

REPUBLIQUE DU SENEGAL



Un peuple - Un but - Une foi

Ministère de l'économie, du plan et de la coopération

Agence Nationale de la Statistique et de la

Démographie



(ANSD)

Conseil Exécutif des Transports Urbains de

Dakar



(CETUD)

ECOLE NATIONALE DE LA STATISTIQUE
ET DE L'ANALYSE ECONOMIQUE
(ENSAE)

MÉMOIRE PROFESSIONNEL

THEME

ANALYSE DES DETERMINANTS DES CHOIX MODAUX POUR LES
DEPLACEMENTS PENDULAIRES DES TRAVAILLEURS A DAKAR

Redigé par :

Mamadou GUEYE

Elève Ingénieur Statisticien Economiste

Maîtres de Stage :

M. Abdou DIOUF

Ingénieur Statisticien Economiste

Directeur de l'ENSAE

M. Amath N'DIAYE

Ingenieur Statisticien Economiste

Chef de la DOD du CETUD-Dakar

DÉCEMBRE 2019

Décharge

L'Ecole Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique (ENSAE) n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans ce rapport. Ces opinions doivent être considérées comme propres à son auteur.

Dédicace

A mes parents, mes frères et soeurs

*A toutes ces personnes qui m'ont toujours soutenus dans les moments
difficiles*

A toute la promotion ISE 2020

Liste des figures

2.1	Répartition des revenus selon le lieu de résidence	20
2.2	Répartition des revenus selon le mode de déplacement	21
2.3	Part des modes empruntés habituellement par les travailleurs	22
2.4	Répartition des secteurs de travail selon l'alternative choisie	23
2.5	Répartition des fonctions de travail selon l'alternative choisie	24
2.6	Description des variables de prévision du modèle	26

Liste des tableaux

2.1	Statistiques descriptives de certaines caractéristiques selon le mode emprunté habituellement	19
2.2	Coefficients estimés pour le mode TC	27
2.3	Coefficient estimé pour les déplacement intermodaux	28
2.4	Matrice de confusion relative au modèle	29
2.5	tests d'autocorrélation	29
2.6	Tests de Hausmann Mc Fadden	29
3.1	Les effets marginaux du coût, de la durée et du revenu	32
3.2	Elasticités selon le revenu des travailleurs	33
3.3	Simulation des partages modaux selon les scénarios de politique	35
3.4	Variation de fonction de surplus	37
A.1	table des previsions	44

Sigles et acronymes

0.0

ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Déméographie
AOTU	Autorité Organistarice des Transports Urbains
BM	Banque Mondiale
BRT	Bus Rapid Transit
CETUD	Conseil Exécutif des Transports Urbains de Dakar
EMTASUD	Enquête Ménage sur la Mobilité le Transport et l'Accès aux Services Urbains dans l'Agglomération de Dakar
ENSAE	Ecole Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique
ENSEA	Ecole Nationale Supérieure de la statistique et d'Economie Appliquée
ESA	Ecoles Statistiques Africaines
IIA	Independent Irrelevant Alternatives
IID	Indépendantes Identiquement Distribuées
ISE	Ingénieur Statisticien Economiste
ISSEA	Institut Sous régional de la Statistique et d'Economie Appliquée
ITS	Ingénieur des Travaux Statistiques
ONU	Organisation des Nations Unies
PSE	Plan Sénégal Emergent
SESS	Situation Economique et Sociale du Sénégal
TC	Transport en Commun
TSS	Technicien Supérieur de la Statistique
VP	Véhicule Particulier

Remerciements

Remerciements

La qualité de ce travail n'aurait pu être possible sans le concours de plusieurs personnes. C'est pourquoi nous ne pourrions-nous passer d'adresser notre plus profonde gratitude et nos sincères remerciements à Monsieur Abdou DIOUF, Directeur de l'Ecole Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique (ENSAE), pour son dévouement, il n'a ménagé aucun effort pour que notre formation au sein de l'école soit de qualité.

Aussi, toute notre profonde gratitude va à l'encontre de M. Idrissa DIAGNE, Directeur de la filière ISE pour son dévouement, sa disponibilité et surtout pour la rigueur consacrée à notre formation. Nous voudrions aussi remercier sincèrement tous nos enseignants à l'ENSAE, qui à chaque fois qu'ils en avaient l'occasion, n'ont pas hésité à nous écouter et à nous prodiguer de sages conseils.

Nous ne saurions continuer sans adresser nos sincères remerciements et notre sincère gratitude à nos maitres de stage Mr. Amath N'DIAYE, Ingénieur Statisticien Economiste au CETUD-Dakar, sans l'aide de qui ce travail de recherche serait sans substance de par l'encadrement qu'il a bien voulu nous accorder. Nous remercions aussi sincèrement le Directeur Général du CETUD Dr. Thierno Birahim AW pour cette opportunité de stage, nous lui en sommes reconnaissant.

Nous ne saurions terminer sans remercier tous les camarades de la promotion avec qui nous avons beaucoup sympathisé et échangé tout au long de ce travail.

Avant-Propos

Avant-Propos

L'Ecole Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique (ENSAE) est un établissement public d'enseignement supérieur, établi au Sénégal et qui a pour vocation la formation de cadres statisticiens de haute qualification. Elle fait partie du réseau des Ecoles de Statistique Africaines (ESA), avec les autres écoles telles que l'Ecole Nationale Supérieure de la statistique et d'Economie Appliquée (ENSEA) de la Côte d'Ivoire et l'Institut Sous régional de la Statistique et d'Economie Appliquée (ISSEA) du Cameroun.

L'ENSAE propose trois filières de formation qui aboutissent aux diplômes d'Ingénieur Statisticien Economiste (ISE), d'Ingénieur des Travaux Statistiques (ITS) et de Technicien Supérieur de la Statistique (TSS). Au cours du cycle ISE, l'élève est astreint à emmené à rédiger un mémoire professionnel sur un thème qui lui est proposé par la structure d'accueil. Ainsi ce présent rapport s'inscrit dans une logique d'application de connaissances acquises par l'Elève Ingénieur Statisticien Economiste tout au long de sa formation académique.

Résumé

Résumé

Cette étude a pour objectif de comprendre puis de prédire les choix modaux des travailleurs dans le cadre des déplacements du domicile au lieu de travail. Le modèle logit multinomial, de fondement microéconomique, la théorie du consommateur, basé sur une maximisation de l'utilité aléatoire pour prédire les choix, est appliqué dans cette étude. Les données utilisées sont issues de l'enquête EMTASUD.

Il ressort de l'étude que le revenu et la fonction de travail sont des variables déterminantes des choix modaux des travailleurs. Ces choix sont sensibles au revenu et l'augmentation du revenu pour un individu peut se traduire à une préférence pour un mode de transport quelconque. Cependant, quand le revenu est assez élevé, son augmentation se traduit par la préférence pour un seul mode de transport qui est le mode VP. Quant aux variables spécifiques aux modes de transports, il ressort que les choix modaux des travailleurs sont plus sensibles à la durée du transport qu'au coût supporté par ce dernier. Ceci témoigne de la prépondérance de la durée des déplacements pour expliquer les choix modaux. Considérant la variable «coût du déplacement» en mode VP, son augmentation - autrement dit l'augmentation du prix des carburants - a un effet moins important sur les choix modaux des travailleurs à revenu élevé que sur ceux de revenus moyens. Les tests de politiques économiques effectués montrent qu'une réduction de 30% et de 50% de la durée des déplacements en mode TC se traduit par une augmentation du partage modal en faveur des déplacements à trajet unique en mode TC de 7.5% et de 12.8% respectivement. En outre, si on décide, simultanément, de réduire la durée du transport en mode TC de moitié et d'augmenter les coûts de déplacements pour ce mode de 30%, il en découlera une augmentation de la part modale des TC de 13.8% et une diminution de la part modale des VP de 11% et de celle des déplacements intermodaux de 3.9%. Le calcul de la valeur du temps associée à chaque mode, qui peut compléter ce dernier politique, montrent que ceux empruntant le mode VP du domicile au lieu de travail sont encore prêts à payer plus que les autres pour gagner du temps alors que ceux qui empruntent les modes de transports en commun à trajet unique ou qui optent pour des déplacements intermodaux ont des dispositions à payer plus ou moins proches.

Mots clés : choix modaux, utilité aléatoire, logit multinomial, dispositions à payer, trajet unique, déplacements intermodaux, déplacement, travail

Abstract

Abstract

This study deals with understanding and predicting the modal choices of workers in cases of home-to-work commuting. The multinomial logit model which microeconomic foundation is the consumer theory, based on a maximization of random utility to predict the choices, is applied in this study. The data used come from the EMTASUD survey.

The study shows that income and work function are key determinants of workers' modal choices. These choices are quite sensitive to income and the increase in income for an individual can result in a preference for any mode of transportation. However, when the income is high enough, its increase is reflected in the preference for a single mode of transport that is the VP mode. As for the specific-alternative variables, it appears that the modal choices of the workers are more sensitive to the duration of the transport than to the cost generated by the latter, this testifies to the preponderance of the duration of the displacements to explain the modal choices. Considering the variable "cost of transportation" in VP mode, its increase - in other words, the increase in fuel prices - has a smaller effect on the modal choices of high-income workers than on average incomes. The economic policy tests carried out show that a 30% and 50% reduction in travel time in TC mode results in an increase in modal split in favor of single-path trips in TC mode of 7.5% and 12.8% respectively. In addition, if it is decided, at the same time, to reduce the duration of TC transport by half and to increase travel costs for this mode by 30%, this will result in an increase in the TC modal share of 13.8% and a reduction in the modal share of VPs of 11% and intermodal movements of 3.9%. At the end of this policy, the arrangements to pay to save time according to each mode of transport evaluated, show that those taking the VP mode from home to the workplace are still willing to pay more than others to save time while those who use single-trip modes of transport or intermodal movements have arrangements to pay fairly close.

Key words : modal choice, random utility, multinomial logit, willingness to pay, single-trip, intermodal movements, movements, work

Introduction Générale

La nationalisation des moyens de transport au Sénégal s'est réalisée à travers un système réglementé à prestataire monopolistique et via la Société des Transports du Cap-Vert (SOTRAC) des services de transport public par grand autobus. Cependant, face à la demande croissante de services de transport, la compagnie publique était dans l'incapacité de satisfaire cette demande à cause, entre autres facteurs, des restrictions budgétaires de l'Etat (Autrepart(32), 2004). Ceci a conduit à la privatisation du secteur favorisée par les vagues d'ajustements structurels des années 1980 entrepris par la Banque Mondiale. Aussi, les mutations démographiques et celles économiques durant ces dernières décennies ont été déterminantes dans la structure des déplacements et du secteur du transport. Le Sénégal contemporain est caractérisé par une forte croissance démographique (2,5% par an) conduisant à un doublement de la population en 25 ans (ANSD, 2014) entre 1950 et 2000 la population est ainsi multipliée par 4,7 (Rapport BM 2014). Cette croissance de la population alimente les besoins d'espaces viabilisés, de déplacements et donc d'accessibilité aux moyens de transports. Les conditions de vie précaires dans les zones les plus démunies, en l'occurrence, les zones rurales sont à l'origine de la migration vers les villes (de Dakar de préférence) ce qui accentue le phénomène d'urbanisation. Ce dernier reste manifestement généralisable à l'échelle mondiale, environ 66% de la population mondiale vivra dans une ville en 2050 (ONU, 2014). A l'échelle continentale, en 2000, un africain sur trois vivait dans les villes ; en 2030, ce taux va passer à un sur deux (Ajay Kumar et Fanny Barrett, 2008). Cette situation est d'autant plus problématique dans le pays que le montre les chiffres suivantes. Le taux d'urbanisation dans le pays est passé de 25% en 1960 à 43% au début du siècle. A Dakar, la capitale, 96% des individus vivaient dans le milieu urbain en 2016 (ANSD, SESS 2016). Aujourd'hui elle concentre 50% de la population urbaine - à savoir 25% de la population totale du pays - dans une superficie de 0.3% de celle du pays (196722 km^2), 80% des entreprises, 52% des emplois créés dans le pays et contribue à 55% du PIB et à près de 87% de la fiscalité nationale (Banque Mondiale, Rapport sur le développement dans le monde 2015). La conjugaison de ces facteurs a favorisé l'élargissement de l'offre privée. Ainsi, la part de marché des transports privés par minibus, dans le transport collectif dakarois, est passée de 18% en

1980 à 95% en 2000 (Autrepart (32), 2004). Cependant une partie de la population, les plus aisées notamment, va recourir à l'automobile individuelle de telle sorte qu'aujourd'hui, les véhicules particuliers comptent 62,4% du parc automobile (ANSD, SESS 2014). Aujourd'hui, compte tenu des grands axes du programme de développement établi dans le Plan Sénégal Emergent (PSE), support actuel des grandes orientations politiques de l'Etat, les transports constituent le canevas sur lequel s'appuient les mouvements de décentralisation des activités urbaines et la redynamisation de l'économie via la mise en oeuvre des projets TER et BRT. L'implémentation et la structuration de ces moyens de transports requièrent de connaître et de comprendre les déterminants des choix modaux des individus afin de les prendre en compte pour un réel impact des politiques dans le secteur telles de transfert vers les modes de transports collectifs.

Objectifs

L'objectif de cette étude est de pouvoir prévoir et examiner comment les variables caractéristiques des modes de transport et les caractéristiques socioéconomiques des travailleurs agissent sur les choix de déplacement de ces derniers selon les modes VP, TC ou de déplacements intermodaux. Cet objectif est décomposé en les objectifs spécifiques qui suivent.

Objectifs spécifiques

- ✍ **O1** : Identifier les variables déterminantes des choix des modes de transport pour les déplacements du domicile au lieu de travail et estimer la probabilité de ces choix ;
- ✍ **O2** : Mesurer le niveau de sensibilité des choix modaux suite aux variations des caractéristiques des modes et des variables politiques ;
- ✍ **O3** : Mesurer le niveau de sensibilité des choix modaux aux changements des caractéristiques socioéconomiques ;
- ✍ **O5** : Mesurer la variation du bien-être (surplus du consommateur) suite à la diminution des coûts et durées de transport selon le mode VP, TC et le déplacement intermodal.

Comme dans tous processus de modélisation, les hypothèses sont incontournables pour aboutir à un résultat proche de la réalité. Ces hypothèses découlent de la revue des modèles à choix discret mais aussi des considérations empiriques.

Hypothèses de l'étude

- ☞ **H1** : Les usagers ont le choix entre un déplacement intermodal qui fait l'objet d'une seule alternative (même s'il est effectué avec plusieurs modes y compris la marche à pieds) et les autres alternatives qui sont des déplacements à trajet unique effectués avec soit un VP, soit un TC.
- ☞ **H2** : Les règles de choix aléatoires, autrement dit, la distribution de probabilité des termes aléatoires provient de l'erreur de l'économètre car ne pouvant pas appréhender précisément les comportements individuels.
- ☞ **H3** : Les coûts de déplacements affectent les travailleurs de la même façon.
- ☞ **H4** : Les durées de déplacement n'ont pas les mêmes effets sur les travailleurs selon le mode de déplacement choisi.
- ☞ **H5** : La consommation en carburant par jour des VP est imputable essentiellement aux déplacements «domicile-travail». On considère que les déplacements autres que ces derniers sont occasionnels et leurs consommations en carburant négligeables par rapport à la consommation qu'engendre les déplacements réguliers «domicile-travail».

PLAN

Le premier chapitre de cette étude est consacré, d'abord, à la revue théorique des Modèles à Choix Discrets (MCD) qui sont dotés d'un fondement microéconomique comportemental ancré dans la théorie microéconomique du consommateur. Ensuite, ce chapitre traite de la revue empirique des déterminants des choix de transport urbain, le choix des individus étant motivé par un certain nombre de variables économiques et sociodémographiques et enfin aborde le cadre méthodologique de l'enquête. Le deuxième chapitre est composé d'un élément d'analyse descriptive des variables déterminantes des choix modaux à la suite duquel les résultats des estimations du modèle à choix discret sont présentés et ses interprétations effectuées. Les élasticités directes et croisées sont évaluées dans cette partie, elles constituent un outil efficace, parmi d'autres, d'aide à la décision en ce qui concerne les politiques publiques de rééquilibrage. Elles constituent donc une première appréciation des leviers d'actions possibles. Enfin, le dernier chapitre consiste à simuler quelques scénarios de politiques de rééquilibrage et leurs impacts dans le bien-être des individus.

Cadre conceptuel et revue de la littérature

Une compréhension univoque des concepts clés utilisés dans notre étude est importante pour l'analyse et l'interprétation des résultats qui seront présentés dans le chapitre 3. Ce chapitre propose une définition des concepts clés et par la suite présente la revue de littérature liée à notre thème d'étude.

1.1 Définition des concepts

- i. **Mode de transport** : c'est le moyen de transport emprunté sur un trajet.
- ii. **Déplacement** : Le déplacement est l'ensemble du mouvement entre un lieu de départ et un lieu de destination finale où la personne se rend pour accomplir une activité, et cela, quel que soit le moyen de transport ou la combinaison de moyens de transport utilisé et quelle que soit la distance parcourue ou la destination.
- iii. **Trajet** : Pour chaque déplacement, deux cas de figure se présentent : soit le déplacement est fait avec un seul moyen de transport, soit plusieurs moyens de transport (ou véhicules) sont nécessaires pour atteindre la destination. Dans le premier cas, le déplacement est constitué d'un seul « trajet » ; dans le second cas, chaque moyen de transport ou véhicule utilisé correspond à un « trajet ». Dans un déplacement, il y a autant de trajets que de moyens de transport (quels qu'ils soient, motorisés ou non, dont la marche à pied) ou de véhicules utilisés. Dans beaucoup de déplacements, le premier trajet et le dernier trajet, souvent appelés « trajets terminaux », s'effectuent à pied. Le premier permet alors d'aller prendre un véhicule de transport en commun, le dernier de rejoindre sa destination finale après avoir quitté le véhicule.
- iv. **Intermodal** : Un déplacement est « intermodal » s'il est composé de deux ou plusieurs trajets, chacun de ceux-ci étant réalisé avec un moyen de transport ou un véhicule différent.
- v. **Transport en commun** : ou transport collectif, dans cette étude, se réfère aux

modes de transport suivants : taxi clando (ou plus simplement clando), minibus, car rapide, Ndiaga Ndiaye, autobus Dakar Dem Dikk (DDD), minibus AFTU, plus couramment appelés « Tata » par les Dakarois (ou plus simplement AFTU) et Petit Train de Banlieue (PTB).

1.2 Revue Théorique

Les usagers des modes de transports sont des consommateurs qui disposent d'un revenu et font des choix de différents modes de transport pour leurs déplacements compte tenu de leurs attributs mais aussi de l'utilité que cela leur procure. Dans ce paradigme, la théorie de l'utilité du consommateur est un bon cadre d'analyse des comportements des usagers vis-à-vis des modes de transports. La spécification de l'utilité, de l'utilité marginale, des élasticités directs et croisés et du bien-être du consommateur constituent des outils efficaces d'étude du comportement des consommateurs. Cependant, la transposition de cette théorie dans le champ comportemental vis-à-vis des choix de transport n'est pas systématique à cause de ses limites. En effet, les usagers des transports, en effectuant un choix du mode de transport, compare les caractéristiques des différents modes tels que le temps de parcours, le coût, la distance parcourue etc., au lieu des modes de transport utilisées en elle-même. Dans ce chapitre, on a effectué un bref rappel sur la théorie du consommateur et ses limites et par la suite sa transposition vers le domaine des transports par l'approche de Lancaster (1966) et les spécifications théoriques du modèle à choix discret qui en découlent sont abordés. Enfin, les limites du modèle à choix discrets font l'objet de la dernière partie.

1.2.1 Rappel sur la théorie du consommateur

La microéconomie est une branche de l'économie qui étudie les comportements économique au niveau des entités individuelles tel qu'un consommateur ou un producteur. La microéconomie du consommateur a pour objet l'étude du comportement des consommateurs supposés rationnels (*homo oeconomicus*) c'est-à-dire, face à un choix à effectuer parmi plusieurs options, le consommateur a tendance à maximiser son utilité, fonction en quantité des différents bien existants dans l'économie, sous la contrainte de son revenu. L'utilité est définie, au sens de Jevons, de Menger et de Walras, comme une sensation de plaisir associée à la consommation d'un bien (Jean Paul Tsasa Vangu et al. 2010). Nous présentons dans ce qui suit quelques concepts que nous allons utiliser dans cette étude.

La fonction de demande, la fonction d'offre et l'utilité indirecte

Etant donnée un niveau de revenu et le prix du marché, les quantités des biens dans l'économie fonction de ces deux derniers, maximisant l'utilité du consommateur sont appelées fonction de demande du consommateur. L'utilité maximum ainsi atteinte est appelée fonction d'utilité indirecte qui est fonction des caractéristiques des biens tel que le prix et celles des individus tel que le revenu. C'est cette fonction d'utilité indirecte et ses caractéristiques qui seront modélisées par des modèles économétriques à choix discret pour étudier le comportement des usagers vis-à-vis des choix de transport.

La notion de marché dans le secteur des transports

Le socle théorique de l'économie de marché est résumé par les théorèmes de l'économie du bien-être. Ces théorèmes nous disent que si la réalité peut être décrite par la concurrence pure et parfaite alors elle est dans une situation Pareto-optimale. C'est une situation minimale de satisfaction où l'allocation des ressources disponibles est optimale, il n'y a pas de gaspillage de ressources et aucun agent ne peut augmenter sa satisfaction sans dégrader celle d'un autre (Claude Menard et al, 2005). Donc une concurrence suffisamment développée aboutit à une gestion efficiente des ressources disponibles. Par conséquent, l'équilibre entre l'offre et la demande du secteur des transports est loin d'assurer une allocation optimale des ressources car le marché en question est loin de satisfaire la plupart des axiomes que se fondent ces théorèmes. En effet, il y a l'Autorité Organisatrice des Transports Urbains (AOTU) qui regroupe les exploitants privés et l'Etat qui interviennent et décident de la configuration du marché des transports en commun. Ainsi, une mauvaise allocation des ressources peut provenir d'une offre inadaptée à la demande ou qui n'est pas suffisamment productive - défaut de quantité, qualité, tarifications etc.- (Luc Baumstark et al, 2005).

1.2.2 Application dans le domaine du transport de la théorie micro-économique du consommateur : la théorie de Lancaster (1966)

La théorie microéconomique du consommateur pourrait être un bon outil ou fondements théoriques pour asseoir les comportements des usagers des transports comme le prônent les auteurs Kanafani (1983) selon qui «la théorie de la demande microéconomique fournit un cadre très utile pour l'analyse de la demande de transport » et Mc Fadden et Domencich (1975) qui pensent que « la théorie classique du comportement économique fournit une base utile et logique pour l'analyse empirique de nombreux aspects de la demande individuelle » cités par Sophie Masson (2000). Par ailleurs, la théorie du consommateur a été beaucoup critiquée par les auteurs comme Lancaster (1966) et Mc

Fadden et Domencich (1975), cités par Shamir Gazouani et Mouhamed Goaid (2018) en ce qui concerne son application dans le domaine du transport. Selon Lancaster, la théorie microéconomique n'a pas tenu compte de la réaction du consommateur face à l'amélioration de la qualité d'un bien ou face à un nouveau bien. Pour ce faire, chaque produit doit être appréhendé à travers les services qu'il rend et ainsi par les caractéristiques qu'il possède (Lancaster, 1966). Les auteurs comme Mc Fadden et Domencich soulignent que « il existe un domaine de comportement impliquant des choix parmi des alternatives discrètes pour lesquelles la théorie traditionnelle n'est pas applicable, la demande de transport (...) en est un exemple ». En effet, en transport, l'individu est confronté à plusieurs choix de modes de transport mutuellement exclusifs et discrets. En conséquence, c'est les théories des modèles à choix discret qui sont proposées par ces auteurs, qui restent toujours ancrées dans la théorie microéconomique comportementale. Ainsi, avec la nouvelle théorie du consommateur, approche par Lancaster (1966), la fonction d'utilité est fonction des caractéristiques des biens. Selon lui, cité par Sophie Masson (2000), « l'innovation technique principale consiste à se détacher de l'approche traditionnelle selon laquelle les biens sont les arguments directs de l'utilité et à supposer au lieu de cela que ce sont les propriétés ou les caractéristiques des biens dont dérive l'utilité. Nous admettons que la consommation est une activité selon laquelle les biens, seul ou en combinaison, sont des facteurs et les produits sont une série de caractéristiques ». L'autre hypothèse de Lancaster est que « les caractéristiques possédées par un bien ou par une combinaison de bien sont les mêmes pour tous les consommateurs, et étant donné une unité de mesure, se retrouvent dans les mêmes quantités, de telle sorte que l'élément personnel est dans le choix entre des ensembles de caractéristiques et non dans l'affectation des caractéristiques aux biens ». Dès lors, la relation de préférence des individus est définie, non plus sur les biens, mais sur les caractéristiques de ces derniers selon Lancaster. Par ailleurs, dans la théorie du consommateur, l'individu étant muni d'une relation de préférence, est capable de classer toutes les alternatives selon le niveau d'utilité que cela lui apporte, une bonne fois pour toute. Cela veut dire que si l'individu est encore confronté à faire un choix sur les mêmes alternatives fournissant les mêmes niveaux d'utilité, il fera le même choix. Or, on a observé dans la réalité, (dans le domaine des transports y compris) que l'individu, étant confronté aux mêmes alternatives, pouvait changer de choix (Sophie Masson, 2000). Pour corriger ce problème, les économètres ont décomposé l'utilité du consommateur en deux facteurs : un facteur déterministe connu, fonction des attributs des biens, et un facteur aléatoire qui fait l'objet de deux conceptions théoriques fondamentales des modèles à choix discret : c'est l'éclosion de la théorie de l'utilité aléatoire. Désormais, l'individu confronté plusieurs fois aux mêmes alternatives d'attributs donnés, invariants, ne fait pas toujours le même choix, cela veut dire qu'il ne choisit pas systématiquement l'alternative dont les attributs maximisent son utilité.

1.2.3 Fondements théoriques des modèles à utilité aléatoire

Les modèles à choix discrets traitent des comportements des individus face à un choix parmi plusieurs alternatives exclusives, énumérables et de nombre fini et dont on associe une série d'attributs chacune. L'individu maximise son utilité compte tenu des attributs des différentes alternatives qui s'offrent à lui. Pour un individu, l'utilité U_i associée à l'alternative i est donnée par :

$$U_i = V_i + \epsilon_i, i = 1, \dots, n$$

V_i étant l'utilité connue, fonction des attributs des biens et des caractéristiques socio-économiques des individus. Ainsi, dans la théorie du consommateur V_i est assimilée à la fonction d'utilité indirecte du consommateur (Gazuani et Goaied, 1993) car cette dernière dépend des caractéristiques des biens, tel que le prix et ceux de l'individu tel que le revenu. ϵ_i représente la partie non appréhendée de la fonction d'utilité. Dans la littérature, la question qui s'est posée est de savoir d'où vient la distribution de probabilité associée à l'utilité ? Il existe ainsi deux thèses dans la littérature traitant de l'origine de l'utilité aléatoire.

La première est la thèse des économistes qui stipule que la distribution de probabilité proviendrait de l'erreur de mesure de l'économètre car ne pouvant pas appréhender précisément les comportements individuels. Par exemple c'est celle de Manski (1977), cité par Sophie Masson (2000), pour qui c'est l'absence d'informations précises qui conduit l'économètre à modéliser des règles de choix aléatoires à l'opposition de celle de Quandt (1956) qui stipule que le processus de choix est intrinsèquement probabiliste. Il vient du fait que l'individu fait son choix parmi plusieurs actions sur la base de la représentation qu'il se fait de cette dernière, il y a certains aspects relatifs à l'action que l'individu ne peut prendre en compte, elle exprime ainsi l'idée de « rationalité limitée » : c'est la deuxième thèse qui est celle des psychologues. Par conséquent, dans le premier modèle, l'utilité et la règle de choix sont déterministes mais l'incertitude émane du modélisateur, dans le deuxième, l'utilité est déterministe (ou connu) mais c'est le processus de choix qui est probabiliste.

Les spécifications du modèle à choix discrets

Nous allons, dans cette partie, spécifier le modèle économiste des choix discrets qui considère qu'il y a certains aspects des choix des individus qui ne peuvent être appréhendés par l'économètre et qui sont résumés par le terme d'erreur stochastique. Considérons le modèle statistique où l'individu n ($n=1, \dots, N$) choisit la modalité i ($i=0, 1, \dots, J$) qui lui procure la plus grande utilité. $J+1$ représente le nombre total de modalité contenu dans l'ensemble de sélection $C = \{0, 1, \dots, J\}$. Soit le modèle de choix discret de la forme :

$$y_{in} = \begin{cases} 1 & \text{si } U_{in} > U_{jn} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

y_{in} désigne le choix observé et U_{in} représente une fonction d'utilité aléatoire qui mesure le degré de satisfaction que procure à l'individu n la modalité i . U_{in} s'écrit alors :

$$U_{in} = V(x_{in}) + \epsilon_{in} = V_{in} + \epsilon_{in}$$

- V_{in} : est le terme déterministe ;
- ϵ_{in} : est le terme aléatoire ;
- x_{in} : variables explicatives des choix

Confronté à J modalité, l'individu choisira la modalité i qui maximise son utilité. Ce choix vérifie ainsi la relation :

$$\{U_{in} > U_{jn} \quad \forall j \in \mathbf{C} \quad , i \neq j\} \quad (1.1)$$

A ce type d'évènement, on peut associer un ordre de préférence. La probabilité qui correspond à l'évènement précédente est donnée par :

$$P_n(i/C) = P\{U_{in} > U_{jn} \quad \forall j \in \mathbf{C} \quad , i \neq j\} \quad (1.2)$$

Les probabilités sont construites à partir de la maximisation de l'utilité stochastique. Pour connaître cette probabilité, il suffit de connaître la distribution de probabilité des termes d'erreurs ϵ_{in} . Mc Fadden (1981) a démontré que la maximisation de l'utilité aboutit à une spécification logit multinomial si et seulement si les termes d'erreurs suivent une distribution des valeurs extrêmes de type 1 et sont indépendantes identiquement distribuées (Amemiya, 1981). La probabilité de l'évènement (3) s'écrit alors :

$$P_{ni} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j=0}^J \exp(V_{jn})} \quad (1.3)$$

Les ϵ_{in} suivent une distribution des valeurs extrêmes de type 1, de fonction de répartition :

$$F(\epsilon) = P(\epsilon_{in} < \epsilon) = \exp(-\exp(-\epsilon)) \text{ et de densité } f(\epsilon) = \exp(-\epsilon - \exp(-\epsilon)).$$

Le modèle est baptisé «modèle logit multinomial indépendant» (traduction de Independent multinomial logit) par Amemiya (1981) en raison de l'hypothèse IID (Indépendante Identiquement Distribué) des termes d'erreurs qui constitue une faiblesse inhérente à ce modèle. En effet, cette supposition ne permet pas de tenir compte d'une certaine substituabilité entre les alternatives. Le modèle est constitué de trois variantes selon la

forme de la fonction $V(.)$: le modèle logit multinomial, le modèle logit conditionnel et le modèle logit universel.

▪ Le modèle Logit multinomial

Avec ce modèle, la fonction $V(.)$ est linéaire par rapport aux paramètres β_j qui diffèrent selon les modalités mais les variables explicatives ne varient que selon les individus. $V(x_{jn}) = x_n \beta_j$. Autrement dit, les variables x_{jn} sont indépendantes des modalités, on écrit alors : $x_{jn} = x_n \quad \forall \quad j = 0, \dots, J, \quad \forall \quad n = 0, \dots, N$.

Les limites de ce modèle sont liées à la supposition d'indépendance entre variables explicatives et modalités. Cette supposition n'est pas envisageable lorsqu'il s'agit des données des modalités de choix des modes de transport qui dépendent des attributs de ces modes en plus des caractéristiques des individus.

▪ Le modèle Logit multinomial conditionnel

Selon ce modèle, la forme de la fonction $V(.)$ est donnée par : $V(x_{jn}) = x_{jn} \beta$

C'est une alternative au modèle précédente car il suppose que les variables explicatives x_{jn} diffèrent selon les individus mais aussi selon les modalités. En plus, on considère que les paramètres β sont indépendants des modalités. La probabilité de choix d'un mode j est alors définie par :

$$P_n(j) = \text{Prob}(y_{jn} = 1) = \frac{\exp(x_{jn}\beta)}{\sum_{k=1}^J \exp(x_{kn}\beta)} = \frac{\exp(\tilde{x}_{jn}\beta)}{(1 + \sum_{k=1}^J \exp(\tilde{x}_{kn}\beta))} \quad (1.4)$$

Avec la convention que $\tilde{x}_{jn} = x_{jn} - x_{0n}$.

Estimation du modèle Logit conditionnel

Plusieurs méthodes d'estimations sont utilisées pour estimer les paramètres du modèle logit conditionnel : l'estimation par la méthode du maximum de vraisemblance, l'estimation par la méthode des moments, l'estimation par la méthode semi-paramétrique et l'estimation non paramétrique. Nous allons présenter dans ce qui suit l'estimation par la méthode du maximum de vraisemblance. La log vraisemblance associée à un modèle logit conditionnel est donnée par : $\log L(y, \beta) = \sum_{n=1}^N \sum_{j=0}^J y_{jn} \log[\text{Prob}(y_{jn} = 1)]$.

En remplaçant dans l'équation la probabilité donnée précédemment, on aboutit au résultat suivant : $\log L(y, \beta) = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J y_{jn} \tilde{x}_{jn} \beta - \sum_{n=1}^N \log[1 + \sum_{k=1}^J \exp(\tilde{x}_{kn} \beta)]$.

Ce résultat permet d'estimer les paramètres du modèle par des algorithmes d'optimisation numérique telle que celui de Newton Raphson (Christophe Hurlin, Université d'Orléans). Par ailleurs, le modèle Logit conditionnel a l'avantage de prédire la probabilité

associée à une nouvelle modalité virtuelle, elle est déterminée par :

$$P_{J+1} = \frac{\exp(\hat{x}_{n,J+1}\hat{\beta})}{1 + \sum_{k=1}^J \exp(\hat{x}_{n,k}\hat{\beta}) + \exp(\hat{x}_{n,J+1}\hat{\beta})} \quad (1.5)$$

où $\hat{\beta}$ désigne un estimateur convergent de β obtenu sur la base des modalités existantes et où $\hat{x}_{n,J+1}$ est une estimation des caractéristiques de la $(J + 1)$ -ème modalité.

Enfin, le modèle multinomial universel (pour les détails de ce modèle, se reporter au document de Takeshi Amemiya, Journal of Economic Literature, 1981) est une généralisation de la forme de la fonction $V(\cdot)$ dans la classe des fonctions continues dépendant des paramètres β_j .

La propriété IIA du modèle logit multinomial et du modèle logit multinomial conditionnel

Le rapport de probabilités associées à deux modalités différentes j et k s'écrit :

$$\frac{P_n(i)}{P_n(k)} = \frac{P(y_{in} = 1)}{P(y_{kn} = 1)} = \frac{\exp(V_{in})}{\exp(V_{kn})}$$

Avec le modèle Logit multinomial, ce rapport devient :

$$\frac{P_n(i)}{P_n(k)} = \exp[x_i(\beta_j - \beta_k)]$$

Avec le modèle Logit multinomiale Conditionnel, il devient :

$$\frac{P_n(i)}{P_n(k)} = \exp[\beta(x_{in} - x_{kn})]$$

Cela veut dire que ce soit l'un ou l'autre des deux modèles, le rapport de deux probabilités de deux alternatives particulières ne dépend pas des autres alternatives. Cette spécification repose sur une hypothèse parfois contraignante dans les études empiriques : l'indépendances des alternatives non pertinentes (IIA) qui exclue une éventuelle substitution entre les alternatives, elle est une conséquence de l'hypothèse IID des termes d'erreurs. Il existe ainsi des tests d'erreur de spécification pour vérifier l'hypothèse IIA notamment celui de Hausmann et McFadden (1984) (voir annexe pour la méthodologie des tests).

Dans cette étude des choix modaux concernant les déplacements domicile-travail, on

effectue une modélisation des choix selon le modèle Logit multinomial¹.

Le but est de mesurer non seulement les effets des caractéristiques des modes mais aussi les effets des caractéristiques socioéconomiques des usagers. On préfère, donc, ce modèle au modèle Logit multinomial conditionnel qui ne fait intervenir que les caractéristiques des modes de transport dans le but de pouvoir faire une prévision de la part modale d'une nouvelle offre de transport. Notre fonction d'utilité prend ainsi en compte la variation des goûts des usagers en plus des caractéristiques associées aux modes de transport empruntés. Ce modèle nous permettra de tester des politiques économiques telles que la réduction du coût des transports ou de la durée.

1.3 Revue empirique

Une compréhension idéale du choix modal aurait pour but d'identifier l'intégralité des raisons des préférences individuelles, c'est-à-dire les préalables nécessaires et suffisants à former la préférence.

1.3.1 Raisons, motifs et causes des choix modaux

Les concepts de cause, raison, explication, motivation, ou encore motif se recouvrent partiellement et sont difficiles à bien distinguer. Kouabenan (1999) à propos de l'analyse des accidents réalise une revue de ces termes et souligne particulièrement l'importance de la distinction entre « cause » et « raison » dans les attributions sur les conduites individuelles. Buss (1978, 1979, cités par Kouabenan 1999) distingue ces deux termes selon le type d'événement à expliquer (action ou occurrence) et le statut de celui qui explique (acteur ou observateur). Les raisons visent à expliquer des actions, c'est-à-dire des comportements volontaires, qui ont un but ou une finalité, sont sous le contrôle de l'acteur et proviennent d'une intention délibérée de sa part. A l'inverse, les causes visent à expliquer des faits ou occurrences, c'est-à-dire des comportements non-intentionnels, hors du contrôle de l'acteur. Les acteurs comme les observateurs expliquent les occurrences par des causes, alors que les actions sont expliquées par l'acteur essentiellement en termes de raisons, et par l'observateur, soit en termes de raisons, soit en termes de causes. Du point de vue des choix modaux, l'acteur qui réalise le choix est donc soumis à des raisons d'agir plus qu'à des causes. En effet, même dans les cas où le choix peut sembler forcé, il n'y a pas d'absence de choix, le comportement est donc fondé sur une intention délibérée. Même l'observateur, dans le cas du choix modal ne doit pratiquement jamais avoir l'occasion d'identifier des causes mais plutôt des « déterminants ». Le comportement de choix modal est dépendant de multiples raisons, et il est fortement improbable de parvenir à les identifier toutes parfaitement, car la complexité des raisons

1. on résume dans ce type de modèle les modèles Logit multinomial et Logit Conditionnel vus ci-haut, c'est le cas souvent dans la littérature.

du choix modal est très grande (voir Orfeuil, 2000 pour une description détaillée de la complexité des paramètres des choix). Il est par contre envisageable d'identifier quelles raisons ont un effet nettement déterminant, ce qui n'exclut pas pour autant que d'autres raisons, plus mineures, puissent être à l'œuvre. Comprendre le choix modal revient ainsi dans une certaine mesure à connaître ses déterminants. Une vue d'ensemble de ceux-ci paraît fondamentale à la définition des conditions nécessaires au changement de pratique de déplacement. Comment les individus choisissent-ils leurs modes de transport ? La littérature traitant du choix modal rationnel porte essentiellement sur deux catégories de déterminants. D'une part, les caractéristiques des modes – qui sont donc les caractéristiques liées à l'offre de transport – et d'autre part les caractéristiques des individus, principalement étudiées via des variables socioéconomiques et démographiques

1.3.2 L'offre de transport urbain

Dans le commerce et l'économie, l'offre désigne la quantité de produits ou de services mis en vente par les producteurs ou les distributeurs. Plusieurs facteurs déterminent l'offre de transport : les caractéristiques du mode de transport ou la qualité et l'efficacité associés à ses modes, les infrastructures routières associées, la notion de marché ou la concurrence et la tarification attribuée à ses modes de transport et les politiques économiques.

Les politiques économiques dans le secteur des transports

Les autorités organisatrices, dans leurs tâches de structuration et de promotion des moyens de transports doivent considérer la variété des attentes. Leurs choix politiques doit tenir compte des divers intérêts des parties prenantes (anciens usagers, nouveaux usagers, exploitant(s), riverains...) ainsi que les multiples dimensions du bien-être socio-économique – prix, gain de temps, bruit, pollution de l'air etc.- (Luc Baumstark et al, 2005). Les politiques économiques fixent des objectifs sur la base des attentes de la population et investissent des moyens pour les atteindre. Pour ce faire, elles sont soumises à des évaluations concernant leur efficacité, leur efficience par rapport aux résultats – les indicateurs de résultats étant construits préalablement – et même leur pertinence. Cette dernière notion est caractéristique du lien entre les objectifs fixés et les moyens mis en oeuvre (Luc Baumstark et al, 2005). Dans le cadre des transports les indicateurs tels que la «valeur du temps» sont très souvent utilisés pour l'évaluation des politiques économiques. Ces politiques économiques s'inscrivent dans le cadre de la régulation du marché et le bien-être des individus, a priori, en est la finalité.

Le bien-être subjectif

Selon Frey et Stutzer (2002) il existe une corrélation positive entre le bien-être subjectif et le niveau de revenu, mais que celle-ci est loin d'être parfaite. Le bien-être subjectif

n'est donc pas déterminé uniquement par le niveau de revenu, mais par un ensemble de variables – dont certaines sont d'ailleurs liées au revenu-. Deux groupes de variables peuvent être distingués. D'une part, des variables sociodémographiques et économiques classiques – telles que le sexe, l'âge, l'ethnie, la religion, le statut ou la trajectoire familiale, la santé, l'éducation, le logement, l'emploi. Celles-ci jouent sur le bien-être indépendamment de leur effet sur le revenu. D'autre part, des variables «relatives», qui résultent de la comparaison qu'un individu peut faire entre sa situation présente et passée, ou avec celle de groupes de références (Razafindrakoto et Roubaud, 2006). Selon Razafindrakoto et Roubaud (2006), ce type d'effet est de plus en plus souvent invoqué comme facteurs explicatifs du bien-être. Ainsi, un individu peut apprécier son bien-être en référence de sa situation passée, ou en référence à celui de catégories sociales auxquelles il considère appartenir. Le bien-être subjectif dépend donc de l'écart entre la situation d'un individu et les points de comparaison qu'il établit avec son environnement, ses objectifs, ses besoins, ses aspirations (Easterlin, 2001 ; Senik, 2003 cités par Mireille Razafindrakoto et François Roubaud, 2006). Enfin, ces auteurs attestent que la façon dont les inégalités et les différentes formes d'interactions sociales (au sein du quartier, de la communauté d'origine, du milieu professionnel, etc.) agissent sur le bien-être fait l'objet d'analyses de plus en plus poussées.

Par ailleurs, bien qu'il paraisse intuitivement évident que l'individu compare les modes de transport et choisisse d'utiliser celui dont les qualités sont les meilleures, cela ne signifie pas que la connaissance des modes suffise à comprendre les choix. En effet, l'importance des caractéristiques peut être relative selon les individus car les mêmes caractéristiques peuvent renvoyer à des utilités différentes entre individus, cette utilité variant avec les caractéristiques économiques et sociodémographiques.

1.3.3 Les usagers : caractéristiques économiques et sociodémographiques

Dans une vision très fonctionnelle des choix, si les caractéristiques des modes constituent la mesure de l'efficacité des modes, comment l'individu pourrait-il les évaluer sans la grille de comparaison que forment ses attentes, contraintes et buts propres ? Le choix modal serait donc tout autant dépendant des caractéristiques des modes que des caractéristiques individuelles. La littérature, pour approcher cette dimension individuelle, montre de nombreux travaux prenant en compte des variables économiques et sociodémographiques. Le genre aurait ainsi un impact sur le choix du mode, les femmes utilisant généralement plus les transports collectifs que les hommes (Handy, Cao, et Mokhtarian, 2005 ; Simma et Axhausen, 2001). Par l'intermédiaire d'entretiens téléphoniques auprès de 187 Allemands, Matthies, et al. (2002) constatent, en outre, que les femmes sont

plus volontaires à diminuer leur utilisation de la voiture que les hommes et qu'elles sont plus influencées par les normes écologiques et moins par l'habitude. Ils montrent également que la norme sociale et l'habitude sont des variables médiatrices. Cependant, ils observent que l'intention de réduire l'utilisation de la voiture est influencée par les normes écologiques tandis que le comportement de mobilité actuel est influencé par l'habitude. D'une manière générale les raisons de l'effet du genre font l'objet de diverses hypothèses. Le partage des activités du ménage tend à favoriser l'usage de la voiture par l'homme (Root et Schintler, 1999 ; Turner et Grieco, 2000), mais aussi la moindre motorisation des femmes (Benlahrech, Le Ruyet, Liverbardon, et Dejeammes, 2001). Ou encore, selon Flade et Limbourg (1997, cité par Matthies, et al, 2002) par le stéréotype de genre. En effet, leur étude montre que les garçons ont une plus grande orientation vers la voiture que les filles entre dix et seize ans. En outre, les garçons s'imaginent davantage que les filles, utiliser une voiture quand ils seront adultes. L'âge est aussi identifié comme déterminant, l'usage de la voiture augmentant au fil des années. Cet effet est cependant discuté, la prise en compte du niveau de revenu, qui varie aussi avec l'âge, tend à supprimer la participation de l'âge à l'explication des choix modaux (Simm et Axhausen, 2001). En outre, l'accès à l'automobile tend à décroître pour les populations les plus âgées (Benlahrech, et al. 2001). Le revenu et la localisation géographique participent aussi à la description des choix modaux (Gandit, 2007), tout comme le nombre d'enfants (Beauvais, 1999 ; Simm et Axhausen, 2001), ou encore le taux de motorisation (Beauvais, 1999 ; Jakobsson, 2004).

1.3.4 Le type de déplacement domicile-travail : quelles spécificités ?

Pour une bonne compréhension des dynamiques du facteur travail dans l'économie et leurs prise en compte dans les politiques urbaines, il va de soit de comprendre les mécanismes des déplacements de type domicile-travail. Ce type de déplacement qualifié de « pendulaire » est privilégié car c'est une mobilité contrainte, de caractère structurant. La littérature, sur ce type de déplacement, montre que la mise en évidence de ses spécificités d'une part, et le fait de déceler des contraintes de mobilité propre à certaines catégories d'actifs d'autre part, par la comparaison des déterminants de la mobilité domicile-travail, seraient d'un grand apport pour les politiques économiques ciblées sur ce type de mobilité (Louafi Bouzouina, Natalie Havet et Pascal Pochet, 2015).

Le mauvais ajustement spatial dans la région de Dakar

Dakar est caractérisé par un désajustement spatial entre les zones de résidence notamment des quartiers pauvres et les zones d'emplois. Selon le rapport de l'ANSD de la Situation économique et Social du Sénégal (SESS) en 2008 : « cela est probablement

dû au fait que le département de Dakar concentre l'essentiel des centres administratifs et politiques ainsi que des infrastructures économiques du pays et que celui de Pikine qui, avec Guédiawaye, constitue sa banlieue la plus proche, dispose de réserves foncières très importantes qui en ont jusqu'ici fait la principale zone d'habitat et de recasement des personnes déplacées de ce dernier. Quant au département de Guédiawaye, bien que plus proche de la ville de Dakar que celui de Rufisque, il est handicapé par le quasi épuisement de ses réserves foncières qui, du reste, sont fort modestes comparées à celles des autres départements de la région ». Le comportement des individus est influencé par les quartiers dans lesquels ils vivent, si ces quartiers sont défavorisés par une mauvaise structuration des transports, un enclavement de la zone, cela peut affecter la performance des habitants de ces quartiers (Friedrich, Galster et Musterd, 2003). Les travailleurs qui habitent les zones éloignées des pôles d'activités sont exposés à la fatigue liée au déplacement du domicile au lieu de travail, pouvant occasionner le retard et l'absentéisme dans ces lieux. On peut moduler ces impacts en agissant sur les attributs de ces moyens de transports habituellement empruntés.

Cadre méthodologique

Dans ce chapitre, on présente d'abord l'approche méthodologique suivie dans cette étude puis la source des données que constitue l'Enquête Ménage sur la Mobilité, le Transport et l'Accès aux Services Urbains dans l'Agglomération de Dakar (EMTASUD). Enfin les résultats obtenus dans cette étude font l'objet de la dernière section.

2.1 Approche méthodologique et source des données

2.1.1 Approche méthodologique

Pour répondre aux différents objectifs assignés à cette étude des choix modaux des travailleurs, nous avons procédé comme suit :

- une revue théorique des fondements économiques qu'entendent le sujet traité, c'est-à-dire, les comportements des travailleurs vis-à-vis des choix discrets des modes de transport empruntés du domicile au lieu de travail. Une revue des différents modèles statistiques utilisés pour expliquer les choix modaux est effectuée à la suite de laquelle le modèle approprié à l'étude a été adopté,
- une revue empirique des résultats des études traitant du même sujet ou d'un sujet proche pour avoir une vue sur l'essentiel déjà fait par les autres et les résultats obtenus. Ces derniers peuvent faire l'objet de comparaison avec ceux ressortis dans notre étude,
- enfin, la modélisation des choix modaux des travailleurs dans le cadre des déplacements du domicile au lieu de travail, la mesure de la sensibilité de ces choix et les simulations des partages modaux suite au changement des variables déterminantes.

2.1.2 Sources des données

L'Enquête Ménage sur la Mobilité, le Transport et l'Accès aux Services Urbains dans l'Agglomération de Dakar (EMTASUD) est réalisée en 2015 dans l'objectif de pouvoir comprendre les déplacements des dakarois, donc, de pouvoir rendre compte des déterminants de ces déplacements selon les spécificités urbaines dans la région. L'intérêt est de

voir quelles sont les solutions efficaces à proposer dans un contexte où la population de la région de Dakar augmente de manière quasiment exponentielle.

Les données utilisées dans cette étude des choix modaux en ce qui concerne les déplacements du domicile au lieu de travail sont issues des données de cette enquête, l'outil de référence sur les pratiques de déplacements dans la population urbaine de Dakar. Le plan d'échantillonnage appliqué dans cette étude est une stratification de la région de Dakar et dans chaque strate, un tirage à deux degrés est réalisé. La région de Dakar est répartie en 41 strates (18 à Dakar, 05 à Guédiawaye, 08 à Rufisque et 10 dans le département de Pikine) dans lesquelles des Districts de Recensement (DR) sont tirés de manière aléatoire, et au sein des DR, on tire les ménages à enquêter. La taille de l'échantillon de l'enquête est fixée de telle sorte à assurer une fiabilité des résultats.

Pour un ménage tiré, les observations sont faites sur trois niveaux et le questionnaire de l'enquête contient ainsi trois sections. La première section est consacrée à l'entité ménage, elle recense les caractéristiques du ménage telles que la taille du ménage et l'accès aux services urbains de base. La deuxième section recense les caractéristiques sociodémographiques des individus au sein de chaque ménage (âge, sexe, profession etc.) ainsi que les habitudes d'utilisation des modes de déplacements, l'âge minimal des enquêtés étant fixé à 11 ans en 2015. La troisième section fournit l'état détaillé de tous les déplacements effectués la veille du jour de l'enquête par chaque personne enquêtée. Cependant, notre étude s'inscrit dans le cadre des déplacements habituels du domicile au lieu de travail concernant les personnes ayant exercées une activité professionnelle au cours des 30 derniers jours et qui ont un lieu de travail fixe différent du domicile. Les enquêtés indiquent les modes de déplacements empruntés habituellement du domicile jusqu'au lieu de travail, la durée de ces déplacements ainsi que le coût supporté.

2.2 Résultats

Les différents résultats obtenus dans cette étude sont présentés dans ce chapitre. D'abord, un élément d'analyse descriptive des données est exposé avant la présentation des résultats des estimations du modèle logit multinomial et leurs interprétations éventuelles.

2.2.1 Analyse descriptive

Les alternatives de choix modaux faisant l'objet de notre étude et dont disposent les travailleurs sont constituées des Véhicules Particuliers (VP), des Transports en Commun (TC), de la marche à pieds (cette marche, a priori, a une durée supérieure ou égale à 10 minutes selon la question posée au répondant) et du déplacement intermodal. Les coûts et durées des déplacements estimés (voir l'Encadré 1 pour la méthodologie utilisée) et certains caractéristiques socioéconomiques des travailleurs sont résumés dans le tableau III.1.

Pour implémenter correctement le modèle, pour certaines variables qui présentaient un nombre assez conséquent de valeurs manquantes (taux supérieur à 5%), nous avons dû recourir à une méthodologie de traitement des données manquantes.

Sur certaines variables pertinentes dans l'étude telles que le coût de déplacement, la durée de déplacements et le revenu, les imputations des valeurs manquantes ont été effectuées en utilisant d'abord une méthode de classification des individus (la méthode CAH) et puis en procédant par des imputations par classe, par la moyenne.

Les coûts de déplacements en voiture non directement fournis par les enquêtés ont été estimés par les coûts journaliers de consommation en carburant. Cette étude ne considérant que les déplacements du domicile au lieu de travail, la moitié du coût par jour est utilisée pour l'estimation.

L'implémentation du modèle nécessite l'établissement, pour chaque individu, du coût fictif et de la durée fictive de déplacement pour les modes alternatifs non sélectionnés. A cette fin, nous avons considéré une valeur moyenne par couple de «origine-destination» et selon le mode choisi (les zones d'origine et de destination correspondent aux strates établis dans l'enquête EMTASUD, ceux-ci peuvent être des communes ou des associations de communes).

Table 2.1 – *Statistiques descriptives de certaines caractéristiques selon le mode emprunté habituellement*

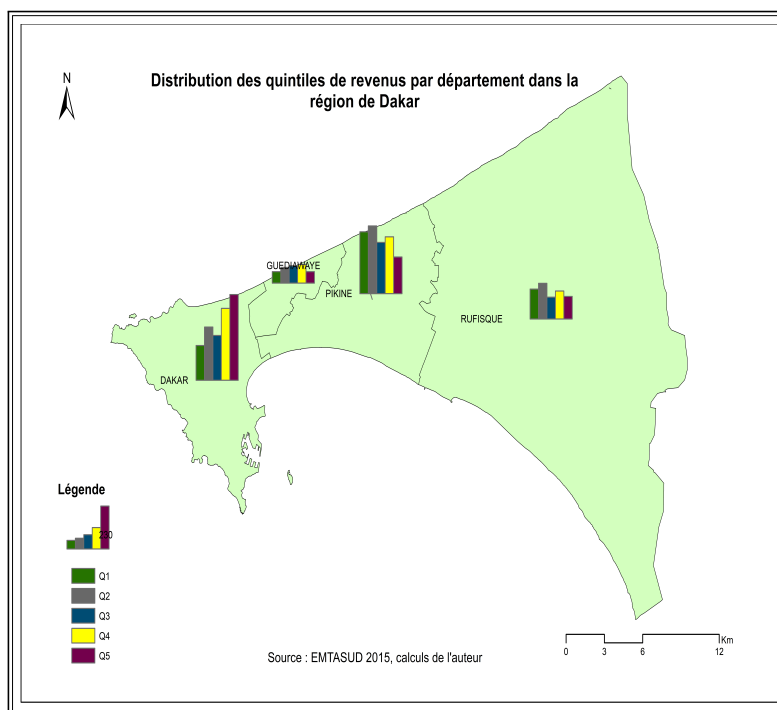
mode	durée		coût			
	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type		
intermodal	40.949	22.015	324.573	272.298		
TC	35.842	19.269	383.186	240.379		
VP	40.357	21.815	706.649	208.421		
mode	revenu		nbVPmen		TATC	
	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
intermodal	157495.70	20976.30	0.13	0.39	7.47	5.79
TC	182526.00	25572.00	0.14	0.45	5.71	4.29
VP	378439.90	51757.50	1.16	0.79	3.25	7.18

Source : EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

Répartition des revenus et des modes de déplacements selon le lieu de résidence

Le revenu est une variable déterminante de passage d'un mode de déplacement à un autre. Il constitue aussi une variable de discrimination spatiale. Les plus riches ont tendances à habiter une agglomération et les moins riches une autre.

Figure 2.1 – Répartition des revenus selon le lieu de résidence

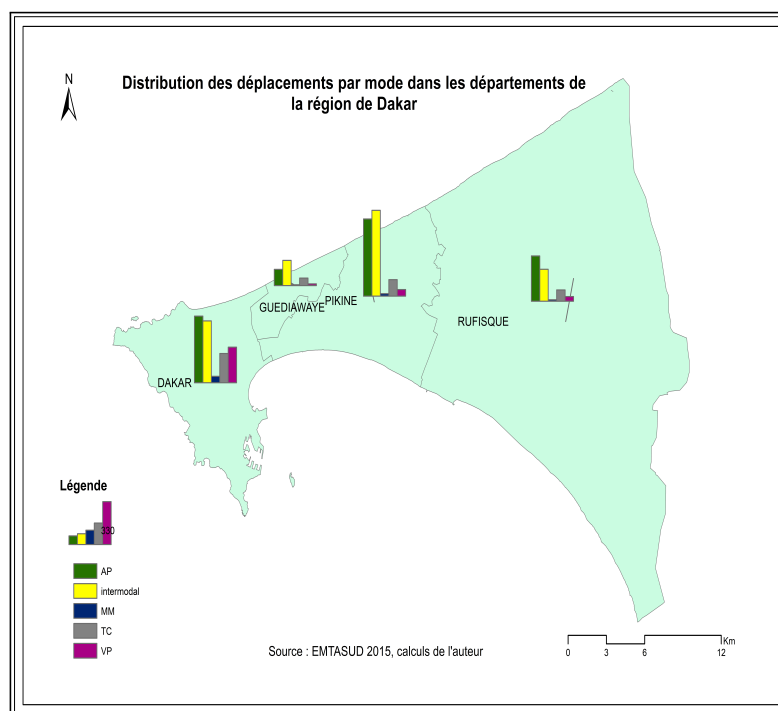


Source : Enquête EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

Comme l'illustre la figure III.1, l'histogramme des quintiles est ascendant dans le département de Dakar, descendant dans le département de Pikine, les derniers quintiles dépassant largement les précédents. Cela veut dire que les 20 à 40% les plus riches de la population de la région de Dakar sont surtout plus concentrés dans le département de Dakar, le département de Pikine vient en deuxième position. Les quintiles sont moins représentés dans les départements de Guédiawaye et de Rufisque. Les 10% les moins riches de la population de Dakar sont plus présents à Pikine qu'aux autres départements.

On observe (figure III.2) que, dans la région de Dakar, les déplacements à pieds et les déplacements intermodaux sont de loin les plus fréquents. Ces deux types de déplacement sont plus prépondérants à Pikine qu'à Dakar où la fréquence des déplacements en mode VP dépasse largement celle des autres départements.

On peut dire qu'à Pikine où sont concentrées les populations les moins aisées en terme de revenus, les modes de déplacements empruntés habituellement les plus fréquents sont ceux des déplacements intermodaux et des déplacements à pieds. Au département de Dakar, où les 20% les plus riches de la région sont très représentés, la part des déplacements en mode VP est plus important que dans les autres départements. Le caractère

Figure 2.2 – Répartition des revenus selon le mode de déplacement

Source : Enquête EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

mitigé des choix de déplacement semble être plus manifeste dans le département de Dakar.

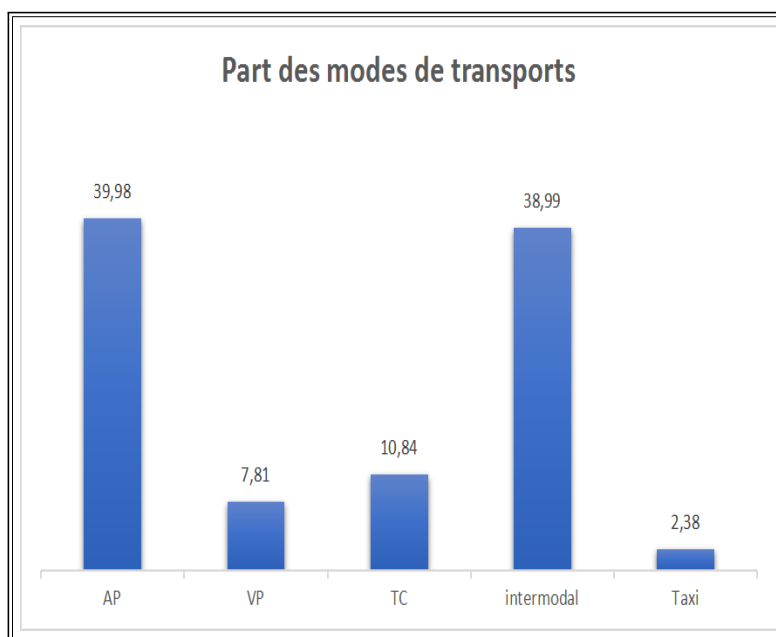
La section suivante regarde la prépondérance d'une fonction de travail ou d'un secteur de travail selon le mode de déplacement emprunté habituellement.

Prépondérance des fonctions de travail et des secteurs de travail selon le mode de déplacement

La sensibilité des choix modaux au changement des caractéristiques des alternatives peut différer en fonction du revenu ou de la fonction de travail. Par exemple, les ouvriers peuvent être plus sensible au prix des transports que les employeurs en raison des différences de revenus pour certains. De même, par leur localisation, l'accessibilité de certains secteurs peut avoir un impact sur les choix de transports. D'abord, la part des modes de transports empruntés habituellement sont représentés sur la figure 2.3.

La marche à pieds et les déplacements intermodaux sont les plus représentés, ils occupent moins de 80% des déplacements des travailleurs (39,88% pour la marche à pieds et 39,58% pour les déplacements intermodaux). Les Taxi sont représentés de manière très faible dans les alternatives(2,38%) .

La figure 2.4 représente la répartition des secteurs de travail selon l'alternative de trans-

Figure 2.3 – Part des modes empruntés habituellement par les travailleurs

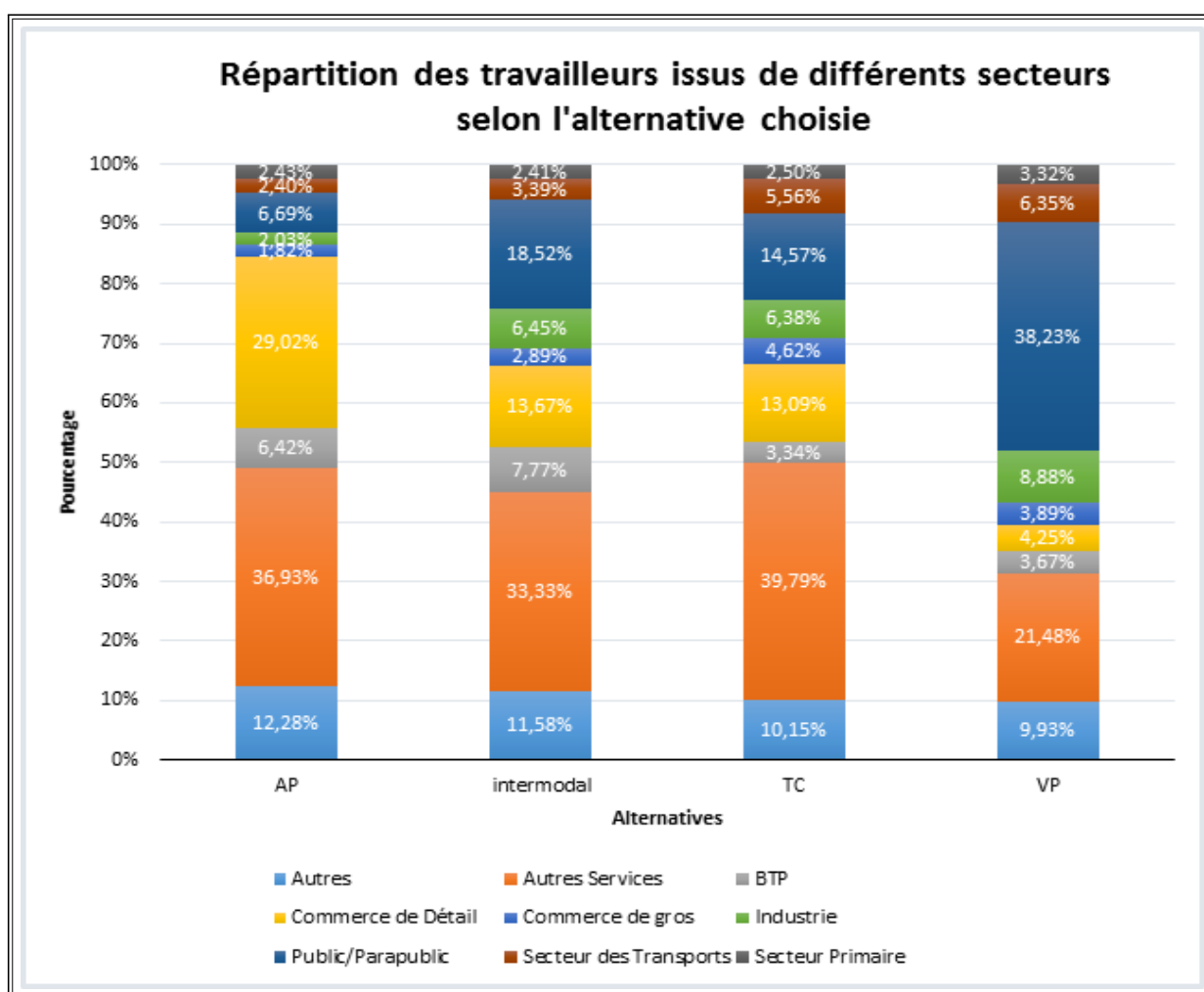
Source : Enquête EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

port choisie. La majorité des déplacements à pieds sont effectués par les travailleurs du secteur des Autres Services (36,93%) et du secteur du commerce et détails (29,02%). Aussi, les travailleurs du secteur des Autres Services occupent une bonne partie des déplacements à trajet unique effectués avec les modes TC (39,79%) et des déplacements intermodaux (33,33%). Par contre, les déplacements effectués avec un véhicule particulier sont choisis en grande partie par les travailleurs du secteur public et parapublic (38,23%) et le secteur des Autres Services (21,48%)

Après avoir dressé la répartition des travailleurs issus de différents secteurs selon le choix effectué d'une alternative donnée, il serait intéressant de voir la répartition (voir Figure III.5), cette fois-ci, des travailleurs de différentes fonctions de travail selon le choix de l'alternative. Les fonctions de travail sont souvent classées selon le revenu perçu ou le niveau d'éducation. Elles peuvent déterminer le mode de transport emprunté du domicile au lieu de travail.

La répartition des travailleurs de différentes fonctions de travail semble dépendre des modes de déplacement empruntés. Plus de la moitié des déplacements à pieds sont effectués par les indépendants (50.35%), ce même catégorie de travailleurs effectue 29.58% des déplacements intermodaux et 28.51% des déplacements à trajet unique effectués avec un TC. Une bonne partie des déplacements à trajet unique avec un VP sont effectuée par les cadres supérieurs ou ingénieurs (32.32%) alors que les cadres moyens et les employés ouvriers qualifiés couvrent respectivement 19.35% et 16.72% de ce type de déplacement.

Figure 2.4 – Répartition des secteurs de travail selon l'alternative choisie



Source : Enquête EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

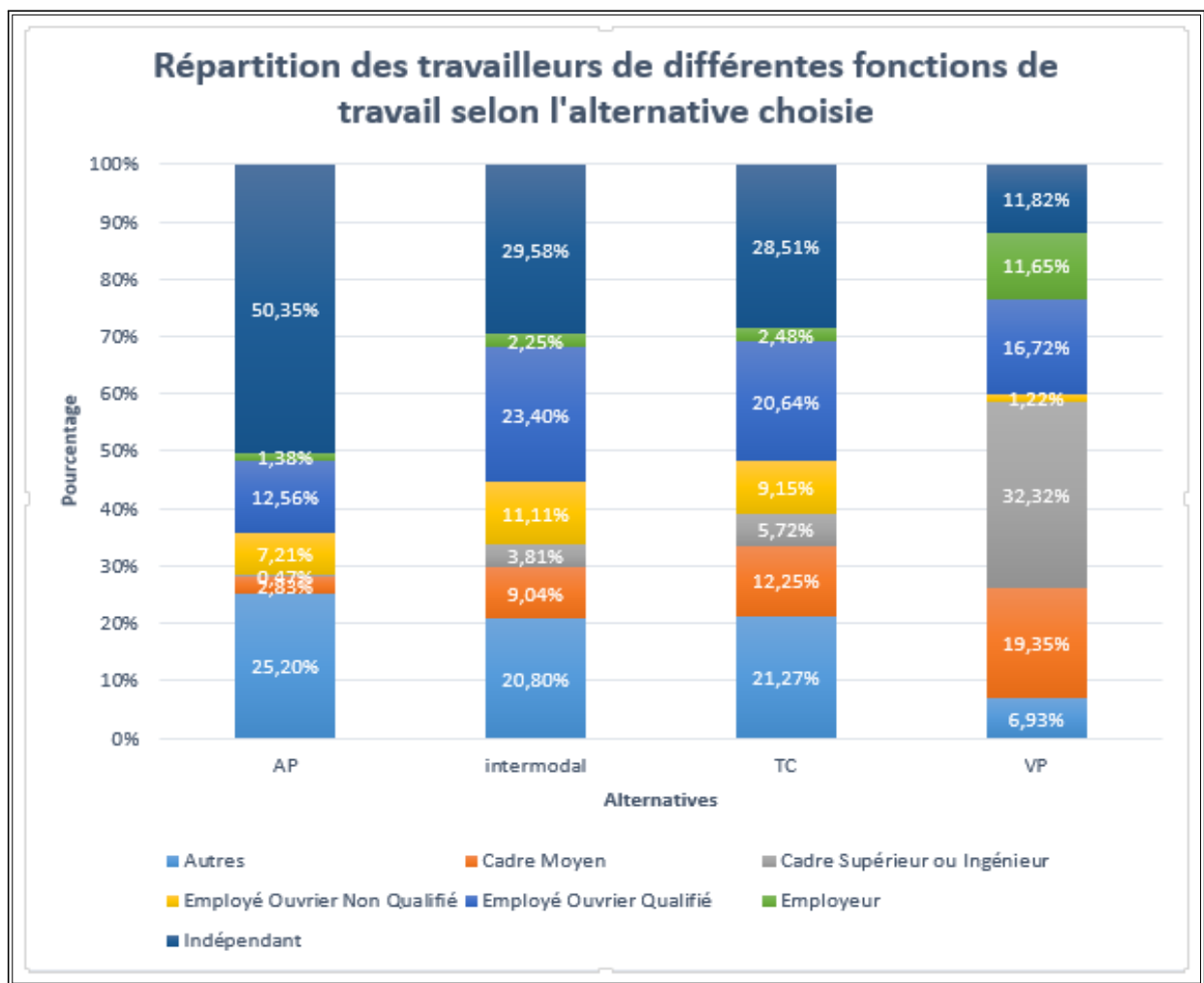
L'on constate, dans cette analyse descriptive, des choix de déplacements qui sont plus représentés que d'autres selon le lieu de résidence des travailleurs. Pour un choix de déplacement habituel, un secteur de travail ou une fonction de travail peut être plus prépondérant qu'un autre. Ceci rend compte des spécificités des choix observés en ce qui concerne leur raison ou motif ou, en tout cas, leurs explications par la fonction de travail, par le secteur de travail ou par le lieu de résidence.

Ces variables, entre autres, constituent les variables de prévisions des choix modaux dans notre modèle logit multinomial dont les résultats d'estimations font l'objet de la section suivante.

2.3 Résultats de l'estimation du modèle

Pour estimer un modèle Logit multinomial il faut distinguer 5 catégories de variables selon la littérature :

Figure 2.5 – Répartition des fonctions de travail selon l'alternative choisie



Source : Enquête EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

- les caractéristiques qui varient selon les individus et les alternatives dont les coefficients estimés dans le modèle sont constants ;
- les caractéristiques qui sont spécifiques aux alternatives dont les coefficients sont constants ;
- les caractéristiques spécifiques aux alternatives à coefficient variant selon l'alternative ;
- les caractéristiques variant selon les individus et les alternatives dont les coefficients changent selon l'alternative ;
- les caractéristiques spécifiques aux individus qui influencent la variance des erreurs.

Considérant ces points importants la fonction d'utilité du modèle est établie comme suit :

$$U_{nj} = \alpha_j + \beta' \text{coutest}_{jn} + \theta'_j \text{dureest}_{jn} + \Gamma'_j X_n + \epsilon_{jn} \quad (2.1)$$

Les coûts de déplacements affectent les travailleurs de la même façon. Par contre, les durées de déplacement n'ont pas les mêmes effets sur les travailleurs selon le mode de déplacement choisi.

En effet, on peut considérer que pour un individu, dépenser 500 francs lors d'un déplacement en mode TC, c'est la même chose que de le dépenser lors d'un déplacement en mode VP. Donc, le coût est égale à lui-même au regard de la satisfaction individuelle. Par contre, pour un individu, il est vraisemblable que passer 10 minutes dans un bus de transport en commun est différent de passer 10 minutes dans un VP avec tout le confort qu'il peut procurer. Aussi, le même raisonnement peut être tenu en considérant le coût de déplacement. En fait, pour des déplacements de durées égales, on peut mieux accepter le fait de perdre 1000 francs lors d'un déplacement en mode VP que le fait de perdre la même somme lors d'un déplacement en mode TC. En conséquence, les variables caractéristiques des alternatives (coût et durée du transport) peuvent ne pas être estimées de la même façon. Différentes spécifications du modèle Logit multinomial en tenant compte des possibilités citées ci-dessus ont abouti à différentes estimations du coût et de la durée de déplacement. La spécification qui correspond à des coûts et durées significatifs dans le modèle a été retenue dans cette étude. Ainsi, les coûts du transport sont considérés comme spécifiques aux alternatives mais ses coefficients restent constants, la durée du transport, elle, a ses coefficients qui varient selon les alternatives.

- α_j , θ'_j et Γ'_j varient avec les alternatives
- β' est un coefficient générique (ne varie pas)
- X_n est le vecteur de caractéristiques socioéconomiques spécifiques aux travailleurs
- Les ϵ_{jn} sont les erreurs aléatoires suivant une loi de Gumbel (ou une distribution des valeurs extrêmes de type 1 précisée plus haut)

Les variables¹ prises en compte dans l'estimation du modèle sont présentées dans la figure III.5

Les coefficients estimés du modèle pour le mode TC (Tableau III.2) sont dans l'ensemble satisfaisantes. La variable d'interaction TF :Age (variable d'interaction entre la Fonction de travail et l'âge) est significatif dans l'ensemble alors que la variable d'interaction TD30J : *AbonTC* est significatif seulement pour la modalité *OUI* de *AbonTC*. L'utilisateur tire une plus grande satisfaction à abonner à un mode de transport en commun lorsqu'il travaille plusieurs jours dans le mois et emprunte habituellement un mode de

1. Les déplacements à pieds ne sont pas pris en compte dans le modèle. L'estimation du modèle avec ces derniers ne permet pas un excellent ajustement (jugé par le pseudo- R^2 de Mc Fadden) et, en plus, dans ce cas, la capacité du modèle à refléter la réalité est remise en question car sa matrice de confusion renvoie une proportion de prévision correcte trop faible. Les manquements de ce modèle sont dus aux caractères internes des déplacements à pieds. Ce sont des déplacements non motorisés dont les coûts sont nuls, qui ne reflètent aucunes réalités des transports telles que la congestion routière, l'état des routes etc.

Figure 2.6 – Description des variables de prévision du modèle

caractéristiques	Description
Les caractéristiques spécifiques aux individus	
log(Revenu)	le logarithme du revenu de l'individu
TTCS	le stationnement des TC au lieu de travail avec comme modalité OUI, NON et non concerné(NC)
TEV	si le travailleur détient un véhicule dans le cadre de son travail fourni par son employeur (OUI, NON)
TATC	temps mis pour partir du domicile à l'arrêt de TC le plus proche
Permis	si l'individu détient un permis (OUI/ NON)
Sexe	Sexe de l'individu (H/F)
nbreVPmen	nombre de voitures détenues par le ménage
Posimen	la position dans le ménage, chef de ménage ou non (OUI/NON)
FT:Age	une variable d'interaction entre la fonction du travail (FT) et l'âge de l'individu. Les modalités de la fonction de travail : Indépendant (Indep), employeur (Emp), employé ouvrier qualifié (EOQ), employé ouvrier non qualifié (EONQ), cadre moyen (CM), cadre supérieur ou ingénieur (CSupIng) et autres)
TD30J:AbonTC	une variable d'interaction entre le nombre de jours travaillés durant le mois précédent(TD30J) et l'abonnement à un TC (AbonTC)
Les caractéristiques spécifiques aux alternatives	
coutest	le cout estimé du déplacement
duréest	la durée estimée du déplacement
les variables expliquées	
$y_{nj} = \begin{cases} 1 & \text{si TC} \\ 2 & \text{si intermodal} \\ 3 & \text{si VP} \end{cases}$	les choix de transports effectués par les individus

Source : Enquête EMTASUD 2015

transport en commun. La variable d'interaction nbreVPmen : PosiMen est très significatif. Le chef de ménage empruntant habituellement un mode TC est moins satisfait lorsque le nombre de voiture dans le ménage est élevé. Les caractéristiques du mode TC telles que la durée du déplacement (duréest) et le coût de déplacement (coutest) sont aussi significatives. Le temps mis pour partir du domicile à l'arrêt de transport en commun le plus proche (TATC) agit négativement sur l'utilité.

De même que pour le mode TC, les coefficients estimés pour les déplacements intermodaux sont aussi, dans l'ensemble, significatifs. Les déplacements intermodaux sont des déplacements à trajet multiple. Par conséquent les signes des coefficients pour cette alternative ne sont pas aussi prévisibles que pour le mode TC.

L'indice du rapport de vraisemblance reflète la qualité du modèle. Il est de 0.302 alors

Table 2.2 – Coefficients estimés pour le mode TC

variables	coefficient	borne inf	borne sup	erreur	p-value
(intercept)	11.068	7.759	14.377	1.688	0
log(Revenu)	-0.512	-0.768	-0.257	0.13	0
TTCS_NC	0.382	-0.314	1.077	0.355	0.282
TTCS_OUI	-0.691	-1.28	-0.102	0.301	0.022
TEV_OUI	-1.175	-1.725	-0.626	0.28	0
TATC	-0.052	-0.092	-0.012	0.02	0.01
Permis_OUI	-1.448	-1.91	-0.985	0.236	0
Sexe_H	-0.091	-0.526	0.345	0.222	0.684
duréest	-1.408	-1.615	-0.901	0.004	0.024
nbreVPmen :PosiMen_0	-1.811	-2.457	-1.165	0.33	0
nbreVPmen :PosiMen_1	-2.113	-2.506	-1.72	0.2	0
FT_Autres :Age	-0.019	-0.044	0.007	0.013	0.148
FT_CM :Age	-0.029	-0.05	-0.008	0.011	0.008
FT_CSupIng :Age	-0.033	-0.056	-0.011	0.011	0.003
FT_EONQ :Age	0.015	-0.027	0.056	0.021	0.488
FT_EOQ :Age	-0.021	-0.043	0	0.011	0.053
FT_Emp :Age	-0.039	-0.064	-0.014	0.013	0.002
FT_Indep :Age	-0.017	-0.037	0.003	0.01	0.097
TD30J :AbonTC_NON	0.005	-0.034	0.045	0.02	0.794
TD30J :AbonTC_OUI	0.117	0.045	0.190	0.037	0.001
coutest	-0.105	-0.130	-0.110	0.002	0.064
VP :duréest	-2.715	-6.005	-1.022	0.004	0.000
L(0)	-2212				
L($\hat{\beta}$)	-1367,878				
R² Mc Fadden	0.30202				

Source : EMTASUD 2015, calculs de l'auteur

qu'un indice compris entre 0.2 et 0.4 reflète un excellent² ajustement du modèle.

La capacité du modèle à refléter la réalité des choix est mesurée grâce à la matrice de confusion établit par Mc Fadden (1998) (Tableau III.4). Le modèle prédit correctement 1848 déplacements sur 2475 soit 74,26% des déplacements. La proportion de prévision correcte la plus faible est celle des TC (56.25%). En effet, en comparant la reproduction du partage modale prédit par le modèle entre le mode TC et le mode de déplacement intermodal, on note un transfert de 470 déplacements sur 502 au profit de la dernière

2. L'interprétation du Pseudo- R^2 de Mc Fadden entre 0.2 et 0.4 vient de son ouvrage «Behavioural Travel Modelling». Dans la discussion concernant l'évaluation du modèle logit multinomial dans le chapitre 15 intitulé : «Quantitative Methods for Analyzing Travel Behaviour on Individuals : Some Recent Developments», il stipule que : «while the R2 index is a more familiar concept to planner who are experienced in OLS, it is not as well behaved as the rho-squared measure, for ML estimation. Those unfamiliar with rho-squared should be forewarned that its values tend to be considerably lower than those of the R2 index (...). For example, values of 0.2 to 0.4 for rho-squared represent EXCELLENT fit» (Amemiya, 1989)

Table 2.3 – Coefficient estimé pour les déplacement intermodaux

variables	coefficient	borne inf	borne sup	erreur	p-value
(intercept)	12.901	9.717	16.084	1.624	0
log(Revenu)	-0.611	-0.856	-0.366	0.125	0
TTCS_NC	0.059	-0.601	0.719	0.337	0.86
TTCS_OUI	-0.935	-1.484	-0.385	0.28	0.001
TEV_OUI	-1.605	-2.096	-1.114	0.251	0
TATC	0.017	-0.017	0.051	0.017	0.334
Permis_OUI	-1.645	-2.071	-1.218	0.218	0
Sexe_H	0.31	-0.103	0.724	0.211	0.141
duréest	1.601	-0.001	0.012	0.003	0.072
nbreVPmen :PosiMen_0	-1.086	-1.54	-0.631	0.232	0
nbreVPmen :PosiMen_1	-2.185	-2.525	-1.846	0.173	0
FT_Autres :Age	-0.007	-0.031	0.017	0.012	0.582
FT_CM :Age	-0.029	-0.049	-0.009	0.01	0.004
FT_CSupIng :Age	-0.03	-0.05	-0.01	0.01	0.004
FT_EONQ :Age	0.023	-0.017	0.064	0.021	0.263
FT_EOQ :Age	-0.014	-0.034	0.006	0.01	0.173
FT_Emp :Age	-0.034	-0.057	-0.012	0.012	0.003
FT_Indep :Age	-0.011	-0.029	0.008	0.01	0.271
TD30J :AbonTC_NON	-0.024	-0.062	0.013	0.019	0.199
TD30J :AbonTC_OUI	0.074	0.003	0.144	0.036	0.04
coutest	-0.105	-0.130	-0.110	0.002	0.064

Source : EMTASUD 2015, calculs de l'auteur

alternative. Cela laisse supposer la possibilité de substitution entre ces deux alternatives qu'on explique par le fait que les déplacements intermodaux sont, en général, une cumulation des déplacements à trajet unique effectués en mode TC. Les trajets uniques en mode TC peuvent être des équivalents à des trajets multiples, effectués en mode TC, en termes de coût et de durée de déplacement.

Au vu de cette analyse, l'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes pourrait ne pas être vérifiée par les données. Ainsi, nous avons effectué des tests³ sur une éventuelle hétéroscédasticité des erreurs. Plusieurs tests permettent de vérifier l'hypothèse d'IIA. Le test de Hausmann Mc Fadden, le test de Wald, du Score et du rapport de vraisemblance ont été effectué pour ce modèle. Les trois derniers tests sont équivalents et permettent de vérifier l'hypothèse nulle de non autocorrélation des termes d'erreurs alors que le test de Hausmann Mc Fadden basé sur les sous-ensembles de choix possibles permet de vérifier l'hypothèse nulle de la propriété d'IIA du modèle. Les p-values obtenus pour ces tests sont donnés dans le tableau III.5 et le tableau III.6.

Table 2.4 – Matrice de confusion relative au modèle

Reference						
Prédiction	VP	TC	intermodal	total choix prédit	% prévision correcte	
VP	284	23	45	352	80.68%	
TC	2	9	5	16	56.25%	
intermodal	92	470	1545	2107	73.33%	
total choix observé	378	502	1595	2475		

Table 2.5 – tests d'autocorrélation

tests	Wald	Score	Rapport de vraisemblance
statistiques	159.652	94.905	77.319
p-value	0.06039	0.05876	0.07065

Table 2.6 – Tests de Hausmann Mc Fadden

Tets	statistiques	df	p-value	hypothèse alternative	sous-ensemble de choix
test 1	-43549	20	0.899	IIA rejetée	TC, intermodal
test 2	-46.308	20	0.689	IIA rejetée	VP, intermodal
test 3	-28.092	20	0.587	IIA rejetée	TC, VP

Source :EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

Aucun des tests ne rejettent l'hypothèse nulle de non autocorrélation à 5%. Le test de l'hypothèse IIA de Hausmann Mc Fadden a eu des résultats satisfaisants selon tous

3. Les tests de Wald, du Score et du rapport de vraisemblance permettent de rejeter ou pas l'hypothèse de non autocorrélation des termes d'erreurs. Les outils de tests sont formulés dans l'Annexe

les sous-ensembles de choix. Le modèle, dans l'ensemble, montre une bonne capacité à refléter la réalité par le biais de la matrice de confusion établie par Mc Fadden. Par la suite, nous supposerons que l'hypothèse d'IIA est vérifiée. Le chapitre suivant va ainsi utiliser le modèle établi pour aboutir aux différents objectifs que s'est fixée cette étude.

Tests de politiques économiques et simulation des partages modaux

Dans ce chapitre, on a utilisé le modèle estimé pour calculer des indices¹ aidant à la prise de décision dans le cadre du secteur du transport. Nous avons procédé, d'abord, à la mesure de la sensibilité des choix modaux des travailleurs au changement des caractéristiques socioéconomiques de ces derniers mais aussi des caractéristiques spécifiques aux alternatives de déplacement telles que le coût et la durée de déplacement. Par la suite, nous avons testé différents scénarios de politiques de transfert vers des modes de transport en commun. Les simulations des partages modaux qui ont découlé de ces changements nous permettent d'apprécier davantage l'impact de ces politiques. Ainsi, ces évaluations permettent d'apporter des éléments de réponses pour les preneurs de décisions quant aux impacts des politiques de transfert vers des modes de transports en commun. Enfin, l'objectif de ces politiques étant l'amélioration du bien-être, les effets sur le bien-être sont évalués en termes monétaire.

3.1 Mesure des effets marginaux

Les effets marginaux nous permettent de mesurer la sensibilité des choix modaux au changement des caractéristiques soit des alternatives, soit des usagers. Ils mesurent l'effet sur les probabilités de choix d'un individu moyen suite à la variation d'une variable déterminante de sa satisfaction, toute chose étant égale par ailleurs. Les effets des variables spécifiques aux alternatives tels que le coût et la durée puis l'effet du revenu sont évalués dans le tableau IV.1.

Les signes des variations de probabilité de choix d'un déplacement sont satisfaisants. Dans l'ensemble, les effets dus au coût des déplacements sont assez faibles comparés aux effets de la durée de déplacement et du revenu sur la probabilité de choix. L'effet sur la probabilité de choix de l'augmentation du coût des déplacements en mode VP

1. L'ensemble des indices calculés dans ce chapitre constitue les outils d'interprétation du modèle. La formulation de ces outils sont présentés dans l'Annexe

Table 3.1 – Les effets marginaux du coût, de la durée et du revenu

	VP	TC	intermodal
coutest(VP)	-0.014	0.029	0.029
coutest(TC)	0.153	-0.163	0.153
coutest(intermodal)	0.184	0.184	-0.261
duréest(VP)	-0.527	0.313	0.313
duréest(TC)	0.686	-0.572	0.686
duréest(intermodal)	0.653	0.653	-0.357
Revenu	0.173	0.124	-0.139

EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

de 10% est une diminution de la probabilité de choix de ce mode de 0.14% en faveur des déplacements intermodaux et des déplacements en mode TC dont les probabilités augmentent, de la même proportion², de 0.29%. Une Augmentation de 10% de la durée des déplacements en mode TC implique une diminution de la probabilité de choix de ce mode de 5.72% et une diminution des probabilités de choix des autres alternatives de 6.86%. Si on augmente de 10% la durée des déplacements en mode VP, il s'ensuit une baisse de la probabilité de choix de ce mode de 5.27% mais aussi une baisse de la probabilité des autres alternatives de 3.13%. Quand le revenu passe à son double, la probabilité de choix du mode VP et du mode TC augmente respectivement de 17% et de 12.4% alors que la probabilité de choix d'un déplacement intermodal baisse de 13.9%. L'on peut donc dire qu'une augmentation du revenu des travailleurs se traduit par une préférence pour la voiture pour les déplacements du domicile au lieu de travail mais aussi des modes TC de déplacement à trajet unique.

On remarque que le revenu est une caractéristique dont les effets sont assez sensibles au choix. Ainsi, nous avons divisé la population en trois sous-groupes³ : un sous-groupe caractérisé par un niveau de revenu élevé, un sous-groupe caractérisé par un niveau de revenu moyen et un dernier sous-groupe caractérisé par un niveau de revenu faible. Les résultats des élasticités calculés au niveau de l'individu moyen de chaque sous-groupe sont présentés dans le tableau IV.2.

Les élasticités calculées selon les groupes montrent que, globalement, les effets de la variable *coutest* sont moins importants que les effets de la variable *duréest*. Ceci témoigne de la prépondérance de la durée de déplacement dans l'explication des choix modaux.

2. Ceci est une propriété fondamentale du modèle logit multinomial, elle découle d'une hypothèse inhérente au modèle : l'hypothèse IIA. Donc elle constitue une autre manifestation empirique de cette hypothèse

3. Les sous-groupes créés ont leurs revenus tels que :

- Premier sous-groupe de revenu faible : $Revenu \leq 70000$
- Deuxième sous-groupe de Revenu moyen : $70000 < Revenu \leq 200000$
- Troisième sous-groupe de revenu élevé : $Revenu > 200000$

Table 3.2 – Elasticités selon le revenu des travailleurs

	Groupe I (Revenu faible)			Groupe II (Revenu moyen)		
	VP	TC	intermodal	VP	TC	intermodal
<i>coutest (VP)</i>	-0.4309	0.3205	0.3205	-0.3769	0.2105	0.2105
<i>coutest (TC)</i>	0.0104	-0.0313	0.0104	0.0114	-0.0393	0.0114
<i>coutest(intermodal)</i>	0.0304	0.0304	-0.0211	0.0204	0.0204	-0.0161
<i>duréest(VP)</i>	-0.2218	0.2103	0.2103	-0.3148	0.3101	0.3101
<i>duréest (TC)</i>	0.3536	-0.2007	0.3536	0.4664	-0.3807	0.4664
<i>duréest(intermodal)</i>	0.4523	0.4523	-0.5057	0.3703	0.3703	-0.4023
<i>Revenu</i>	0.1664	0.1546	-0.1238	0.2564	0.1246	-0.1047
	Groupe III (Revenu élevé)					
<i>coutest(VP)</i>	-0.1709	0.1008	0.1008			
<i>coutest(TC)</i>	0.0124	-0.0211	0.0124			
<i>coutest(intermodal)</i>	0.0104	0.0104	-0.0111			
<i>duréest(VP)</i>	-0.6168	0.4116	0.4116			
<i>duréest(TC)</i>	0.1364	-0.2607	0.1364			
<i>duréest(intermodal)</i>	0.2029	0.2029	-0.3157			
<i>Revenu</i>	0.3964	-0.2647	-0.1930			

EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

L'effet du revenu se traduisant à une préférence pour le déplacement en voiture est de plus en plus faible lorsque le revenu diminue. On constate que, contrairement à ce qui se passe de manière globale, l'effet de l'augmentation du revenu sur les probabilités de choix des travailleurs à niveau de revenu élevé se traduit totalement par une préférence pour le mode VP. Cela montre que, globalement, le recours à la voiture pour les déplacements du domicile au lieu de travail, lorsque le revenu augmente, est moins probable lorsque cela concerne les travailleurs ayant un revenu faible par rapport aux autres que lorsqu'il s'agit des travailleurs ayant un revenu assez élevé. Tandis qu'une augmentation du revenu pour les travailleurs à revenus faibles et moyens se traduit par une préférence pour le TC et pour le VP (augmentation des probabilités de choix de ces modes), une augmentation du revenu pour les travailleurs à revenus élevés se traduit seulement par une préférence pour la voiture particulière. Cela veut dire que quand le revenu est suffisamment élevé il y a de forte chance que le travailleur se déplace en mode VP. A un niveau de revenu plus bas, la préférence pour le TC suite à l'augmentation du revenu peut être expliquée, par exemple, par le choix d'un déplacement à trajet unique dans un «Taxi» plus confortable au détriment d'un déplacement intermodal moins confortable. Par ailleurs, l'augmentation du coût des déplacements en mode VP semble agir le moins en faveur des autres alternatives lorsque le revenu des travailleurs, globalement, est assez élevé. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les coûts des déplacements en voiture des travailleurs, pour certains, ne sont pas supportés par eux-mêmes, ils le sont, par exemple, par l'entreprise pour laquelle ils travaillent. L'augmentation de la durée des déplacements

en mode VP a un effet maximum (en valeur absolue) sur les travailleurs à revenu élevé (-0.6, 0.4 et 0.4). Par contre, les effets de la durée de déplacement en mode TC et des déplacements intermodaux sont plus importants au niveau des travailleurs à revenu moyen et des travailleurs à revenu faible. Ainsi, On peut dire que les effets de la durée de déplacement en mode transport en commun -à trajet unique ou multiple- affectent plus les travailleurs à niveau de revenus moyen ou assez faible. Cela peut être dû à la proportion plus grande des travailleurs à niveau de revenu moyen voir faible empruntant ces modes.

L'utilité de faire un modèle est, aussi, de pouvoir par la suite tester des politiques économiques. Les modèles, même s'ils sont une simplification de la réalité, restent un outil efficace car s'appuyant sur des théories économiques solides.

3.2 Scénarios et simulations des partages modaux

Les scénarios proposés dans cette partie sont basés sur des changements des coûts de déplacements, des durées de déplacements ou de la combinaison des deux, ils sont conçus sur la base des perspectives de transfert vers des modes de transports en commun. Les différents scénarios sont présentés dans l'Encadré 3. Ces différents scénarios sont testés avec le modèle et les simulations⁴ des partages modaux qui en découlent sont présentées dans le tableau IV.3.

Scénario de politiques économiques

- Scénario 1 : Réduction du temps de transport des TC de 30%
- Scénario 2 : Réduction du temps de transport des TC de 50%
- Scénario 3 : Réduction du temps de transport des TC de 50% et augmentation du coût de transport des TC de 30%
- Scénario 4 : Augmentation du coût de transport des VP de 20% et diminution du coût de transport des TC de 20%
- Scénario 5 : Augmentation du coût de transport des VP de 20% et diminution de la durée des transports des TC de 30%

Il est intéressant de constater qu'une réduction de 30% de la durée des déplacements

4. La diminution du temps de transport des TC est à l'image des politiques de réduction du coût en temps des nouvelles offre de transport à Dakar tel que le BRT qui prévoit de réduire la durée des parcours de moitié en moyenne.

Table 3.3 – Simulation des partages modaux selon les scénarios de politique

	VP	TC	intermodal	
		partage modale		total
<i>situation de référence</i>	378	502	1595	2475
<i>scénario 1</i>	374	540	1561	2475
<i>scénario 2</i>	371	566	1538	2475
<i>scénario 3</i>	336	571	1533	2475
<i>scénario 4</i>	380	499	1597	2475
<i>scénario 5</i>	375	539	1561	2475
	écart (%) par rapport à la référence			
<i>scénario 1</i>	-1.10%	7.50%	-2.10%	
<i>scénario 2</i>	-1.80%	12.80%	-3.60%	
<i>scénario 3</i>	-11.00%	13.80%	-3.90%	
<i>scénario 4</i>	0.40%	-0.70%	0.10%	
<i>scénario 5</i>	-0.70%	7.40%	-2.20%	

EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

en mode TC se traduit par une augmentation du partage modal en faveur des déplacements à trajet unique en mode TC de 7.5% et une diminution de la durée de transport de moitié pour ce même type de déplacement augmenterait le partage modal pour ce mode de 12.8%. Si on décide, simultanément, de réduire la durée du transport en mode TC de moitié et d'augmenter les coûts de déplacements pour ce mode de 30%, le nouveau partage modal qui en découle est une augmentation de la part modal des TC de 13.8% et une diminution de la part modal des VP de 11% et de celle des déplacements intermodaux de 3.9%. Par contre, la réduction du coût des transports en commun de 20% et l'augmentation du coût des transports en mode VP également de 20% n'a pas l'effet escompté. Non seulement les effets ne sont pas importants (Scénario 4, tableau IV.3) mais il tourne en faveur des déplacements intermodaux, cela peut se justifier quand on considère la possibilité de substitution entre les alternatives TC et intermodal. Enfin, la politique qui consiste à augmenter le coût des transports en mode VP de 20% et à diminuer la durée des transports en mode TC de 30% penche aussi en faveur des déplacements pour ce dernier mode avec une augmentation de sa part modal de 7.4%. Les deux premiers politiques qui modifient la variable «durée du trajet» pour le mode TC, montrent qu'elle est une variable clé des déplacements des travailleurs du domicile au lieu de travail avec ce mode. En effet, les distances allongées du domicile au lieu de travail, la congestion routière à l'heure de pointe du matin, le temps d'attente des bus, etc. sont des variables qui agissent sur la durée de déplacement de ce mode de transport. La troisième politique testée montre que les travailleurs empruntant le mode TC sont favorables à l'augmentation du coût de transport pour ce mode au profit d'un gain de temps important. Cette politique est à l'image du projet d'une nouvelle offre de transport innovant comme celui du TER à Dakar. Le scénario 5 qui agit sur la combinaison du

coût de déplacement en mode VP et la durée de déplacement en mode TC a un effet qui se révèle fructueux pour les déplacements en mode TC. Cependant, ce dernier scénario, en comparaison avec le scénario 3 qui agit sur les variables qui sont seulement spécifiques à l'alternative TC, a un effet moins important en faveur du mode TC. Ceci peut s'expliquer par une élasticité-coût direct de la probabilité de choix d'un déplacement en voiture assez faible en général (-0.004). L'objectif réel des politiques économiques dans le cadre des transports étant d'améliorer le bien-être des usagers, nous abordons une dernière partie consacrée à l'évaluation du bien-être suite aux différentes modifications sur les variables spécifiques aux alternatives comme le suggèrent les différents scénarios considérés. Ensuite, les valeurs du temps associés aux différents modes de déplacement font l'ont calculées dans la dernière section.

3.3 Evaluation du bien-être et de la valeur du temps relative aux différentes alternatives

3.3.1 Evaluation du bien-être ou fonction de surplus selon les différents scénarios de politiques

L'amélioration du bien-être est le gain de surplus associé à chaque travailleur suite à la modification des variables déterminantes de la satisfaction de ces derniers dans le cadre des déplacements du domicile au lieu de travail. Pour chaque scénario, la variation de surplus est calculée pour chaque individu. Un résumé de ces variations est présenté dans le tableau IV.4. L'amélioration du bien-être de tous les travailleurs est effective pour tous les scénarios à l'exception du scénario 4. Les scénarios 1, 2, et 3 montrent davantage la prépondérance des durées de déplacements dans les choix modaux des travailleurs lors des déplacements du domicile au lieu de travail. Par contre, le scénario 4, basé sur une modification des coûts de déplacements en mode TC et VP se révèle inefficace en termes d'amélioration du bien-être car au moins 75% des travailleurs ont subi une diminution de leur bien-être au vu des résultats. Cela témoigne davantage de l'inefficacité des coûts face aux durées de déplacements pour moduler la demande de transport lors des déplacements du domicile au lieu de travail.

Table 3.4 – Variation de fonction de surplus

variation de fonction de surplus						
Scénarios politiques	min	Q1	median	moyenne	Q2	max
scénario 1	0.52	96.48	160.12	167.13	326.78	669.87
scénario 2	0.73	164.3	252.33	287.63	330.16	1156.98
scénario 3	0.78	181.45	298.08	311.09	421.94	1249.9
scénario 4	-178.06	-13.65	-7.2	-1.72	-1.53	438.53
scénario 5	4.49	109.67	167.95	178.81	232.58	643.05

EMTASUD 2015, Calculs de l'auteur

Conclusion générale

Le secteur des transports au Sénégal n'a pas cessé de se transformer et d'évoluer à la guise des exigences politiques nationales mais aussi internationales et des enjeux économiques et sociodémographiques du pays depuis l'indépendance. L'avènement de la privatisation du secteur, lors des vagues d'ajustements structurels imposés par la Banque Mondiale (BM) et l'urbanisation forte de Dakar des dernières décennies y ont joué un rôle prépondérant. Ce phénomène d'urbanisation combiné au déséquilibre entre l'offre et la demande de transport est à l'origine des problèmes de congestion routière, d'infrastructure routière, de pollution par les gaz d'échappement des véhicules, d'application des normes de pollution etc. Ces deux derniers, sous la pression de l'application des Objectifs du Développement Durable (ODD), sont tenus d'être résolus notamment par des politiques de transfert vers des modes de transport en commun qui respectent les règles de pollution internationales. Par ailleurs le désajustement spatial à Dakar qui se matérialise par le confinement des activités au département de Dakar a fait naître un type de déplacement «pendulaire» des travailleurs de leurs lieux de résidence - dans les zones, en général, moins actives voir même inactives des banlieues - vers les zones concentrées de Dakar - à Dakar-plateau, par exemple, où se retrouvent la quasi-totalité des services administratifs publics -. Les travailleurs sont, ainsi, exposés aux aléas des transports de tous les jours - surtout pour ceux habitants des zones des banlieues éloignées du centre-ville telles que Pikine ou Rufisque -. Ceci peut affecter leur productivité car occasionnant l'absentéisme et le retard au sein des lieux de travail. Cette étude s'est donc articulée de tel sorte à pouvoir apporter des éléments facilitant la prise de décision pour moduler les impacts du système de transport sur les travailleurs et la prise de décision concernant les politiques de transfert vers des modes de transport en commun. Si l'intérêt de cette étude est de pouvoir statuer sur des éventuelles politiques économiques dans le secteur du transport, l'objectif est d'abord de comprendre les comportements des travailleurs vis-à-vis des choix de transport. Ceci requiert un fondement microéconomique solide sur lequel s'appuient les analyses comportementales tel que la théorie du consommateur. On assimile, ainsi, les travailleurs comme des consommateurs qui demandent et qui consomment des services de transport. Dans un univers de choix discret tel que les choix des modes de déplacement, les modèles à choix discret, s'appuyant sur la théorie du consommateur, nous assure un fondement solide pour expliquer les comportements des usagers travailleurs vis-à-vis des choix de transport et nous offre des outils d'interprétation très pratiques.

Les résultats ressortis dans cette étude montrent que le revenu est une des caractéristiques majeures des choix de transport des travailleurs du domicile au lieu de travail et ces choix sont sensibles au changement du revenu. Une augmentation du revenu se traduit par une préférence pour le véhicule pour les travailleurs à niveau de revenu élevé mais aussi par une préférence pour les transports en commun à trajet unique pour les travailleurs à revenu moyen voir faible. Les choix modaux des travailleurs sont, en général, plus sensibles à la durée des déplacements qu'au coût engendré par ces déplacements. L'évaluation du bien-être à l'issue des différents tests de politiques semble montrer que la diminution de la durée des déplacements améliore le bien-être. Par contre une politique qui se base sur une seule manipulation des coûts de transports semble ne pas être efficace pour améliorer le bien-être des usagers.

Les limites du modèle

Le travail que nous avons présenté dans ce rapport suit certes des méthodes scientifiquement reconnues, cependant quelques limites sont à signaler. Ces limites sont principalement les suivantes.

- L'inexistence des distances parcourues lors des déplacements n'a pas aidé à l'estimation du coût des déplacements en mode VP qui non seulement doit prendre en compte cette distance mais aussi le type de carburant de la voiture (essence, diesel ou hybride) qui n'est pas pris en compte dans l'EMTASUD.
- L'hypothèse IIA du modèle ne permet pas une certaine substituabilité des modes, or, même si le test de Hausmann Mc Fadden ne la rejette pas, la matrice de prédiction a bel et bien décelé une possibilité de substitution entre le mode TC et le déplacement intermodal.
- Enfin un point non moins important est que les modèles logit multinomial sont estimés souvent, dans la littérature, à partir de préférences déclarées des individus alors que notre modèle est estimé à partir de préférences révélées. Les préférences déclarées permettent de tester des éventualités fictives sur les usagers des transports. De telles méthodes sont adaptées, par exemple, à l'étude, en amont, consacrée à de nouvelles offres de transport telles que le TER ou le BRT à Dakar.

Les recommandations et perspectives de l'étude

En dépit des limites, nous formulons quelques recommandations concernant les politiques économiques de transfert vers des modes de transport en commun.

- Maîtriser la durée des déplacements en mode TC et réduire cette durée de manière importante. Celle-ci aurait un impact plus fort que la manipulation des seuls coûts.

- Rééquilibrer le coût de déplacements et la durée particulièrement si le mode de transport en commun coûte chère.
- Cibler les travailleurs à revenus moyens, notamment aux environs de Pikine et de Rufisque, peut amplifier les effets des politiques de transfert.

Cette étude a analysé le comportement des travailleurs vis-à-vis des choix de déplacements à trajet unique (VP, TC) et trajet multiple (intermodal). Cependant il ne permet pas de déceler la réalité intrinsèque des déplacements intermodaux dans la mesure où elle les aborde sous une forme agrégée. Ce type de déplacement occupe, 39.58% des trajets «domicile-travail», un part très important. Etudier les déplacements sous forme désagrégé, autrement dit, considérer les «boucles» de déplacements (déplacement à trajet multiple) révélerait davantage les réalités de ce type de déplacements dominant dans la zone urbaine de Dakar.

Bibliographie

- AJAY, K. et FANNY, B. (2008). *Coincés dans les embouteillages :Le transport urbain en Afrique*. Banque mondiale, SSATP.
- BAUMSTARK, L., MENARD, C., ROY, W. et YVRANDE-BILLON, A. (2005a). Modes de gestion et efficience des opérateurs dans le secteur des transports urbains de personnes. *HAL, Université Paris1 Panthéon-Sorbonne (Post-Print and Working Papers)*.
- BAUMSTARK, L., MENARD, C., ROY, W. et YVRANDE-BILLON, A. (2005b). Modes de gestion et efficience des opérateurs dans le secteur des transports urbains de personnes. *HAL, Université Paris1 Panthéon-Sorbonne (Post-Print and Working Papers)*.
- BERGSTAD, Jakobsson, C. (2004). Motivational and volitional control of private automobile use : the effectiveness of transport policies.
- BRUNO S., F. et ALOIS, S. (2002). What can economists learn from happiness research ? *Journal of Economic Literature*, 40(2):402–435.
- CHARLES, F., M. (2001). Daniel mcfadden and the econometric analysis of discrete choice. *Journal of Economic Literature*, 103(2):217–229.
- CHRISTIADI et CUSHING, B. (2007). Conditional logit, iia, and alternatives for estimating models of interstate migration. Working Papers Working Paper 2007-04, Regional Research Institute, West Virginia University.
- CLAUDE, M. (2012). L'économie des organisations. page 128.
- DANIEL, M. F. et TRAIN, K. (2000). Mixed mnl models for discrete response. *Journal of applied econometrics*, 15:447–470.
- DAVID A., H. et WILLIAM H., G. (2001). The mixed logit model : The state of practice and warnings for the unwary.
- de RÉDACTION, C. (2013). *Situation Economique et Social du Sénégal*. Agence National de la Statistique et de la Démographie(ANSD).
- DONGO, Remi, K. (1999). *Explication naive de l'accident et prévention*.

- FRIEDRICHS, J., GALSTER, G. et MUSTERD, S. (2003). Neighbourhood effects on social opportunities : the european and american research and policy context. *Housing Studies*, 18(6):797–806.
- GANDIT, M. (2007). *Déterminants psychosociaux du changement de comportement dans le choix du mode de transport : le cas de l'intermodalité*. Thèse de doctorat.
- GHAZOUANI SAMIR, G. M. (1993). Analyse micro-économétrique de la demande de transport urbain pour la ville de tunis. In : *Économie et prévision*, (108):47–62.
- HANDY, S., CAO, J. et MOKHTARIAN, P. (2006). Handy s, cao xy, mokhtarian pl. self-selection in the relationship between the built environment and walking - empirical evidence from northern california. *j am plann assoc.* 2006 ;72(1) :55-74. *Journal of the American Planning Association*, 72:55–74.
- HURLIN, C. et MIGNON, V. (2015). Statistique et probabilités en économie-gestion. Post-Print hal-01411459, HAL.
- IMBENS, G., , NBER et JEFFREY, W. (2007). Discrete choice models. Working papers, Summer Institute 2007 Methods Lectures.
- JEAN-PAUL, TSASA, V. (2010). *Cours d'analyse microéconomique*. CCAM, UNIVERSITE PROTESTANTE AU CONGO.
- JEAN-PIERRE, O. (2000). La mobilité locale : Toujours plus loin et plus vite. *Presses Universitaires de France*, pages 53–68.
- JEFF, T. et MARGARET, G. (1998). Women, motorization and the environment. *International Conference on Time Use, University of Luneberg*.
- JÉRÔME, L., PAPA, S., FRANK, B. et AXEL, B. (2004). Les rues de dakar : Espaces de négociation des transports collectifs. *Presses de Sciences Po*, 32:115–134.
- LANCASTER, K. J. (1966). A new approach to consumer theory. *The Journal of Political Economy*, 74(2):132–157.
- LOUAFI, B., NATHALIE, H. et PASCAL, P. (2015). Mobilité quotidienne des actifs résidant en zones urbaines sensibles et accès à l'emploi : Une analyse économétrique à partir de l'enquête ménages.
- MAISSA, C. et KHAIREDDINE, J. (2012). Evaluation de la valeur du temps de transport : Le cas de la ville de sousse. (690).
- MATTHIES, E., KUHN, S. et KLÖCKNER, C. (2002). Travel mode choice of women. *Environment and Behavior - ENVIRON BEHAV*, 34:163–177.

- MIREILLE, Razafindrakoto eand François, R. (2006). Les dÉterminants du bien-Être individuel en afrique francophone : Le poids des institutions. *De Boeck Supérieur*, (220):191–223.
- NATHALIE, B., ANNE, L. R., CHRISTIAN, L. et MARYVONNE, D. (2001). La mobilité des personnes âgées : analyse des enquêtes ménages déplacements. (54):52–54.
- ONUINFO (2014). Plus de la moitié de la population mondiale vit désormais dans des villes - onu.
- PANAYOTIS F., D., GEORGIOS P., K. et TZANETOS, P. (1997). Modelling the choice of mode and estimation of the value of travel time savings for the case of the rion-antirion suspension bridge in greece. *The Annals of Regional Science*, 31:473–489.
- ROOT, A. et SCHINTLER, L. (1999). Women, motorization and the environment. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 4:353–355.
- SIMMA, A. et AXHAUSEN, K. (2001). Structures of commitment in mode use : A comparison of switzerland, germany and great britain. *Transport Policy*, 8:279–288.
- SOPHIE, M. (2000). *Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion.
- TAKESHI, A. (1981). Qualitative response models : A survey. *Journal of Economic Literature*, 19(4):1483–1536.
- TURNER, J. et GRIECO, M. (2000). Gender and time poverty : The neglected social policy implications of gendered time, transport and travel :.

Annexes

A.1 Annexe 1 : Méthodologie des tests effectués et de validation du modèle

A.1.1 Validation du modèle

L'indice du rapport de vraisemblance ρ^2 ou le pseudo- R^2 de Mc Fadden, présente en général des valeurs nettement inférieures à celles du coefficient de détermination R^2 d'une régression classique. Les valeurs de ρ^2 comprises entre 0.2 et 0.4 correspondent à un excellent ajustement. La formule de calcul du ρ^2 est donnée par : $\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)}$ où $L(\hat{\beta})$ et $L(0)$ sont respectivement le logarithme de la vraisemblance au maximum et au point où tous les coefficients sont supposés nuls sauf la constante.

La propension du modèle à reproduire les comportements observés est mesuré par la table de succès ou la matrice de confusion. Différentes méthodes sont utilisés pour présenter de telles tables. Celle qui est utilisée dans cette étude, présentée dans McFadden (1979) est la table suivante :

Table A.1 – *table des previsions*

c.p							t.c.obs	p.m.o
	1	...	i	...	J			
	1	N_{11}	...	N_{1i}	...	N_{1J}	$N_{1.}$	$\frac{N_{1.}}{N}$

c.obs	i	N_{i1}	...	N_{ii}	.	N_{iJ}	$N_{i.}$	$\frac{N_{i.}}{N}$

	J	N_{J1}	...	N_{ji}	.	N_{JJ}	$N_{J.}$	$\frac{N_{J.}}{N}$
t.c.p	$N_{.1}$...	$N_{.i}$...	$N_{.J}$	N	100%	
p.m.p	$\frac{N_{.1}}{N}$		$\frac{N_{.i}}{N}$		$\frac{N_{.J}}{N}$	100%		
% prév. cor	$\frac{N_{11}}{N_{.1}}$		$\frac{N_{ii}}{N_{.i}}$		$\frac{N_{JJ}}{N_{.J}}$	$\sum_i \frac{N_{ii}}{N_{.i}}$		

c.p :choix prédits, c.obs :choix observés, t.c.p :total choix prédits, p.m.p : part modal prédit, prév. cor : prévisions correctes, t.c.obs :total choix observés, p.m.o : part modal observé

Pour ce table, on a : $N_{ij} = \sum_{n=1}^N S_{in} P_{jn}$ avec S_{in} définie par :

$$S_{in} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu } n \text{ choisit la modalité } i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

P_{jn} est la probabilité de choix (estimée) de la modalité j par l'individu n .

Si le modèle reproduit bien les comportements observés, on aura $N_{ij} \approx N_{ji} \approx 0$,

$\forall i \neq j$ et $\sum \frac{N_{ii}}{N} = 1$, N étant la taille de l'échantillon.

A.1.2 Test de Hausmann Mc Fadden

Hausmann et Mc Fadden (1989) ont proposé un test de spécification pour vérifier l'hypothèse IIA. Ces auteurs soulignent que si l'hypothèse est vérifiée, la structure du modèle et les paramètres estimés des variables explicatives devraient rester inchangés lorsque l'on estime le modèle sur un sous-ensemble réduit de l'ensemble de sélection des alternatives C . Soit le sous-ensemble de sélection tel que $R \subset K$. Soit $\hat{\beta}_C$ et $\hat{\Sigma}_C$ les estimateurs du maximum de vraisemblance du vecteur des paramètres β et sa matrice de variance-covariance. Soit $\hat{\beta}_R$ et $\hat{\Sigma}_R$ les estimateurs estimés dans le sous-ensemble de sélection R . Le test d'IIA teste l'hypothèse nulle de l'indépendance des alternatives non pertinentes : $H_0 : \hat{\beta}_R - \hat{\beta}_C = 0$ dont la statistique de test est donnée par :

$$T = (\hat{\beta}_R - \hat{\beta}_C)' (\hat{\Sigma}_R - \hat{\Sigma}_C)^{-1} (\hat{\beta}_R - \hat{\beta}_C)$$

La statistique de test suit, sous l'hypothèse nulle la loi du *khi-deux* à p degrés de liberté.

A.1.3 Tests de Wald, du Score et du maximum de vraisemblance

Le test de Wald, du Score et du rapport de vraisemblance constitue trois tests asymptotiquement équivalents. Ces trois tests sont effectués dans cette étude pour tester l'hypothèse d'hétéroscédasticité dans le modèle. Le modèle de Bhat(1995) est utilisé pour tester l'hétéroscédasticité. Ce modèle permet aux erreurs ϵ_{nj} d'être hétéroscédastique. Il modifie la densité du modèle de base ainsi :

$$f(\epsilon_{nj}) = \frac{1}{\theta_j} \exp\left(-\frac{\epsilon_{nj}}{\theta_j}\right) \exp\left(-\exp\left(-\frac{\epsilon_{nj}}{\theta_j}\right)\right)$$

Les probabilités de choix sont donc modifiées comme suit :

$$P_n(j) = \int \prod_{nj} \Lambda\left(\frac{V_{nl} - V_{nj} + \epsilon_{nl}}{\theta_j}\right) \frac{1}{\theta_j} \lambda\left(\frac{\epsilon_{nj}}{\theta_j}\right) d\epsilon_{nj}$$

Dans ce cas, $\lambda(\cdot)$ et $\Lambda(\cdot)$ représente respectivement la densité et la fonction cumulative de la distribution des valeurs extrêmes. Pour tester ainsi l'hétéroscédasticité, les tests de Wald, du Score et du rapport de vraisemblance utilise le modèle de base qu'est le modèle contraint (contraint par l'hypothèse IIA) et le modèle non contraint (qui relâche l'hypothèse IIA). Soit $\hat{\beta}_N$ l'estimateur du maximum de vraisemblance obtenu pour le modèle contraint et $\hat{\beta}$ les paramètres estimés du modèle hétéroscédastique. On teste :

$$H_0 : \beta = \hat{\beta} \quad \text{contre} \quad H_1 : \beta \neq \hat{\beta}$$

Tout d'abord le test de Wald propose de travailler sur la différence entre l'estimateur du maximum de vraisemblance et la valeur $\hat{\beta}$ que l'on cherche à tester. On peut alors utiliser la statistique suivante :

$$T = N(\hat{\beta}_N - \hat{\beta})' I(\hat{\beta}_N)(\hat{\beta}_N - \hat{\beta})$$

Asymptotiquement, cette statistique tend, sous l'hypothèse que $\hat{\beta}$ est la vraie valeur, tend vers une loi du chi-deux. $I(\cdot)$ est l'information de Fisher : $I(\beta) = -\frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \log L(\beta)$

Le test du rapport de vraisemblance propose de travailler sur les valeurs de la log-vraisemblance. La Statistique de test est donnée par :

$$T = \frac{\log L(\hat{\beta})}{\sup_{t \neq \hat{\beta}} \log L(t)} = \frac{\log L(\hat{\beta})}{L(\hat{\beta}_N)}$$

on pose alors :

$$T_R = -2 \log \frac{L(\hat{\beta})}{L(\hat{\beta}_N)} = 2(\log L(\hat{\beta}_N) - \log L(\hat{\beta}))$$

Asymptotiquement, T_R tend, sous l'hypothèse que $\hat{\beta}$ est la vraie valeur, vers une loi du chi-deux.

Enfin, le test du Score propose de travailler sur la pente de la log-vraisemblance en β . Il part donc du modèle contraint et permet de voir si l'hypothèse alternative permet d'améliorer le modèle. La pente correspond au Score : $S_\beta(X) = \frac{\partial}{\partial \beta} \log L(\beta)$. La statistique de test est donnée par :

$$T_S = N \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S'_\beta(X_i) \right)' I^{-1}(\hat{\beta}_N) \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S'_\beta(X_i) \right)$$

Asymptotiquement, T_S tend, sous l'hypothèse nulle, vers une loi du chi-deux. N est la taille de l'échantillon.

A.2 Annexe 2 : Outils d'interprétation du modèle

A.2.1 Effets marginaux

Les effets marginaux sont les dérivés des probabilités par rapport aux variables explicatives qui peuvent être spécifiques aux alternatives (x_{ij}) ou spécifiques aux individus (z_i).

$$\frac{\partial P_{il}}{\partial z_i} = P_{il}(\beta_l - \sum_j P_{ij}\beta_j)$$

$$\frac{\partial P_{il}}{\partial x_{il}} = \gamma P_{il}(1 - P_{il})$$

$$\frac{\partial P_{il}}{\partial x_{ik}} = -\gamma P_{il}P_{ik}$$

- Pour une variable spécifique aux individus, le signe de l'effet marginal n'est pas nécessairement le même que le signe du coefficient. En réalité, le signe de l'effet marginal est donné par $(\beta_l - \sum_j P_{ij}\beta_j)$, qui est positif si le coefficient de l'alternative l est supérieur à la moyenne pondérée des coefficients de tous les alternatives (les poids de pondération étant les probabilités de choix des alternatives).
- Pour une variable spécifique aux alternatives, le signe du coefficient peut être directement interprété. L'effet marginal est obtenu en multipliant le coefficient par le produit de deux probabilités.

A noter qu'en combinant les deux dernières équations, on obtient :

$$\frac{\frac{dP_{il}}{P_{il}}}{dx_{ik}} = -\gamma P_{ik}$$

C'est pourquoi, quand une caractéristique d'une alternative k change, les variations relatives des probabilités pour tous les alternatives à l'exception de k sont les mêmes. Ceci est une conséquence de la propriété IIA.

A.2.2 Taux marginaux de substitution et valeur du temps

Les coefficients sont des utilités marginales qui ne peuvent pas être interprétés. Cependant, les ratios de coefficients sont des taux marginaux de substitution qui peuvent être interprétés. Par exemple, si la partie connue de l'utilité est donnée par : $V = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$, la variation jointe de x_1 et x_2 assurant un niveau d'utilité constant est telle que : $dV = \beta_1 dx_1 + \beta_2 dx_2 = 0$. Ainsi on a :

$-\frac{dx_2}{dx_1} | dV = 0 = \frac{\beta_1}{\beta_2}$. Le taux marginal de substitution permet de calculer la valeur du temps associée à chaque alternative de transport en faisant l'hypothèse que les utilités

marginales sont constantes. Ainsi, si x_2 représente le coût de transport (en Francs) et x_1 représente la durée du transport, le rapport d'utilités marginales $\frac{\beta_1}{\beta_2}$ est le coût marginal de substitution du temps en terme monétaire. Cette valeur représente ce que l'individu est encore prêt à payer pour gagner du temps et en gardant le même niveau d'utilité.

A.2.3 Surplus du consommateur

Le surplus du consommateur a une expression simple pour le modèle logit multinomial, formulée d'abord par Small and Rosen (1981). Le niveau d'utilité atteint par un individu est donné par : $U_j = V_j + \epsilon_j$, j étant l'alternative choisie. L'utilité attendu, du point de vue du chercheur est alors donné par : $E(\max_j U_j)$, où on prend en compte dans la prédiction tous les erreurs commises. Son expression est simplement, à une constante additive près, le log du dénominateur des probabilités de choix appelé souvent le "log-sum" :

$$E(U) = \ln \sum_{j=1}^J e^{V_j} + C$$

Si l'utilité marginal du coût des transports (α) est donnée et constante, le surplus est alors évalué par l'expression : $\frac{E(U)}{\alpha}$. (Lancaster, 1966)

A.3 Annexe 3 : Méthodologie de simulation

La spécification logistique (I.3) permet de calculer aisément les variations des probabilités de sélection individuelles résultant d'une modification des utilités V_{jn} qui s'expriment sous la forme :

$$V_{jn} = \beta' Z_{jn} + \Gamma_j' X_n, j = 1, \dots, J \quad (1)$$

Soit ΔV_{jn} un changement quelconque dans l'utilité de l'individu n pour la modalité j . Cette variation peut être formulée selon l'expression suivante :

$$\Delta V_{jn} = \sum_k \beta_k \Delta Z_{jnk} + \sum_s \Gamma_{js} \Delta X_{ns} \quad (2)$$

où Z_{jnk} est la variation enregistrée pour la k^{eme} caractéristique de la modalité j pour l'individu n ; ΔZ_{ns} mesure la variation produite dans la s^{eme} variable socio-démographique pour l'individu n . Compte tenu de ces différentes variations, les nouvelles probabilités de choix sont de la forme :

$$P_n^1(i) = \frac{\exp(V_{in} + \Delta V_{in})}{\sum_{j \in C} \exp(V_{jn} + \Delta V_{jn})} \quad i = 1, \dots, J \quad (3)$$

En divisant le numérateur et le dénominateur de (3) par $\sum_j \exp(V_{jn})$, on obtient alors :

$$P_n^1(i) = \frac{P_n^0(i) \exp(\Delta V_{in})}{\sum_{j=1}^J P_n^0(j) \exp(\Delta V_{jn})} \quad (4)$$

où $P_n^0(i)$ et $P_n^0(j)$, constituent respectivement les probabilités individuelles de choix initiales pour les modalités i et j . Par conséquent, les nouvelles probabilités de selection $P_n^1(i)$ peuvent être obtenues directement à partir des probabilités individuelles initiales et des variations d'utilité. Ces nouvelles probabilités de choix permettent d'établir la nouvelle répartition modale prédite par le modèle, en faisant la somme des probabilités individuelles pour chacune des modalités concernés, ce qui nous permet de comparer avec le partage modal observé initialement.

Table des matières

Décharge.....	i
Dédicace.....	ii
Sommaire.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	v
Remerciements.....	vii
Avant-Propos.....	viii
Résumé.....	ix
Abstract.....	x
 CHAPITRE 1—Cadre conceptuel et revue de la littérature.....	 4
1.1 Définition des concepts.....	4
1.2 Revue Théorique.....	5
1.2.1 Rappel sur la théorie du consommateur.....	5
1.2.2 Application dans le domaine du transport de la théorie micro-économique du consommateur : la théorie de Lancaster (1966).....	6
1.2.3 Fondements théoriques des modèles à utilité aléatoire.....	8
1.3 Revue empirique.....	12
1.3.1 Raisons, motifs et causes des choix modaux.....	12
1.3.2 L'offre de transport urbain.....	13
1.3.3 Les usagers : caractéristiques économiques et sociodémographiques.....	14
1.3.4 Le type de déplacement domicile-travail : quelles spécificités?.....	15
 CHAPITRE 2—Cadre méthodologique.....	 17
2.1 Approche méthodologique et source des données.....	17
2.1.1 Approche méthodologique.....	17
2.1.2 Sources des données.....	17
2.2 Résultats.....	18
2.2.1 Analyse descriptive.....	18
2.3 Résultats de l'estimation du modèle.....	23

CHAPITRE 3—Tests de politiques économiques et simulation des partages mo-	
daux.....	31
3.1 Mesure des effets marginaux	31
3.2 Scénarios et simulations des partages modaux	34
3.3 Evaluation du bien-être et de la valeur du temps relative aux différentes	
alternatives	36
3.3.1 Evaluation du bien-être ou fonction de surplus selon les différents	
scénarios de politiques	36
Conclusion et recommandations	43
Bibliographie.....	43
CHAPITRE A—Annexes.....	44
A.1 Annexe 1 : Méthodologie des tests effectués et de validation du modèle	44
A.1.1 Validation du modèle	44
A.1.2 Test de Hausmann Mc Fadden	45
A.1.3 Tests de Wald, du Score et du maximum de vraisemblance . . .	45
A.2 Annexe 2 : Outils d'interprétation du modèle	46
A.2.1 Effets marginaux	47
A.2.2 Taux marginaux de substitution et valeur du temps	47
A.2.3 Surplus du consommateur	48
A.3 Annexe 3 : Méthodologie de simulation	48
Table des matières.....	50