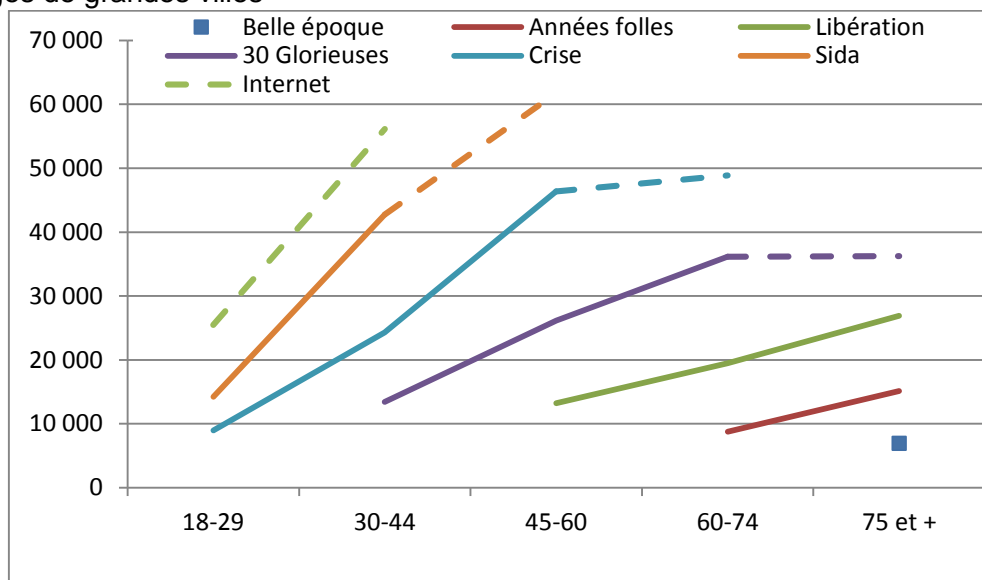
- Ménages de petites villes



- Ménage de villes moyennes



- Ménages de grandes villes



Bibliographie

- ADEME (2012) *Véhicules particuliers vendus en France. Consommations conventionnelles de carburant et émissions de CO₂*.
<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=52820&ref=&p1=111> (Consulté en octobre 2012).
- ADEME (2013) *Véhicules particuliers vendus en France. Evolution du marché, caractéristiques environnementales et techniques*.
<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=52819&ref=&p1=111> (Consulté en novembre 2013).
- Afsa Essafi, C. (2003) *Les modèles logit polytomiques non ordonnés : théorie et applications*, série des Documents de travail Méthodologie Statistique, INSEE.
http://www.insee.fr/fr/publications-et-services/docs_doc_travail/0301.pdf (Consulté en novembre 2012).
- Algers, S., Daly, A., Kjellman, P. et Widlert, S. (1995) "Stockholm model system (SIMS): application". Présenté lors de la 7th *World Conference of Transportation Research*. Sydney, Australie.
- Arbouet, M. (2011) *Quels potentiels pour les nouveaux services à la mobilité ?*, Mémoire de master, Certu.
http://www.certu.fr/IMG/pdf/Memoire_format_pdf_.pdf (Consulté en Novembre 2011)
- ATEMA (Juin 2010) *Caractérisation de services et usages de covoiturage en France : quels impacts sur l'environnement, quelles perspectives d'amélioration ?*
<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=1&cid=96&m=3&id=71831&ref=14232&no-cache=yes&p1=111> (Consulté en avril 2011).
- Baltagi, B.H. (2008) *Econometric analysis of panel data*, Fourth Edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex.
- Bartolomeo, M., dal Maso, D., de Jong, P., Eder, P., Groenewegen, P., Hopkinson, P., James, P., Nijhuis, L., Orninge, M., Scholl, G., Slob, A. et Zaring, O. (2003) "Eco-efficient producer services-what are they, how do they benefit customers and the environment and how likely are they to develop and be extensively utilised ?", *Journal of Cleaner Production*, 11:8, pp.829–837.
- Bassand, M., Kaufmann, V. et Joye, D. (2001) *Enjeux de la sociologie urbaine*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Bates, J.J., Gunn, H.F. et Roberts, M. (1978) *A Disaggregate Model of Household Car Ownership*. Rapport de recherche n°20, Department of the Environment and Transport, HMSO, London.

- Baum, H. et Pesch, S. (1994) *Untersuchung der eignung von carsharing im hinblick auf reduzierung von stadtverkehrsproblemen*. Rapport de recherche n° 70421/93 pour le ministère fédérale des transports, Bonn.
- Beauvais consultants (2102) *Dépenses engagées par les voyageurs : comparaison entre les transports publics et la voiture particulière, situation en 2008 et évolution depuis 1970*, étude FNAUT multi-clients.
<http://beauvais-consultants.com/Historique%20version%202012.pdf> (Consulté en mars 2013).
- Ben-Akiva, M. et Lerman, S. R. (1985) *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Benzécri, J.P. (1992) *Correspondence analysis handbook*, CRC Press, New York.
- Bhat, C. et Koppelman, F.S. (1993) "A conceptual framework of individual activity program generation", *Transportation Research A*, 27:6, pp.433-446.
- Bhat, C. et Pulugurta, V. (1998) "A Comparison of Two Alternative Behavioural Choice Mechanisms for Household Auto Ownership Decisions", *Transportation Research B*, 32:1, pp.61-75.
- BIPE, Observatoire Véhicules Légers France et Europe.
- BIPE, Observatoire des Mobilités et Arbitrages Automobile, 2010, 2011, 2012, 2013.
- BIPE (2010) Migrations Résidentielles.
- Blandin, O. (2011) « Du transport collectif à l'écomobilité : l'expérience d'une entreprise de transport urbain d'une ville moyenne du sud de la France », in Gaglio, G., Lauriol, J. et Du Tertre, C. *L'économie de .la fonctionnalité : une voie nouvelle pour un développement durable*. Octarés, Toulouse, pp.101-110.
- Bodier, M. (Juillet 1996) *La voiture, une habitude qui se prend jeune*, INSEE Première n°474.
http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/ip474.pdf (Consulté en avril 2011).
- Bodier, M. (1999) « Les effets d'âge et de génération sur le niveau et la structure de la consommation », *Economie et Statistiques*, n° 324-325, pp.163-180.
http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/es324-325j.pdf (Consulté en avril 2011).
- Bonnel, P., Cabanne, I. et Massot, M-H. (2003) *Evolution de l'usage des transports collectifs et politiques de déplacements urbains*, La Documentation Française, collection « Le point sur ».
- Boskin, M.J. (1974) "A conditional logit model of occupational choice", *Journal of Political Economy*, 82:2, pp.389-398.

- Bourg, D. et Buclet, N. (2005) « Des services aux entreprises à l'économie de la fonctionnalité : les enjeux du développement durable », *Futuribles*, n°313, pp.27-37.
- Bouthillier, F. (2010) « Performances durables des modèles d'opérateurs intégrés : économie de la fonctionnalité ». Présenté lors de la 19^{ème} conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique. Luxembourg, Luxembourg.
- Bowman, J.L. et Ben-Akiva, M.E. (2001) "Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedule", *Transportation Research A*, 35:1, pp.1-28.
- Brownstone, D., Bunch, D. et Train, K. (2000) "Joint Mixed Logit Models of Stated and Revealed Preferences for Alternative-Fuel Vehicles", *Transportation Research B*, 34:5, pp.315-338.
- Buclet, N. (2005), « Vendre l'usage d'un bien plutôt que le bien lui-même : une piste pour concilier meilleure prise en compte de l'environnement et rentabilité des entreprises ». Présenté lors de la 15^{ème} conférence internationale du Réseau Européen de Recherche Services et Espaces. Grenade, Espagne.
- Buffet, L. (2006) « De l'appropriation du quartier à la découverte de la grande ville. L'influence des bornes de la ville sur les usages spatiaux », in Bonnet, M. et Aubertel, P., *La ville aux limites de la mobilité*, PUF, Paris, pp.143-152.
- Burns, L.D., Golob, T.F. et Nicolaidis, G.C. (1976) "A theory of urban households' automobile ownership decision", *Transportation research*, 569, pp.56-73.
- Button, K., Ngoe, N. et Hine, J. (1993) "Modelling vehicle ownership and use in low-income countries", *Journal of Transport Economics and Policy*, 27, pp.51-67.
- BVA (Décembre 2008) *Observatoire UTP de la Mobilité*.
<http://www.utp.fr/images/stories/utp/synthesebva130109.pdf> (Consulté en mai 2011).
- BVA (Décembre 2009) *Observatoire UTP de la Mobilité*.
http://www.utp.fr/images/stories/utp/synthese_resultats_bva.pdf (Consulté en mai 2011).
- BVA (Décembre 2010) *Observatoire UTP de la Mobilité*.
<http://www.utp.fr/images/stories/utp/rapport.pdf> (Consulté en mai 2011).
- Canales, M. (2002) *Circulation sur le réseau routier national et prix des carburants : les années 2000 et 2001*, Note de synthèse du SES n°140.
http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Temis/0041/Temis-0041903/NS_140_2.pdf (Consulté en mai 2011).
- Carson, R.T. et al. (1994) "Experimental analysis of choice", *Marketing Letters*, 5:4, pp.351-368.

- Cascetta, E., Nuzzolo, A. et Velardi, V. (1993) *A system of mathematical models for the evaluation of integrated trac planning and control policies*. Rapport de recherche non publié, Laboratorio Recherche Gestione e Controllo Traco, Salerno.
- Cayla, J.M., Maizi, N., Marchand, C. (2011) "The role of income in energy consumption behaviour: Evidence from French households data", *Energy policy*, 39, pp.7874-7883.
- CCFA (2011) *L'industrie automobile française. Analyse et statistiques 2011*.
http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/ccfa_ra_2011_fra.pdf (Consulté en octobre 2012).
- CCFA (2013) *L'industrie automobile française. Analyse et statistiques 2013*.
http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/ccfa_ra2012_fr_web-2.pdf (Consulté en novembre 2013).
- Certu (Décembre 2008) *L'autopartage en France et en Europe. Etat des lieux et perspectives*.
http://www.communauto.com/images/03.coupures_de_presse/CERTU_Autopartage_France_Europe.pdf (Consulté en avril 2011).
- Certu (Janvier 2009) *Le covoiturage dynamique. Etude préalable avant expérimentation*.
http://www.innovations-transport.fr/IMG/pdf/CovoitDynamique_02-02.pdf (Consulté en avril 2011).
- Cervero, R., Golub, A. et B., N. (2005) *City CarShare: Longer-Term Travel Demand and Car Ownership Impacts*. Working paper 2006-07, Institut de développement urbain et régional, Université de Californie, Berkley.
<http://www.iurd.berkeley.edu/publications/wp/2006-07.pdf> (Consulté en mai 2011).
- CGDD (Octobre 2010) *Chiffres clé de l'énergie. Edition 2010*.
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep-10-10.pdf> (Consulté en mars 2011).
- CGDD (Septembre 2012) *Chiffres clé de l'énergie. Edition 2012*.
http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Reperes/2012/Environnement_2012/reperes-chiffrescles-environnementv2.pdf (Consulté en septembre 2012).
- CGDD, SOeS (Décembre 2010) *La mobilité des Français, Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008*, La revue du CGDD.
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rev3.pdf> (Consulté en juin 2011).
- CGDD/SOeS (Juillet 2013) *Les comptes des transports en 2012, Références*.
http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/References/2013/cctn-2012-ed-2013/cctn-2012-rapport-ed-2013-2bis.pdf (Consulté en juillet 2013).

- CGDD/ SOeS, DGEC/ SCEE, CDC Climat Recherche (2011) *Chiffres clés du climat France et monde. Edition 2011.*
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Repclimat.pdf> (Consulté en mars 2012).
- CNPA, TNS Sofrès, GMV Conseil, Marché des locations de véhicules courte durée, 2000 à 2011.
<http://www.cnpa.fr/?type=orgcategory&id=1878> (consulté en juillet 2011).
- Collet, R., Madre J.L., Hivert, L. (2012) « Diffusion de l'automobile en France : vers quels plafonds pour la motorisation et l'usage ? », *Economie et Statistique*, n° 457-458, pp. 123-139.
- Comité des Professionnels Du Pétrole (1991) *Pétrole 1990*, CPDP.
- Comité des Professionnels Du Pétrole (2010) *Pétrole 2009*, CPDP.
- Commission Européenne (1993-2011) *Prix des voitures au sein de l'Union européenne.*
http://ec.europa.eu/competition/sectors/motor_vehicles/prices/archive.html (Consulté en mars 2012).
- Commission « Mobilité 21 » (2013) *Pour un schéma national de mobilité durable*, Rapport au ministre chargé des transports, de la mer et de la pêche.
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CM21_-_27_Juin_2013_vers2_9h38_sans_traits_de_coupe-2.pdf (Consulté en juin 2013).
- Communauto (2006) *Le projet auto + bus. Evaluation d'initiatives de mobilité combinée dans les villes canadiennes*, rapport technique, TECSULT Inc.
http://www.communauto.com/abonnes/PT-CS_RapportFinal_jul06.pdf (Consulté en décembre 2011).
- Cordier, B. (Octobre 2009) *L'autopartage dans la sphère privée*, ADETEC.
<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=-1&cid=96&m=3&id=71830&ref=&nocache=yes&p1=111> (Consulté en mars 2011).
- Coulangeon, P. et Petev, I.D. (2012) « L'équipement automobile, entre contrainte et distinction sociale », *Economie et Statistique*, n°457-458, pp.97-121.
- Coulaud, D. (2010) *L'automoville. Ville, automobile et mode de vie*. L'Harmattan, Paris.
- Cramer, J.S et Vos, A. (1985) *Een model voor prognoses van het personenautopark*, Interfaculteit der Actuariële wetenschappen en Econometrie, Universiteit van Amsterdam.

- Crozet, Y. et Joly, I. (2003) *De l'hypothèse de la constance du budget temps de transport à sa remise en cause : une double interpellation des politiques de transport urbain*. Recherche pour le PUCA.
<http://www.youscribe.com/catalogue/rapports-et-theses/savoirs/sciences-humaines-et-sociales/de-l-hypothese-de-la-constance-du-budget-temps-de-transport-a-sa-1529340>
 (Consulté en septembre 2011).
- Crozet, Y. et Joly, I. (2006) « Budget temps de transport et vitesse : de nouveaux enjeux pour les politiques de mobilité urbaine », in Bonnet, M. et Aubertel, P., *La ville aux limites de la mobilité*, PUF, Paris, pp. 287-296.
- Dahl, C. et Sterner, T. (1991) "Analysing gasoline demand elasticities: a survey", *Energy Economics*, 13:3, pp.203-210.
- Daly, A.J., van Zwam, H.H.P. et van der Valk, J. (1983) "Application of disaggregate models for a regional transport study in The Netherlands". Présenté lors de la 3rd *World Conference on Transport Research*. Hamburg, Allemagne.
- Damm, D. (1983) "Theory and empirical results: a comparison of recent activity-based research", in Carpenter, S. et Jones, P., *Recent Advances in Travel Demand Analysis*, Gower, Aldershot, pp.3-33.
- Dargay, J. M. (2001) "The effect of income on car ownership: evidence of asymmetry", *Transportation Research A*, 35, pp.807-821.
- Dargay, J. M. (2002) "Determinants of car ownership in rural and urban areas: a pseudo-panel analysis", *Transportation Research E*, 38, pp.351-366.
- Dargay, J.M. et Gately, D. (1999) "Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960-2050", *Transportation research A*, 33, pp.101-138.
- Dargay, J. et Vythoulkas, P. (1999) "Estimation of a dynamic car ownership model, A Pseudo-Panel Approach", *Journal of Transport Economics and Policy*, 33:3, pp.287-302.
- Dargay, J. et Hanly, M. (2007) "Volatility of car ownership, commuting mode and time in the UK", *Transportation Research A*, 41:10, pp.934-948.
- Deaton, A. (1985) "Panel data from time series of cross-sections", *Journal of Econometrics*, 30, pp. 109-126.
- Debreu, G. (1960) "Review of R.D. Luce, Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis", *American Economic Review*, 50, pp.186-188.
- De Jong, G.C. (1989a) *Some joint models of car ownership and car use*. Thèse de doctorat, Faculty of Economic Science and Econometrics, University of Amsterdam.

- De Jong, G.C. (1989b) "Simulating car cost changes using an indirect utility model of car ownership and car use". Présenté lors de la *1989 European Transport Conference*, Brighton, Grande-Bretagne.
- De Jong, G.C. (1991) "An indirect utility model of car ownership and car use", *European Economic Review*, 34, pp.971-985.
- De Jong, G.C. (1996) "A disaggregate model system of vehicle duration, type choice and use", *Transportation Research B*, 30, pp.263-276.
- De Jong, G.C., Fox, J., Daly, A., Pieters, M. et Smit, R. (2004) "Comparison of Car Ownership Models", *Transport Reviews*, 24:4, pp.379-408.
- Desjeux, D. (2006) *La consommation*, QSJ, PUF, Paris.
- Desjeux, D., Alami, S. et Marnat, D. (2006) « Les sens anthropologiques de la mobilité ou la mobilité comme brouilleur des bornes de la ville », in Bonnet, M. et Aubertel, P., *La ville aux limites de la mobilité*, PUF, Paris, pp.33-45.
- Dupuy, G. (1999) *La dépendance automobile. Symptômes, analyse, diagnostique, traitement*, Anthropos, Paris.
- Du Tertre, C. (2007) « Des services aux entreprises à l'économie de la fonctionnalité : les enjeux du développement durable », in Heurgon, E. et Landrieu, J., *L'économie des services pour un développement durable. Nouvelles richesses, nouvelles solidarités*, l'Harmattan, Paris, pp.235-320.
- Efron, B., Tibshirani, R. J. (1993) *An introduction to the bootstrap*, Monographs on statistics and applied probability 57, Chapman & Hall.
- Estrella, A. (1998) "A new measure of fit for equations with dichotomous dependent variables", *Journal of Business and Economic Statistics*, 16:2, pp.198-205.
- Favennec, J.P. (2007) *Géopolitique de l'énergie*, Editions Technip, Paris.
- Fichelet, R. (1978) *Les déplacements et leurs régulations*, SERES, Paris.
- Fink, A. et Reiners, T. (2006) "Modeling and solving the short-term car rental logistics problem", *Transportation Research E*, 42, pp.272-292.
- Flamm, M. (2004) *Comprendre le choix modal. Les déterminants des pratiques modales et des représentations individuelles des moyens de transports*. Thèse de doctorat, EPFL, Lausanne, Suisse.
- Folz, J.M., Cros, C. et Nicklaus, D. (2008) *L'économie de la fonctionnalité, un plus pour l'environnement*, Grenelle chantier n°31.
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_final_comop_31.pdf
 (Consulté en octobre 2011).

- Fourcroy, C., Gallouj, F. et Decellas, F. (2012) "Energy consumption in service industries: challenging the myth of non-materiality", *Ecological Economics*, 81, pp.155-164.
- François, T.V. et Desjeux, D. (2000) « L'alchimie de la transmission sociale des objets », in Garabuau-Moussaoui, I. et Desjeux, D., *Objet banal, objet social. Les objets quotidiens comme révélateurs des relations sociales*, L'Harmattan, Paris, pp.83-116.
- Frändberg, L. et Vilhelmson, B. (2011) "More or less travel: personal mobility trends in the Swedish population focusing gender and cohort", *Journal of Transport Geography*, 19, pp.1235-1244.
- Frenay, P. (1997) « De l'importance des facteurs psychosociaux dans le choix modal », *Recherche Transports Sécurité*, n°55, pp.47-66.
- Gaglio, G., Lauriol, J. et Du Tertre, C. (2011) *L'économie de la fonctionnalité: une voie nouvelle vers un développement durable ?*, Octarés, Toulouse.
- Gallez, C. (1994) *Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché de l'automobile*. Thèse de Doctorat, Université de Paris I, Paris, France.
- Giarini, O. et Stahel, W. R. (1990) *Les limites du certain. Affronter les risques dans une nouvelle économie de service*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- Gilbert, C.S. (1992) "A duration model of automobile ownership", *Transportation Research B*, 26:2, pp.97-114.
- Golob, J. M. et Golob, T.F. (1983) *Classification of approaches to travel-behavior analysis*, in *Travel Analysis Method for the 80's*, Special Report 201, Transportation Research Board, Washington, DC, pp. 83-107.
- Golob, T.F. et van Wissen, L. (1989) "A joint household travel distance generation and car ownership model", *Transportation Research B*, 23, pp.471-491.
- Goodwin, P.B. (1998) "The end of equilibrium", in Garling, T., Laitila, T. et Westin, K., *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*, Elsevier, Amsterdam, pp.103-132.
- Goodwin, P. (2010-2011) *Peak Car. A series of five articles in Local Transport Today, June 2010-June 2011*. Local Transport Today.
- Goodwin, P. (2012) "Theoretical concepts and the background of mobility", in Bert van Wee, *Keep moving towards sustainable mobility*, Eleven International Publishing, La Hague.
- Goodwin, P.B. et al. (1995) *Car dependence*, A report to the RAC Foundation for Motoring and the Environment.
- Gunn, H., van der Hoorn, A.I.J.M. and Daly, A.J. (1987) "Long range, country-wide travel demand forecasts from models of individual choice". Présenté lors de la 5th *International*

Conference on Travel Behaviour. Aix-en Provence, France.

Gunn, H. (1994) "The Netherlands National Model: a review of seven years of application", *International Transactions in Operational Research*, 1:2, pp.125-133.

Hague Consulting Group (1989) *Resource papers for Landelijk Model*, Volume 2, Hague Consulting Group, La Hague.

Hague Consulting Group (1992) *The Netherlands National Model 1990: The National Model System for Travel and Transport*. Rapport pour le Ministry of Transport and Public Works, The Netherlands.

Hague Consulting Group (1994) *Modèles de possession du permis de conduire et de motorisation*, Hague Consulting Group, La Hague.

Hague Consulting Group (2000) *Report 9009-3B, Chapter 3: Sydney Car Ownership Models*, Hague Consulting Group, La Hague.

Hanly, M. et Dargay, J. (2000) "Car Ownership in Great Britain – A Panel Data Analysis". Présenté lors de la *2000 European Transport Conference*, Cambridge, Grande-Bretagne.

Harms, S. et Truffer, B. (1998) *The Emergence of a Nationwide Carsharing Co-operative in Switzerland*.

<http://www.communauto.com/images/Nation%20wide%20CS%20org%20Suisse.pdf>

(Consulté en mars 2012).

Hausman, J. et McFadden, D. (1984) "Specification tests for the multinomial logit model", *Econometrica*, 52:5, pp.1219-1240.

Hensher, D.A. (2008) "Empirical approach to combining revealed and stated preference data: some recent developments with reference to urban mode choice", *Research in Transportation Economics*, 23:1, pp.23-29.

Hensher, D.A., Bernard, P.O., Smith, N.C. et Milthorpe, F.W. (1989) "An empirical model of household automobile holdings", *Applied Economics*, 21, pp. 35-57.

Hensher, D.A., Barnard, P.O., Smith, N.C. et Milthorpe, F.W. (1992) *Dimensions of automobile demand; a longitudinal study of automobile ownership and use*, North-Holland, Amsterdam.

Hensher, D.A. et Mannering, F. (1994) "Hazard based duration models and their application to transport analysis", *Transport Reviews*, 14:1, pp.63-82.

Heurgon, E. et Landrieu, J. (2007) *L'économie des services pour un développement durable. Nouvelles richesses, nouvelles solidarités*, L'Harmattan, Paris.

Huang, B. (2007) *The use of pseudo-panel data for forecasting car ownership*. Thèse de doctorat, Department of Economics, Birkbeck College, University of London.

INSEE (1982). Transport 1981-1982. Centre Maurice Halbwachs.

INSEE (1994). Transports et communications 1993-1994. Centre Maurice Halbwachs.

Jemelin, C. et Louvet, N. (Décembre 2007) *Etude sur l'autopartage à Paris. Analyse des comportements et des représentations qui lui sont associés*, 6T-Bureau de recherche.
http://www.communauto.com/images/Rapport_autopartageVilledeParis.pdf (Consulté en mars 2011).

Johansson, O. et Schipper, L. (1997) "Measuring the long-run fuel demand for cars: separate estimations of vehicle stock, mean fuel consumption per km and mean annual driving distance", *Journal of Transport Economics and Policy*, 31, pp.277-292.

Kanafani, A. (1983) *Transportation Demand Analysis*, McGraw Hill, New York.

Katzev, R. (2003) "Car sharing: a new approach to urban transportation problems", *Analyses of Social Issues and Public Policy*, 3:1, pp.65-86.

Kaufmann, V. (1997) « Eco-mobilité : choix modal et vie quotidienne », *Mobilité urbaine et déplacements non motorisés : situation actuelle, évolutions, pratiques et choix modal*. Rapport d'étude INRETS Vol.III.

Kaufmann, V. (2000) *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines. La question du report modal*, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne.

Kaufmann, V. (2001) « La motilité, une notion clé pour revisiter l'urbain », in Bassand, M., Kaufmann, V. et Joye, D., *Enjeux de la sociologie urbains*, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne.

Kaufmann, V. (2002) « Temps et pratiques modales. Le plus court est-il le mieux ? », *Recherche Transport Sécurité*, n°75, pp.131-143.

Kaufmann, V. (2006) « Motilité, latence de mobilité et modes de vie urbains », in Bonnet, M. et Aubertel, P., *La ville aux limites de la mobilité*, PUF, Paris, pp.223-233.

Kaufmann, V. et Flamm, M. (2002) *Famille, temps et mobilité : Etat de l'art et tour d'horizon des innovations*, Rapport de Recherche pour la CNAF et l'IVM.

Kaufmann, V., Tabaka, K., Guidez, J.M. et Louvet, N. (Août 2010) *Et si les Français n'avaient plus seulement une voiture dans la tête ? Evolution de l'image des modes de transport*, 6T-Bureau de recherche, EPFL.
<http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1059457.pdf> (Consulté en mai 2011).

Khattak, A. et Le Colletter, E. (1994) *Stated and Reported Diversion to Public Transportation under Incident Conditions: Implications on the Benefits of Multimodal ATIS*, Partners in Advanced Transit and Highways (PATH), rapport de recherche UCB-ITS-PRR-94-14, institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley.

- Khattak, A., Polydoropoulou, A. et Ben-Akiva, M. (1994) "Modeling revealed and stated pretrip travel response to ATIS". Présenté lors du 74^{ème} *Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- Khattak, A. et De Palma, A. (1997) "The impact of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions: a survey of Brussels commuters", *Transportation Research A*, 31:3, pp.181-203.
- Killingsworth, M. et Heckman, J. (1986) "Female labor supply: a survey", in Ashenfelter, O. et Layard, R., *Handbook of labor economics*, North-Holland, Amsterdam, pp.103-204.
- Kitamura, R. (1984) "Incorporating trip chaining into analysis of destination choice", *Transportation Research B*, 18:4, pp.67-81.
- Kitamura, R. (1987) "A panel analysis of household car ownership and mobility", *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, 383, pp.13-27.
- Kitamura, R. (1988) "An evaluation of activity-based travel analysis", *Transportation*, 15:1,2, pp.9-34.
- Kitamura, R. et Bunch, D.S. (1992) "Heterogeneity and state dependence in household car ownership: A panel analysis using ordered-response probit models with error components", in Koshi, M., *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier, Amsterdam, pp.477-496.
- Koppelman, F. et Pas, E. (1980) "Travel-choice behavior: models of perceptions, feelings, preference, and choice", *Transportation Research Record*, 765, pp.26-33.
- Krygsman, S., Arentz, T. et Timmermans, H. (2007) "Capturing tour mode and activity choice interdependencies: A co-evolutionary logit modelling approach", *Transportation Research A*, 41:10, pp.913-933.
- Kuhnimhof, T., Armoogum, J., Buehler, R., Dargay, J., Denstadli, J.M. et Yamamoto, T. (2012) "Trends in young adults' behaviour: Evidence from six industrialized countries", document de travail, IFSTTAR. Présenté lors du 90th *TRB Annual Meeting*, Washington D.C.
- Kveiborg, O. (1999) "Forecasting developments of the car fleet in the altrans model". Présenté lors du *Nordic Research Network on Modelling Transport, Land-Use and the Environment, 3rd Workshop*, Trondheim, Norvège.
- Lane, C. (2005) "PhillyCarShare: First-year social and mobility impacts of carsharing in Philadelphia, Pennsylvania", *Transportation Research Record*, 1927, pp.158-166.
- Lerman, S. et Ben-Akiva, M. (1976) "Disaggregate behavioural model of automobile ownership", *Transportation Research Record*, 569, pp.34-55.

- Litman, T. (2014) *The future isn't what it used to be. Changing trends and their implications for transport planning*. Victoria Transport Policy Institute.
www.vtpi.org/future.pdf (Consulté en mars 2014).
- Liu, G. (2007) "A behavioral model of work-trip mode choice in Shanghai", *China Economic Review*, 18:4, pp.456-476.
- Louvet, N. et Godillon, S. (Janvier 2013) *Enquête nationale sur l'autopartage. L'autopartage comme déclencheur d'une mobilité alternative à la voiture particulière*, 6T-Bureau de recherche.
http://6t.fr/download/ENA_RF_130321.pdf (Consulté en janvier 2013).
- Madre, J.L. et Gallez, C. (1993) « Équipement automobile des ménages et cycle de vie », *Sociétés contemporaines*, n°14-15, pp.59-78.
- Madre, J.L., Bussière, Y.D., Collet, R. et Villareal, I.T. (2012) « *Va-t-on vers une inversion de la tendance à toujours plus de mobilité ?* », Document de référence n° 2012-16, préparé pour la Table ronde sur Les tendances à long terme de la demande de mobilité de l'International Transport Forum, OCDE 29-30 novembre 2012.
<http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/86/78/85/PDF/doc00015662.pdf> (Consulté en février 2014).
- Marchetti, C. (1994) "Anthropological invariants in travel behaviour", *Technical Forecasting and Social Change*, 47:1, pp.75-88.
- Matas, A. et Raymond, J. (2008) "Changes in the structure of car ownership in Spain", *Transportation Research A*, 42, pp.187-202.
- McFadden, D. (1968) *The revealed preferences of a government bureaucracy*, Economic Growth Project, rapport technique n° 17, Université de Californie, Berkley.
- McFadden, D. (1973) "Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour", in Zarembka, P., *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, New York, pp.105-142.
- Medlock, K.B. et Soligo, R. (2002) "Car ownership and economic development with forecasts to the year 2015", *Journal of Transport Economics and Policy*, 36:2, pp.163-188.
- Meijkamp, R. (1998) "Changing consumer behaviour through eco-efficient services. An empirical study on car sharing in the Netherlands", *Business Strategy and the Environment*, 7, pp.234-244.
- Meijkamp, R. (2000) *Changing consumer behaviour through Eco-efficient Services. An empirical study on Car Sharing in the Netherlands*. Thèse de doctorat, Delft University of Technology, Delft, Pays-Bas.
- Meurs, H., van Eijk, T. et Goodwin, P. (1990) "Dynamic estimation of public transport elasticities", in Jones, P., *Developments in Dynamic and Activity-Based Approaches to Travel Analysis*, Aldershot, pp.371-383.

- Millard-Ball, A. et Schipper, L. (2010) "Are we reaching peak travel? Trends in passenger transport in eight industrialized countries", *Transport Reviews*, 31-3, pp.1-22.
- Mohammadian, A. et Miller, E. J. (2003) "Dynamic modeling of household automobile transactions", *Transportation Research Record*, 1831, pp.98-105.
- Mohammadian, A. et Rashidi, T. H. (2007) "Modeling household vehicle transaction behavior: A competing risk duration approach". Présenté lors du *Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington D.C.
- Mont, O. (2002) "Clarifying the concept of product-service system", *Journal of Cleaner Production*, 10:3, pp.237-245.
- Mont, O. (2004) "Institutionalisation of sustainable consumption patterns based on shared use", *Ecological Economics*, 50, pp.135-153.
- Montulet, B. (2005) « Au-delà de la mobilité : Des formes de mobilités », *Cahiers Internationaux de sociologie*, n°118, pp.137-159.
- Nerlove, M. et Press, S. (1973) *Univariate and multivariate log-linear and logistic models*, Rand report-R1306-EDA/NIH.
<http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2006/R1306.pdf> (Consulté en février 2013).
- Newman, P.W.G. (1996) "Reducing automobile dependence", *Environment and Urbanization*, 8:1, pp.67-92.
- Newman, P.W.G. et Kenworthy, J. (2011) "Peak car use': understanding the demise of automobile dependence", *World Transport, Policy & Practice*, 17:2, pp.31-42.
- Nobile, A., Bhat, C. et Pas, E. (1996) *A random effects multinomial probit model of car ownership choice*. Rapport de recherche of Duke University and University of Massachusetts, Amherst.
- Nodé-Langlois, F. (19 septembre 2013) *Hollande confirme la création d'une taxe carbone*.
<http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2013/09/19/20002-20130919ARTFIG00612-hollande-va-annoncer-une-taxe-carbone-de-4milliards-en-2016.php?pagination=4> (Consulté le 21 septembre 2013)
- Nolan, A. (2010) "A dynamic analysis of household car ownership", *Transportation Research A*, 44:6, pp.446-455.
- OCDE (2008), *Household behaviour and the environment: reviewing the evidence*.
<http://www.oecd.org/environment/consumption-innovation/42183878.pdf> (Consulté en mai 2011).
- Pas, E.I. (1984) "The effect of selected socio-demographic characteristics on daily travel-activity behaviour", *Environment and Planning A*, 16:5, pp.571-581.

- Pencavel, J. (1986) "Labor supply of men: a survey", in Ashenfelter, O. et Layard, R., *Handbook of labor economics*, North-Holland, Amsterdam, pp.3-102.
- Pendyala, R.M., Kostyniuk, L.P. et Goulias, K.G. (1995) "A repeated cross-sectional evaluation of car ownership", *Transportation*, 22, pp.165-184.
- Préel, B. (2000) *Le choc des générations*, Edition La découverte, Paris.
- Puentes, R. et Tomer, A. (2009) *The road less travelled: an analysis of vehicle miles traveled trends in the U.S.* Metropolitan Infrastructure Initiatives Series, Brookings Institution, Washington D.C.
- Quinet, E. (1998) *Principes d'Economie des Transports*, Economica, Paris.
- Ramjerdi, F., Rand, L. et Saetermo, I.A. (2000) *Models for car ownership, transactions and vehicle type*. Rapport de recherche 187:2, Department of Technology and Society, Lund University.
<http://www.tft.lth.se/kfbkonf/5ramjerdiRandSetermo.PDF> (Consulté en décembre 2013)
- Ramos, E. (2006) « Mobilité résidentielle, comment apprécier la distance parcourue ? », in Bonnet, M. et Aubertel, P., *La ville aux limites de la mobilité*, PUF, Paris, pp.133-142.
- RAND (2002) *Audit of Car Ownership Models*, Rand Europe Report, Hague.
- Rocci, A. (2007) *De l'automobilité à la multimodalité ? Analyse sociologique des freins et leviers au changement de comportements vers une réduction de l'usage de la voiture. Le cas de la région parisienne et perspective internationale*. Thèse de Doctorat, Université René Descartes, Paris, France.
- Rodgers, G. (1989) *Urban poverty and the labor market*, ILO, Genève.
- Rogers, E.M. (1962) *Diffusion of innovations*, Free Press, New York.
- Romilly, P., Song, H. et Liu, X. (1998) "Modelling and forecasting car ownership in Britain: a cointegration and general-to-specific approach", *Journal of Transport Economics and Policy*, 32:2, pp.165-185.
- Romilly, P., Song, H. et Liu, X. (2001) "Car ownership and use in Britain: a comparison of the empirical results of alternative cointegration estimation methods and forecasts", *Applied Economics*, 33, pp.1803-1818.
- Rossi, T.F. et Shiftan, Y. (1997) "Tour based travel demand modeling in the US". Présenté lors du 8th *Symposium on Transportation Systems*. Chania, Grèce.
- Ruiz, N. et Trannoy, A. (2005) *Impact microéconomique de la fiscalité indirecte en France et propositions de réformes*, Working paper, Université de Cergy-Pontoise.

- Ryden, C. et Morin, E. (2005) *Environmental assessment*, Rapport wp6, version 1.1, Moses.
http://www.communauto.com/images/Moses_environnement.pdf (Consulté en avril 2012)
- Schipper, L., Steiner, R., Figueroa, M. J. et Dolan, K. (1993) "Fuel prices and economy. Factors affecting land travel", *Transport Policy*, 1:1, pp.6-20.
- Schmidt, P. et Strauss, R.P. (1975) "The prediction of occupation using multiple logit models", *International Economic Review*, 16:2, pp.471-486.
- Selvanathan, E.A. et Selvanathan, S. (1994) "The demand for transport and communication in the United-Kingdom and Australia", *Transportation Research B*, 28, pp.1-9.
- Sentenac-Chemin, E. (2010) *Evolution à long terme de la consommation d'énergie dans le transport routier de passager. Contribution de méthodes statistiques avancées*. Thèse de Doctorat, Université Paris 12, IFP, Paris, France.
- Shifan, Y. (1995) "A practical approach to incorporate trip chaining in urban travel models". Présenté lors de la 5th *National Conference on Transportation Planning Methods and Applications*. Seattle, Etats-Unis.
- SOeS (2008) *Transports et déplacements (ENTD) 2008*. Centre Maurice Halbwachs
- Sperling, D. et Shaheen, S. (1999) "Carsharing: niche market or new pathway ?". Présenté lors du ECMT/OECD workshop on managing car use for sustainable urban travel. Dublin, Irlande.
- Stahel, W. (1998) *From products to services: selling performance instead of goods*, rapport 27, Institute for Prospective Technological Studies (ITPS).
- Steininger, K., Vogl, C. et Zetti, R. (1996) "The size of the market segment and revealed change in mobility behaviour", *Transport Policy*, 3:4, pp.177-185.
- Stoneman, P. (2002) *The economics of technological diffusion*, Blackwell Publishers, Oxford.
- Stopher, P. et Meyberg, A. (1975) *Urban transportation modelling and planning*, Lexington Books, Lexington, Massachusetts.
- Tanner, J.C. (1958) *An analysis of increases in motor vehicles in Great Britain*, Research Note RN/3340, Road Research Laboratory, Harmondsworth.
- Tanner, J.C. (1978) "Long term forecasting of vehicle ownership and road traffic", *Journal of the Royal Statistical Society, A*, 141, pp.14-63.
- Theil, H. (1969) "A multinomial extension of the linear logit model", *International Economic Review*, 10:3, pp.251-259.
- Tissier-Desbordes, E., Cova, B. et Manceau, D. (2005) *Possession/Location*, projet pour l'Institut de la Ville en Mouvement, ESCP-EAP.

- Train, K. (1978) "A validation test of a disaggregate mode choice model", *Transportation Research*, 12:3, pp.167-174.
- Train, K. (1980) "A structured logit model of auto ownership and mode choice", *Review of economic studies*, 47:2, pp.357-370.
- Train, K. (1986) *Qualitative choice analysis: Theory, econometrics and an application to automobile demand*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Transport & Mobility Leuven (2007) *TREMOVE Service contract for the further development and application of the transport and environmental TREMOVE model*. Lot1 (Improvement of the data set and model structure). Service contract 070501/2005/420798/MAR/C1. http://www.tmlleuven.be/methode/tremove/Final_Report_TREMOVE_9July2007c.pdf (Consulté en décembre 2013).
- Tromenschlager-Philippe, F. (2002) *Progrès techniques et substitutions énergétiques dans le secteur des transports*. Thèse de doctorat ENSPM, Université de Bourgogne, Ademe, France.
- Tukker, A. et Tischner, U. (2006) *New business for old Europe : product-service development, competitiveness and sustainability*, Greenleaf Publishing, Sheffield.
- Vacher, J.F. (Juin 1997) *L'évolution des transports depuis 40 ans*, INSEE Première n°522. http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/ip522.pdf (Consulté en avril 2011).
- Wachs, M. (1991) "Policy implications of recent behavioral research in transportation demand management", *Journal of Planning Literature*, S:4, pp.333-341.
- Whelan, G. (2007) "Modelling car ownership in Great Britain", *Transportation Research A*, 41, pp.205–219.
- Zahavi, Y. et Ryan, J.M. (1980) "Stability of travel components over time", *Transportation Research Record*, 750, pp.19-26.
- Zipcar (2005) *Zipcar customer survey shows car-sharing leads to car shedding*, rapport technique. <http://zipcar.mediaroom.com> (Consulté en mars 2012)

Liste des tableaux

Tableau 1 – Elasticités des différentes variables explicatives du transport de voyageurs	36
Tableau 2 – Elasticité revenu et prix du transport privé et du transport public.....	37
Tableau 3 – Elasticité prix et revenu de l’usage automobile	37
Tableau 4 – Elasticités prix de la demande de carburants – Résumé de différentes études ..	38
Tableau 5 – Evolution de l’équipement automobile des ménages français	42
Tableau 6 – Consommation finale d’énergie par secteur en France (Mtep)	50
Tableau 7 – Répartition des émissions de CO ₂ du transport routier par type de véhicules (base indicateur PRG en Mt CO ₂)	52
Tableau 8 – Profils de mobilité dans différentes villes et leur évolution.....	54
Tableau 9 – Composition du tarif de location.....	71
Tableau 10 – Composition du tarif de location d’un petit segment	71
Tableau 11 – Coûts d’usage de l’autopartage selon le segment de gamme	74
Tableau 12 – Composition du coût total de possession	75
Tableau 13 – Coût total de possession d’un petit segment.....	75
Tableau 14 – Seuil de rentabilité de la LCD par rapport à la possession automobile des segments moyen, supérieur et de luxe.....	76
Tableau 15 – Seuil de rentabilité de l’autopartage public et privé par rapport à la possession automobile pour les segments moyen, supérieur et de luxe	77
Tableau 16 – Répartition des moyens de transport utilisés pour les déplacements quotidiens	87
Tableau 17 – Répartition des moyens de transport selon le motif de déplacement	88
Tableau 18 – Composition du parc automobile français à celle du parc de véhicule en autopartage.....	92
Tableau 19 – Répartition des immatriculations LCD et totales en 2011	92
Tableau 20 – Répartition modale à étudier	107
Tableau 21 – 10 premières lignes du tableau des valeurs propres	109
Tableau 22 – Tableau des contributions des variables à l’inertie du nuage et des axes	110
Tableau 23 – Hypothèses sur les coûts associés aux différents modes de transport (dépenses par voyageur en centimes€/km).....	135
Tableau 24 – Vitesses moyennes associées aux différents modes de transport.....	136
Tableau 25 – Paramètres estimés – Modèle à cinq choix.....	138
Tableau 26 – Paramètres estimés – Modèle à six choix	139
Tableau 27 – Odds ratio	140
Tableau 28 – Effets moyens des variables sur les probabilités/dérivées moyennes.....	142
Tableau 29 – Effets moyens des variables sur les probabilités/dérivées moyennes.....	143
Tableau 30 – Résultats du test de la propriété IIA.....	146
Tableau 31 – Paramètres estimés et odds ratio du modèle logit conditionnel.....	147
Tableau 32 – Evolution des log des distances à parcourir	149
Tableau 33 – Evolution de l’âge moyen de la population.....	150
Tableau 34 – Evolution de la situation de famille	150
Tableau 35 – Evolution des parts modales des retraités marcheurs et TC entre 2010 et 2020	153

Tableau 36 – Evolution des parts modales des jeunes inactifs alter-auto entre 2010 et 2020	153
Tableau 37 – Evolution des parts modales des couples actifs automobilistes entre 2010 et 2020	154
Tableau 38 – Evolution des parts modales des élèves, étudiants alter-auto entre 2010 et 2020	154
Tableau 39 – Evolution des parts modales des automobilistes, déplacements de proximité entre 2010 et 2020.....	155
Tableau 40 – Evolution des parts modales des automobilistes, déplacements de distances moyennes entre 2010 et 2020.....	156
Tableau 41 – Evolution des parts modales des automobilistes exclusifs parcourant des distances élevées entre 2010 et 2020	156
Tableau 42 – Evolution de temps moyens de parcours avec chaque mode de transport (en minutes).....	159
Tableau 43 – Evolution des parts modales et intervalles de confiance en 2020.....	160
Tableau 44 – Découpage des classes d’âge étudiées et suivies au fil des enquêtes	179
Tableau 45 - Générations retenues pour l’analyse générationnelle des comportements de mobilité et de motorisation	179
Tableau 46 – Estimation du modèle à effets fixes	215
Tableau 47 – Estimation du modèle à effets aléatoires	216
Tableau 48 – Résultats du test d’Hausman.....	217
Tableau 49 – Résultats du test de Jarque-Bera.....	217
Tableau 50 – Estimation du modèle 1	218
Tableau 51 – Estimation des modèles 2 et 3	220

Liste des figures

Figure 1 – Evolution du transport intérieur de voyageurs.....	29
Figure 2 – Evolution de la répartition des motifs de déplacement en France.....	31
Figure 3 – Part des différents modes de transport dans le transport intérieur de voyageur en France.....	32
Figure 4 – Evolution de la répartition des modes de déplacement en France	33
Figure 5 - Evolution du parc automobile français.....	42
Figure 6 – Courbe en S de diffusion d’une innovation.....	44
Figure 7 – Taux d’équipement en voitures par âge et par génération (en %).....	45
Figure 8 – Image de la voiture selon l’intensité d’usage.....	48
Figure 9 – Image des transports collectifs selon l’intensité d’usage	49
Figure 10 – Image du vélo selon l’intensité d’usage	49
Figure 11 – Evolution du prix des carburants entre 1990 et 2012 (en €/L).....	50
Figure 12 – Evolution de la part des dépenses de transport des ménages français entre 1990 et 2012	51
Figure 13 – Consommation moyenne de carburant des véhicules neufs vendus en France (L/100 km).....	52
Figure 14 – Taux moyen d’émissions de CO ₂ des véhicules neufs vendus en France (g CO ₂ /km).....	53
Figure 15 – Parcours annuel moyen des voitures particulières en France (en km).....	54
Figure 16 – Evolution du ratio immatriculations d’occasion/immatriculations neuves entre 1980 et 2012	55
Figure 17 – Evolution de la structure des immatriculations neuves par segment de gamme	56
Figure 18 – Evolution de l’âge moyen du parc automobile détenu ou mis à la disposition des ménages.....	56
Figure 19 – Immatriculations de véhicules particuliers neufs par les ménages	57
Figure 20 – Equipement en voiture avant et après l’adhésion à un service d’autopartage	59
Figure 21 – Evolution des kilomètres parcourus en automobile	59
Figure 22 – Opérateurs d’autopartage public membres du réseau France-Autopartage	65
Figure 23 – Part des locations pour motifs personnels de 2000 à 2011 en France	67
Figure 24 – Part des Français ayant recours à la LCD de 2000 à 2011 en France	67
Figure 25 – Tarifs de location de différents segments de véhicules selon le nombre de jours de location	72
Figure 26 –Hypothèses concernant la part des ménages et des professionnels parmi les locataires de courte durée	73
Figure 27 – Tarifs de location de différents segments de véhicules en cas de diminution du nombre de jours de location.....	74
Figure 28 – Seuil de rentabilité de la LCD par rapport à la possession automobile pour un petit segment.....	76
Figure 29 – Profils d’usage automobile.....	78
Figure 30 – Equipement automobile des ménages	90
Figure 31 – Répartition des modes de transport utilisés au quotidien	91
Figure 32 – Evolution de la répartition des motifs de déplacement en semaine	103
Figure 33 – Plan factoriel principal	113

Figure 34 – Segmentation en sept classes des comportements de mobilité	114
Figure 35 – La probabilité à la moyenne des variables n’est pas égale à la probabilité moyenne	131
Figure 36 – Schéma du processus bootstrap	131
Figure 37 – Kilométrage moyen parcouru quotidiennement	149
Figure 38 – Evolution des parts modales en France entre 2010 et 2020 selon trois scénarios de motorisation – Modélisation par zone.....	151
Figure 39 - Evolution des parts modales en France entre 2010 et 2020 selon trois scénarios de motorisation – Modélisation par profil de mobilité	152
Figure 40 – Distribution statistique des probabilités prédites pour les transports en commun en 2020	157
Figure 41 – Distribution statistique des probabilités prédites pour le deux-roues motorisé en 2020	157
Figure 42 - Distribution statistique des probabilités prédites pour la voiture partagée en 2020	158
Figure 43 – Evolution des dépenses pour la voiture et les transports en commun entre 1970 et 2020, et projection à 2020 (en centimes d’€/km)	158
Figure 44 – Evolution des parts modales en France entre 2010 et 2020	160
Figure 45 - Distribution statistique des probabilités prédites pour les transports en commun en 2020	161
Figure 46 - Distribution statistique des probabilités prédites pour le deux-roues motorisé en 2020	162
Figure 47 - Distribution statistique des probabilités prédites pour la voiture partagée en 2020	162
Figure 48 – Les différentes étapes du cycle de vie	175
Figure 49 – Représentation de l’effet de génération.....	175
Figure 50 – Cas types d’effet d’âge et de génération	177
Figure 51 - Nombre moyen de déplacements locaux par personne et par jour (semaine et week-end), selon la génération	181
Figure 52 - Evolution des déplacements locaux selon le motif de déplacement (en % des déplacements)	182
Figure 53 - Evolution de la part des déplacements vers le lieu de travail, selon la génération	182
Figure 54 - Evolution de la part des déplacements vers le lieu de loisir, selon la génération	183
Figure 55 - Evolution des besoins de déplacement : distances à parcourir vers les différents lieux de déplacement, en km.....	184
Figure 56 - Evolution de la répartition des modes de déplacements	184
Figure 57 - Evolution de la part modale de la marche à pied selon la génération	185
Figure 58 - Evolution de la part modale du vélo selon la génération	185
Figure 59 - Evolution de la part modale des transports en commun selon la génération	186
Figure 60 - Evolution de la part modale du deux-roues motorisé selon la génération	187
Figure 61 - Evolution de la part modale de la voiture selon la génération.....	187
Figure 62 - Evolution du taux d’équipement automobile des ménages selon la génération	188
Figure 63 - Evolution du taux d’équipement automobile des ménages selon la génération, en milieu rural.....	189

Figure 64 - Evolution du taux d'équipement automobile des ménages selon la génération, dans l'agglomération parisienne.....	190
Figure 65 - Evolution de différents coefficients budgétaires en fonction de l'âge.....	191
Figure 66 - Evolution du coefficient budgétaire du poste transport en fonction de l'âge	191
Figure 67 - Evolution de la part des voitures achetées neuves par les ménages selon la génération.....	192
Figure 68 – Evolution du taux de multi-équipement automobile des ménages selon la génération.....	192
Figure 69 - Evolution du taux de multi-équipement des ménages selon la génération en milieu rural.....	193
Figure 70 - Evolution du taux de multi-équipement des ménages selon la génération à Paris.....	193
Figure 71 - Evolution des distances annuelles moyennes parcourues en voiture selon la génération (en km).....	194
Figure 72 – Nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, en milieu rural	211
Figure 73 – Nombre moyen de voitures par ménages au fil des générations, à Paris	211
Figure 74 – Evolution du revenu annuel moyen des ménages ruraux, en €.....	212
Figure 75 – Evolution du revenu annuel moyen des ménages parisiens, en €.....	213
Figure 76 – Hypothèses d'évolution du revenu annuel moyen des ménages ruraux, en €...	222
Figure 77 – Hypothèse d'évolution du revenu annuel moyen des ménages parisiens, en €	223
Figure 78 – Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, en milieu rural.....	224
Figure 79 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, dans les petites villes (moins de 20 000 habitants).....	224
Figure 80 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, dans les villes moyennes (entre 20 000 et 100 000 habitants)	225
Figure 81 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations, dans les grandes villes (plus de 100 000 habitants)	225
Figure 82 - Projection du nombre moyen de voitures par ménage au fil des générations à Paris.....	226

Changements de comportements de mobilité automobile

RESUME : Cette thèse s'inscrit dans le contexte actuel de remise en question de la prépondérance de la voiture particulière dans les déplacements des ménages français. Elle propose d'analyser les ruptures de comportements liées au déploiement de solutions pour mutualiser l'automobile, dans le but de prévoir l'évolution de ses modes d'usage, de son intensité d'usage, ainsi que celle de la motorisation. En premier lieu, nous identifions les nouveaux services de mobilité automobile comme les principaux vecteurs de changement de comportement, nous calculons les potentiels de développement du covoiturage (importants), de l'autopartage et de la location courte durée (restreints), et nous montrons que ces services peuvent permettre de réaliser des économies d'énergie s'ils sont utilisés en remplacement d'un équipement personnel. Dans un second temps, nous nous concentrons sur l'analyse fine des comportements de mobilité dont nous réalisons une segmentation mettant en évidence leurs principaux déterminants. A partir de ces derniers, l'estimation d'un modèle de choix modal montre que des transferts de la voiture personnelle vers les transports en commun ou encore la voiture partagée sont probables à horizon 2020, en cas de démotorisation des ménages. Enfin, nous analysons l'évolution de la motorisation des ménages et montrons des ruptures dans la dynamique générationnelle positive observée dans le passé qui se stabilisera, voire même s'inversera, à horizon 2020. Le marché automobile français sera donc davantage porté par le canal des sociétés (de service notamment) que celui des particuliers.

Mots clés : ruptures de comportements ; nouveaux services de mobilité ; marché automobile

Changes in behaviour of automobile mobility

ABSTRACT: This thesis raises in a context where the automobile supremacy is questioned. It aims at analysing behavioural changes related to the deployment of solutions to pool car, in order to foresee evolution of its modes of use, intensity of use, as well as that of motorization. First, we identify new car mobility services as main vectors of changes in behaviours, we also measure the potential development of carpooling (important), carsharing and short-term car rental (limited), and we end up by showing that these services can achieve energy savings if used as substitute to individual equipment. In a second step, we focus on the analysis of mobility patterns from which we establish a behaviour classification highlighting their main drivers. From these, the estimation of a modal choice model shows that shifts from personal car toward public transport or shared car are likely to 2020, in the case of a decrease in households' motorization level. Thus, we finally analyse the evolution of households' motorization and emphasize a breaking point in the positive generational trends observed in the past, that will know a stagnation if not an inversion to 2020. As a consequence, the evolution of the French car market will tend to be more driven by sales to fleet and business than sales to private.

Keywords: behaviour changes; new mobility services; car market

