

Développement de modèles suisses pour la  
prédiction de la demande en transport pour des  
applications en temps réel

Équipe de recherche:

EPFL: Michel Bierlaire et Michaël Thémans

ETHZ: Kay Axhausen

Büro Widmer: Paul Widmer et Thomas Buhl

Robert-Grandpierre et Rapp: Farshid Assef-Vaziri

Novembre 2004

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1	Contexte . . . . .	5
1.2	Objectifs . . . . .	6
1.3	Démarche . . . . .	7
1.3.1	Récolte de données . . . . .	7
1.3.2	Choix des modèles théoriques . . . . .	7
1.3.3	Calibrage des modèles . . . . .	8
1.3.4	Prototypage du simulateur de demande . . . . .	8
1.4	Équipe de recherche . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Récolte de données</b>	<b>10</b>
2.1	Méthodologie générale . . . . .	10
2.2	Enquêtes de préférences révélées (Revealed Preferences) . . . . .	11
2.2.1	Description du contenu du questionnaire . . . . .	12
2.2.2	Description du processus de collecte et statistiques . . . . .	12
2.3	Enquêtes de préférences déclarées (Stated Preferences) . . . . .	18
2.3.1	Conception du questionnaire . . . . .	18
2.3.2	Description du contenu du questionnaire . . . . .	25
2.3.3	Description du processus de collecte et statistiques . . . . .	26
2.4	Fichiers de données disponibles . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Modèles théoriques</b>	<b>31</b>
3.1	Théorie des modèles de choix discret . . . . .	31
3.1.1	Hypothèses de modélisation . . . . .	32
3.1.2	Modèles d'utilité aléatoire . . . . .	32
3.2	Le modèle Logit Multinomial (MNL) . . . . .	33
3.3	Le modèle Logit emboîté (NL) . . . . .	33
3.4	Modélisation de l'hétérogénéité . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Calibrage de modèles de demande</b>	<b>36</b>
4.1	Modèles de choix de route pendant le déplacement . . . . .	37
4.1.1	Spécification du modèle . . . . .	38
4.1.2	Analyse des résultats . . . . .	38

4.2	Modèles de choix de route avant le déplacement . . . . .	40
4.2.1	Spécification du modèle . . . . .	40
4.2.2	Analyse des résultats . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Prototype du simulateur de demande</b>	<b>51</b>
5.1	Présentation générale . . . . .	51
5.2	Exemple de scénario pendant le déplacement . . . . .	52
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>Annexes</b>	<b>60</b>
7.1	Modèles intermédiaires . . . . .	60
7.1.1	Modèle de choix de route pendant le déplacement . . . . .	60
7.1.2	Modèles de choix de route avant le déplacement . . . . .	62
7.2	Description du fichier <code>on-trip.dat</code> . . . . .	78
7.2.1	Contexte . . . . .	78
7.2.2	Contenu . . . . .	78
7.3	Description du fichier <code>pre-trip-all.dat</code> . . . . .	82
7.3.1	Contenu . . . . .	82
7.4	Description du fichier <code>longdistance-pre-trip.dat</code> . . . . .	85
7.4.1	Contexte . . . . .	85
7.4.2	Contenu . . . . .	85
7.5	Description du fichier <code>shortdistance-pre-trip.dat</code> . . . . .	85
7.5.1	Contexte . . . . .	85
7.5.2	Contenu . . . . .	86
7.6	Statistiques de l'échantillon . . . . .	87

# Table des figures

5.1	Évolution de la demande en fonction du temps de parcours restant	53
5.2	Évolution de la demande en fonction de l'erreur sur l'information routière . . . . .	54
5.3	Individus peu familiers à la technologie télématique via la radio .	55
5.4	Faible expérience de la technologie télématique par VMS . . . . .	56
5.5	Préférence pour les routes nationales . . . . .	57
7.1	Répartition des âges . . . . .	88
7.2	Répartition des sexes . . . . .	89
7.3	Répartition des salaires . . . . .	90
7.4	Kilométrage annuel . . . . .	91
7.5	Longueur des déplacements . . . . .	92
7.6	Longueur des déplacements (Tessin) . . . . .	93
7.7	Répartition des modes de déplacement . . . . .	94
7.8	Temps gagné lors du déplacement . . . . .	95
7.9	Temps perdu lors du déplacement . . . . .	96
7.10	Utilisation des systèmes d'information . . . . .	97
7.11	Connaissance de l'état du trafic lors du déplacement . . . . .	98
7.12	Impact de l'information routière lors du déplacement . . . . .	99

# Liste des tableaux

2.1	Pré-enquête pour la Suisse romande . . . . .	13
2.2	Enquête principale pour la Suisse romande . . . . .	14
2.3	Enquêtes pour la Suisse romande . . . . .	14
2.4	Pré-enquête pour la Suisse alémanique . . . . .	17
2.5	Agenda des envois RP . . . . .	17
2.6	Enquête principale pour la Suisse alémanique . . . . .	18
2.7	Enquêtes pour la Suisse alémanique . . . . .	18
2.8	Facteurs pour les questionnaires SP avant le déplacement . . . . .	21
2.9	Facteurs pour les questionnaires SP pendant le déplacement . . . . .	24
2.10	Pré-enquête SP en Suisse romande . . . . .	28
2.11	Enquête SP principale en Suisse romande . . . . .	28
2.12	Enquêtes SP en Suisse romande . . . . .	29
2.13	Pré-enquête SP en Suisse alémanique . . . . .	29
2.14	Agenda des envois SP . . . . .	29
2.15	Enquête SP principale en Suisse alémanique . . . . .	30
2.16	Enquêtes SP en Suisse alémanique . . . . .	30

# Chapitre 1

## Introduction

### 1.1 Contexte

L'émergence des nouvelles technologies télématiques élargit considérablement les moyens potentiels de gérer efficacement les systèmes de transport. Afin d'exploiter au maximum ces potentiels, il est nécessaire de développer des outils de gestion en temps réel du trafic qui combinent les équipements télématiques de haute technologie avec des méthodologies appropriées. Cette combinaison forme les Systèmes de Transports Intelligents (STI).

Les modèles de demande s'avèrent particulièrement indispensables dans ce domaine. En effet, l'impact des STI sur le comportement des usagers doit pouvoir être appréhendé et prédit explicitement. La représentation de la demande ne peut plus être basée uniquement sur des matrices origine-destination, fussent-elles dynamiques. Elle doit être désagrégée, et permettre une représentation explicite des individus, de leurs caractéristiques (but du voyage, équipement télématique disponible, etc.) et de leurs décisions en termes de choix d'itinéraire et de mode de transport.

Les méthodologies récentes pour l'évaluation et la gestion des STI sont toutes basées sur des modèles comportementaux permettant de prédire les réactions des usagers aux stratégies télématiques. Parmi elles, on peut citer les logiciels récemment développés au Massachusetts Institute of Technology (MIT) : MIT-SIM Laboratory (Ben-Akiva et al., 1997) pour l'évaluation des systèmes dynamiques de gestion de trafic, et DynaMIT (Ben-Akiva et al., 2001) pour la prédiction du trafic et la gestion en temps réel de l'information anticipative aux usagers. D'autres outils tels que VISSIM ou AIUMSUN en Europe, et Dynasmart et TRANSIM aux États-Unis utilisent également intensivement une modélisation désagrégée de la demande.

Pour un fonctionnement efficace, ces outils doivent exploiter au maximum et en temps réel l'ensemble des données disponibles, compléter les données manquantes par des modèles précis et performants, et développer des stratégies anti-

cupatives, basées sur des modèles de prédiction efficaces.

L'utilisation de tels outils permet d'avoir une approche opérationnelle de la télématique, qui optimise l'impact des infrastructures existantes, telles que les panneaux à message variable, le RDS-TMC, etc.

Pour pouvoir en faire bénéficier la Suisse, il est indispensable de développer les modèles de demande adéquats reflétant les comportements des usagers de STI.

De plus, au-delà des nécessités liées à l'utilisation de ces outils sophistiqués, les modèles désagrégés de demande permettent d'appréhender correctement les comportements et, ainsi, d'analyser l'impact de stratégies à plus long terme telles que le "road-pricing", le "congestion-pricing", le "park & ride", les déviations de trafic, etc.

À terme, afin d'appréhender la problématique dans sa globalité, il sera indispensable de mettre en oeuvre des procédures systématiques, répondant à des normes bien précises, afin de récolter les données idoines. Ce projet constitue le premier pas dans cette direction.

## 1.2 Objectifs

Une des difficultés principales pour la prédiction de l'évolution d'un système de transport est d'appréhender correctement le facteur humain, la dimension comportementale. Ceci est d'autant plus vrai lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact de stratégies de gestion impliquant de nouveaux concepts et de nouvelles technologies telles que les technologies télématiques. Les objectifs principaux de ce projet sont les suivants :

- Effectuer des enquêtes de préférences déclarées afin d'appréhender les comportements des conducteurs face à des stratégies de diversion par des moyens télématiques en termes de choix de route et de mode de transport.
- Fournir des outils permettant de prédire le comportement des usagers d'un système de transport en présence de diverses stratégies télématiques. Ces outils de prédiction pourront par la suite :
  - être directement utilisés pour répondre à des questions concrètes liées à l'évaluation de projets spécifiques,
  - être intégrés dans des systèmes de gestion dynamique du transport.

L'objectif essentiel de ce projet est donc le développement de **modèles désagrégés de demande en transport** à l'aide de données comportementales, basées sur des enquêtes de préférences révélées et déclarées.

Les modèles développés et calibrés dans le cadre de ce projet sont rendus opérationnels grâce à un simulateur de demande.

Ces modèles auront un impact beaucoup plus large dans le cadre futur du développement et de l'évaluation de systèmes de gestion dynamique du transport et de leur interaction avec la technologie télématique. En effet, de tels systèmes nécessitent des modèles capables de prédire le comportement des usagers, notam-

ment en termes de choix de route et de mode de transport, lorsque de l'information routière en temps réel est disponible par le biais d'infrastructures télématiques.

## 1.3 Démarche

La démarche suivie au cours de ce projet se divise en 4 étapes principales :

- Récolte de données,
- Choix des modèles théoriques,
- Calibrage des modèles,
- Prototypage du simulateur de demande.

### 1.3.1 Récolte de données

Le calibrage de modèles de demande dans le cadre de STI exige une collecte de données sur le comportement des usagers face à la technologie télématique. Les données ont été récoltées en deux phases :

**Enquêtes de préférences révélées** Des échantillons représentatifs ont été constitués à travers la Suisse. Les personnes retenues ont reçu un questionnaire dans lequel elles devaient relever les détails (heure de départ, heure d'arrivée, origine, destination, mode, route, but du voyage, etc.) de différents voyages. Dans cette phase, des données socio-économiques des ménages et de leurs membres ont été récoltées.

**Enquêtes de préférences déclarées** Sur base de voyages spécifiques relevés dans les enquêtes de préférences révélées, les personnes participant à l'enquête ont été soumises à des situations hypothétiques (impliquant la technologie télématique) dans lesquelles elles devaient décrire leur choix de route et de mode de transport. Cela fournit donc les choix (de route et de mode) des individus de nos échantillons observés lorsque de l'information en temps réel est disponible sur l'état du réseau de transport.

Cette étape est décrite en détail dans le chapitre 2.

### 1.3.2 Choix des modèles théoriques

Les modèles de choix discret en général, et les modèles d'utilité aléatoire en particulier, ont déjà montré leur pertinence dans de tels contextes. Plus précisément, les modèles théoriques considérés appartiennent à la famille des modèles des valeurs extrêmes ("Generalized Extreme Value", GEV) et ils comprennent le modèle logit multinomial ("Multinomial Logit", MNL) et le modèle logit emboîté ("Nested Logit", NL). Des modèles logit mixtes ("Mixed Logit") sont également développés pour obtenir une meilleure modélisation du comportement des usagers ainsi que pour tenir compte au mieux des spécificités des données dont nous disposons.

Pour chaque type de modèle, la pertinence des hypothèses de modélisation sous-jacentes est évaluée par rapport au contexte dans lequel le modèle est appliqué. Cette étape est décrite dans le chapitre 3.

### **1.3.3 Calibrage des modèles**

Cette étape consiste à identifier la liste des différents facteurs influençant le comportement des usagers dans le contexte qui nous occupe. Une telle liste est construite sur base d'une connaissance a priori du contexte télématique suisse et évolue en fonction de l'analyse systématique des différents modèles qui sont calibrés. Des tests statistiques doivent également être effectués pour juger de la qualité des différents modèles ainsi que pour les comparer et donc conserver ceux qui présentent le meilleur compromis entre complexité et qualité.

Le calibrage consiste à identifier la valeur des paramètres des différents modèles qui correspond le mieux aux données récoltées. Les différents types de modèles ont été calibrés à l'aide du logiciel BIOGEME (Bierlaire, 2003). Cette étape est décrite dans le chapitre 4.

### **1.3.4 Prototypage du simulateur de demande**

Les modèles calibrés sont intégrés dans un outil de prédiction permettant de les rendre opérationnels. Le but principal de cet outil est de simuler le comportement des usagers dans des contextes spécifiques (lors de stratégies de diversion par exemple) définis par divers scénarios faisant intervenir la technologie télématique. Le prototype se présente sous la forme d'une feuille de calcul Excel dans laquelle les paramètres décrivant les scénarios peuvent être spécifiés. Il est possible de visualiser :

- la comparaison de deux ou plusieurs scénarios,
- la sensibilité des comportements par rapport à un paramètre donné,
- des barrières d'indifférence entre options.

L'outil est flexible dans le sens où de nombreux paramètres peuvent être modifiés et testés, et simple d'utilisation grâce à des valeurs par défaut qui facilitent la description des différents scénarios.

Cette étape est décrite dans le chapitre 5.

## **1.4 Équipe de recherche**

Le projet a été dirigé par Michel Bierlaire, Maître d'Enseignement et de Recherche à l'EPFL. L'équipe de recherche était constituée :

- Des bureaux d'ingénieurs conseils Robert-Grandpierre et Rapp, SA (Lausanne) et Büro Widmer (Frauenfeld), principalement responsables de la récolte des données ;

- De l’“Institut für VerVerkhersplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau” (ETHZ), principalement responsable de la conception des enquêtes ;
- De la chaire de recherche oprétationnelle ROSO (EPFL), principalement responsable des modèles mathématiques (conception et calibrage) et du simulateur de demande.

# Chapitre 2

## Récolte de données

### 2.1 Méthodologie générale

Cette étape consistait à collecter des données comportementales auprès d'échantillons représentatifs des usagers du réseau de transport en Suisse. Plus précisément, dans le cadre de ce projet qui vise à évaluer l'impact de nouvelles technologies télématiques sur le comportement des usagers, il est important de disposer de données sur :

- L'utilisation actuelle des systèmes d'information du trafic,
- Les décisions de choix de route et de mode lorsque l'information routière en temps réel est disponible pendant le déplacement et avant le déplacement, ainsi que des données socio-économiques et d'informations sur le comportement actuel des usagers en termes de choix de route et de mode de transport. Ces données ont été utilisées pour estimer (ou encore calibrer) des modèles de demande, qui peuvent prédire la réponse à de l'information en temps réel avant et pendant le déplacement. Ceci implique une procédure en deux étapes :

- Identifier un déplacement pertinent et son contexte,
- Construire des expériences de préférences déclarées basées sur ce déplacement pertinent :
  - avant le déplacement pour mettre en évidence l'impact d'information en temps réel avant de se mettre en route,
  - pendant le déplacement, pour analyser l'impact sur les choix de route d'information en temps réel.

La collecte des données a été réalisée en deux étapes. Dans un premier temps, différentes sociétés et administrations ont été contactées en Suisse romande et en Suisse alémanique (voir section 2.2). Parallèlement, un questionnaire de préférences révélées fut élaboré dans le but de récolter des informations socio-économiques sur les personnes interrogées ainsi que des données sur leur comportement actuel au sein du système de transport existant (voir section 2.3). Cette première enquête a également pour but de déterminer parmi les échantillons choisis l'uti-

lisation actuelle qui est faite des systèmes d'information du trafic actuellement disponibles sur le réseau suisse (radio RDS, télévision, internet, etc.). Ayant obtenu la coopération d'un certain nombre des entreprises initialement contactées, l'enquête sur les préférences révélées a pu débuter en deux temps.

Une pré-enquête fut effectuée sur un nombre limité de personnes parmi nos échantillons dans la partie francophone ainsi que dans la partie germanophone de la Suisse. Le but de cette enquête préliminaire était d'évaluer le taux de réponse au questionnaire et d'obtenir l'avis des personnes interrogées sur le questionnaire en vue d'effectuer d'éventuelles modifications. Les personnes n'ayant pas répondu à la pré-enquête ont été contactées pour en connaître la raison.

Ensuite, l'enquête principale a débuté et la nouvelle version du questionnaire a été envoyée à l'ensemble des personnes ayant accepté de participer au projet. Il est à noter qu'une lettre d'annonce (décrivant le cadre de l'étude, le but de l'enquête et mentionnant les noms des responsables du projet) a été envoyée aux personnes quelques jours avant l'envoi du questionnaire de préférences révélées. Ce document est disponible en annexe du rapport.

Dans un second temps, sur base du contenu des questionnaires de préférences révélées qui nous ont été retournés, des questionnaires de préférences déclarées personnalisés ont été mis sur pied. Dans ces questionnaires, les personnes interrogées sont placées dans différentes situations hypothétiques (et réalistes par rapport aux voyages décrits dans la première phase de la récolte de données) pour lesquelles de l'information sur le trafic est disponible (et ce, avant un déplacement ou pendant celui-ci). Il leur est demandé de donner leurs préférences en termes de choix de route et de mode de transport. L'enquête de préférences déclarées a été organisée en suivant le même schéma que la première enquête : une pré-enquête a été effectuée sur base de la pré-enquête de préférences révélées et par la suite l'enquête principale a eu lieu.

Pour les deux étapes de l'enquête, une fois les questionnaires envoyés, deux rappels ont été envoyés dans le but d'améliorer le taux de retour des questionnaires. Le premier rappel était envoyé 2 semaines après l'envoi du questionnaire et le 2ème rappel une semaine plus tard.

## **2.2 Enquêtes de préférences révélées (Revealed Preferences)**

Le questionnaire destiné aux propriétaires de résidence secondaire au Tessin est disponible en annexe du rapport, en allemand. Le questionnaire destiné aux membres du TCS et aux collaborateurs de Siemens est disponible en annexe du rapport, en français et en allemand.

### 2.2.1 Description du contenu du questionnaire

La première partie du questionnaire de préférences révélées est commune à l'échantillon du Tessin et aux autres échantillons. Elle contient des questions relatives à l'individu, des questions relatives au ménage et au budget ainsi que des questions sur l'utilisation de la technologie télématique. Ces questions d'ordre socio-économique sont issues en grande partie du "Mikrozensus 2000".

La seconde partie du questionnaire a pour but de récolter des informations sur le comportement actuel des individus en termes de choix de route et de mode de transport. Le questionnaire destiné aux propriétaires de résidences secondaires au Tessin demande une description détaillée du dernier trajet effectué vers la résidence secondaire ainsi que des informations sur les itinéraires fréquemment empruntés et sur l'offre en transports publics. Le questionnaire destiné aux membres du TCS et aux collaborateurs de Siemens demande une description détaillée des trajets effectués lors d'un jour de référence (jusqu'à cinq trajets) et des informations sur ce jour de référence.

### 2.2.2 Description du processus de collecte et statistiques

#### Récolte de données en Suisse romande

**Contacts avec les sociétés** En ce qui concerne la Suisse romande, plusieurs grandes sociétés ainsi que l'administration du canton de Vaud ont été contactées pour participer à l'enquête :

- Le service du personnel de l'État de Vaud à Lausanne,
- Philip Morris International à Lausanne,
- Nestlé SA à Vevey,
- Tetra Laval International à Pully,
- Serono International à Genève,
- Procter et Gamble Service Switzerland à Petit Lancy (Genève),
- Siemens Suisse SA à Renens,
- Le Touring Club Suisse (TCS) à Genève.

Parmi ces sociétés, seules Siemens Suisse SA et le Touring Club Suisse (TCS) ont répondu favorablement à une participation à l'enquête. Les conditions étaient les suivantes :

**Siemens Suisse SA** Les questionnaires devaient être remis à l'entreprise. Celle-ci les distribuerait directement à ses collaborateurs.

**Touring Club Suisse** Ne pas divulguer la source des adresses, laisser le choix de répondre ou non aux questions posées et informer la direction du TCS des résultats de l'enquête.

Les autres sociétés et l'administration cantonale vaudoise ont refusé de participer aux enquêtes car les questions étaient trop en relation avec les données

personnelles des collaborateurs et qu'elles ne souhaitent pas que celles-ci soient divulguées.

Pour résumer, le TCS a mis à disposition 696 adresses de ses membres. L'entreprise Siemens a demandé de lui faire parvenir 130 exemplaires du questionnaire de l'enquête de préférences révélées. Au total, 826 questionnaires de préférences révélées ont été envoyés pour la partie de la Suisse romande.

Notre intérêt pour le Touring Club Suisse (TCS) était la garantie de disposer d'un échantillon composé exclusivement de propriétaires (et donc d'utilisateurs fréquents) d'une voiture. En effet, nous souhaitions éviter autant que possible l'envoi inutile de questionnaires à des personnes qui ne possèderaient pas une voiture et qui ne nous seraient d'aucune utilité pour notre étude. La collecte de données étant une phase coûteuse en temps et en ressources financières lors d'une étude comme celle-ci, il est important de recourir à un échantillonnage soigné et réfléchi.

**Pré-enquête de préférences révélées** Comme enquête préliminaire, le questionnaire a été envoyé à 100 personnes figurant sur la liste d'adresses fournie par le TCS selon le planning suivant :

- 3 avril 2003 : envoi de la lettre d'annonce,
- 7 avril 2003 : envoi des questionnaires,
- 22 avril 2003 : envoi du premier rappel,
- 29 avril 2003 : envoi du second rappel.

Certains questionnaires reçus en retour étaient vierges, insuffisamment remplis ou encore de manière incorrecte. Ces questionnaires n'ont pas été pris en compte. Le taux de réponse de cette pré-enquête (c'est-à-dire le nombre de questionnaires en retour pris en compte par rapport au nombre de questionnaires envoyés) est de 37%. La table 2.1 récapitule différentes statistiques sur le nombre de questionnaires envoyés et reçus ainsi que le nombre de personnes qui ont été d'accord de participer à la deuxième partie de l'enquête.

Questionnaires envoyés	100
Questionnaires en retour :	38
• dans un délai de deux semaines	31 (82%)
• après le premier rappel	7 (18%)
• après le deuxième rappel	0
Questionnaires pris en compte	37
Accords pour participer aux enquêtes SP	26
<b>Taux de retour</b>	<b>37%</b>

TAB. 2.1 – Pré-enquête pour la Suisse romande

Pour cette pré-enquête, nous avons envoyé l'ensemble des questionnaires de préférences déclarées aux personnes concernées. Suite à cette pré-enquête, nous

	<b>TCS</b>	<b>Siemens</b>	<b>Total</b>
Questionnaires envoyés	596	130	726
Questionnaires en retour :	155	39	194
• dans le délai	110 (71%)	39 (100%)	149 (77%)
• après rappels	45 (29%)	-	45 (23%)
Questionnaires pris en compte	150	36	186
<b>Taux de retour</b>	<b>26%</b>	<b>30%</b>	<b>27%</b>

TAB. 2.2 – Enquête principale pour la Suisse romande

	<b>Pré-enquête</b>	<b>Enquête principale</b>	<b>Total</b>
Questionnaires envoyés	100	726	826
Questionnaires en retour :	38	194	232
• dans le délai	31 (82%)	149 (77%)	180 (78%)
• après rappels	7 (18%)	45 (23%)	52 (22%)
Questionnaires pris en compte	37	186	223
<b>Taux de retour</b>	<b>37%</b>	<b>26%</b>	<b>27%</b>

TAB. 2.3 – Enquêtes pour la Suisse romande

avons apporté quelques légères modifications aux questionnaires de manière à rendre certaines questions plus claires.

**Enquête principale de préférences révélées** Dans le cadre de l'enquête principale, un total de 726 questionnaires ont été envoyés, soit 596 questionnaires à des personnes figurant sur la liste fournie par le TCS et 130 questionnaires au personnel de la société Siemens. Le planning a été le suivant :

- 7 mai 2003 : envoi de la lettre d'annonce,
- du 9 au 16 mai 2003 : envoi des questionnaires,
- du 27 mai au 16 juin 2003 : envoi des rappels.

Les détails de l'enquête sont récapitulés dans la table 2.2.

**Ensemble des enquêtes réalisées en Suisse romande** Au final, 826 questionnaires auront été envoyés au cours de la pré-enquête et de l'enquête principale. Le taux de retour sur l'ensemble de ces questionnaires est de 27%. La table 2.3 contient les statistiques globales.

### Récolte de données en Suisse alémanique

**Contacts avec les sociétés** En ce qui concerne la Suisse alémanique, plusieurs grandes sociétés ainsi que l'administration du canton de Zürich ont été contactées

pour participer à l'enquête :

- Le service du personnel de l'État de Zürich à Zürich,
- Swisscom AG à Zürich,
- Swiss International Air Lines AG à Bâle,
- Unique Zürich Airport à Kloten,
- IBM Suisse à Zürich,
- Hewlett-Packard (Schweiz) AG à Urdorf,
- Nokia Schweiz AG à Zürich,
- 3M (Schweiz) AG à Rüschlikon,
- Ericsson AG à Brüttisellen,
- Zürich Financial Services à Zürich,
- Swiss Re à Zürich,
- Siemens Schweiz AG à Zürich,
- Université de Zürich.

La plupart de ces sociétés ont refusé de participer à l'enquête à cause de la situation économique difficile ou d'autres enquêtes internes déjà en cours. Swiss et Unique Zürich Airport avaient accepté de collaborer lors du premier contact. Cette dernière compagnie souhaitait même publier le questionnaire sur leur site intranet pour que les collaborateurs puissent le télécharger librement, ce qui aurait constitué un processus intéressant de collecte. Malheureusement, les situations particulières de ces compagnies ont mené à des annulations. Finalement, aucune des compagnies contactées n'a accepté de participer à l'étude.

**Touring Club Suisse** Une autre piste étudiée a consisté à contacter le service de l'automobile du canton de Zürich en vue d'obtenir les adresses de propriétaires de voitures. Notre demande a été refusée en invoquant la protection des données privées. Suite à ce refus et afin d'éviter d'envoyer des questionnaires à des ménages ne disposant pas de voiture, nous avons décidé de contacter le Touring Club Suisse (TCS) qui a accepté de nous donner les adresses de leurs membres sous les conditions suivantes :

- Ne pas divulguer la source des adresses,
- Laisser le choix de répondre ou non aux questions posées,
- Informer la direction du TCS des résultats des enquêtes.

Pour résumer, le TCS a mis à disposition 600 adresses de ses membres. 100 adresses ont été utilisées pour la pré-enquête de préférences révélées et les 500 autres pour l'enquête principale de préférences révélées.

D'autre part, nous souhaitions disposer d'adresses de personnes possédant une résidence secondaire au Tessin. Ces personnes empruntent des itinéraires particulièrement intéressants pour les buts de notre étude. Il ne fut cependant pas possible d'obtenir une liste des propriétaires de résidence secondaire de la part des municipalités du canton du Tessin. Nous avons par contre récupéré de telles adresses à partir d'une liste de personnes ayant mis une annonce sur internet

pour louer leur résidence secondaire située dans le canton du Tessin.

En procédant de la sorte, 1235 adresses ont été téléchargées. D'une part, les adresses correspondant à des personnes ayant leur résidence principale en Suisse alémanique ont été sélectionnées. D'autre part, les adresses correspondant à des résidences secondaires appartenant à des sociétés ont été écartées.

Au final, nous disposons de 323 adresses de propriétaires de résidence secondaire au Tessin. Les trajets en voiture ou en transports publics décrits par les individus de cet échantillon sont particulièrement intéressants dans le cadre de l'étude qui nous occupe pour les raisons suivantes :

- Ce sont des déplacements de longue distance (de l'ordre de 100 à 300 kilomètres) au cours desquels les individus s'intéressent vraisemblablement aux conditions du trafic. Il apparaît donc opportun d'étudier le comportement de ces individus en réponse à de l'information routière en temps réel disponible lors de tels trajets.
- Les individus disposent généralement d'une bonne connaissance des possibilités en termes d'itinéraire et de mode de transport pour ce type de déplacement. Il est légitime de penser que ces individus basent essentiellement leurs décisions sur leur expérience forgée au fil des déplacements qu'ils ont effectués. Il est donc intéressant d'analyser à quel point des informations routières peuvent influencer leur comportement.
- Le but de ces déplacements est bien particulier puisqu'il s'agit principalement de trajets liés aux vacances. Quand on connaît l'affluence qu'il peut y avoir sur les routes les jours de départ en vacances et de retour de vacances, il peut être décisif d'appréhender correctement le comportement des individus dans ce contexte spécifique.
- Le tunnel du Gottard est un endroit stratégique du réseau routier suisse dans le sens où on y rencontre de nombreux problèmes d'embouteillage. Il est de première importance de pouvoir prévoir le comportement des conducteurs en terme de choix de route et de mode dans cette partie du réseau suisse.

**Pré-enquête de préférences révélées** Comme enquête préliminaire, le questionnaire a été envoyé à 100 personnes figurant sur la liste d'adresses fournie par le TCS selon le planning suivant :

- 28 février 2003 : envoi de la lettre d'annonce,
- 4 mars 2003 : envoi des questionnaires,
- 11 mars 2003 : envoi du premier rappel,
- 18 mars 2003 : envoi du second rappel.

Le taux de réponse de cette pré-enquête (c'est-à-dire le nombre de questionnaires en retour pris en compte par rapport au nombre de questionnaires envoyés) est de 41%. La table 2.4 page suivante récapitule différentes statistiques sur le nombre de questionnaires envoyés et reçus ainsi que le nombre de personnes qui

Questionnaires envoyés	100
Questionnaires en retour :	42
• dans un délai de deux semaines	31 (74%)
• après le premier rappel	9 (21%)
• après le deuxième rappel	2 (5%)
Questionnaires a priori utilisables	41
Accords pour participer aux enquêtes SP	23
<b>Taux de retour</b>	<b>41%</b>

TAB. 2.4 – Pré-enquête pour la Suisse alémanique

	<b>TCS</b>	<b>Tessin</b>
envoi de la lettre d’annonce	du 5 au 9 mai 2003	21 mai 2003
envoi des questionnaires	du 9 au 15 mai 2003	30 mai 2003
envoi des rappels	du 19 au 23 mai 2003	5 juin 2003

TAB. 2.5 – Agenda des envois RP

ont été d’accord de participer à la deuxième partie de l’enquête.

Pour cette pré-enquête, nous avons envoyé l’ensemble des questionnaires de préférences déclarées aux personnes concernées. Suite à cette pré-enquête, nous avons apporté quelques légères modifications aux questionnaires de manière à rendre certaines questions plus claires.

**Enquête principale de préférences révélées** Dans le cadre de l’enquête principale, un total de 823 questionnaires ont été envoyés, soit 500 questionnaires à des personnes figurant sur la liste fournie par le TCS et 323 questionnaires aux propriétaires de résidence secondaire dans la région du Tessin. Le planning est repris à la table 2.5.

Les détails de l’enquête sont récapitulés dans la table 2.6 page suivante.

On constate que plus de la moitié des questionnaires reçus en retour nous ont été renvoyés après les rappels, ce qui montre l’importance de ceux-ci dans un processus de collecte de données. Le taux de retour est sensiblement meilleur pour l’échantillon du Tessin.

**Ensemble des enquêtes réalisées en Suisse alémanique** Au final, 923 questionnaires auront été envoyés au cours de la pré-enquête et de l’enquête principale. Le taux de retour sur l’ensemble de ces questionnaires est de 35%. Les statistiques globales sont reprises à la table 2.7 page suivante.

	<b>TCS</b>	<b>Tessin</b>	<b>Total</b>
Questionnaires envoyés	500	323	823
Questionnaires en retour :	153	147	300
• dans le délai	79 (52%)	62 (42%)	141 (47%)
• après rappels	74 (48%)	85 (58%)	159 (53%)
Questionnaires a priori utilisables	141	137	278
<b>Taux de retour</b>	<b>28%</b>	<b>42%</b>	<b>34%</b>

TAB. 2.6 – Enquête principale pour la Suisse alémanique

	<b>Pré-enquête</b>	<b>Enquête principale</b>	<b>Total</b>
Questionnaires envoyés	100	823	923
Questionnaires en retour :	42	300	342
• dans le délai	31 (74%)	141 (47%)	172 (50%)
• après rappels	11 (26%)	159 (53%)	170 (50%)
Questionnaires a priori utilisables	41	278	319
<b>Taux de retour</b>	<b>41%</b>	<b>34%</b>	<b>35%</b>

TAB. 2.7 – Enquêtes pour la Suisse alémanique

Nous donnons en annexe (page 87) quelques graphiques contenant des statistiques d'ordre socio-économique sur les individus pour deux échantillons différents.

## 2.3 Enquêtes de préférences déclarées (Stated Preferences)

### 2.3.1 Conception du questionnaire

Pour chaque questionnaire de préférences révélées, il faut générer :

- 7 situations hypothétiques de choix de route et de mode (basées sur le trajet de référence décrit dans le questionnaire RP) lorsque de l'information routière est disponible avant le déplacement ;
- 7 situations hypothétiques de choix de route lorsque de l'information routière est fournie en cours de déplacement.

#### Situation de préférences déclarées avant le déplacement

Pour les situations de choix avant le déplacement, on fait l'hypothèse que les personnes ont accès à de l'information sur l'état du trafic 2 heures avant l'heure de départ initialement prévue pour le déplacement. Ces situations se basent sur les caractéristiques du plus long déplacement décrit dans l'enquête de préférences

révélées, que nous appelons le trajet de référence. La personne a le choix parmi trois options que nous construisons de manière personnalisée pour elle :

- Emprunter l’itinéraire 1 par la route,
- Emprunter l’itinéraire 2 par la route,
- Utiliser les transports publics.

Notons qu’elle peut également décider de choisir de faire autre chose comme, par exemple, décaler l’heure de départ ou encore annuler le déplacement.

Les deux options par la route que l’on construit sont décrites par :

- L’heure de départ,
- Le temps de parcours estimé à circulation libre,
- Le temps de parcours estimé à faible allure,
- Fourchette d’erreur sur les prévisions,
- Le temps de parcours total estimé,
- L’heure d’arrivée prévue
- Coût

L’option en transport publics que l’on génère est définie par :

- L’heure de départ depuis l’arrêt le plus proche,
- Le temps de parcours estimé jusqu’à l’arrêt terminal,
- L’heure d’arrivée à l’arrêt le plus proche de la destination,
- Le coût du billet (en tenant compte de la possession d’abonnements de transports publics)

À présent que nous avons donné la description des options, une situation hypothétique est obtenue en donnant des valeurs numériques réalistes aux différentes caractéristiques décrites ci-dessus.

D’une part, ces valeurs numériques sont calculées à l’aide d’informations obtenues sur base de l’enquête de préférences révélées (essentiellement sur base du trajet de référence), à savoir :

**L’heure d’arrivée initialement souhaitée** obtenue en prenant l’heure d’arrivée décrite pour le trajet de référence et en retranchant les minutes de retard éventuelles ou en ajoutant les minutes d’avance éventuelles.

**Temps de parcours à circulation libre pour le trajet de référence** calculé en utilisant le logiciel de planification d’itinéraires de porte à porte “Route 66 2003 pour l’Autriche et la Suisse” auquel on fournit le point de départ, la destination et les endroits de passage décrits dans le questionnaire.

**Distance du trajet de référence** fournie par le logiciel précité une fois que l’itinéraire a été planifié.

**Prix de revient kilométrique** tient compte de la consommation d’essence, de la consommation d’huile, de l’usure des pneus et du coût des entretiens, et est calculé en fonction de la voiture utilisée lors du trajet de référence.

**Heure de départ, gare de départ et d’arrivée, durée en transports publics**  
À nouveau sur base du point de départ et de la destination du trajet de

référence, on utilise le site des CFF (permettant une planification d'horaire de porte à porte) pour déterminer la meilleure connexion en transports publics. L'heure de départ doit être telle que l'heure d'arrivée prévue à la gare terminale permette d'arriver à l'heure souhaitée (en tenant compte du temps de marche jusqu'à la destination finale souhaitée).

**Coût du déplacement en transports publics** On utilise également le site des CFF en tenant compte de la possession éventuelle d'abonnements de transports (informations fournies par la personne dans le questionnaire). Cela nous donne le prix de la partie du déplacement effectué en train. Pour calculer le prix de déplacement en bus ou en tram, on emploie une formule expérimentale ayant été utilisée pour d'autres études de ce type :

$$2.5 \log(\min(1, \text{longueur du déplacement}))$$

Le coût du trajet en transports publics est alors obtenu en faisant la somme du prix du billet de train et du coût d'utilisation d'autres transports en commun.

D'autre part, les valeurs numériques utilisées pour décrire les options sont également obtenues à l'aide des facteurs contenus dans la table 2.8 page suivante.

Les informations contenues dans cette table sont :

**NBR** est l'identifiant de l'ensemble de facteurs.

**CF1** représente le temps de parcours à faible allure sur l'itinéraire 1 et est exprimé en minutes.

**ERROR1** représente la fourchette d'erreur sur les informations prédites pour l'itinéraire 1 et est exprimé en minutes.

**FF2** représente le temps de parcours additionnel à circulation libre pour l'itinéraire 2 et est exprimé en minutes.

**CF2** représente le temps de parcours à faible allure sur l'itinéraire 2 et est exprimé en minutes.

**ERROR2** représente la fourchette d'erreur sur les informations prédites pour l'itinéraire 2 et est exprimé en minutes.

**COST2** représente le facteur multiplicatif pour le coût de déplacement sur l'itinéraire 2 et est exprimé en pourcents.

**PTT** représente le facteur multiplicatif pour le temps de parcours en transports publics et est exprimé en pourcents.

**TRADEOFF** signale si l'ensemble de valeurs donne lieu à une situation de choix comportant un compromis à faire ou non :

- 1 le choix nécessite un compromis
- 0 pas de compromis à faire

<b>NBR</b>	<b>CF1</b>	<b>ERROR1</b>	<b>FF2</b>	<b>CF2</b>	<b>ERROR2</b>	<b>COST2</b>	<b>PTTT</b>	<b>TRADEOFF</b>
<b>1</b>	10	5	18	10	8	110	85	0
<b>7</b>	10	5	18	5	12	90	85	1
<b>29</b>	15	2	18	10	3	110	85	0
<b>27</b>	10	2	8.5	10	8	110	100	0
<b>8</b>	15	2	18	5	3	90	85	1
<b>13</b>	10	2	8.5	5	12	90	90	1
<b>19</b>	15	5	8.5	10	3	110	90	1
<b>21</b>	15	5	8.5	5	3	90	100	1
<b>3</b>	10	2	4	0	3	90	85	1
<b>10</b>	10	5	4	0	3	90	90	0
<b>17</b>	10	2	4	0	3	110	85	1
<b>18</b>	10	5	4	0	3	110	100	1
<b>31</b>	25	2	18	0	3	90	100	1
<b>15</b>	25	2	18	0	3	110	90	1
<b>28</b>	15	2	4	0	8	90	100	1
<b>32</b>	15	5	4	0	8	90	85	1
<b>6</b>	25	2	4	10	12	90	85	1
<b>2</b>	25	5	4	10	12	90	100	1
<b>16</b>	15	2	4	0	12	110	90	1
<b>20</b>	15	5	4	0	12	110	85	1
<b>4</b>	25	2	4	5	8	110	85	1
<b>24</b>	25	5	4	5	8	110	90	1
<b>26</b>	25	5	8.5	0	3	90	85	0
<b>23</b>	25	5	8.5	0	3	110	85	1
<b>25</b>	45	5	18	0	8	90	90	0
<b>22</b>	45	5	18	0	12	110	100	1
<b>9</b>	45	2	4	10	3	90	90	0
<b>5</b>	45	5	4	10	3	90	85	0
<b>14</b>	45	2	4	5	3	110	100	1
<b>11</b>	45	5	4	5	3	110	85	1
<b>12</b>	45	2	8.5	0	8	90	85	0
<b>30</b>	45	2	8.5	0	12	110	85	1

TAB. 2.8 – Facteurs pour les questionnaires SP avant le déplacement

Il y a donc 32 ensembles de valeurs possibles qui vont, comme nous allons le voir, correspondre à 32 situations hypothétiques de choix différentes. Pour un questionnaire, on choisit aléatoirement 7 situations (qui vont définir 7 situations de choix, basées sur le trajet de référence) parmi les situations demandant un compromis. Il y a donc en fait 23 ensembles de valeurs que nous utilisons.

Maintenant que nous avons donné toutes les informations que nous utilisons pour déterminer les valeurs qui vont décrire les options, voici la méthode utilisée pour calculer ces valeurs. La colonne de gauche contient les caractéristiques des différentes alternatives et la colonne de droite décrit la façon de déterminer ces caractéristiques. Les informations en *italique* correspondent à des informations calculées sur base du trajet de référence et celles en **gras** proviennent des tables. Les informations de la colonne de droite en caractère normal signifient que la caractéristique associée est déterminée à partir d'autres caractéristiques déjà calculées.

### Itinéraire 1 par la route

Heure de départ	<i>Heure d'arrivée initialement souhaitée</i> - temps de parcours total estimé
Temps de parcours à circulation libre estimé	<i>Temps de parcours à circulation libre pour le trajet de référence</i>
Temps de parcours à faible allure estimé	<b>CF1</b>
Temps de parcours total estimé	Somme des deux composantes du temps de parcours
Heure d'arrivée prévue	<i>Heure d'arrivée initialement prévue</i>
Fourchette d'erreur pour les prévisions	<b>ERROR1</b>
Coût	<i>Distance du trajet de référence</i> × <i>Prix de revient kilométrique</i>

## Itinéraire 2 par la route

Heure de départ	<i>Heure d'arrivée initialement souhaitée</i> - temps de parcours total estimé
Temps de parcours à circulation libre estimé	<i>Temps de parcours à circulation libre pour le trajet de référence</i> + <b>FF2</b>
Temps de parcours à faible allure estimé	<b>CF2</b>
Temps de parcours total estimé	Somme des deux composantes du temps de parcours
Heure d'arrivée prévue	<i>Heure d'arrivée initialement prévue</i>
Fourchette d'erreur pour les prévisions	<b>ERROR2</b>
Distance supplémentaire	<b>FF2</b> × 60 kms/h
Coût	( <i>Distance du trajet de référence</i> + <i>Distance supplémentaire</i> ) × <i>Prix de revient kilométrique</i> × ( <b>COST2</b> /100)

## Transports publics

Heure de départ	<i>Heure de départ en transports publics</i>
Temps de parcours estimé	<i>Durée en transports publics</i> × ( <b>PTTT</b> /100)
Heure d'arrivée prévue	Heure départ + temps de parcours estimé
Coût	<i>Coût du déplacement en transports publics</i>

## Situation de préférences déclarées pendant le déplacement

Le degré de liberté de l'utilisateur est moins important dans ce type de situation en comparaison avec une situation de choix avant le déplacement. En effet, en cours de déplacement, les annulations sont rarement possibles. De même, on suppose qu'il n'est plus possible de changer de mode de transport. Il s'agit donc

<b>NBR</b>	<b>TT1</b>	<b>ERROR1</b>	<b>MIX1</b>	<b>SOURCE1</b>	<b>TT2</b>	<b>ERROR2</b>	<b>MIX2</b>	<b>SOURCE2</b>	<b>TRADEOFF</b>
<b>1</b>	25	10	2	2	25	10	1	2	1
<b>2</b>	30	2	2	1	15	15	0	1	1
<b>3</b>	45	2	1	2	15	10	0	2	0
<b>4</b>	25	2	1	1	35	5	1	2	1
<b>5</b>	45	10	1	2	15	15	2	1	1
<b>6</b>	25	10	1	1	35	10	0	1	1
<b>7</b>	30	2	0	2	35	15	1	1	1
<b>8</b>	25	10	0	1	15	10	2	1	1
<b>9</b>	30	10	1	1	25	5	1	1	0
<b>10</b>	45	5	2	1	35	5	2	1	0
<b>11</b>	25	5	2	2	25	15	0	1	1
<b>12</b>	30	10	0	2	35	5	0	1	1
<b>13</b>	45	10	2	1	35	15	0	2	1
<b>14</b>	30	5	0	2	35	10	2	2	1
<b>15</b>	30	2	1	1	25	15	2	2	1
<b>16</b>	45	2	0	1	25	10	2	1	1
<b>17</b>	30	5	2	1	15	10	1	1	0
<b>18</b>	30	5	1	1	25	10	0	1	0
<b>19</b>	25	5	0	1	15	15	1	2	1
<b>20</b>	45	5	0	1	25	5	0	2	0
<b>21</b>	25	2	2	2	25	5	2	1	1
<b>22</b>	45	2	2	1	35	10	1	1	1
<b>23</b>	45	5	1	2	15	5	1	1	0.5
<b>24</b>	30	10	2	1	15	5	2	2	0.5
<b>25</b>	25	5	1	1	35	15	2	1	0
<b>26</b>	25	2	0	1	15	5	0	1	1
<b>27</b>	45	10	0	1	25	15	1	1	1

TAB. 2.9 – Facteurs pour les questionnaires SP pendant le déplacement

uniquement de situations de choix de route en réponse à de l'information pertinente.

La personne doit choisir entre rester sur l'itinéraire courant ou changer d'itinéraire.

Les deux options construites sont décrites par :

- Le temps de parcours restant estimé,
- La fourchette d'erreur sur les prévisions,
- Le type de route pour la distance restante à parcourir :
  - 0 Routes nationales
  - 1 Un mélange de routes nationales et d'autres routes
  - 2 Autres routes
- La source de l'information :
  - 1 Radio
  - 2 Panneau à message variable

Les valeurs numériques associées aux caractéristiques décrites ci-dessus sont choisies dans la table suivante :

Les informations contenues dans cette table sont :

**NBR** est l'identifiant de la situation.

**TT1** représente le temps de parcours sur l'itinéraire 1 et est exprimé en minutes.

**ERROR1** représente la fourchette d'erreur sur les informations prédites pour l'itinéraire 1 et est exprimé en minutes.

**MIX1** donne le type de route pour l'itinéraire 1 selon le codage précédemment spécifié.

**SOURCE1** donne la source de l'information fournie en temps réel pour l'itinéraire 1 selon le codage précédemment spécifié.

**TT2** représente le temps de parcours sur l'itinéraire 2 et est exprimé en minutes.

**ERROR2** représente la fourchette d'erreur sur les informations prédites pour l'itinéraire 2 et est exprimé en minutes.

**MIX2** donne le type de route pour l'itinéraire 2 selon le codage précédemment spécifié.

**SOURCE2** donne la source de l'information fournie en temps réel pour l'itinéraire 2 selon le codage précédemment spécifié.

**TRADEOFF** signale si la situation de choix comporte un compromis à faire ou non :

1	le choix nécessite un compromis
0.5	le compromis est moins marqué
0	pas de compromis à faire

Cette table contient donc 27 ensembles de valeurs numériques donnant lieu à 27 situations de choix hypothétiques. Pour un questionnaire de préférences déclarées, on choisit aléatoirement 7 situations parmi celles contenant un compromis à faire, ce qui nous laisse un choix de 20 ensembles de valeurs utilisables.

### 2.3.2 Description du contenu du questionnaire

Une copie de la structure du questionnaire utilisé lors de l'enquête de préférences déclarées est disponible en annexe du rapport, en français et en allemand. Un exemple concret de questionnaire ayant été généré pour une personne en particulier est également fourni dans les deux langues.

Chaque questionnaire est composé d'un total de 14 situations hypothétiques de choix faisant intervenir de l'information routière en temps réel. Dans les 7 situations, de l'information sur l'état du trafic est disponible avant le déplacement. Pour les 7 autres situations, l'information routière est transmise en cours de déplacement. Le but essentiel du questionnaire de préférences déclarées est d'appréhender le comportement des usagers du système de transport lorsqu'on leur fournit de l'information en temps réels sur les conditions de trafic.

#### Situations de choix avant le déplacement

La personne interrogée est placée dans une situation hypothétique dans laquelle on lui fournit de l'information routière deux heures avant qu'elle ne débute

son déplacement. Il s'agit d'une situation de choix de route et de mode puisqu'elle doit choisir parmi les 4 possibilités suivantes :

- Emprunter l'itinéraire 1 (basé sur le trajet de référence décrit dans le questionnaire de préférences révélées) ;
- Emprunter l'itinéraire 2 ;
- Utiliser les transports publics ;
- Éventuellement retarder voire annuler son déplacement.

Pour faciliter son choix parmi les trois variantes, la personne reçoit via le système télématique des informations sur les temps de parcours pour les deux itinéraires ainsi que l'horaire des transports publics. Les temps de parcours fournis ne sont pas toujours exacts et le système donne une fourchette d'erreur sur la précision de ses prévisions.

### **Situations de choix pendant le déplacement**

La personne interrogée est placée dans une situation hypothétique dans laquelle on lui fournit de l'information routière vers la fin du déplacement qu'elle est en train d'effectuer. Le contexte est tel que la radio est allumée dans la voiture de la personne et celle-ci voit des panneaux à message variable le long du parcours. Il s'agit d'une situation de choix de route dans laquelle elle doit choisir parmi les 2 possibilités suivantes :

- Poursuivre le déplacement sur l'itinéraire actuel ;
- Poursuivre le déplacement sur un nouvel itinéraire.

Pour faciliter son choix, la personne reçoit via le système télématique des informations notamment sur les temps de parcours et sur le type de route pour les deux itinéraires. Les temps de parcours fournis ne sont pas toujours exacts et le système donne une fourchette d'erreur sur la précision de ses prévisions.

### **2.3.3 Description du processus de collecte et statistiques**

#### **Nombre de questionnaires SP générés sur base des questionnaires RP reçus**

Comme détaillé précédemment, les données contenues dans les questionnaires de préférences révélées ont été utilisées pour générer les questionnaires de préférences déclarées. Ce mécanisme en 2 étapes pour récolter les données a impliqué une diminution intrinsèque du nombre de personnes pour lesquelles nous disposons de données de préférences révélées et déclarées. En effet, le nombre de personnes ayant répondu aux deux enquêtes allait dépendre :

- du taux de réponse à l'enquête de préférences révélées que nous avons abordé dans le précédent chapitre ;
- du nombre de questionnaires de préférences déclarées que nous serions capable de produire sur base du nombre de questionnaires de préférences

- révélées reçus en retour ;
- du taux de réponse à l'enquête de préférences déclarées dont nous allons discuter dans la suite du rapport.

Dans ce qui suit, nous discutons du nombre de questionnaires de préférences déclarées que nous avons pu construire (selon la méthode décrite précédemment) qui a été grandement dépendant de la qualité des réponses obtenues en retour de l'enquête de préférences révélées. La qualité des données que nous avons récoltées dans la première enquête varie parmi les différents échantillons de personnes interrogées. Un nombre important de personnes ont rempli uniquement la première partie du questionnaire (les pages 1 à 5) et n'ont décrit aucun déplacement. Dans de nombreux questionnaires, les déplacements effectués n'étaient pas décrit de façon suffisamment précise que pour permettre la génération de situations de choix de routes et de mode réalistes par rapport à ces déplacements. D'autre part, certains déplacements décrits dans les questionnaires n'étaient pas utilisables dans le contexte de la génération de situations hypothétiques dans lesquelles les usagers prendraient en compte de l'information routière transmises au moyen de technologies télématiques. Nous avons choisi le plus long déplacement décrit par la personne comme étant le déplacement de référence pour générer de manière personnalisée les situations de choix de route avant le déplacement.

Certains questionnaires décrivent des déplacements très courts (de l'ordre de quelques kilomètres) tous effectués dans la même ville. Pour ces personnes, nous avons décidé de ne pas générer de questionnaires de préférences déclarées pour lesquels auraient paru irréalistes aux yeux des personnes interrogées.

Lors de la pré-enquête de préférences déclarées, nous avons généré des questionnaires pour chacune d'entre elles, y compris pour de très petits déplacements. Les personnes n'ayant pas répondu à cette deuxième partie ont été contactés par nos soins pour en connaître la raison. Celles-ci ont évoqué le côté irréaliste de certains situations qui leur étaient présentées. Si ces personnes ne se sentent pas concernées par ces situations hypothétiques, les réponses qu'elles vont fournir ne vont pas nous permettre d'identifier correctement le comportement d'usagers en réponse à de l'information routière.

## **Récolte de données en Suisse romande**

**Pré-enquête de préférences déclarées** Sur base des 37 questionnaires reçus lors de la pré-enquête de préférences révélées, nous avons généré 14 questionnaires de préférences déclarées. Ces questionnaires ont été envoyés le 25 juin 2003. Pour cette deuxième partie de la pré-enquête effectuée en Suisse romande, le taux de retour est bien meilleur comme le montre la table 2.10 page suivante.

**Enquête principale de préférences déclarées** Dans le cadre de l'enquête principale de préférences déclarées, nous avons généré un total de 89 question-

Questionnaires envoyés	14
Questionnaires en retour	11
Questionnaires utilisables	9
<b>Taux de retour</b>	<b>79%</b>

TAB. 2.10 – Pré-enquête SP en Suisse romande

	<b>TCS</b>	<b>Siemens</b>	<b>Total</b>
Questionnaires envoyés	68	21	89
Questionnaires en retour :	43	17	60
• dans le délai	29 (67%)	14 (82%)	43 (72%)
• après rappels	14 (33%)	-	17 (28%)
Questionnaires utilisables	41	15	56
<b>Taux de retour</b>	<b>63%</b>	<b>81%</b>	<b>67%</b>

TAB. 2.11 – Enquête SP principale en Suisse romande

naires sur base des 186 questionnaires reçus après la première phase de l'étude. 68 questionnaires étaient destinés aux membres du TCS et les 21 autres au personnel de la société Siemens. Le planning pour l'enquête principale était le suivant :

- 18 décembre 2003 : envoi des questionnaires aux membres du TCS,
- 8 janvier 2004 : envoi des questionnaires aux collaborateurs de Siemens,
- 22 janvier 2004 : envoi des rappels.

Pour l'enquête principale, le taux de retour a été de 67%. Les détails sont repris à la table 2.11.

**Ensemble des enquêtes réalisées en Suisse romande** Au total, 103 questionnaires de préférences déclarées ont été envoyés dans le cadre de l'étude réalisée en Suisse romande. Le taux de retour global a été de 69%. Les détails sont repris à la table 2.12 page suivante.

### Récolte de données en Suisse alémanique

**Pré-enquête de préférences déclarées** Sur base des 41 questionnaires reçus lors de la pré-enquête de préférences révélées, nous avons généré 24 questionnaires de préférences déclarées.

Parmi les 24 personnes interrogées une deuxième fois, 15 avaient accepté de participer à la deuxième partie de la collecte de données et 9 avaient refusé. Pour les personnes qui étaient d'accord de poursuivre leur collaboration, le taux de retour est de 73% alors qu'il est seulement de 33% pour les personnes qui n'avaient

	Pré-enquête	Enquête principale	Total
Questionnaires envoyés	14	89	103
Questionnaires en retour :	11	60	71
• dans le délai	11 (100%)	43 (72%)	52 (78%)
• après rappels	-	17 (28%)	19 (22%)
Questionnaires utilisables	9	56	65
<b>Taux de retour</b>	<b>79%</b>	<b>67%</b>	<b>69%</b>

TAB. 2.12 – Enquêtes SP en Suisse romande

Questionnaires envoyés	24
Questionnaires en retour	13
Questionnaires utilisables	12
<b>Taux de retour</b>	<b>50%</b>

TAB. 2.13 – Pré-enquête SP en Suisse alémanique

pas souhaité participer à la suite de l'enquête. Comme nous l'avons mentionné pour la collecte de données en Suisse romande, lors de l'enquête principale, nous n'avons plus demandé aux personnes si elles souhaitaient poursuivre leur collaboration et nous avons envoyé tous les questionnaires de préférences déclarées que nous avons pu élaborer.

**Enquête principale de préférences déclarées** Dans le cadre de l'enquête principale de préférences déclarées, nous avons généré un total de 153 questionnaires sur base des 319 questionnaires reçus après la première phase de l'étude. 67 questionnaires étaient destinés aux membres du TCS et les 86 autres aux propriétaires de résidence secondaire au Tessin. Le planning pour l'enquête principale est repris à la table 2.14.

Pour l'enquête principale, le taux de retour a été de 76% . Les détails sont repris à la table 2.15 page suivante.

	TCS	Tessin
envoi des questionnaires	5 novembre 2003	21 octobre 2003
envoi du premier rappel	11 décembre 2003	6 novembre 2003
envoi du second rappel	18 décembre 2003	20 novembre 2003

TAB. 2.14 – Agenda des envois SP

	<b>TCS</b>	<b>Siemens</b>	<b>Total</b>
Questionnaires envoyés	67	86	153
Questionnaires en retour :	52	72	124
• dans le délai	26 (50%)	36 (50%)	62 (50%)
• après le premier rappel	14 (25%)	30 (42%)	44 (35%)
• après le second rappel	12 (25%)	6 (8%)	18 (15%)
Questionnaires utilisables	51	66	117
<b>Taux de retour</b>	<b>76%</b>	<b>77%</b>	<b>76%</b>

TAB. 2.15 – Enquête SP principale en Suisse alémanique

	<b>Pré-enquête</b>	<b>Enquête principale</b>	<b>Total</b>
Questionnaires envoyés	24	153	177
Questionnaires en retour :	13	124	137
• dans le délai	5 (38%)	62 (50%)	67 (49%)
• après rappels	8 (62%)	62 (50%)	70 (51%)
Questionnaires utilisables	12	117	129
<b>Taux de retour</b>	<b>50%</b>	<b>76%</b>	<b>73%</b>

TAB. 2.16 – Enquêtes SP en Suisse alémanique

**Ensemble des enquêtes réalisées en Suisse alémanique** Au total, 177 questionnaires de préférences déclarées ont été envoyés dans le cadre de l'étude réalisée en Suisse alémanique. Le taux de retour global a été de 69%. Les détails sont repris à la table 2.16.

## 2.4 Fichiers de données disponibles

Différents fichiers liés aux phases de récolte de données et de calibrage de modèles sont disponibles sur un CD-rom (en annexe du rapport) :

- pour chaque échantillon de personnes interrogées en Suisse, les bases de données contenant les réponses aux enquêtes de préférences révélées et déclarées.
- les fichiers d'entrée (conçus sur base des informations brutes contenues dans les différents questionnaires) utilisés avec le logiciel BIOGEME au cours de la phase de calibrage des modèles.

# Chapitre 3

## Modèles théoriques

Nous introduisons brièvement les concepts théoriques qui sont à la base des modèles de choix discret qui sont utilisés dans le projet pour appréhender le comportement des usagers dans des situations de choix faisant intervenir la technologie télématique. De plus amples informations sur ces modèles sont décrites notamment par Ben-Akiva and Lerman (1985), Ben-Akiva and Bierlaire (2003), Train (2003).

Nous nous intéressons aux modèles d'utilité aléatoire appartenant à la famille des modèles des valeurs extrêmes dont le modèle logit multinomial (Multinomial Logit, MNL) et le modèle logit emboîté (Nested Logit, NL). Nous mettons également l'accent sur les hypothèses de modélisation sous-jacentes liées aux différents modèles théoriques. Finalement, nous mentionnons des modèles plus complexes portant le nom de logit mixtes (Mixed Logit) qui permettent de prendre en compte le fait que nous disposons de plusieurs choix observés pour un même individu.

### 3.1 Théorie des modèles de choix discret

Les modèles de choix discret sont utilisés pour analyser et prédire le comportement des individus dans un contexte de choix. Au cours des dernières décennies, les modèles de demande désaggrégés ont prouvé leur efficacité dans le contexte de l'analyse de la demande en transport. Ils considèrent la demande comme étant le résultat des décisions des différents individus composant la population prise en considération. Ce type de modèle s'applique parfaitement dans le cadre qui nous occupe. En effet, pour évaluer l'impact des STI sur le comportement des gens, il est primordial de prendre en compte les choix individuels des usagers en fonction de leurs caractéristiques et de leurs décisions en termes de choix de route et de mode de transport.

### 3.1.1 Hypothèses de modélisation

**Le preneur de décision** Les modèles étant désagrégés, le preneur de décision est un individu, doté de caractéristiques socio-économiques.

**Les options** Lorsque l'on s'intéresse au comportement des gens en terme de choix, il est important de connaître l'ensemble des possibilités ou des *options* qui s'offrent aux individus. Cet ensemble est appelé *l'ensemble de choix*. Les modèles de choix discret font l'hypothèse que l'ensemble de choix contient un nombre fini d'options qui peuvent être énumérées de façon explicite.

**Les attributs** Chaque option est décrite au moyen d'*attributs*. Ces attributs peuvent être spécifiques à une option ou génériques (communs à toutes les options). Un attribut peut être une quantité directement observée ou une fonction d'une ou de plusieurs données disponibles.

**La règle de décision** On fait l'hypothèse comportementale que les individus maximisent leur utilité. Plus précisément, on suppose que les individus sont capables de comparer les options, en leur associant une valeur appelée *l'utilité*, et qu'ils choisissent l'option qui a la plus grande utilité.

### 3.1.2 Modèles d'utilité aléatoire

L'utilité est modélisée par une variable aléatoire. Soit  $C_n$ , l'ensemble de choix de l'individu  $n$ . L'utilité de l'option  $i \in C_n$  est donnée par :

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$$

où :

- $V_{in}$  est la *partie déterministe* de l'utilité qui dépend :
  - des attributs de l'option  $i$ ,
  - des caractéristiques socio-économiques de l'individu  $n$ .
- $\varepsilon_{in}$  est un terme d'erreur.

Nous notons de façon générale :

$$V_{in} = V_{in}(X_{in})$$

où  $X_{in}$  est un vecteur rassemblant les attributs de l'option  $i$  et de l'individu  $n$ . La fonction d'utilité est souvent une expression linéaire en les *paramètres* et peut s'écrire de façon générale :

$$V_{in} = \beta_1 X_{in1} + \beta_2 X_{in2} + \beta_3 X_{in3} + \dots$$

où  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$  sont les paramètres du modèle à estimer.

La probabilité que l'option  $i$  soit choisie par l'individu  $n$  dans l'ensemble de choix  $C_n$  est donnée par :

$$\begin{aligned} P(i|C_n) &= P(U_{in} \geq U_{jn} \quad \forall j \in C_n) \\ &= P(U_{in} = \max_j U_{jn}) \end{aligned}$$

## 3.2 Le modèle Logit Multinomial (MNL)

Le modèle MNL est basé sur l'hypothèse que les termes d'erreur sont identiquement distribués selon une loi de Gumbel. On suppose en plus que les termes d'erreur  $\varepsilon_{in}$  sont indépendants. La probabilité que l'option  $i$  soit choisie parmi l'ensemble de choix  $C_n$  par l'individu  $n$  est :

$$P(i|C_n) = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\mu V_{jn}}}$$

où  $\mu$  est le paramètre d'échelle que l'on fixe généralement à 1.

La force de ce modèle est la simplicité de l'expression du modèle de probabilité qui en résulte. La limitation du modèle MNL est qu'il ne permet pas de capturer la corrélation éventuelle qu'il peut y avoir entre les options de l'ensemble de choix.

Pour les modèles de choix de route pendant le déplacement, nous utilisons un modèle Logit multinomial. Plus précisément, il s'agit d'un Logit binaire puisqu'il n'y a que deux options :

- Conserver l'itinéraire courant,
- Emprunter un nouvel itinéraire.

## 3.3 Le modèle Logit emboîté (NL)

Le modèle Logit emboîté est une extension du modèle Logit multinomial et est conçu pour capturer la corrélation parmi les options. Ce modèle est basé sur le partitionnement de l'ensemble de choix  $C$  en plusieurs sous-ensembles appelés nids comme suit :

$$C = C_1, C_2, \dots, C_M$$

où  $M$  est le nombre total de nids. Les nids forment une partition de l'ensemble de choix :

$$C_k \cap C_l = \emptyset \quad \forall k \neq l \quad \text{et} \quad \cup_{k=1}^M C_k = C.$$

La fonction d'utilité de chaque option est composée d'un terme associé au nid (contenant cette option) et d'un terme spécifique à l'option. Ainsi, si l'option  $i$  appartient au nid  $C_k$ , son utilité est de la forme :

$$U_i = V_i + \varepsilon_i + V_{C_k} + \varepsilon_{C_k}$$

Les termes d'erreur  $\varepsilon_i$  et  $\varepsilon_{C_k}$  sont supposés être indépendants. Comme pour le modèle MNL, les termes d'erreur  $\varepsilon_i$  (pour  $i \in C_k$ ) sont indépendants et identiquement distribués selon une loi de Gumbel de paramètre d'échelle  $\mu_k$ . D'autre part, la distribution de  $\varepsilon_{C_k}$  est telle que  $\max_{j \in C_k} U_j$  est distribué selon une loi de Gumbel de paramètre d'échelle  $\mu$ .

On associe à chaque nid dans l'ensemble de choix  $C$  une pseudo-utilité définie par :

$$V'_{C_k} = V_{C_k} + \frac{1}{\mu_k} \ln \sum_{j \in C_k} e^{\mu_k V_j}$$

La probabilité que l'option  $i \in C_k$  soit choisie parmi l'ensemble de choix  $C$  est :

$$P(i|C) = P(C_k|C)P(i|C_k)$$

où :

$$P(C_k|C) = \frac{e^{\mu V'_{C_k}}}{\sum_{l=1}^M e^{\mu V'_{C_l}}}$$

et :

$$P(i|C_k) = \frac{e^{\mu_k V_i}}{\sum_{j \in C_k} e^{\mu_k V_j}}$$

Les paramètres  $\mu$  et  $\mu_k$  permettent d'identifier la corrélation entre les options du nid  $C_k$ . En effet, pour  $i$  et  $j$  dans  $C_k$ , on a :

$$\frac{\mu}{\mu_k} = \sqrt{1 - \text{corr}(U_i, U_j)}$$

Dans le cas où  $\frac{\mu}{\mu_k} = 1 \forall k$ , le modèle NL se réduit au modèle MNL introduit précédemment. On contraint en général  $\mu$  à 1.

Le modèle Logit emboîté permet de capturer la corrélation qui existe entre les options d'un même nid.

Le modèle NL va être utilisé pour modéliser le comportement humain lors des situations de choix de route et de mode. Rappelons que dans ce contexte, de l'information est accessible avant d'entamer le déplacement. Les individus ont le choix entre deux itinéraires par la route et un itinéraire en transports publics. Les deux options sur route vont partager un certain nombre d'attributs non observés en commun. Cela justifie l'utilisation d'un modèle NL dont la structure en nids est la suivante :

- $C_1 = \{\text{Itinéraire 1 par la route, Itinéraire 2 par la route}\}$
- $C_2 = \{\text{Transports publics}\}$

### 3.4 Modélisation de l'hétérogénéité

Les modèles utilisés dans le cadre de cette étude appréhendent deux types d'hétérogénéité. D'une part, nous avons rassemblé les deux échantillons (TCS et Tessin) afin d'augmenter la qualité statistique des paramètres estimés. En effet, en faisant cela, il nous a été permis de contraindre certains paramètres à être communs aux deux échantillons, et à baser leur estimation sur un nombre plus important de données. Cette approche n'est valable que si un paramètre d'échelle (mesurant le rapport entre les variances des termes d'erreur de chaque échantillon) est introduit dans le modèle. Ce terme introduit une non-linéarité dans les fonctions d'utilité, mais peut être estimé par le logiciel Biogeme.

D'autre part, vu que chaque individu répond à plusieurs questions, il est parfois important d'appréhender les corrélations entre ces observations, en ajoutant un terme d'erreur lié à l'individu. La fonction d'utilité s'écrit alors

$$U_{in} = V_{in} + \xi_n + \varepsilon_{in}$$

où  $\xi_n$  est une variable aléatoire, distribuée sur la population, en suivant une loi normale de moyenne nulle et de variance  $\sigma$ . Cette variable prenant la même valeur pour toutes les observations d'un même individu, elle appréhende bien les corrélations entre celles-ci.

# Chapitre 4

## Calibrage de modèles de demande

Quand nous avons abordé les modèles théoriques, nous avons déjà spécifié le type de modèle de choix discret que nous allons utiliser, que ce soit pour les modèles de choix pendant ou avant le déplacement. En d'autres termes, nous avons déterminé les propriétés des parties aléatoires des fonctions d'utilité. La phase de calibrage consiste à identifier pour chaque option la liste des attributs susceptibles d'expliquer le comportement des gens en réponse à l'information routière en temps réel. Cela signifie que nous allons tenter de déterminer la meilleure formulation pour la partie déterministe des fonctions d'utilité, de façon à expliquer au mieux le comportement observé des individus de nos échantillons. Le processus de calibrage est séquentiel :

- On développe un premier modèle avec un petit nombre d'attributs,
- On estime les paramètres  $\beta$  de ce modèle au sens du maximum de vraisemblance,
- On évalue la qualité de ce modèle et on retire les éventuels attributs qui ne sont pas significatifs,
- On continue ainsi de suite en intégrant de nouveaux attributs ou en faisant intervenir certains attributs de façon différente (plusieurs définitions peuvent exister pour un même attribut et le but est de trouver la plus appropriée).

Tous les modèles de demande ont été calibrés à l'aide du logiciel BIOGEME, développé par Michel Bierlaire. Cet outil permet de calibrer les paramètres de tous les modèles de la famille GEV en résolvant le problème du maximum de vraisemblance. Les modèles mixtes que nous avons évoqués peuvent également être estimés avec ce logiciel en ayant recours à la simulation.

Nous allons présenter les modèles finaux obtenus après le long processus de calibrage. En premier lieu, nous nous intéressons aux modèles de choix de route pendant le déplacement qui sont calibrés en se basant sur les choix observés des personnes dans des situations pour lesquelles de l'information routière est

disponible en cours de route.

Ensuite, nous passons à la modélisation du comportement en termes de choix de route et de mode en réponse à de l'information routière avant le déplacement. Pour ce deuxième type de modèle, nous faisons la distinction entre les différents échantillons d'individus dont nous disposons. D'une part, nous calibrons un modèle pour des trajets de longue distance en se basant sur l'échantillon du Tessin qui contient des données associées à de longs déplacements, d'une distance supérieure à 100 kilomètres, vers les résidences secondaires des personnes de cet échantillon. D'autre part, nous modélisons les choix de route et de mode pour des trajets de plus courte distance en utilisant les autres données disponibles, à savoir les deux échantillons constitués de membres du TCS ainsi que l'échantillon des collaborateurs de Siemens. Remarquons que nous calibrons les deux modèles de façon simultanée, ce qui permet de déterminer les éventuels attributs qui sont communs aux deux modèles.

Pour chaque modèle présenté dans le rapport, nous donnons une description détaillée incluant :

- la modélisation de chaque option (avec les paramètres à estimer),
- le type de modèle de choix discret utilisé.

Ces informations constituent la spécification du modèle de demande et sont données comme fichier d'entrée au logiciel BIOGEME au même titre que le fichier de données que l'on souhaite utiliser pour le calibrage.

En ce qui concerne l'analyse de chaque modèle, nous nous basons sur les informations fournies par BIOGEME comme fichier de résultats, à savoir :

- la valeur des différents paramètres estimés (y compris les paramètres du modèle de choix discret),
- la valeur des  $t$ -tests,
- la corrélation entre les différents paramètres,
- la valeur optimale de la fonction de vraisemblance (ou la valeur de  $\rho^2$ ).

## 4.1 Modèles de choix de route pendant le déplacement

Dans le contexte où l'information est disponible au cours du déplacement, rappelons que l'ensemble de choix pour l'utilisateur est composé de deux options :

**Option 1** Rester sur l'itinéraire actuel,

**Option 2** Changer d'itinéraire.

L'ensemble des modèles intermédiaires ainsi que le modèle final décrit ci-dessous sont calibrés au moyen du fichier de données `on-trip.dat` disponible en annexe.

### 4.1.1 Spécification du modèle

Le modèle que nous présentons est un modèle Logit Multinomial mixte. Un terme aléatoire “panel” (distribué selon une loi normale) intervient dans une des fonctions d'utilité pour capturer la corrélation intrinsèque qui existe entre les différents choix observés d'un même individu de l'échantillon. Les attributs des options sont essentiellement les caractéristiques décrivant les situations hypothétiques de choix de route. Voici la description détaillée du modèle :

	Itinéraire courant	Itinéraire alternatif
$\beta_{\text{courant}}$	1	0
$\beta_{\text{temps}}$	temps restant	temps restant
$\beta_{\text{erreur\_radio\_élevée}}$	erreur * radio * utilisation_élevée	erreur * radio * utilisation_élevée
$\beta_{\text{erreur\_radio\_faible}}$	erreur * radio * utilisation_faible	erreur * radio * utilisation_faible
$\beta_{\text{erreur\_vms}}$	erreur * VMS	erreur * VMS
$\beta_{\text{non-nationales}}$	non-nationales	non-nationales
$\sigma_{\text{panel}}$	1	0

avec :

$$\text{radio} = \begin{cases} 1 & \text{si les informations routières sont transmises par la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{VMS} = \begin{cases} 1 & \text{si les informations routières proviennent de panneaux à message variable} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{non-nationales} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance restante à parcourir est composée de routes non-nationales} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{utilisation\_élevée} = \begin{cases} 1 & \text{si l'utilisateur utilise fréquemment la radio pour s'informer sur l'état du trafic} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{utilisation\_faible} = \begin{cases} 1 & \text{si l'utilisateur est peu ou pas familier à la technologie télématique via la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

### 4.1.2 Analyse des résultats

#### Résultats de l'estimation

Les résultats de l'estimation sont les suivants :

Nom	Valeur	Écart-type	$t - \text{test}$
$\beta_{\text{courant}}$	0.552	0.110	5.015
$\beta_{\text{temps}}$	-0.133	0.012	-10.87
$\beta_{\text{erreur\_radio\_élevée}}$	-0.055	0.016	-3.405
$\beta_{\text{erreur\_radio\_faible}}$	-0.076	0.023	-3.352
$\beta_{\text{erreur\_vms}}$	-0.078	0.016	-4.938
$\beta_{\text{non-nationales}}$	-0.270	0.101	-2.679
$\sigma_{\text{panel}}$	0.716	0.156	-4.576

- Nombre de paramètres estimés : 7
- Log-vraisemblance initiale : -940.601
- Log-vraisemblance finale : -701.949
- Rho-carré : 0.253723

### Interprétation des résultats

Tous les attributs intervenant dans les fonctions d'utilité sont hautement significatifs d'un point de vue statistique, comme en témoignent les valeurs des  $t$ -tests associés pour les différents paramètres. En particulier, le terme de "panel" joue un rôle important. Il apparaît donc opportun de ne pas considérer les observations dont nous disposons comme indépendantes mais plutôt de tenir compte de l'individu associé à chaque observation.

En ce qui concerne les paramètres associés aux attributs du modèle, voici l'analyse que l'on peut faire à parti des résultats obtenus ci-dessus :

$\beta_{\text{courant}}$  est la constante spécifique à la première option (représentant l'itinéraire courant) et sa valeur est positive. Cela signifie que les personnes ont une préférence intrinsèque pour cette option. En d'autres termes, si les deux options sont équivalentes en termes de temps de parcours, d'erreur sur les prévisions et de type de route, les individus vont préférer poursuivre sur leur itinéraire actuel plutôt que de changer d'itinéraire. On peut qualifier ce phénomène comportemental d'*inertie au changement*.

$\beta_{\text{temps}}$  est de signe négatif, ce qui est tout à fait intuitif. Le temps de parcours restant sur les itinéraires pénalise donc l'utilité des options correspondantes. Plus le temps de parcours restant est important, moins l'itinéraire est attractif pour l'individu.

$\beta_{\text{erreur\_radio\_élevée}}$ ,  $\beta_{\text{erreur\_radio\_faible}}$  et  $\beta_{\text{erreur\_vms}}$  prennent tous trois une valeur négative. Cela veut dire que les individus vont peu s'intéresser à un itinéraire pour lequel la fourchette d'erreur sur les prévisions est importante. Cela s'explique par le fait qu'une fourchette d'erreur élevée correspond à un temps de parcours potentiellement beaucoup plus grand. De plus, si les

informations routières fournies pour un itinéraire sont peu précises, les usagers vont accorder une confiance moins grande au système d'information et porter moins d'intérêt à cet itinéraire.

Si l'on analyse à présent les valeurs prises par ces trois paramètres, on remarque qu'une même valeur d'erreur sera plus pénalisée par l'utilisateur si l'information est lue sur un panneau à message variable plutôt qu'écoutée à la radio. Cela traduit une moins grande confiance envers les informations fournies par des panneaux à message variable et peut s'expliquer par le fait que les usagers sont moins familiers à cette technologie télématique encore trop récente.

On remarque également que la fréquence d'utilisation de systèmes d'information routière via la radio influence la manière dont les individus vont répondre à ce type d'information. En effet, les individus qui s'informent fréquemment sur l'état du trafic par le biais de la radio vont avoir une plus grande confiance vis-à-vis des informations routières qui leur sont divulguées de la sorte.

$\beta_{\text{non-nationales}}$  Les usagers préfèrent emprunter des autoroutes ou des routes nationales plutôt que des petites routes. Remarquons que la valeur absolue de ce paramètre est plus petite que la valeur de  $\beta_{\text{courant}}$ . Pour deux itinéraires équivalents en temps de parcours et en erreur, les usagers sont prêts à emprunter des petites routes pour rester sur leur itinéraire courant.

## 4.2 Modèles de choix de route avant le déplacement

Dans le cas où l'utilisateur a accès à de l'information routière avant d'entamer son déplacement, son ensemble de choix se compose des trois options suivantes :

**Option 1** Emprunter l'itinéraire 1 (itinéraire de base) par la route,

**Option 2** Emprunter l'itinéraire 2 par la route,

**Option 3** Utiliser les transports publics.

Les modèles pour les trajets de longue distance ont été calibrés en utilisant le fichier de données `longdistance-pre-trip.dat` (contenant la description de déplacements supérieurs à 100 kilomètres) tandis que les modèles de plus courte distance ont été calibrés sur base du fichier `shortdistance-pre-trip.dat` (contenant la description de trajets inférieurs à 50 kilomètres pour la majorité).

### 4.2.1 Spécification du modèle

Comme nous l'avons précédemment précisé, deux modèles spécifiques au type de déplacement sont estimés simultanément. Nous donnons d'abord la description du modèle de longue distance et puis celle du modèle de plus courte distance. Certains paramètres sont communs aux deux modèles étant que de précédentes

estimations ont mis en évidence une corrélation importante entre les paramètres spécifiques à chaque modèle. Pour les deux modèles, le modèle de choix discret utilisé est un Logit emboîté composé de deux nids. Le nid A contient les deux options par la route et le nid B contient l'option en transports publics.

La description du modèle pour les individus propriétaires d'une résidence secondaire au Tessin est la suivante :

	<b>Nid A</b>		<b>Nid B</b>
	Itinéraire 1	Itinéraire 2	Transports publics
$\beta_{ASC1-Tessin}$	1	0	0
$\beta_{ASC2-Tessin}$	0	1	0
$\beta_{coût}$	coût	coût	-
$\beta_{erreur}$	erreur	erreur	-
$\beta_{temps_emb1-Tessin}$	temps à faible allure	-	-
$\beta_{temps_emb2-Tessin}$	-	temps à faible allure	-
$\beta_{fréquence\_radio}$	utilisation_élevée	-	-
$\beta_{info-Tessin}$	-	connaissance	-
$\beta_{conséq-Tessin}$	-	impact	-
$\beta_{abo-Tessin}$	-	-	abonnement demi-tarif
$\beta_{nombre\_pers-Tessin}$	-	-	personnes
$\beta_{nombre\_voit-Tessin}$	-	-	voitures
$\beta_{profession}$	-	-	profession
$\beta_{salaire-Tessin}$	-	-	salaire_élevé
$\beta_{transports\_publics-Tessin}$	-	-	pourcentage

où les attributs sont définis comme suit :

**utilisation\_élevée**

$$utilisation\_élevée = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu utilise fréquemment les systèmes} \\ & \text{d'information du trafic à la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**connaissance**

$$connaissance = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu s'est informé sur l'état du trafic pendant le} \\ & \text{déplacement de référence via la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**impact**

$$impact = \begin{cases} 1 & \text{si l'information routière a eu un impact sur l'individu} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**abonnement demi-tarif**

$$abonnement\ demi-tarif = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu possède l'abonnement} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**personnes** est le nombre de personnes qui composent le ménage de l'individu.

**voitures** est le nombre de voitures dont dispose le ménage de l'individu.

**profession**

$$\text{profession} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu est cadre supérieur ou travaille à la maison} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**salaire\_élevé**

$$\text{salaire_élevé} = \begin{cases} 1 & \text{si le revenu du ménage dépasse 8000 CHF} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**pourcentage** est le pourcentage d'utilisation des transports publics lors des déplacements de l'individu vers sa résidence secondaire.

Voici à présent la spécification du modèle pour les déplacements de plus courte distance :

	<b>Nid A</b>		<b>Nid B</b>
	Itinéraire 1	Itinéraire 2	Transports publics
$\beta_{\text{ASC1-autres}}$	1	0	0
$\beta_{\text{ASC2-autres}}$	0	1	0
$\beta_{\text{coût}}$	coût	coût	-
$\beta_{\text{erreur}}$	erreur	erreur	-
$\beta_{\text{temps_emb_courte-autres}}$	temps_emb_courte	temps_emb_courte	-
$\beta_{\text{temps_emb_longue-autres}}$	temps_emb_longue	temps_emb_longue	-
$\beta_{\text{temps_lib_courte-autres}}$	temps_lib_courte	temps_lib_courte	-
$\beta_{\text{temps_lib_longue-autres}}$	temps_lib_longue	temps_lib_longue	-
$\beta_{\text{fréquence_radio}}$	utilisation_—élevée	-	-
$\beta_{\text{internet-autres}}$	fréquence_internet	-	-
$\beta_{\text{info-autres}}$	-	connaissance	-
$\beta_{\text{avance-autres}}$	-	-	avance
$\beta_{\text{billet-autres}}$	-	-	prix_billet
$\beta_{\text{horaire-autres}}$	-	-	temps de parcours
$\beta_{\text{prof}}$	-	-	profession
$\beta_{\text{âge-autres}}$	-	-	âge
$\beta_{\text{mode-autres}}$	-	-	mode_voiture
$\beta_{\text{dispo-autres}}$	-	-	disponibilité_voiture
$\beta_{\text{type-autres}}$	-	-	type_voiture
$\beta_{\text{kms-autres}}$	-	-	kilomètres

Les attributs associés aux temps de parcours (faisant intervenir la distance du trajet) sont définis de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{temps\_emb\_courte} &= \text{temps à faible allure} & * & \text{distance\_courte} \\ \text{temps\_emb\_longue} &= \text{temps à faible allure} & * & \text{distance\_longue} \\ \text{temps\_lib\_courte} &= \text{temps à circulation libre} & * & \text{distance\_courte} \\ \text{temps\_lib\_longue} &= \text{temps à circulation libre} & * & \text{distance\_longue} \end{aligned}$$

où :

$$\text{distance\_courte} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est inférieure à 50 kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{distance\_longue} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est supérieure à 50 kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les autres attributs sont définis comme suit :

#### **utilisation\_élevée**

$$\text{utilisation_élevée} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu utilise fréquemment les systèmes} \\ & \text{d'information du trafic à la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

#### **fréquence\_internet**

$$\text{fréquence_internet} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu utilise fréquemment Internet} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

#### **connaissance**

$$\text{connaissance} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu s'est informé sur l'état du trafic pendant le} \\ & \text{déplacement de référence via la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**avance** est le nombre de minutes d'avance sur l'heure d'arrivée souhaitée si l'individu emprunte les transports publics.

#### **profession**

$$\text{profession} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu est cadre supérieur ou travaille à la maison} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

#### **âge**

$$\text{âge} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu a moins de 40 ans} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

#### **mode\_voiture**

$$\text{mode_voiture} = \begin{cases} 1 & \text{si la voiture a été choisie comme mode lors du trajet} \\ & \text{de référence} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

#### **disponibilité\_voiture**

$$\text{disponibilité_voiture} = \begin{cases} 1 & \text{si l'utilisateur dispose de sa propre voiture ou d'une voiture du} \\ & \text{ménage} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**type\_voiture**

$$\text{type\_voiture} = \begin{cases} 1 & \text{si une voiture de société a été utilisée lors du trajet de référence} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

**kilomètres** est le nombre de kilomètres que l'individu effectue par an en voiture.

Étant donné qu'il y a trois options dans l'ensemble de choix, nous avons défini pour chaque modèle deux constantes spécifiques aux deux options associées à un itinéraire par la route. Les paramètres  $\beta_{\text{coût}}$ ,  $\beta_{\text{erreur}}$ ,  $\beta_{\text{fréquence\_radio}}$  et  $\beta_{\text{profession}}$  sont communs aux deux modèles. Nous rappelons qu'un paramètre d'échelle a du être introduit.

## 4.2.2 Analyse des résultats

### Résultats de l'estimation

Nous présentons les résultats dans l'ordre suivant :

- Les paramètres communs aux deux modèles,
- Les paramètres spécifiques au modèle pour le Tessin,
- Les paramètres spécifiques à l'autre modèle,
- Les paramètres associés aux modèles théoriques.

Nom	Valeur	Écart-type	$t$ – test
$\beta_{\text{coût}}$	-0.145	0.034	-4.214
$\beta_{\text{erreur}}$	-0.021	0.009	-2.209
$\beta_{\text{fréquence\_radio}}$	0.401	0.125	3.218
$\beta_{\text{profession}}$	-2.297	0.409	-5.613
$\beta_{\text{ASC1-Tessin}}$	12.11	3.225	3.754
$\beta_{\text{ASC2-Tessin}}$	12.67	3.293	3.847
$\beta_{\text{abo-Tessin}}$	2.386	0.862	2.768
$\beta_{\text{salaire-Tessin}}$	3.186	1.314	2.425
$\beta_{\text{info-Tessin}}$	-0.354	0.182	-1.942
$\beta_{\text{conséq-Tessin}}$	0.505	0.196	2.579
$\beta_{\text{nombre\_pers-Tessin}}$	-1.210	0.391	-3.094
$\beta_{\text{nombre\_voit-Tessin}}$	-1.173	0.446	-2.634
$\beta_{\text{transports\_publics-Tessin}}$	0.190	0.053	3.579
$\beta_{\text{temps\_emb1-Tessin}}$	-0.048	0.014	-3.322
$\beta_{\text{temps\_emb2-Tessin}}$	-0.073	0.025	-2.967
$\beta_{\text{ASC1-autres}}$	-3.054	1.144	-2.670
$\beta_{\text{ASC2-autres}}$	-2.780	1.141	-2.436
$\beta_{\text{mode-autres}}$	-1.390	0.297	-4.683
$\beta_{\text{dispo-autres}}$	-3.659	1.081	-3.386
$\beta_{\text{type-autres}}$	-3.016	1.093	-2.760
$\beta_{\text{internet-autres}}$	-0.239	0.125	-1.910
$\beta_{\text{info-autres}}$	0.708	0.156	4.523
$\beta_{\text{âge-autres}}$	-1.197	0.341	-3.513
$\beta_{\text{kms-autres}}$	-0.041	0.012	-3.420
$\beta_{\text{avance-autres}}$	-0.033	0.011	-3.166
$\beta_{\text{billet-autres}}$	-0.037	0.022	-1.674
$\beta_{\text{horaire-autres}}$	-0.066	0.009	-7.019
$\beta_{\text{temps\_emb\_longue-autres}}$	-0.088	0.019	-4.543
$\beta_{\text{temps\_emb\_courte-autres}}$	-0.084	0.015	-5.582
$\beta_{\text{temps\_lib\_longue-autres}}$	-0.066	0.011	-5.752
$\beta_{\text{temps\_lib\_courte-autres}}$	-0.122	0.015	-8.081
$\mu_{\text{Nid A-Tessin}}$	4.057	0.971	4.176
$\mu_{\text{Nid A-autres}}$	1.951	0.311	6.260
$\mu_{\text{échelle}}$	0.580	0.151	3.841

- Nombre de paramètres estimés : 34
- Log-vraisemblance initiale : -1399.63
- Log-vraisemblance finale : -767.245
- Rho-carré : 0.451824

## Interprétation des résultats

En regardant la valeur des différents tests statistiques effectués, on constate que la plupart des paramètres estimés sont significatifs sauf  $\beta_{\text{info-Tessin}}$  et  $\beta_{\text{info-autres}}$  qui sont très proches du niveau de signification de 1.96 en valeur absolue. Le  $t$ -test pour  $\beta_{\text{billet-autres}}$  est également légèrement en-deçà du niveau de signification. Passons à présent à l'interprétation de ces paramètres catégorie par catégorie.

### Paramètres génériques

$\beta_{\text{coût}}$  prend une valeur négative. Cela indique qu'un itinéraire par la route est pénalisé par le coût du déplacement en voiture, quel que soit le type de trajet.

$\beta_{\text{erreur}}$  est de signe négatif. Si l'erreur sur les prévisions fournies par un système d'informations est importante, cela implique un temps de parcours qui peut être potentiellement plus grand. De plus, les individus peuvent assimiler une erreur importante à une piètre qualité du système d'informations, et par conséquent avoir moins confiance en ce système. C'est pourquoi une grande erreur pour un itinéraire va avoir un effet négatif sur l'attraction de cet itinéraire.

$\beta_{\text{fréquence\_radio}}$  est de signe positif. Un individu qui utilise fréquemment les systèmes d'information du trafic à la radio va donc favoriser l'utilité de l'itinéraire de base par la route. Cela peut s'expliquer par le fait que de tels individus ont une plus grande expérience de la technologie télématique. Étant donné leurs réactions passées à l'information routière, ils jugent vraisemblablement qu'il est préférable, en moyenne, de conserver l'itinéraire initialement prévu plutôt que de changer d'itinéraire, voire de mode.

$\beta_{\text{profession}}$  indique que les cadres supérieurs ainsi que les hommes/femmes au foyer ont une préférence pour la voiture en terme de mode de transport. Il est vraisemblable que ces individus ont un usage important de la voiture au cours de leurs déplacements.

### Paramètres du modèle pour le Tessin

$\beta_{\text{ASC1-Tessin}}$  et  $\beta_{\text{ASC2-Tessin}}$  sont les constantes spécifiques aux itinéraires par la route. Les deux valeurs positives indiquent une préférence intrinsèque pour la voiture comme mode de transport lorsque les deux modes de transports sont équivalents en ce qui concerne les autres attributs.

$\beta_{\text{abo-Tessin}}$  a une valeur positive, ce qui signifie que le fait de posséder l'abonnement demi-tarif des CFF va favoriser l'intérêt des individus pour l'option en transports publics.

- $\beta_{\text{salaire-Tessin}}$  indique que les individus dont les revenus sont élevés vont favoriser l’option en transports publics, qui s’avère être une option coûteuse pour des déplacements de grande distance en l’absence de réductions tarifaires.
- $\beta_{\text{info-Tessin}}$  prend une valeur négative. Les individus qui se sont informés sur l’état du trafic lors du déplacement de référence ne vont pas pour autant changer plus facilement d’itinéraire. Cela peut s’expliquer par la nature des trajets décrits dans l’échantillon du Tessin. Il s’agit de trajets vers la résidence secondaire pour lesquels les individus ont a priori une bonne connaissance des possibilités d’itinéraire (peu nombreuses qui plus est).
- $\beta_{\text{conséq-Tessin}}$  est de signe positif. Les individus qui ont choisi de changer d’itinéraire par la route suite à l’information qui leur a été communiquée le jour de leur trajet de référence vont plus volontiers favoriser un changement d’itinéraire dans des situations de choix similaires.
- $\beta_{\text{nombre\_pers-Tessin}}$  a une valeur positive. L’interprétation est que le nombre de personnes composant le ménage va influencer positivement le choix de la voiture comme mode de transport pour se rendre à la résidence secondaire.
- $\beta_{\text{nombre\_voit-Tessin}}$  est positif. Le nombre de voitures disponibles dans le ménage de l’individu favorise donc l’utilisation d’une voiture comme mode de transport.
- $\beta_{\text{transports\_publics-Tessin}}$  prend une valeur positive. Un individu ayant utilisé les transports publics avec un grand pourcentage au cours des derniers trajets vers la résidence secondaire va plus volontiers choisir ce type d’option dans des situations de choix impliquant un déplacement vers la résidence secondaire.
- $\beta_{\text{temps\_emb1-Tessin}}$  et  $\beta_{\text{temps\_emb2-Tessin}}$  sont tous deux de signe négatif. Le temps de parcours à faible allure est donc pénalisant pour les deux itinéraires par la route. Un même temps de parcours à faible allure est plus pénalisé pour l’option 2 que pour l’option de base, ce qui traduit une inertie au changement d’itinéraire. Remarquons que le temps de parcours à circulation libre n’influence pas de manière significative le choix des individus. Pour ce type de trajet, les individus connaissent le temps de parcours approximatif et ils savent que des trajets de longue distance sont synonymes d’un temps de parcours élevé. Par contre, il leur importe de pouvoir éviter des embouteillages au cours de leur trajet vers leur résidence secondaire.

## Paramètres pour l’autre modèle

- $\beta_{\text{ASC1-autres}}$  et  $\beta_{\text{ASC2-autres}}$  sont les constantes spécifiques aux deux premières options. Elles sont toutes deux négatives, ce qui traduit une préférence pour les transports publics dans le cas où les deux modes de transports sont équivalents en ce qui concerne les attributs décrivant les options associées.

- $\beta_{\text{mode-autres}}$  a un signe négatif. Les individus qui ont utilisés une voiture lors du trajet de référence vont plus volontiers choisir la voiture comme mode de transport dans des situations de choix basées sur ce trajet de référence.
- $\beta_{\text{dispo-autres}}$  Les individus disposant de leur propre voiture ou d'une voiture du ménage portent plus d'intérêt à un itinéraire par la route.
- $\beta_{\text{type-autres}}$  Le fait que les individus disposaient d'une voiture de société lors du trajet de référence favorise l'emploi de la voiture comme mode de transport dans des situations de choix de mode partageant des caractéristiques communes avec ce trajet.
- $\beta_{\text{internet-autres}}$  Les individus qui utilisent fréquemment Internet vont plus facilement s'intéresser à des itinéraires de diversion par rapport à leur itinéraire de base. Cela peut être un signe d'une plus grande confiance en les systèmes de transports intelligents.
- $\beta_{\text{info-autres}}$  Les individus qui se sont informés sur l'état du trafic lors du déplacement de référence ont vraisemblablement une plus grande expérience des systèmes d'information routière. Ils vont donc porter plus d'intérêt aux itinéraires de diversion que peut proposer un système de gestion du trafic. Remarquons que le type de déplacement sur lequel se base ce modèle favorise plus l'utilisation des informations fournies sur l'état du trafic que ce n'était le cas pour les voyages au Tessin.
- $\beta_{\text{âge-autres}}$  Les individus de moins de 40 ans vont avoir une préférence pour un itinéraire par la route, comme l'indique la valeur positive de ce paramètre.
- $\beta_{\text{kms-autres}}$  est de signe positif. Cela signifie que le nombre de kilomètres qu'effectue un individu par an en voiture va influencer positivement une option en voiture.
- $\beta_{\text{avance-autres}}$  Si l'individu arrive trop en avance à destination en utilisant les transports publics par rapport à l'heure d'arrivée souhaitée, cette option sera moins intéressante à ses yeux.
- $\beta_{\text{billet-autres}}$  Le prix du billet en transports publics a un effet négatif sur l'attraction de l'option associée.
- $\beta_{\text{horaire-autres}}$  Le temps de parcours en transports publics joue un rôle pénalisant sur l'utilité de ce mode de transport.

Tous les paramètres associés aux temps de parcours pour les itinéraires par la route sont négatifs, ce qui est conforme à l'intuition. Remarquons que le temps de parcours à faible allure est plus pénalisé lorsque la distance du trajet augmente. En ce qui concerne les temps de parcours à circulation libre, l'évolution est inverse en ce sens que la pénalité associée au temps de parcours à circulation libre est moins grande pour les longs trajets. Il est par ailleurs intéressant de comparer le paramètre pour la circulation libre et le paramètre pour la circulation dans les embouteillages pour une catégorie de distance. Pour les trajets de

moins de 50 kilomètres, les individus pénalisent plus le temps de parcours à circulation libre. Cela peut s'expliquer par le fait que les individus sont habitués à rencontrer des embouteillages au cours de ce type de trajet et vont avant tout favoriser un itinéraire plus court en terme de temps de parcours à circulation libre. Pour des trajets supérieurs à 50 kilomètres, nous observons le phénomène inverse dans le sens où le temps de parcours à faible allure a une plus grande influence. Pour des trajets d'une distance relativement importante, le temps de parcours est également important et les individus sont peut-être prêts à emprunter un itinéraire un peu plus long pour éviter des embouteillages.

### Paramètres théoriques

$\mu_{\text{Nid A-Tessin}}$  est significatif d'un point de vue statistique et sa valeur de 4.304 est nettement supérieure à 1, valeur fixée pour le paramètre d'échelle  $\mu$ . Cela prouve que les deux premières options sont fortement corrélées.

$\mu_{\text{Nid A-autres}}$  est également significatif pour une valeur supérieure à 1. Pour le modèle calibré sur les trajets de plus courte distance, on constate le même type de corrélation parmi les options proposées.

$\mu_{\text{échelle}}$  est significatif et différent de 1. Comme nous estimons simultanément deux modèles partageant des paramètres communs, il est important de définir un paramètre d'échelle pour les options des deux modèles. On constate que l'échelle n'est donc pas la même pour les deux modèles.

La corrélation qui existe entre les deux options associées à des itinéraires par la route peut s'expliquer de deux façons. D'une part, ces deux options partagent des attributs en communs au niveau de la spécification des utilités ainsi que de nombreux autres attributs non observés. D'autre part, les situations de choix avant le déplacement auxquelles nous avons confronté les individus peuvent être vues comme des processus de décision séquentiels. En effet, il faut d'abord choisir un mode de transport et ensuite, le cas échéant, choisir l'itinéraire.

Remarquons que la valeur d'échelle associée au nid B pour les deux modèles est également fixée à 1 puisque ce nid contient une seule option : l'option associée aux transports publics. Il n'y a donc aucune corrélation à capturer parmi les options du nid B.

### Valeur du temps

La valeur du temps est une quantité importante lorsque l'on étudie le comportement d'individus dans des situations de choix dans le domaine des transports. Elle représente en effet la valeur pécuniaire que les gens associent au temps. Lorsque les fonctions d'utilité sont linéaires, cette valeur est obtenue en divisant le paramètre associé au temps par le paramètre associé au coût, c'est-à-dire :

$$\frac{\beta_{\text{temps}}}{\beta_{\text{coût}}}$$

Nous pouvons calculer différentes valeurs étant donné que nous disposons de différents paramètres du type ci-dessus. Le temps étant exprimé en minutes et le coût en CHF, nous allons obtenir des CHF/min que nous convertissons en CHF/heure, ce qui est une unité habituellement utilisée.

La table ci-dessous regroupe les différentes valeurs de temps obtenues en fonction de la distance du trajet et du type de temps de parcours pour l'échantillon TCS (Suisse romande + alémanique) :

<b>Valeur du temps (CHF/min)</b>	Circulation libre	Dans les embouteillages
Courte distance ( $\leq 50$ km)	<i>50.7</i>	34.8
Longue distance ( $> 50$ km)	27.3	36.5

Les valeurs pour les voyages longue distance sont comparables avec les résultats de Koenig et al. (2004) : 35.9 CHF, en supposant un revenu moyen de 10'000 CHF/mois et un voyage d'affaire de 75 km. Par contre, nos estimations sont significativement plus élevées pour les voyages courts. Koenig et al. (2004) obtiennent 24.22 CHF en supposant un revenu moyen de 10'000 CHF/mois et un voyage d'affaire de 25 km. Ces résultats sont cohérents avec la faible granularité des distances et des temps pour les courts voyages. L'approche par segmentation continue proposée par Koenig et al. (2004) est plus appropriée pour l'estimation des valeurs du temps pour les courts voyages. Notons que la valeur 50.7 CHF n'a aucune signification économique valide dans notre contexte. C'est pourquoi elle apparaît en italique dans le tableau ci-dessus.

# Chapitre 5

## Prototype du simulateur de demande

### 5.1 Présentation générale

Les modèles que nous venons de présenter sont inclus dans un simulateur de demande en vue de les rendre opérationnels. Ce simulateur permet de simuler le comportement des individus dans des contextes spécifiques tels que des stratégies de diversion. Nous avons en fait développé 3 simulateurs :

- Un simulateur de réponse à l’information routière pendant le déplacement,
- Un simulateur de réponse à l’information routière avant le déplacement pour des trajets vers le Tessin,
- Un simulateur de réponse à l’information routière avant le déplacement pour des trajets de courte distance.

Chaque simulateur se présente sous la forme d’un fichier Excel contenant deux feuilles de calcul. La première feuille représente le simulateur proprement dit tandis que la seconde contient la spécification du modèle de demande utilisé. Selon le simulateur, l’utilisateur peut définir un scénario particulier de choix de route pendant le déplacement ou de choix de route et de mode avant le déplacement.

Un scénario est défini par deux types d’information. D’une part, l’utilisateur peut choisir les caractéristiques socio-économiques de l’individu. D’autre part, il peut définir les valeurs numériques des différents attributs continus qui décrivent les situations de choix. Enfin, il est possible de sélectionner l’attribut continu avec lequel on souhaite effectuer une analyse de sensibilité des probabilités de choix.

Pour faciliter la description d’un scénario, des valeurs par défaut sont fournies pour les attributs continus. Plus précisément, des bornes (inférieure et supérieure) par défaut sont données pour les intervalles de variation de ces attributs. Lorsqu’un attribut ne varie pas, sa valeur est donnée par la borne inférieure de l’intervalle de variation. Ces valeurs par défaut sont calculées de manière cohérente avec la façon dont nous avons généré les situations de choix lors des enquêtes de

préférences déclarées. Notons que toutes ces valeurs peuvent être modifiées par l'utilisateur afin d'analyser différents scénarios.

Pour chaque scénario défini, le simulateur fournit l'évolution des probabilités de choix des différentes options disponibles par rapport à l'attribut continu que l'on a choisi de faire varier.

## 5.2 Exemple de scénario pendant le déplacement

Pour faciliter l'utilisation des différents simulateurs, nous présentons un exemple de scénario de choix de route avec le simulateur de demande pendant le déplacement. Ce simulateur est basé sur le modèle de choix de route pendant le déplacement qui est décrit en détail dans le chapitre 4.

La figure 5.1 page suivante représente le scénario de base que nous utilisons. Nous choisissons de faire la simulation pour des individus qui sont familiers à l'utilisation de la radio lors de leurs déplacements en voiture. Les deux itinéraires sont composés de routes nationales. Les individus sont informés de l'état du trafic sur leur itinéraire actuel par la radio tandis qu'un panneau à message variable leur fournit de l'information routière pour un itinéraire alternatif. Enfin, la fourchette d'erreur sur les informations routières est fixée à 5 minutes pour les deux itinéraires.

Le graphique de la figure 5.1 page suivante montre la sensibilité des probabilités de choix des deux itinéraires au temps de parcours de l'itinéraire alternatif. En effet, le temps de parcours est de 30 minutes pour l'itinéraire courant alors que nous faisons varier le temps de parcours de l'itinéraire alternatif de 15 à 35 minutes. Nous voyons clairement que la probabilité de rester sur l'itinéraire actuel augmente au fur et à mesure que le temps de parcours sur l'itinéraire de diversion proposé augmente. Dès que le temps de parcours dépasse 25 minutes pour l'itinéraire alternatif, les conducteurs préfèrent conserver leur itinéraire actuel. Cela signifie que les conducteurs sont prêts à perdre jusqu'à 5 minutes pour ne pas changer de route, ce qui illustre parfaitement le concept d'inertie dont nous avons parlé lors de l'étude du modèle de choix de route sous-jacent.

Supposons à présent que le temps de parcours restant soit fixe pour les deux itinéraires et que nous souhaitons analyser l'impact d'une variation de 5 à 15 minutes de la fourchette d'erreur pour les informations routières fournies pour l'itinéraire de diversion. Le temps de parcours pour l'itinéraire courant (respectivement l'itinéraire alternatif) est de 35 minutes (respectivement 30 minutes) et la fourchette d'erreur sur les prévisions pour l'itinéraire courant est de 10 minutes. Le graphique de la figure 5.2 page 54 représente la variation de la probabilité de choix des itinéraires en fonction de l'erreur sur les prévisions routières annoncées pour l'itinéraire de diversion. Les conducteurs sont de moins en moins nombreux à changer d'itinéraire à mesure que l'erreur sur les informations pour l'itinéraire de diversion augmente. Une erreur potentielle importante sur les in-

Modèle de réponse à l'information routière pendant le déplacement

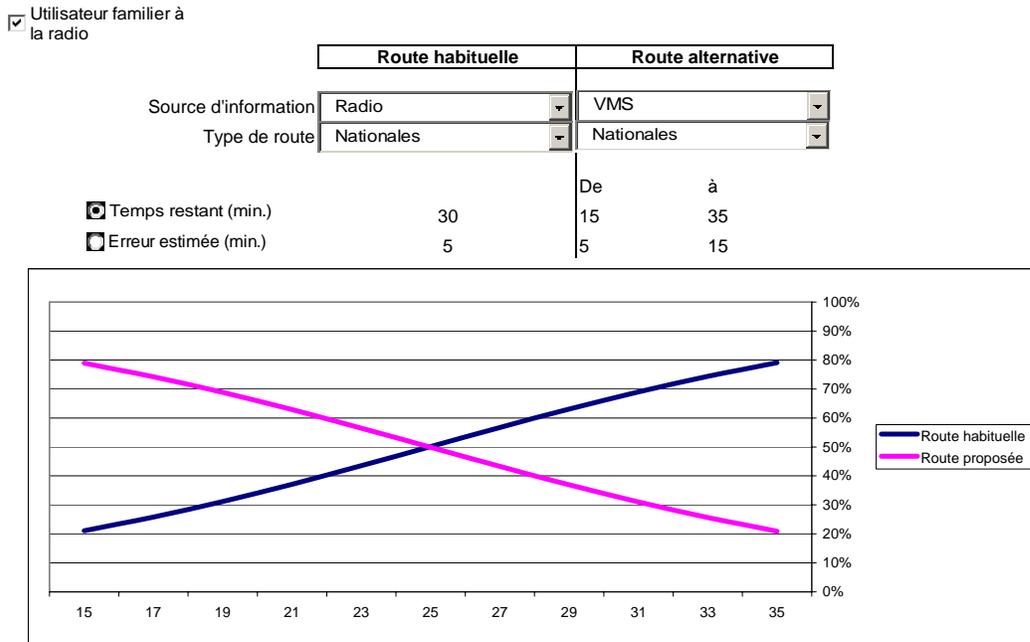


FIG. 5.1 – Évolution de la demande en fonction du temps de parcours restant

formations routières transmises traduit une relative inefficacité du système de transport. Dans ce cas, les individus préfèrent avoir un comportement prudent en poursuivant leur déplacement sur l'itinéraire actuel.

Nous venons de voir que ce simulateur permet d'analyser le comportement des conducteurs pendant le déplacement lorsque certains attributs continus décrivant la situation de choix varient.

Reprenons le scénario décrit par la figure 5.2 page suivante et intéressons-nous à l'influence des autres attributs qui interviennent dans la façon dont les conducteurs répondent à de l'information routière en temps réel. La figure 5.3 page 55 décrit exactement le même scénario que la figure 5.2 page suivante mais illustre désormais le comportement des conducteurs étant peu familiers à l'utilisation de la radio pour s'informer sur les conditions du trafic. Par rapport au scénario décrit à la figure 5.2 page suivante, on voit clairement que la probabilité de choix de l'itinéraire courant est à présent plus faible. L'explication réside dans le fait que l'erreur sur les prévisions via la radio pour l'itinéraire courant est plus pénalisée par des individus ayant peu ou pas d'expérience de la technologie télématique via la radio.

Nous partons à nouveau du scénario décrit à la figure 5.2 page suivante et

Modèle de réponse à l'information routière pendant le déplacement

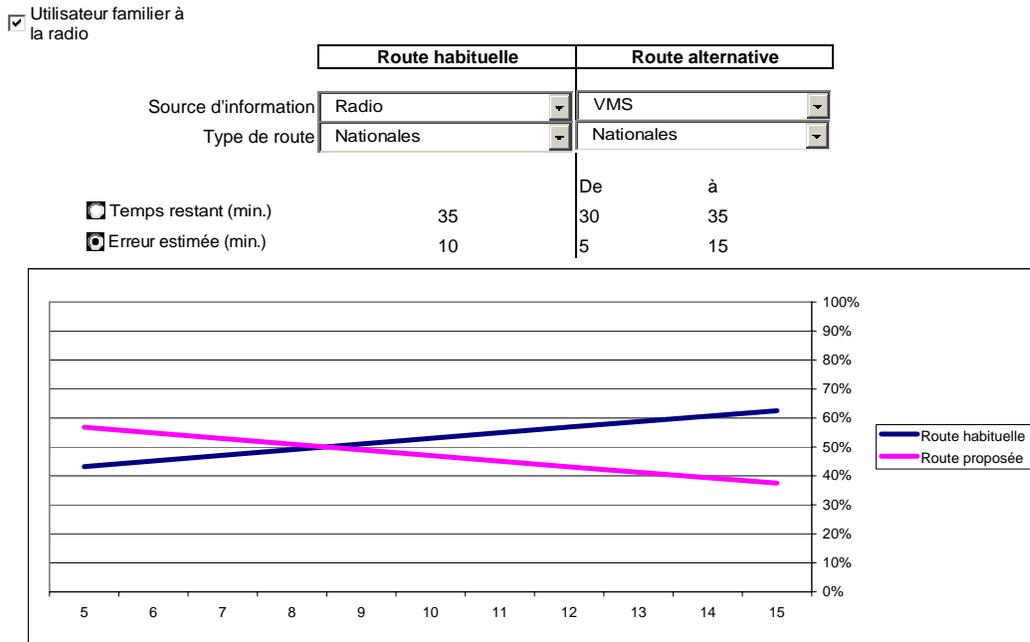


FIG. 5.2 – Évolution de la demande en fonction de l'erreur sur l'information routière

nous modifions la source de l'information sur les conditions de trafic de l'itinéraire actuel. Un deuxième panneau à message variable donne maintenant des informations sur l'itinéraire courant. La figure 5.4 page 56 nous montre que la probabilité de choisir l'itinéraire courant pour une même valeur d'erreur est plus faible si les informations sont fournies par panneau à message variable plutôt que par la radio (voir figure 5.2). Les conducteurs étant moins familiers à la récente technologie VMS, ceux-ci font moins confiance à de l'information qui leur est fournie par ce biais. Cela résulte du fait que l'erreur est pénalisée de manière plus importante si elle est transmise à l'aide de la technologie VMS.

Le dernier attribut qui permet de définir un scénario de choix de route est le type de route à emprunter sur le reste de l'itinéraire. Jusqu'à présent, les 4 scénarios que nous avons présentés supposent que les deux itinéraires au choix sont uniquement composés de routes nationales. Reprenons une dernière fois le scénario de la figure 5.2 mais en supposant que l'itinéraire que les conducteurs empruntent actuellement est fait de routes non-nationales alors que l'itinéraire de diversion empruntent des routes nationales. La figure 5.5 page 57 montre que l'attractivité de l'itinéraire courant est moins grande. Les conducteurs préfèrent

Modèle de réponse à l'information routière pendant le déplacement

Utilisateur familier à la radio

	Route habituelle	Route alternative
Source d'information	Radio	VMS
Type de route	Nationales	Nationales

<input checked="" type="checkbox"/> Temps restant (min.)	35	De 30 à 35
<input checked="" type="checkbox"/> Erreur estimée (min.)	10	De 5 à 15

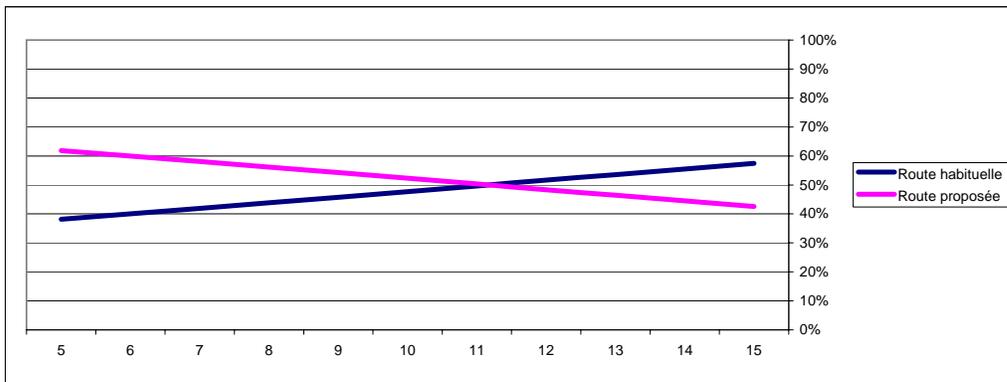


FIG. 5.3 – Individus peu familiers à la technologie télématique via la radio

en effet emprunter des routes nationales plutôt que de circuler sur des routes non-nationales.

Modèles suisses pour la prédiction de la demande en transport pour les applications en temps réel  
 Projet VSS 1999/259

Modèle de réponse à l'information routière pendant le déplacement

Utilisateur familier à la radio

	Route habituelle	Route alternative
Source d'information	VMS	VMS
Type de route	Nationales	Nationales
		De à
<input type="checkbox"/> Temps restant (min.)	35	30 35
<input checked="" type="checkbox"/> Erreur estimée (min.)	10	5 15

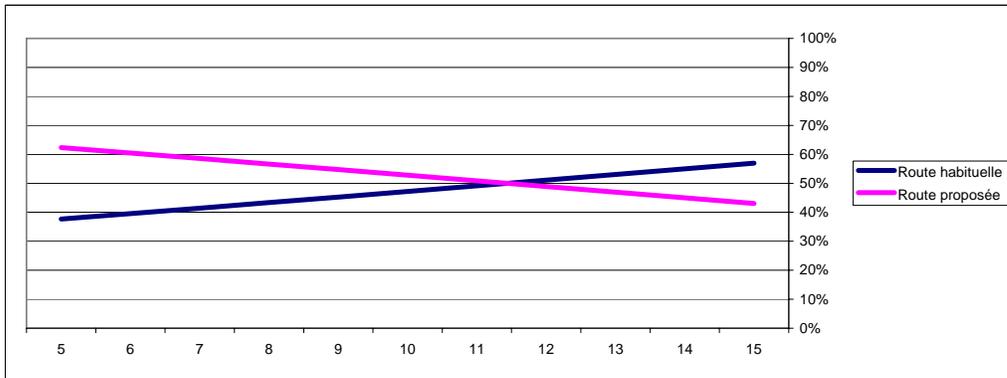


FIG. 5.4 – Faible expérience de la technologie télématique par VMS

Modèles suisses pour la prédiction de la demande en transport pour les applications en temps réel  
 Projet VSS 1999/259

Modèle de réponse à l'information routière pendant le déplacement

Utilisateur familier à la radio

	Route habituelle	Route alternative
Source d'information	Radio	VMS
Type de route	Non nationales	Nationales
	De	à
<input type="checkbox"/> Temps restant (min.)	35	30
<input checked="" type="checkbox"/> Erreur estimée (min.)	10	5

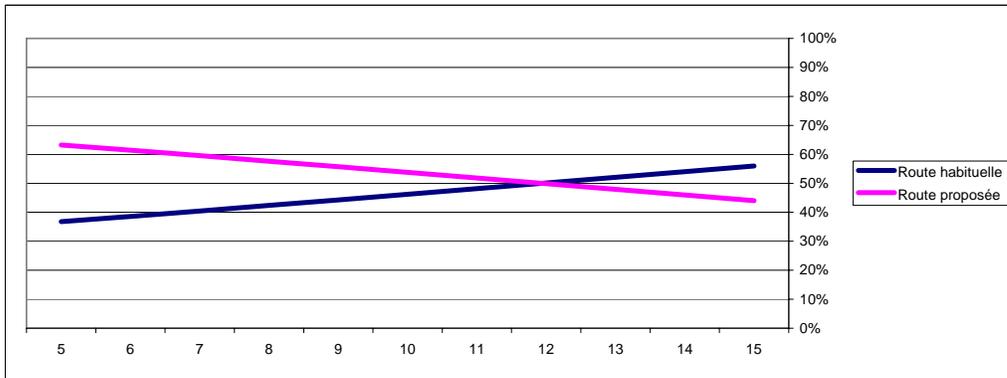


FIG. 5.5 – Préférence pour les routes nationales

# Chapitre 6

## Conclusion

Cette étude a permis de définir des modèles relativement précis permettant de mieux comprendre et prédire la manière dont les conducteurs prennent en compte l'information routière.

Le modèle de comportement pendant le voyage permet de mesurer l'ampleur de l'inertie, c'est-à-dire la propension des gens à maintenir leur choix habituel malgré une détérioration de la situation. De plus, la préférence pour les routes nationales a pu également être mesurée. Il semble que le type de technologie (radio ou VMS) n'ait qu'une influence marginale sur le comportement. Ce modèle peut être utilisé pour évaluer l'impact sur le trafic de stratégies de diversion faisant appel à des panneaux à message variable.

Dans le cadre de l'information avant le départ, il apparaît que le comportement des conducteurs est hétérogène dans la population. Le rôle important des données socio-économiques dans le modèle calibré sur les données TCS en est une manifestation. Notamment, pour les voyages courts (moins de 50 kilomètres), la valeur du temps anormalement élevée est un indice que cette hétérogénéité devrait mieux être caractérisée, en cohérence avec les observations de Hess et al. (to appear). Deux pistes doivent être envisagées. La première consiste à développer des modèles à coefficients aléatoires, permettant d'appréhender l'hétérogénéité latente, c'est-à-dire non directement observable. La seconde consiste à concevoir et implémenter une technique d'enquête "panel" qui permettrait de récolter des données sur ce phénomène précis mis en évidence par ce projet. Au final, le modèle pour les courts voyages fournit de faibles possibilités de prédiction. En effet, en appliquant le modèle à l'aide du simulateur associé, on remarque que ce modèle est peu robuste et sensible aux caractéristiques socio-économiques des individus.

Le comportement des personnes ayant une résidence secondaire au Tessin est très intéressant à analyser. Le rôle important joué par l'information routière dans ce contexte, ainsi que le rôle significatif des transports publics, constituent des indices très importants pour développer des politiques d'informations ciblées pour les voyages de longue distance. Ce modèle présente en effet de bonnes qualités de prédiction et pourrait être utilisé, par exemple, pour évaluer différentes stratégies

de gestion du trafic généré par les habitants du Valais se rendant à Lausanne ou à Genève pour leur travail. La mise en oeuvre d'une telle étude nécessiterait la récolte de données socio-économiques idoines afin de caractériser correctement la population en question. Cependant, la structure et les paramètres du modèle devraient être transposables directement.

Nous terminons ce rapport par quelques pistes de recherche qu'il serait intéressant d'investiguer.

- La diversité des comportements mise en évidence dans ce projet suggère le développement d'enquêtes ciblées et systématiques. Le coût de la récolte des données nécessaires étant très élevé, le développement d'une campagne systématique et normalisée permettrait des économies d'échelle importantes.
- L'évolution des comportements est un phénomène qu'il est important d'analyser. En effet, au fur et à mesure que les conducteurs sont confrontés réellement aux informations routières (Glion, Lausanne-Genève, etc.), leur utilisation de ces technologies évolue. Notamment, il s'est avéré que la prise en compte de la marge d'erreur dans les décisions est significative. Cependant, ce concept reste relativement abstrait dans le cadre des questionnaires SP.
- L'échantillon, basé sur les adresses du TCS, comporte un biais vers les véhicules privés. Une analyse de l'impact de l'information sur le choix modal, basée sur des données récoltées également dans les transports publics, serait très intéressante.

L'utilisation des modèles de demande s'avère de plus en plus importante dans l'utilisation des infrastructures télématiques. Les modèles développés dans le cadre de ce projet constitue une première étape importante pour mieux comprendre et prédire l'impact de ces technologies. De plus, l'utilisation d'outils de simulation permet de mieux comprendre ces phénomènes.

# Chapitre 7

## Annexes

### 7.1 Modèles intermédiaires

#### 7.1.1 Modèle de choix de route pendant le déplacement

Le premier modèle que nous présentons est un modèle Logit Multinomial. Les fonctions d'utilité contiennent uniquement des caractéristiques sur les alternatives. Voici la description détaillée du modèle :

	Itinéraire courant	Itinéraire alternatif
$\beta_{\text{courant}}$	1	0
$\beta_{\text{temps}}$	temps restant	temps restant
$\beta_{\text{erreur\_radio}}$	erreur * radio	erreur * radio
$\beta_{\text{erreur\_vms}}$	erreur * VMS	erreur * VMS
$\beta_{\text{non-nationales}}$	non-nationales	non-nationales

avec :

$$\text{radio} = \begin{cases} 1 & \text{si les informations sont transmises par la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{VMS} = \begin{cases} 1 & \text{si les informations proviennent de panneaux à message variable} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{non-nationales} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance restante est composée de routes non-nationales} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les résultats de l'estimation sont les suivants :

Nom	Valeur	Écart-type	$t$ - test
$\beta_{\text{courant}}$	0.520	0.093	5.621
$\beta_{\text{temps}}$	-0.122	0.007	-17.11
$\beta_{\text{erreur\_radio}}$	-0.049	0.013	-3.733
$\beta_{\text{erreur\_vms}}$	-0.067	0.013	-5.016
$\beta_{\text{non-nationales}}$	-0.253	0.090	-2.797

- Log-vraisemblance initiale : -940.601
- Log-vraisemblance finale : -712.025
- Rho-carré : 0.243011

Tous les paramètres de ce modèle sont hautement significatifs d'un point de vue statistique, avec des valeurs de  $t$ -test en valeur absolue allant 2.797 à 17.11 ! Intéressons nous plus en détail à la valeur des différents paramètres :

$\beta_{\text{courant}}$  Ce paramètre est la constante spécifique à l'alternative 1 et sa valeur est positive. Cela signifie qu'il existe une préférence intrinsèque pour rester sur l'itinéraire courant si toutes les autres caractéristiques des deux alternatives sont les mêmes. On appelle cela l'inertie au changement.

$\beta_{\text{temps}}$  Ce paramètre a un signe négatif. Le temps de parcours restant sur les itinéraires pénalise donc l'utilité des alternatives. Plus ce temps est important sur un itinéraire, moins l'utilisateur va le considérer.

$\beta_{\text{erreur\_radio}}$  La fourchette d'erreur sur les prévisions donne un indication sur la qualité des informations de trafic diffusées sur les ondes radio. Plus cette fourchette est importante, moins le conducteur aura confiance en ce système, à cause d'un temps de parcours qui peut potentiellement être bien plus élevé.

$\beta_{\text{erreur\_vms}}$  L'interprétation est la même que pour le paramètre  $\beta_{\text{erreur\_radio}}$ . Cependant, bien que ces deux paramètres soient négatifs, ils ont sensiblement des valeurs différentes. Une même valeur pour la fourchette d'erreur sera plus pénalisée par l'utilisateur si l'information est lue sur un panneau à message variable plutôt qu'écoutée à la radio. En d'autres termes, on constate une plus grande confiance en les informations transmises par la radio. Cela peut s'expliquer par le fait que la technologie télématique via la radio est plus couramment utilisée par les utilisateurs.

$\beta_{\text{non-nationales}}$  Les usagers préfèrent emprunter des routes cantonales ou des autoroutes plutôt que de passer par de petites routes.

## 7.1.2 Modèles de choix de route avant le déplacement

### Modèle de base

Le premier modèle que nous présentons est un modèle Logit emboîté composé de deux nids. Les fonctions d'utilité contiennent uniquement des caractéristiques sur les alternatives. Voici la description détaillée du modèle :

	Nid A Itinéraire 1	Itinéraire 2	Nid B Transports publics
$\beta_{ASC1}$	1	0	0
$\beta_{ASC2}$	0	1	0
$\beta_{coût}$	coût	coût	-
$\beta_{temps.lib}$	temps à circulation libre	temps à circulation libre	-
$\beta_{temps.emb}$	temps à faible allure	temps à faible allure	-
$\beta_{erreur}$	erreur	erreur	-
$\beta_{billet}$	-	-	billet
$\beta_{horaire}$	-	-	horaire
$\beta_{avance}$	-	-	avance sur arrivée souhaitée

Étant donné que nous avons trois alternatives dans l'ensemble de choix, nous avons défini deux constantes spécifiques aux deux premières alternatives. Les résultats de l'estimation de ce premier modèle sont :

Nom	Valeur	Écart-type	$t - test$
$\beta_{ASC\_1}$	1.502	0.122	12.30
$\beta_{ASC\_2}$	1.621	0.123	13.18
$\beta_{coût}$	-0.052	0.007	-7.541
$\beta_{avance}$	-0.013	0.002	-6.122
$\beta_{erreur}$	-0.008	0.003	-2.577
$\beta_{billet}$	-0.062	0.008	-7.860
$\beta_{horaire}$	-0.018	0.003	-5.200
$\beta_{temps.emb}$	-0.024	0.003	-7.081
$\beta_{temps.lib}$	-0.029	0.004	-7.722

- Log-vraisemblance initiale : -1399.63
- Log-vraisemblance finale : -1020.9
- Rho-carré : 0.270593

Tous les attributs intervenant dans la spécification de ce modèle sont hautement significatifs d'un point de vue statistique. Intéressons-nous aux valeurs estimées que nous avons obtenu pour les différents paramètres :

**ASC\_1 et ASC\_2** Ces constantes sont toutes deux positives. Cela se traduit par une préférence intrinsèque pour la voiture comme mode de transport.

- $\beta_{\text{coût}}$  La valeur négative indique qu'un coût de déplacement élevé en voiture va pénaliser l'utilité des alternatives par la route.
- $\beta_{\text{billet}}$  De manière semblable, la probabilité d'utilisation des transports publics est d'autant plus petite que le prix du billet est grand.
- $\beta_{\text{erreur}}$  Ce paramètre a une valeur négative, comme c'était le cas pour les situations de choix de route pendant le déplacement. L'explication est qu'une erreur importante sur les prévisions est associée à un temps de parcours potentiellement plus élevé. Cela peut également être considéré par les usagers comme un système d'information de qualité médiocre en lequel ils auront peu confiance.
- $\beta_{\text{horaire}}$  Un temps de parcours important en transports publics donne lieu à une alternative associée peu attractive.
- $\beta_{\text{temps\_emb}}$  et  $\beta_{\text{temps\_lib}}$  Les deux paramètres prennent des valeurs négatives. Il est par contre difficile d'interpréter la différence entre les valeurs de ces deux paramètres étant donné que nous ne tenons pas compte de la longueur du déplacement.
- $\beta_{\text{avance}}$  Les usagers seront moins favorables à l'utilisation des transports publics si ceux-ci les font arriver à leur destination trop en avance sur l'heure souhaitée.

## Première adaptation

Les modifications concernant le modèle sont les suivantes :

- Les paramètres  $\beta_{\text{coût}}$ ,  $\beta_{\text{temps\_emb}}$  et  $\beta_{\text{temps\_lib}}$  sont spécifiques aux deux premières alternatives.
- La fréquence de la disponibilité d'une voiture est introduite dans les deux premières alternatives en définissant la variable :

$$\text{fréquence\_voiture} = \begin{cases} 1 & \text{si la fréquence de la disponibilité d'une voiture est élevée} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- La possession de l'abonnement général et de l'abonnement demi-tarif des CFF sont des attributs de l'alternative en transports publics.
- Le mode choisi lors du trajet de référence intervient dans l'alternative en transports publics par le biais de la variable :

$$\text{mode\_train} = \begin{cases} 1 & \text{si le train a été choisi comme mode lors du trajet de référence} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

On obtient alors la spécification suivante :

	Nid A		Nid B
	Itinéraire 1	Itinéraire 2	Transports publics
$\beta_{ASC1}$	1	0	0
$\beta_{ASC2}$	0	1	0
$\beta_{coût}$	coût	-	-
$\beta_{coût2}$	-	coût	-
$\beta_{temps\_emb}$	temps à faible allure	-	-
$\beta_{temps\_emb2}$	-	temps à faible allure	-
$\beta_{temps\_lib}$	temps à circulation libre	-	-
$\beta_{temps\_lib2}$	-	temps à circulation libre	-
$\beta_{erreur}$	erreur	erreur	-
$\beta_{fréquence}$	fréquence_voiture	fréquence_voiture	-
$\beta_{billet}$	-	-	billet
$\beta_{horaire}$	-	-	horaire
$\beta_{avance}$	-	-	avance
$\beta_{mode}$	-	-	mode_train
$\beta_{abo2}$	-	-	abonnement général
$\beta_{abo}$	-	-	abonnement demi-tarif

Les résultats de l'estimation sont :

Nom	Valeur	Écart-type	$t$ – test
$\beta_{ASC.1}$	2.317	0.226	10.24
$\beta_{ASC.2}$	2.240	0.245	9.132
$\beta_{fréquence}$	0.207	0.010	2.079
$\beta_{coût}$	-0.052	0.008	-6.620
$\beta_{coût2}$	-0.049	0.007	-6.741
$\beta_{avance}$	-0.001	0.002	-4.528
$\beta_{erreur}$	-0.007	0.003	-2.656
$\beta_{billet}$	-0.042	0.009	-4.637
$\beta_{abo2}$	1.090	0.253	4.298
$\beta_{abo}$	0.874	0.208	4.209
$\beta_{mode}$	1.270	0.243	5.237
$\beta_{horaire}$	-0.017	0.003	-4.856
$\beta_{temps\_emb}$	-0.017	0.003	-6.041
$\beta_{temps\_emb2}$	-0.026	0.005	-5.456
$\beta_{temps\_lib}$	-0.020	0.003	-6.264
$\beta_{temps\_lib2}$	-0.021	0.003	-6.398

- Log-vraisemblance initiale : -1399.63
- Log-vraisemblance finale : -977.996 (-1020.9)
- Rho-carré : 0.301248 (0.270593)

où les valeurs entre parenthèses correspondent au modèle précédent.

Ce nouveau modèle permet une augmentation significative de la valeur de la log-vraisemblance. Malgré l'augmentation du nombre de paramètres contenus dans le modèle, tous ceux-ci sont significatifs et permettent d'expliquer le choix observé dans les situations hypothétiques. La discussion sur les paramètres présents dans le précédent modèle reste valable pour ce nouveau modèle. Pour les paramètres associés au temps de parcours, on peut constater qu'un même temps de parcours (qu'il soit à circulation libre ou à faible est allure) est légèrement plus pénalisant pour l'itinéraire alternatif que pour l'itinéraire de référence. En ce qui concerne les nouveaux attributs :

$\beta_{\text{fréquence}}$  La valeur positive nous indique qu'un individu qui dispose fréquemment d'un véhicule est plus susceptible d'utiliser la voiture comme mode de transport.

$\beta_{\text{mode}}$  Un individu ayant utilisé le train comme mode de transport lors du trajet de référence va choisir avec une plus grande probabilité le train dans une situation de choix basée sur ce trajet de référence. Ceci est indiqué par une valeur positive du paramètre correspondant.

$\beta_{\text{abo2}}$  Un usager possédant l'abonnement général va plus volontiers utiliser les transports en publics.

$\beta_{\text{abo}}$  Même remarque pour l'abonnement demi-tarif avec une préférence toutefois moindre qui se traduit par une valeur du paramètre plus petite.

## Deuxième adaptation

Ce modèle est toujours un Logit emboîté avec la même structure de nids. Par contre, il contient beaucoup plus d'attributs concernant :

- les caractéristiques socio-économiques des individus,
- les informations sur le trajet de référence.

Plus précisément, les modifications par rapport au précédent modèle sont les suivantes :

- Le mode choisi lors du trajet de référence intervient à présent dans les alternatives associées à la route par le biais de la variable :

$$\text{mode\_voiture} = \begin{cases} 1 & \text{si la voiture a été choisie comme mode lors du trajet} \\ & \text{de référence} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Le type de disponibilité d'une voiture pour l'individu :

$$\text{disponibilité\_voiture} = \begin{cases} 1 & \text{si l'usager dispose de sa propre voiture ou d'une voiture du} \\ & \text{ménage} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Le type de voiture utilisée lors du trajet de référence :

$$\text{type\_voiture} = \begin{cases} 1 & \text{si une voiture de société a été utilisée lors du trajet de référence} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Nous introduisons le revenu du ménage de l'individu dans l'alternative en transports publics de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \text{billet\_bas} &= \text{billet} * \text{salaire\_bas} \\ \text{billet\_élevé} &= \text{billet} * \text{salaire\_élevé} \end{aligned}$$

où :

$$\text{salaire\_bas} = \begin{cases} 1 & \text{si le revenu du ménage est inférieur à 8000 CHF} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{salaire\_élevé} = \begin{cases} 1 & \text{si le revenu du ménage dépasse 8000 CHF} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- La fréquence d'utilisation d'Internet est introduite dans les deux itinéraires alternatifs à l'itinéraire de base avec la variable :

$$\text{fréquence\_internet} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu utilise fréquemment Internet} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- La connaissance de l'état du trafic lors du trajet de référence est introduite dans les deux itinéraires alternatifs à l'itinéraire de base avec la variable :

$$\text{connaissance} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu s'est informé sur l'état du trafic pendant le} \\ & \text{déplacement via la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- L'impact de cette information est introduit dans les deux itinéraires alternatifs à l'itinéraire de base avec la variable :

$$\text{impact} = \begin{cases} 1 & \text{si l'information routière a eu un impact sur l'individu} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- La fréquence d'utilisation des systèmes d'information du trafic via la radio est introduite dans les deux itinéraires alternatifs à l'itinéraire de base avec la variable :

$$\text{utilisation\_élevée} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu utilise fréquemment les systèmes} \\ & \text{d'information du trafic à la radio} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- L'âge de l'individu est introduit dans les deux premières alternatives avec la variable :

$$\hat{\text{age}} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu a moins de 40 ans} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Le nombre de personnes vivant dans le ménage est introduit dans les deux premières alternatives.
- La profession de l'individu intervient dans l'alternative en transports publics avec la variable :

$$\text{profession} = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu est cadre supérieur ou travaille à la maison} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- La distance du trajet de référence intervient dans les deux premières alternatives en étant combinée aux temps de parcours de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{temps\_lib\_courte} &= \text{temps à circulation libre} * \text{distance\_courte} \\ \text{temps\_lib\_moyenne} &= \text{temps à circulation libre} * \text{distance\_moyenne} \\ \text{temps\_lib\_longue} &= \text{temps à circulation libre} * \text{distance\_longue} \\ \text{temps\_emb\_courte} &= \text{temps à faible allure} * \text{distance\_courte} \\ \text{temps\_emb\_moyenne} &= \text{temps à faible allure} * \text{distance\_moyenne} \\ \text{temps\_emb\_longue} &= \text{temps à faible allure} * \text{distance\_longue} \end{aligned}$$

où :

$$\text{distance\_courte} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est inférieure à 50 kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{distance\_moyenne} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est comprise entre} \\ & \text{50 kms et 100 kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{distance\_longue} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est supérieure à 100 kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Étant données les modifications précitées, nous obtenons dès lors la spécification suivante :

	Nid A Itinéraire 1	Itinéraire 2	Nid B Transports publics
$\beta_{ASC1}$	1	0	0
$\beta_{ASC2}$	0	1	0
$\beta_{coût}$	coût	-	-
$\beta_{coût2}$	-	coût	-
$\beta_{temps\_emb\_courte}$	temps_emb_courte	temps_emb_courte	-
$\beta_{temps\_emb\_moyenne}$	temps_emb_moyenne	temps_emb_moyenne	-
$\beta_{temps\_emb\_longue}$	temps_emb_longue	temps_emb_longue	-
$\beta_{temps\_lib\_courte}$	temps_lib_courte	temps_lib_courte	-
$\beta_{temps\_lib\_moyenne}$	temps_lib_moyenne	temps_lib_moyenne	-
$\beta_{temps\_lib\_longue}$	temps_lib_longue	temps_lib_longue	-
$\beta_{erreur}$	erreur	erreur	-
$\beta_{fréquence}$	fréquence_voiture	fréquence_voiture	-
$\beta_{mode}$	mode_voiture	mode_voiture	-
$\beta_{dispo}$	disponibilité_voiture	disponibilité_voiture	-
$\beta_{type}$	type_voiture	type_voiture	-
$\beta_{nombre\_pers}$	personnes	personnes	-
$\beta_{âge}$	âge	âge	-
$\beta_{billet\_bas}$	-	-	billet_bas
$\beta_{billet\_élevé}$	-	-	billet_élevé
$\beta_{horaire}$	-	-	horaire
$\beta_{avance}$	-	-	avance
$\beta_{profession}$	-	-	profession
$\beta_{abo2}$	-	-	abonnement général
$\beta_{abo}$	-	-	abonnement demi-tarif
$\beta_{fréquence\_internet}$	-	fréquence_internet	fréquence_internet
$\beta_{fréquence\_radio}$	-	utilisation_élevée	utilisation_élevée
$\beta_{info}$	-	connaissance	-
$\beta_{conséq}$	-	impact	-

Le calibrage de ce modèle nous donne alors :

Nom	Valeur	Écart-type	$t - \text{test}$
$\beta_{\text{ASC}_1}$	-1.288	0.925	-1.392
$\beta_{\text{ASC}_2}$	-1.456	0.934	-1.558
$\beta_{\text{fréquence}}$	0.341	0.165	2.075
$\beta_{\text{mode}}$	1.474	0.207	7.115
$\beta_{\text{dispo}}$	3.288	0.832	3.954
$\beta_{\text{type}}$	3.518	0.794	4.433
$\beta_{\text{coût}}$	-0.072	0.009	-8.100
$\beta_{\text{coût2}}$	-0.075	0.009	-8.411
$\beta_{\text{avance}}$	-0.009	0.002	-3.867
$\beta_{\text{erreur}}$	-0.015	0.005	-2.784
$\beta_{\text{billet\_bas}}$	-0.095	0.013	-7.168
$\beta_{\text{billet\_élevé}}$	-0.032	0.010	-3.238
$\beta_{\text{abo2}}$	1.225	0.277	4.426
$\beta_{\text{abo}}$	0.964	0.247	3.907
$\beta_{\text{fréquence\_internet}}$	0.158	0.054	2.936
$\beta_{\text{info}}$	0.214	0.058	3.674
$\beta_{\text{conséq}}$	0.370	0.156	2.371
$\beta_{\text{fréquence\_radio}}$	-0.191	0.070	-2.721
$\beta_{\text{âge}}$	1.155	0.266	4.349
$\beta_{\text{nombre\_pers}}$	0.240	0.092	2.593
$\beta_{\text{profession}}$	-1.255	0.292	-4.303
$\beta_{\text{horaire}}$	-0.019	0.004	-4.858
$\beta_{\text{temps\_emb\_longue}}$	-0.030	0.006	-5.534
$\beta_{\text{temps\_emb\_moyenne}}$	-0.048	0.009	-5.291
$\beta_{\text{temps\_emb\_courte}}$	-0.046	0.008	-5.765
$\beta_{\text{temps\_lib\_longue}}$	-0.028	0.005	-5.694
$\beta_{\text{temps\_lib\_moyenne}}$	-0.045	0.007	-6.175
$\beta_{\text{temps\_lib\_courte}}$	-0.066	0.010	-6.723

- Log-vraisemblance initiale : -1399.63
- Log-vraisemblance finale : -847.707 (-977.996)
- Rho-carré : 0.394336 (0.301248)

où les valeurs entre parenthèses correspondent au précédent modèle.

On note à nouveau une amélioration importante de la valeur de la log-vraisemblance, ce qui correspond à un modèle expliquant mieux les choix des individus interrogés.

$\beta_{\text{mode}}$  La valeur positive indique qu'un individu ayant utilisé la voiture comme moyen de transport lors du trajet de référence va considérer avec plus d'intérêt un itinéraire en voiture lors de situation de choix.

$\beta_{\text{dispo}}$  La valeur positive indique qu'un individu possédant sa propre voiture ou

une voiture du ménage est plus disposé à l'utiliser comme moyen de transport.

- $\beta_{\text{type}}$  Un individu ayant utilisé une voiture de société lors du trajet de référence va privilégier un itinéraire par la route lors d'une situation de choix basée sur ce trajet de référence.
- $\beta_{\text{billet\_bas}}$  et  $\beta_{\text{billet\_élevé}}$  Ces deux paramètres sont bien évidemment négatifs. Remarquons que le revenu du ménage de l'individu intervient de manière significative dans la pondération du prix du billet en transports publics. Pour les catégories de salaire inférieures, l'importance de ce prix est trois fois plus grande.
- $\beta_{\text{fréquence\_internet}}$  Un individu qui utilise fréquemment internet va considérer avec plus d'intérêt les itinéraires de diversion proposés par des STI.
- $\beta_{\text{info}}$  Si l'individu s'est informé sur l'état du trafic pendant le trajet de référence, il va accorder plus de crédit à de l'information routière fournie dans des situations semblables. Par conséquent, il montrera plus d'intérêt pour les itinéraires alternatifs que peut proposer un système de gestion du trafic.
- $\beta_{\text{conséq}}$  Un individu ayant déjà suivi les recommandations en terme d'itinéraire fournie via la radio sera moins réticent à une nouvelle utilisation future lors de situations similaires faisant intervenir ce type de système.
- $\beta_{\text{fréquence\_radio}}$  Un individu qui utilise fréquemment les systèmes d'information du trafic via la radio va moins volontiers changer d'itinéraire ou de mode en réponse à de l'information routière. On peut expliquer cela par le fait que ce type d'individu a une certaine expérience de la technologie télématique via la radio et juge en fonction de ses expériences passées qu'il est préférable de conserver l'itinéraire actuel en moyenne.
- $\beta_{\text{âge}}$  Les personnes de moins de 40 ans vont plus volontiers utiliser la voiture comme mode de transport.
- $\beta_{\text{nombre\_pers}}$  Le nombre de personnes dans le ménage va influencer positivement une alternative par la route.
- $\beta_{\text{profession}}$  Les individus qui sont cadres supérieurs ou les personnes travaillant à la maison vont plus volontiers utiliser la voiture dans les situations de choix.

Comme on pouvait s'y attendre, les paramètres associés aux différentes valeurs de temps de parcours sont négatifs. Par rapport, à la segmentation en distances que nous avons réalisée, on remarque que les individus pénalisent moins le temps de parcours à circulation libre au fur et à mesure que la distance augmente. Pour un long parcours, les individus s'attendent en effet à un temps de parcours important (même sans embouteillages) alors que pour un trajet de courte distance, ils accordent une plus grande importance au temps de parcours à circulation libre. Une autre explication est que les trajets de grande distance correspondent à des

trajets vers une résidence secondaire pour lesquels le temps de parcours (à circulation libre et à faible allure) est à priori moins important. Pour les trajets de courte distance, remarquons aussi que le temps de parcours à circulation libre est plus pénalisé que le temps à faible allure. Cela peut s'expliquer que ces trajets correspondent à des déplacements pour lesquels les individus sont couramment confrontés à des embouteillages inévitables. À l'inverse, pour des déplacements de longue distance, les individus vont plus pénaliser le temps de parcours à faible allure, préférant emprunter un itinéraire plus long sans embouteillages.

### **Troisième adaptation**

Tout comme ce fut le cas pour les modèles de choix de route pendant le déplacement, il semble important de tenir compte de la particularité des données qui sont groupées par individu. Ce modèle est donc un modèle Logit multinomial mixte contenant des termes aléatoires distribués selon une loi normale qui capturent la corrélation :

- entre les deux premières alternatives de façon équivalente à la structure en nids utilisée jusqu'à présent,
- entre les 7 observations d'un même individu.

Les paramètres aléatoires capturant la corrélation parmi les observations d'un individu jouant un rôle très important, certains attributs du dernier modèle Logit emboîté présenté n'étaient plus significatifs et ont donc été retirés de la spécification du modèle, à savoir :

- fréquence\_voiture et disponibilité\_voiture,
- billet\_bas et billet\_élevé (remplacés par billet) et avance,
- impact

On obtient alors les résultats suivants :

Nom	Valeur	Écart-type	$t - \text{test}$
$\beta_{ASC\_1}$	13.02	3.151	4.131
$\beta_{ASC\_2}$	13.75	3.156	4.357
$\beta_{mode}$	9.718	1.699	5.721
$\beta_{type}$	7.451	1.773	4.203
$\beta_{coût}$	-0.326	0.044	-7.374
$\beta_{coût2}$	-0.336	0.043	-7.866
$\beta_{erreur}$	-0.067	0.018	-3.755
$\beta_{billet}$	-0.237	0.060	-3.938
$\beta_{abo2}$	12.54	2.827	4.435
$\beta_{abo}$	11.29	3.618	3.121
$\beta_{fréquence\_internet}$	0.580	0.275	2.106
$\beta_{info}$	0.815	0.270	3.016
$\beta_{fréquence\_radio}$	-0.680	0.289	-2.356
$\beta_{âge}$	4.767	0.978	4.874
$\beta_{nombre\_pers}$	1.245	0.515	2.415
$\beta_{profession}$	-4.034	0.861	-4.684
$\beta_{horaire}$	-0.100	0.014	-7.116
$\beta_{temps\_emb\_longue}$	-0.123	0.023	-5.278
$\beta_{temps\_emb\_moyenne}$	-0.222	0.031	-7.231
$\beta_{temps\_emb\_courte}$	-0.168	0.027	-6.238
$\beta_{temps\_lib\_longue}$	-0.112	0.016	-6.831
$\beta_{temps\_lib\_moyenne}$	-0.232	0.032	-7.372
$\beta_{temps\_lib\_courte}$	-0.240	0.025	-9.501

- Log-vraisemblance initiale : -1399.63
- Log-vraisemblance finale : -606.318 (-847.707)
- Rho-carré : 0.566802 (0.394336)

où les valeurs entre parenthèses correspondent au modèle précédent.

Les discussions précédentes sur les paramètres restent d'actualité pour ce modèle. Notons simplement que les constantes spécifiques aux deux premières alternatives sont statistiquement significatives et toutes deux positives. La différence en terme de valeur de la log-vraisemblance est impressionnante avec l'apport d'un modèle Logit mixte.

### Modèle pour les déplacements de longue distance (Tessin)

Le modèle ci-dessous a été développé à partir du meilleur Logit emboîté générique obtenu. Par contre, le calibrage a été effectué avec les données du fichier `longdistance-pre-trip.dat` qui contient les observations de l'échantillon

de personnes possédant une maison secondaire au Tessin. Les choix observés sont donc dans le cadre de déplacements de grande distance, supérieure à 100 kms.

Par rapport au dernier Logit emboîté estimé, certains attributs ne jouaient plus de rôle étant donné le nombre restreint de données utilisées. Les attributs suivants ont été retirés de la spécification :

- fréquence\_voiture, mode\_voiture, type\_voiture et disponibilité\_voiture,
- billet\_bas et billet\_élevé, abonnement général, avance et horaire
- fréquence\_internet,
- âge

Afin de tenir compte des distances spécifiques des échantillons considérés, nous avons redéfini les paramètres (spécifiques aux alternatives) associés aux temps de parcours divers de la façon suivante :

$$\text{temps\_emb\_longue} = \text{temps à faible allure} * \text{distance\_longue}$$

où :

$$\text{distance\_longue} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est supérieure à 100 kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

De nouvelles données étaient également disponibles pour ces échantillons. Parmi celles-ci, les attributs suivants ont été introduits :

- le nombre de voitures dans le ménage a été introduit dans les deux premières alternatives.
- le nombre d'itinéraires connus jusqu'à la résidence secondaire a été introduit dans les deux premières alternatives.
- le pourcentage d'utilisation des transports publics lors des trajets vers la résidence secondaire a été introduit dans l'alternative en transports publics.
- le revenu du ménage intervient dans l'alternative en transports publics de la façon suivante :  $\text{salaire\_élevé} = \begin{cases} 1 & \text{si le revenu du ménage est supérieur à 8000 CHF} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

En tenant compte de l'ensemble de ces modifications, on obtient la spécification suivante :

	Nid A Itinéraire 1	Itinéraire 2	Nid B Transports publics
$\beta_{ASC1}$	1	0	0
$\beta_{ASC2}$	0	1	0
$\beta_{coût}$	coût	-	-
$\beta_{coût2}$	-	coût	-
$\beta_{temps_emb_longue}$	temps_embouteillage_longue	-	-
$\beta_{temps_emb_longue2}$	-	temps_embouteillage_longue	-
$\beta_{erreur}$	erreur	erreur	-
$\beta_{nombre_pers}$	personnes	personnes	-
$\beta_{nombre_voit}$	voitures	voitures	-
$\beta_{nombre_it}$	itinéraires	itinéraires	-
$\beta_{profession}$	-	-	profession
$\beta_{abo}$	-	-	abonnement demi-tarif
$\beta_{transports_publics}$	-	-	pourcentage
$\beta_{salaire}$	-	-	salaire_élevé
$\beta_{fréquence_radio}$	-	fréquence_radio	fréquence_radio
$\beta_{info}$	-	connaissance	-
$\beta_{conséq}$	-	impact	-

Le calibrage de ce modèle nous donne alors :

Nom	Valeur	Écart-type	$t - test$
$\beta_{ASC.1}$	6.683	0.935	7.149
$\beta_{ASC.2}$	6.719	0.930	7.222
$\beta_{coût}$	-0.089	0.018	-4.990
$\beta_{coût2}$	-0.080	0.016	-5.030
$\beta_{erreur}$	-0.012	0.007	-1.618
$\beta_{abo}$	1.419	0.399	3.557
$\beta_{salaire}$	1.927	0.536	3.594
$\beta_{info}$	-0.244	0.105	-2.329
$\beta_{conséq}$	0.336	0.111	3.020
$\beta_{fréquence_radio}$	-0.236	0.089	-2.652
$\beta_{nombre_pers}$	0.673	0.183	3.673
$\beta_{nombre_voit}$	0.627	0.196	3.194
$\beta_{nombre_it}$	0.183	0.114	1.601
$\beta_{transports_publics}$	0.111	0.012	9.083
$\beta_{profession}$	-1.546	0.435	-3.552
$\beta_{temps_emb_longue}$	-0.025	0.006	-3.693
$\beta_{temps_emb_longue2}$	-0.038	0.011	-3.402

- Log-vraisemblance initiale : -446.037
- Log-vraisemblance finale : -248.418
- Rho-carré : 0.443055

Analysons les paramètres associés aux nouveaux attributs :

- $\beta_{\text{salaire}}$  Les individus pour lesquels le revenu du ménage est élevé vont privilégier l'alternative en transports publics.
- $\beta_{\text{nombre\_voit}}$  Le nombre de voitures dans le ménage va favoriser l'utilisation de la voiture comme moyen de transport.
- $\beta_{\text{nombre\_it}}$  Les individus connaissant de nombreux itinéraires par la route pour se rendre à leur résidence secondaire vont plus volontiers emprunter un itinéraire par la route lors d'une situation de choix. Cela peut s'expliquer par le fait qu'ils connaissent des itinéraires bis en cas d'embouteillage sur l'itinéraire emprunté.
- $\beta_{\text{transports\_publics}}$  Le pourcentage d'utilisation des transports public favorise leur utilisation ultérieure au moment de choisir le mode de transport pour se rendre à la résidence secondaire.

### Modèle pour les déplacements de plus courte distance

Le modèle ci-dessous a été développé à partir du meilleur Logit emboîté générique obtenu. Par contre, le calibrage a été effectué avec les données du fichier `shortdistance-pre-trip.dat` qui contient les observations des membres du TCS et des collaborateurs de Siemens. Les choix observés sont donc principalement dans le cadre de déplacements de courte distance, inférieure à 50 kms.

Par rapport au dernier Logit emboîté estimé, certains attributs ne jouaient plus de rôle étant donné le nombre restreint de données utilisées. Les attributs suivants ont été retirés de la spécification :

- fréquence\_voiture,
- billet\_bas et billet\_élevé (remplacés par billet), abonnement général et abonnement demi-tarif,
- personnes

Afin de tenir compte des distances spécifiques des échantillons considérés, nous avons redéfini les paramètres associés aux temps de parcours divers de la façon suivante :

temps_lib_courte	=	temps à circulation libre * distance_courte
temps_lib_moyenne	=	temps à circulation libre * distance_moyenne
temps_lib_longue	=	temps à circulation libre * distance_longue
temps_emb_courte	=	temps à faible allure * distance_courte
temps_emb_moyenne	=	temps à faible allure * distance_moyenne
temps_emb_longue	=	temps à faible allure * distance_longue

où :

$$\text{distance\_courte} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est inférieure à 20 kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{distance\_moyenne} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est comprise entre} \\ & 20 \text{ kms et } 50 \text{ kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{distance\_longue} = \begin{cases} 1 & \text{si la distance du trajet de référence est supérieure à } 50 \text{ kms} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

De nouvelles données étaient également disponibles pour ces échantillons. Parmi celles-ci, les attributs suivants ont été introduits :

- le nombre de kilomètres effectués par an en voiture est introduit dans l'alternative en transports publics,
- le but du voyage de référence est introduit dans l'alternative en transports publics par le biais de la variable suivante :

$$\text{travail} = \begin{cases} 1 & \text{si le but du trajet de référence était de se rendre au travail} \\ & \text{ou un déplacement professionnel} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Étant données les modifications précitées, nous obtenons dès lors la spécification suivante :

	Nid A		Nid B
	Itinéraire 1	Itinéraire 2	Transports publics
$\beta_{ASC1}$	1	0	0
$\beta_{ASC2}$	0	1	0
$\beta_{coût}$	coût	-	-
$\beta_{coût2}$	-	coût	-
$\beta_{temps\_emb\_courte}$	temps_embouteillage_courte	temps_embouteillage_courte	-
$\beta_{temps\_emb\_moyenne}$	temps_embouteillage_moyenne	temps_embouteillage_moyenne	-
$\beta_{temps\_emb\_longue}$	temps_embouteillage_longue	temps_embouteillage_longue	-
$\beta_{temps\_lib\_courte}$	temps_libre_courte	temps_libre_courte	-
$\beta_{temps\_lib\_moyenne}$	temps_libre_moyenne	temps_libre_moyenne	-
$\beta_{temps\_lib\_longue}$	temps_libre_longue	temps_libre_longue	-
$\beta_{erreur}$	erreur	erreur	-
$\beta_{mode}$	mode_voiture	mode_voiture	-
$\beta_{dispo}$	disponibilité_voiture	disponibilité_voiture	-
$\beta_{type}$	type_voiture	type_voiture	-
$\beta_{âge}$	âge	âge	-
$\beta_{billet}$	-	-	billet
$\beta_{horaire}$	-	-	horaire
$\beta_{avance}$	-	-	avance
$\beta_{profession}$	-	-	profession
$\beta_{fréquence\_internet}$	-	fréquence_internet	fréquence_internet
$\beta_{fréquence\_radio}$	-	utilisation_élevée	utilisation_élevée
$\beta_{info}$	-	connaissance	-
$\beta_{conséq}$	-	impact	-
$\beta_{kms}$	-	-	kilomètres
$\beta_{but}$	-	-	travail

L'estimation de ce modèle produit les résultats suivants :

Nom	Valeur	Écart-type	$t - \text{test}$
$\beta_{\text{ASC}_1}$	-4.177	1.212	-3.447
$\beta_{\text{ASC}_2}$	-4.030	1.222	-3.298
$\beta_{\text{mode}}$	1.483	0.288	5.152
$\beta_{\text{dispo}}$	3.511	1.105	3.176
$\beta_{\text{type}}$	2.730	1.081	2.524
$\beta_{\text{coût}}$	-0.121	0.039	-3.128
$\beta_{\text{coût2}}$	-0.111	0.036	-3.122
$\beta_{\text{avance}}$	-0.043	0.012	-3.584
$\beta_{\text{erreur}}$	-0.020	0.010	-2.018
$\beta_{\text{billet}}$	-0.044	0.021	-2.124
$\beta_{\text{fréquence\_internet}}$	0.222	0.110	2.017
$\beta_{\text{info}}$	0.624	0.149	4.197
$\beta_{\text{conséq}}$	8.454	0.771	10.96
$\beta_{\text{fréquence\_radio}}$	-0.342	0.143	-2.395
$\beta_{\text{âge}}$	1.200	0.333	3.604
$\beta_{\text{kms}}$	-0.034	0.012	-2.769
$\beta_{\text{profession}}$	-2.454	0.407	-6.032
$\beta_{\text{but}}$	-0.475	0.266	-1.789
$\beta_{\text{horaire}}$	-0.074	0.010	-7.479
$\beta_{\text{temps\_emb\_longue}}$	-0.078	0.017	-4.617
$\beta_{\text{temps\_emb\_moyenne}}$	-0.077	0.013	-5.707
$\beta_{\text{temps\_emb\_courte}}$	-0.069	0.016	-4.253
$\beta_{\text{temps\_lib\_longue}}$	-0.071	0.012	-5.995
$\beta_{\text{temps\_lib\_moyenne}}$	-0.121	0.014	-8.373
$\beta_{\text{temps\_lib\_courte}}$	-0.086	0.017	-5.129

- Log-vraisemblance initiale : -953.595
- Log-vraisemblance finale : -505.683
- Rho-carré : 0.46971

Analysons les paramètres associés aux nouveaux attributs :

- $\beta_{\text{kms}}$  Les individus qui parcourent de nombreux kilomètres en voiture vont moins s'intéresser à l'alternative en transports publics.
- $\beta_{\text{but}}$  Si le trajet de référence est lié au travail, les individus auront plus tendance à choisir la voiture comme moyen de transport dans des situations de choix basées sur ce trajet.

## 7.2 Description du fichier on-trip.dat

### 7.2.1 Contexte

Ce fichier a été utilisé pour calibrer les modèles de choix de route lorsque de l'information routière est fournie aux usagers pendant leur déplacement. Il contient 1358 observations provenant de 194 individus de nos divers échantillons. En effet, il est composé de 7 choix de route observés par individu.

### 7.2.2 Contenu

Pour chaque observation, toutes les informations qui vont suivre sont disponibles. D'une part, on dispose de données SP décrivant les situations de choix de route pendant le déplacement. D'autre part, les données socio-économiques des personnes interrogées sont fournies.

**choice2** Le choix observé :

- 1 Rester sur la route courante
- 2 Changer de route

**id** Identifiant de l'individu au cours de l'enquête

#### Données SP

**remaintime** Temps restant sur l'itinéraire 1

**error3** Erreur sur les prévisions pour l'itinéraire 1

**remaindist** Type de route sur l'itinéraire 1 :

- 0 Routes nationales
- 1 Un mélange de routes nationales et d'autres routes
- 2 Autres routes

**source** Source de l'information routière pour l'itinéraire 1 :

- 1 Radio
- 2 Panneau à message variable

**remaintime2** Temps restant sur l'itinéraire 2

**error4** Erreur sur les prévisions pour l'itinéraire 2

**remaindist2** Type de route sur l'itinéraire 2 :

- 0 Routes nationales
- 1 Un mélange de routes nationales et d'autres routes
- 2 Autres routes

**source2** Source de l'information routière pour l'itinéraire 2 :

- 1 Radio
- 2 Panneau à message variable

## Données RP

**sex** Sexe de la personne :

- 1 Masculin
- 0 Féminin

**age** Âge de la personne

**education** Niveau d'éducation de la personne :

- 1 Aucun
- 2 École obligatoire
- 3 Enseignement professionnel
- 4 Maturité
- 5 École technique supérieure
- 6 Université/Enseignement supérieur

**profession** Occupation professionnelle de la personne :

- 1 Indépendant
- 2 Collaborateur dans l'entreprise familiale
- 3 Cadre supérieur
- 4 Cadre moyen ou cadre inférieur
- 5 Employé
- 6 Sans travail
- 7 Homme/femme au foyer
- 8 En formation
- 9 En retraite

**liccar** Permis de conduire pour voiture :

- 1 Oui
- 0 Non

**licbike** Permis de conduire pour moto :

- 1 Oui
- 0 Non

**carsharing** Membre d'un service de Car Sharing :

- 1 Oui
- 0 Non

**carfreq** Fréquence de la disponibilité d'une voiture pour la personne :

- 1 Toujours
- 2 Souvent
- 3 Rarement
- 4 Jamais

**caravail** Type de disponibilité d'une voiture pour la personne :

- 1 Propre voiture
- 2 Voiture du ménage
- 3 Voiture d'un ami
- 4 Voiture de service (usage privé autorisé)
- 5 Voiture de service (usage privé non autorisé)
- 6 Utilisation de services de Car Sharing
- 7 Autre

**kms** Nombre de kilomètres effectués par an

**genabo** Possession d'un abonnement général de CFF :

- 1 Oui
- 0 Non

**halfabo** Possession d'un abonnement demi-tarif :

- 1 Pour une année
- 2 Pour deux ans
- 3 Pour deux ans avec le service de Car Sharing
- 4 Non

**lineabo** Possession d'un abonnement pur une ligne :

- 1 Oui
- 0 Non

**locabo** Possession d'un abonnement pour les transports publics locaux :

- 1 Oui
- 0 Non

**peoplenbr** Nombre de personnes dans le ménage

**youngnbr** Nombre de personnes de moins de 18 ans dans le ménage

**inc** Revenu du ménage :

- 1 Moins de 2'000 CHF
- 2 2'000 - 4'000 CHF
- 3 4'000 - 6'000 CHF
- 4 6'000 - 8'000 CHF
- 5 8'000 - 10'000 CHF
- 6 10'000 - 12'000 CHF
- 7 12'000 - 14'000 CHF
- 8 Plus de 14'000 CHF

**carnbr** Nombre de voitures dans le ménage

**bikenbr** Nombre de motos dans le ménage

**comyear** Nombre d'années dans la commune actuelle

**cantyear** Nombre d'années dans le canton actuel

**parknbr** Nombre de places de parc :

- 1 Aucune
- 2 1
- 3 2
- 4 3
- 5 4
- 6 Plus de 4

**mobile** Possession d'un Natel :

- 1 Oui
- 0 Non

**open** Natel allumé la plupart du temps :

- 1 Oui
- 0 Non

**workint** Accès à Internet au travail :

- 1 Oui
- 0 Non

**houseint** Accès à Internet à la maison :

- 1 Oui
- 0 Non

**secint** Accès à Internet à la résidence secondaire :

- 1 Oui
- 0 Non

**freqint** Fréquence de l'utilisation d'Internet :

- 1 Plus d'une fois par jour
- 2 Une fois par jour
- 3 Une fois par semaine
- 4 Une fois par mois
- 5 Moins souvent
- 6 Jamais

**tvfreq** Fréquence d'utilisation des services d'information du trafic à la télévision :

- 1 Plus d'une fois par jour
- 2 Une fois par jour
- 3 Une fois par semaine
- 4 Une fois par mois
- 5 Moins souvent
- 6 Jamais

**radiofreq** Fréquence d'utilisation des services d'information du trafic à la radio :

- 1 Plus d'une fois par jour
- 2 Une fois par jour
- 3 Une fois par semaine
- 4 Une fois par mois
- 5 Moins souvent
- 6 Jamais

**intfreq** Fréquence d'utilisation des services d'information du trafic sur Internet :

- 1 Plus d'une fois par jour
- 2 Une fois par jour
- 3 Une fois par semaine
- 4 Une fois par mois
- 5 Moins souvent
- 6 Jamais

**otherfreq** Fréquence d'utilisation d'autres services d'information du trafic :

- 1 Plus d'une fois par jour
- 2 Une fois par jour
- 3 Une fois par semaine
- 4 Une fois par mois
- 5 Moins souvent
- 6 Jamais

## 7.3 Description du fichier `pre-trip-all.dat`

### 7.3.1 Contenu

Par rapport au fichier `on-trip.dat`, chaque observation contient des données SP décrivant les situations de choix avant le déplacement à présent. Des données RP supplémentaires relatives au trajet de référence (décrit dans le premier questionnaire par les personnes et utilisé comme option de base pour les situations de choix avant le déplacement) sont fournies en plus. Ce fichier représente la partie commune des deux fichiers `longdistance-pre-trip.dat` et `shortdistance-pre-trip.dat` qui sont utilisés pour les modèles de choix de route avant le déplacement.

**choice2** Le choix observé :

- 1 Itinéraire 1 (basé sur le trajet de référence de l'enquête RP)
- 2 Itinéraire 2
- 3 Transports publics

**id** Identifiant de l'individu au cours de l'enquête

## Données SP

**dist** Distance en kilomètres de l'itinéraire 1  
**free** Temps de parcours à circulation libre sur l'itinéraire 1  
**stopandgo** Temps de parcours à faible allure sur l'itinéraire 1  
**total** Temps de parcours total sur l'itinéraire 1  
**error** Erreur sur les prévisions pour l'itinéraire 1  
**cost** Coût de déplacement pour l'itinéraire 1  
**free2** Temps de parcours à circulation libre sur l'itinéraire 2  
**stopandgo2** Temps de parcours à faible allure sur l'itinéraire 2  
**total2** Temps de parcours total sur l'itinéraire 2  
**error2** Erreur sur les prévisions pour l'itinéraire 2  
**cost2** Coût de déplacement pour l'itinéraire 2  
**walk** Temps de marche pour les transports publics  
**timetable** Temps de parcours en transports publics  
**early** Nombre de minutes en avance sur l'heure d'arrivée souhaitée pour les transports publics  
**fare** Coût de déplacement en transports publics

## Données RP

**mode** Mode de transport utilisé lors du trajet de référence dans l'enquête RP :

- 1 À pied
- 2 Vélo
- 3 Cyclomoteur
- 4 Petite moto
- 5 Moto (conducteur)
- 6 Moto (passager)
- 7 Voiture (conducteur)
- 8 Voiture (passager)
- 9 Train
- 10 Car postal
- 11 Bus
- 12 Tram
- 13 Taxi
- 14 Car
- 15 Bateau
- 16 Avion

**caravail2** Type de voiture utilisée lors du trajet de référence :

- 1 Voiture de société/de service
- 2 Voiture de location
- 3 Covoiturage/Car Sharing
- 4 Voiture du ménage

**peoplenbr2** Nombre de personnes se trouvant dans la voiture lors du trajet de référence

**minfast** Nombre de minutes gagnées sur le temps de parcours prévu pour le trajet de référence

**minslow** Nombre de minutes perdues sur le temps de parcours prévu pour le trajet de référence

**appoint** Rendez-vous lors du trajet de référence :

- 1 Oui
- 0 Non

**minearly** Nombre de minutes en avance sur l'heure d'arrivée prévue pour le trajet de référence

**minlate** Nombre de minutes en retard sur l'heure d'arrivée prévue pour le trajet de référence

**state** Informé sur l'état du trafic avant le début du trajet de référence :

- 1 Non
- 2 Oui
- 3 À la radio
- 4 À la télévision
- 5 Sur Internet
- 6 Sur Internet (WAP)

**impact** Impact de cette information :

- 1 Aucun
- 2 Oui
- 3 Autre itinéraire
- 4 Autre destination
- 5 Autre heure de départ
- 6 Autres modes de transport

**state2** Informé sur l'état du trafic pendant le trajet de référence :

- 1 Non
- 2 Oui
- 3 À la radio
- 4 Sur Internet (WAP)

**impact2** Impact de cette information :

- 1 Aucun
- 2 Oui
- 3 Autre route
- 4 Autre destination
- 5 Autre heure de départ
- 6 Autres moyens de transport

## 7.4 Description du fichier `longdistance-pre-trip.dat`

### 7.4.1 Contexte

Ce fichier a été utilisé pour calibrer les modèles de choix de route et de mode lorsque de l'information routière est fournie aux usagers avant leur déplacement. Ce fichier contient uniquement les 420 observations associées au 60 individus que comportait l'échantillon du Tessin. Il s'agit de situations hypothétiques basées sur de longs déplacements allant de 100 à 300 kilomètres.

### 7.4.2 Contenu

Par rapport au fichier `pre-trip-all.dat`, chaque observation contient des données RP supplémentaires qui étaient spécifiques au questionnaire de préférences révélées destiné aux propriétaires de résidence secondaire au Tessin.

#### Données RP

**routenbr** Nombre d'itinéraires connus en direction de la résidence secondaire

**dur1** Temps de parcours moyen sur l'itinéraire 1

**dur2** Temps de parcours moyen sur l'itinéraire 2

**dur3** Temps de parcours moyen sur l'itinéraire 3

**dur4** Temps de parcours moyen en utilisant les transports publics

**perc1** Pourcentage d'utilisation de l'itinéraire 1

**perc2** Pourcentage d'utilisation de l'itinéraire 2

**perc3** Pourcentage d'utilisation de l'itinéraire 3

**perc4** Pourcentage d'utilisation des transports publics

## 7.5 Description du fichier `shortdistance-pre-trip.dat`

### 7.5.1 Contexte

Ce fichier a été utilisé pour calibrer les modèles de choix de route et de mode lorsque de l'information routière est fournie aux usagers avant leur déplacement.

Ce fichier contient uniquement les 882 observations associées aux 126 individus appartenant aux échantillons du TCS où à l'échantillon de Siemens. Il s'agit de situations hypothétiques basées majoritairement sur de courts déplacements.

## 7.5.2 Contenu

Par rapport au fichier `pre-trip-all.dat`, chaque observation contient des données RP supplémentaires qui étaient spécifiques au questionnaire de préférences révélées pour les échantillons précités.

### Données RP

**parking** Type de place de parc à la fin du trajet de référence :

- 1 Place publique gratuite
- 2 Place non publique gratuite
- 3 Place publique payante
- 4 Place publique non payante
- 5 Place d'amis/de connaissances
- 6 Place de parc de l'entreprise/de l'école
- 7 Propre place de parc

**jammin** Nombre de minutes passées dans les embouteillages lors du trajet de référence

**nojam** Pas d'embouteillages lors du trajet de référence :

- 1 Oui
- 0 Non

**purpose** But du trajet de référence :

- 1 Travail
- 2 Déplacement professionnel
- 3 FOrmation
- 4 Shopping
- 5 Service
- 6 Retour à la maison/Arrivée à la résidence secondaire
- 7 Loisirs

**activity** Possibilité de laisser tomber le déplacement de référence ou l'activité y étant associée :

- 1 Non
- 2 Oui, mais en devant le récupérer le jour même
- 3 Oui, mais en devant le récupérer dans les 3 jours
- 4 Oui, mais en devant le récupérer dans les 4 jours ou plus
- 5 Oui, en pouvant y échapper

**usualroad** Itinéraire habituel utilisée lors du trajet de référence :

- 1 Oui
- 2 Non
- 3 Non, itinéraire utilisé pour la première fois

**freqroad** Fréquence d'utilisation de l'itinéraire décrit lors du trajet de référence :

- 1 Plus d'une fois par jour
- 2 Une fois par jour
- 3 Une fois par semaine
- 4 Une fois par mois
- 5 Moins souvent
- 6 Aujourd'hui pour la première fois

## 7.6 Statistiques de l'échantillon

Nous donnons ici quelques graphiques contenant des statistiques d'ordre socio-économique sur les individus pour deux échantillons différents. D'une part, nous considérons l'échantillon composé des propriétaires de résidence secondaire dans la région du Tessin. D'autre part, nous nous intéressons aux membres du TCS (pour les parties romande et alémanique du pays) ainsi qu'aux collaborateurs de Siemens.

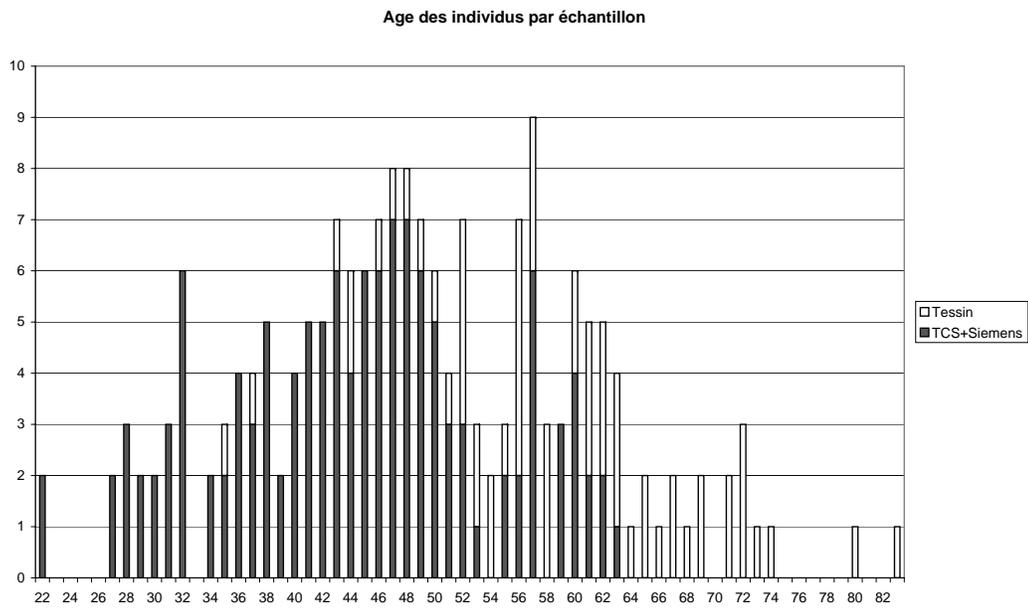


FIG. 7.1 – Répartition des âges

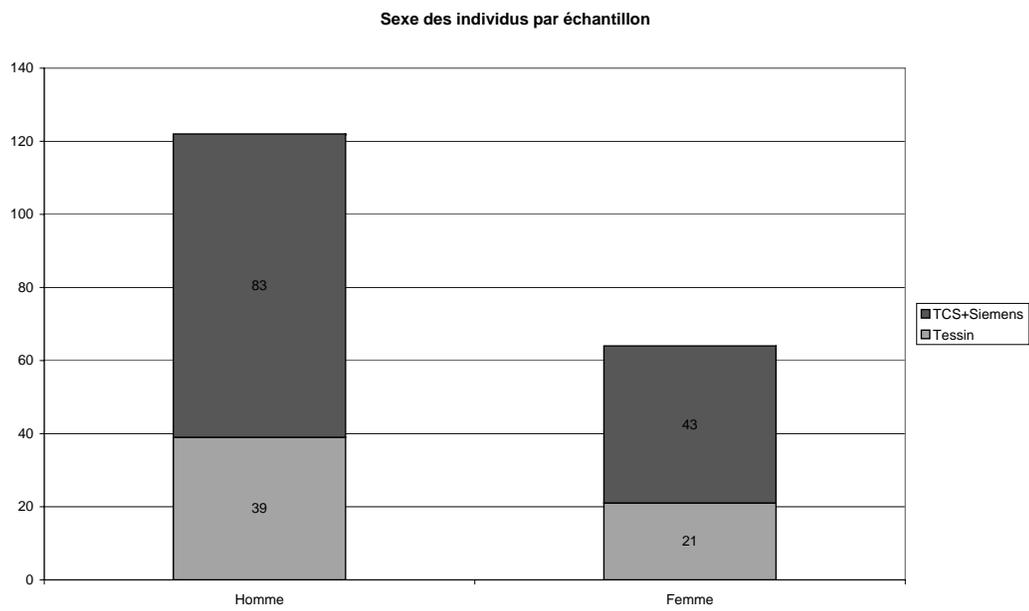


FIG. 7.2 – Répartition des sexes

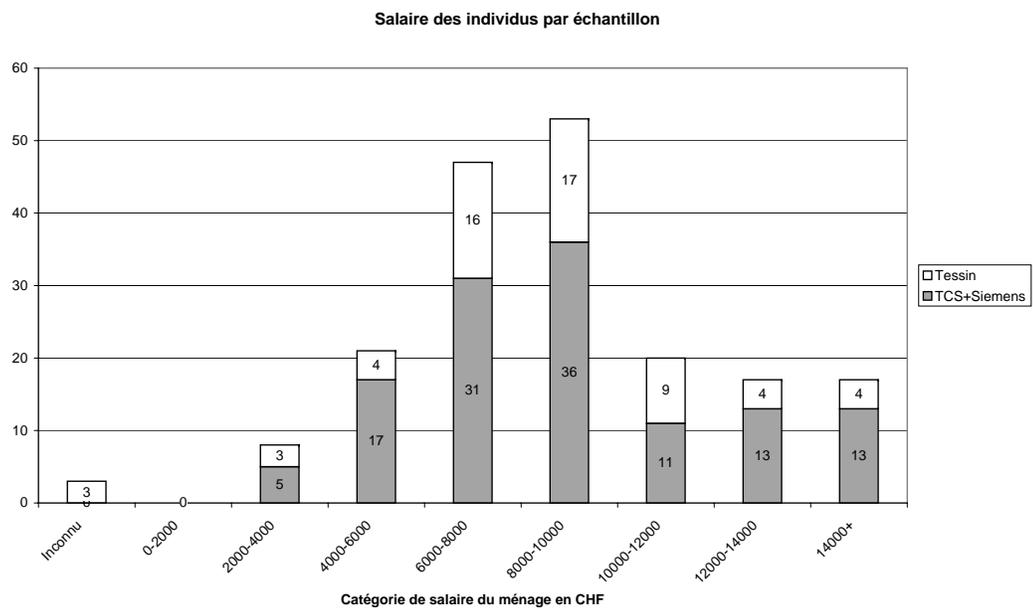


FIG. 7.3 – Répartition des salaires

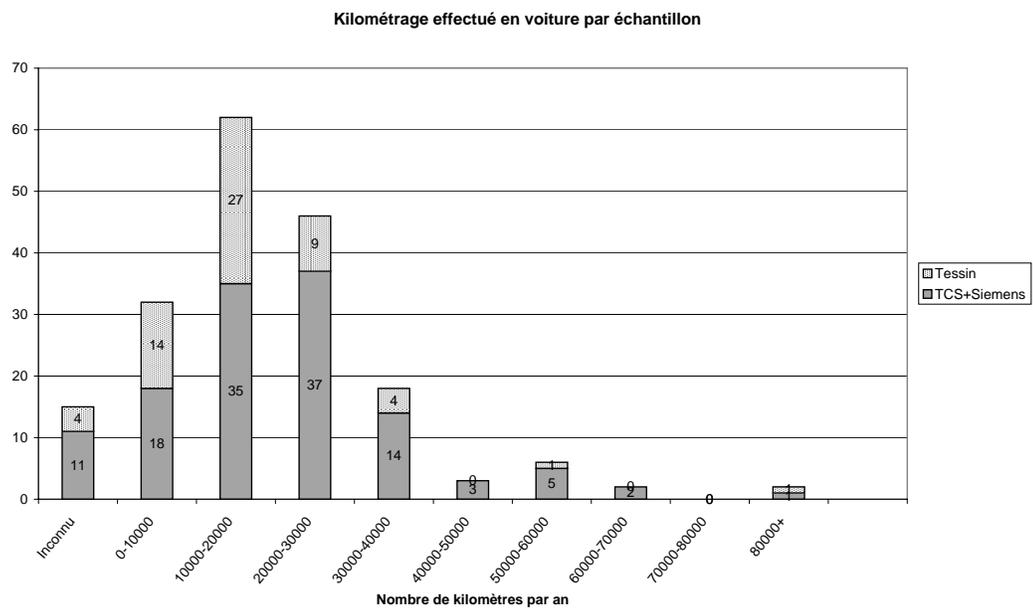


FIG. 7.4 – Kilométrage annuel

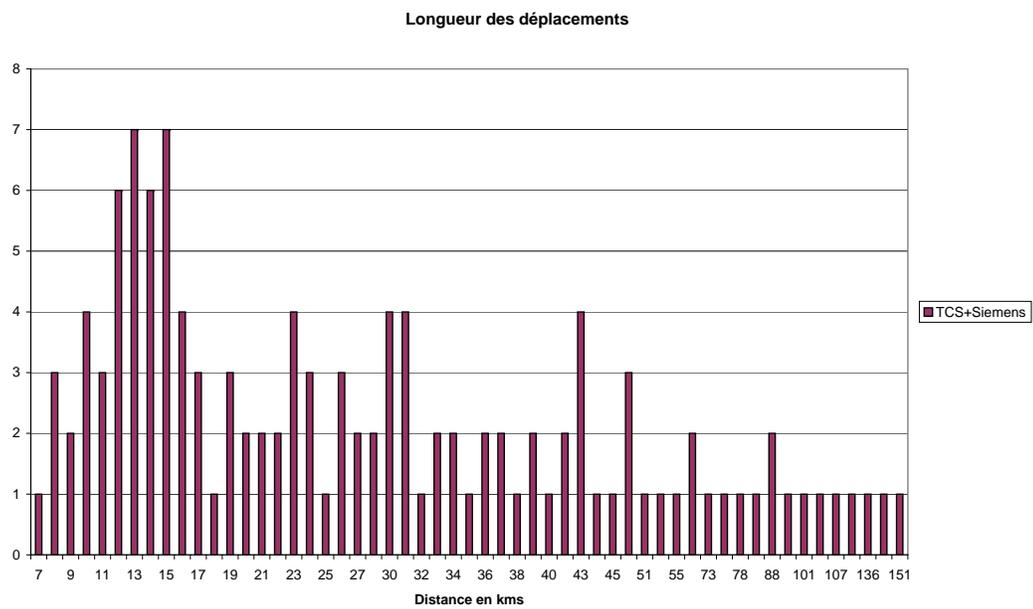


FIG. 7.5 – Longueur des déplacements

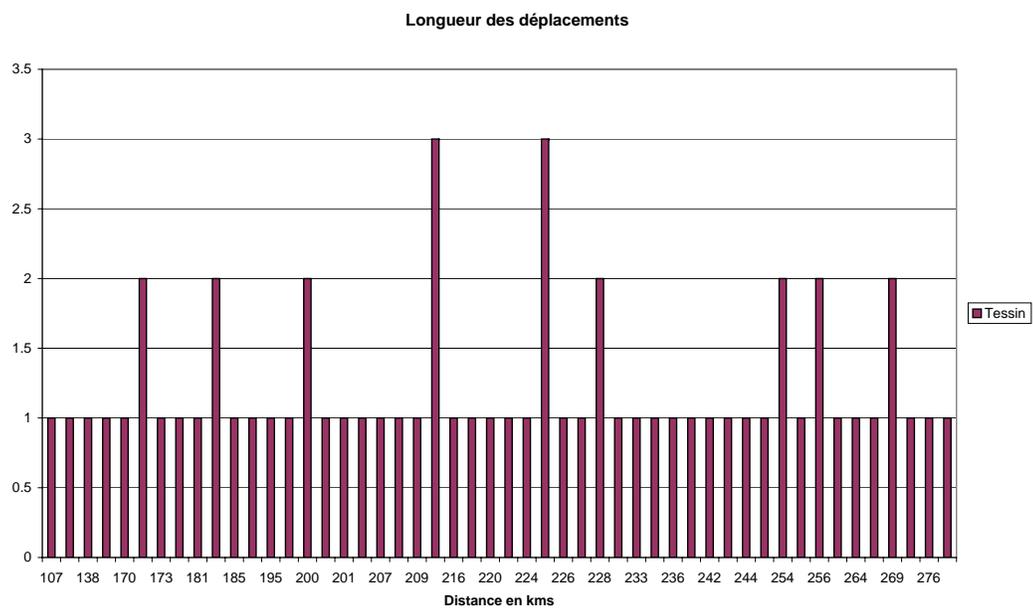


FIG. 7.6 – Longueur des déplacements (Tessin)

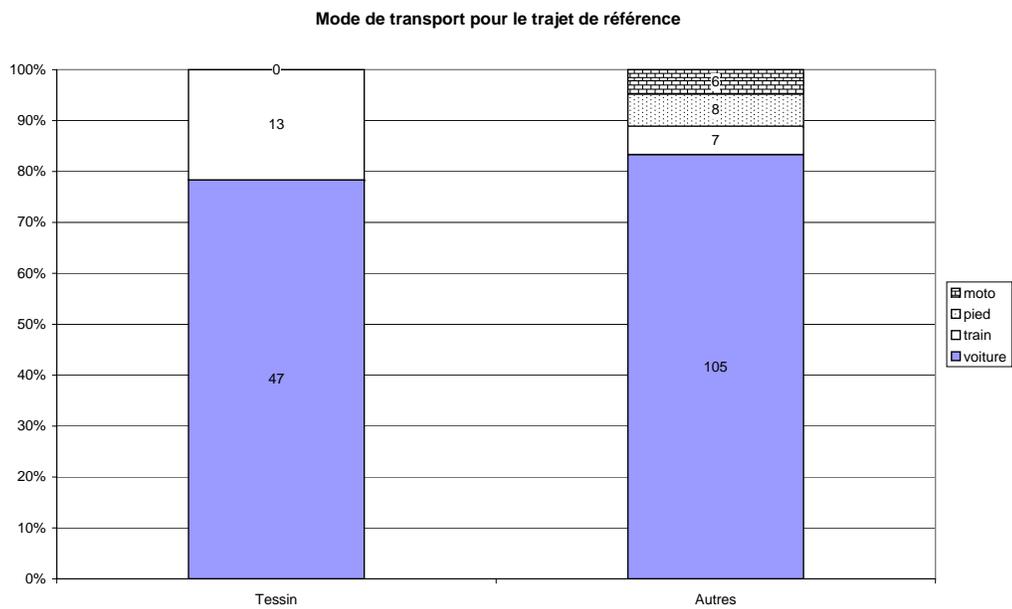


FIG. 7.7 – Répartition des modes de déplacement

Temps gagné sur la durée prévue du trajet de référence

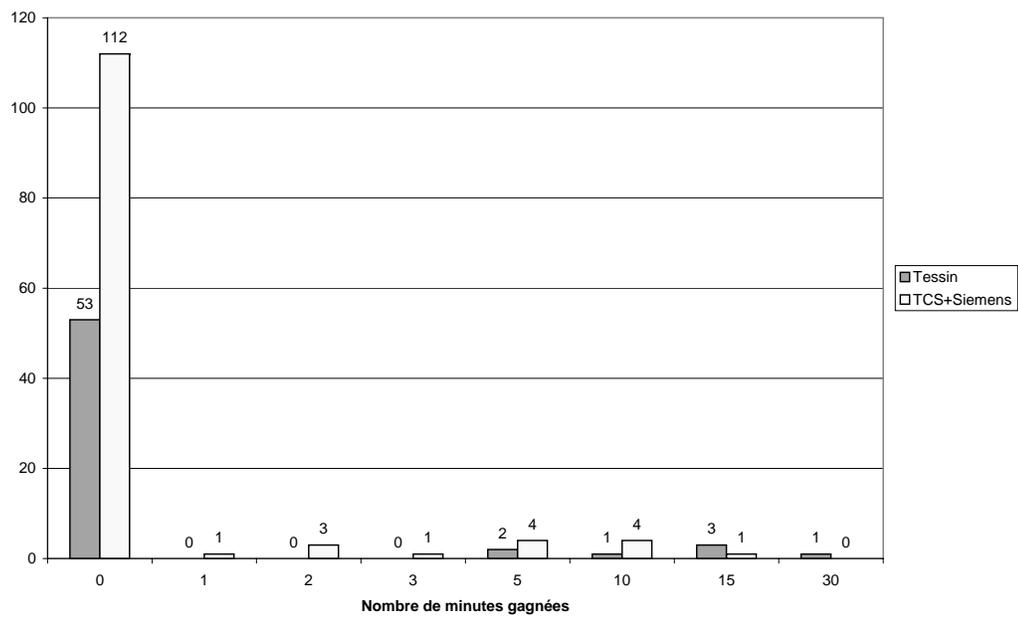


FIG. 7.8 – Temps gagné lors du déplacement

Temps perdu sur la durée prévue du trajet de référence

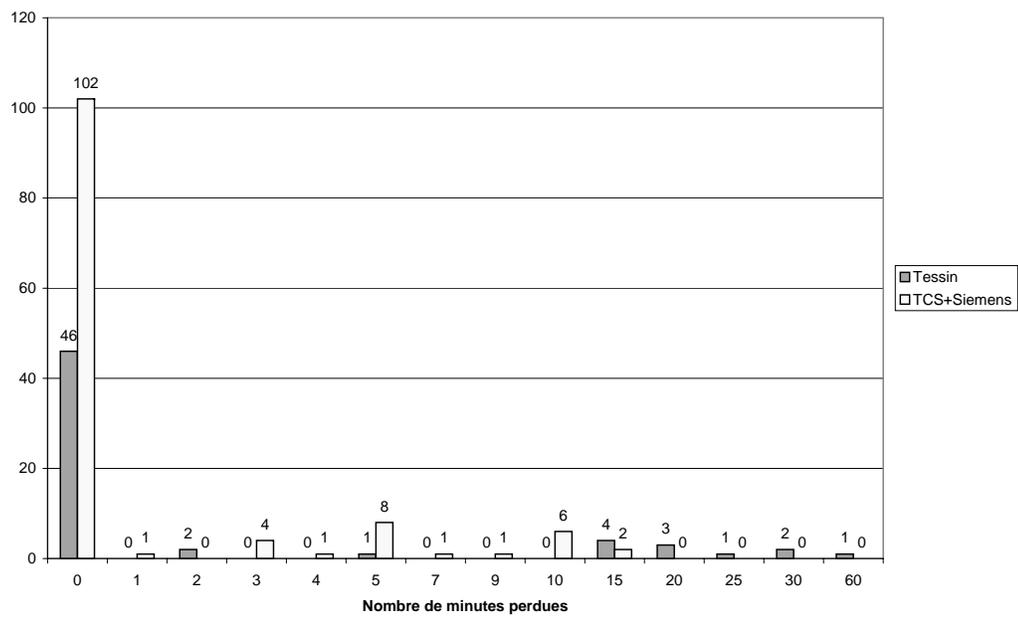


FIG. 7.9 – Temps perdu lors du déplacement

Utilisation des systèmes d'information du trafic via la radio

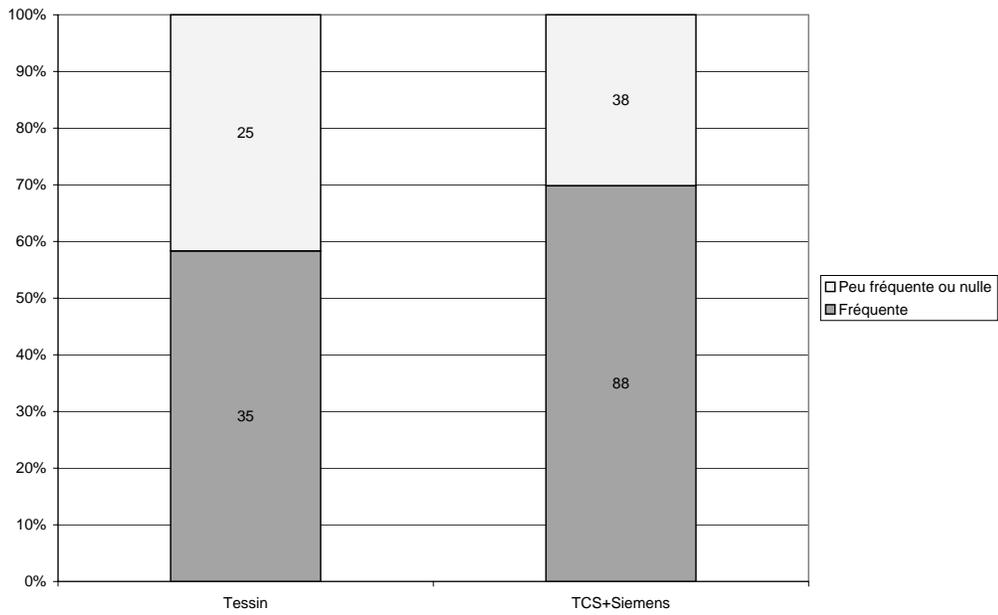


FIG. 7.10 – Utilisation des systèmes d'information

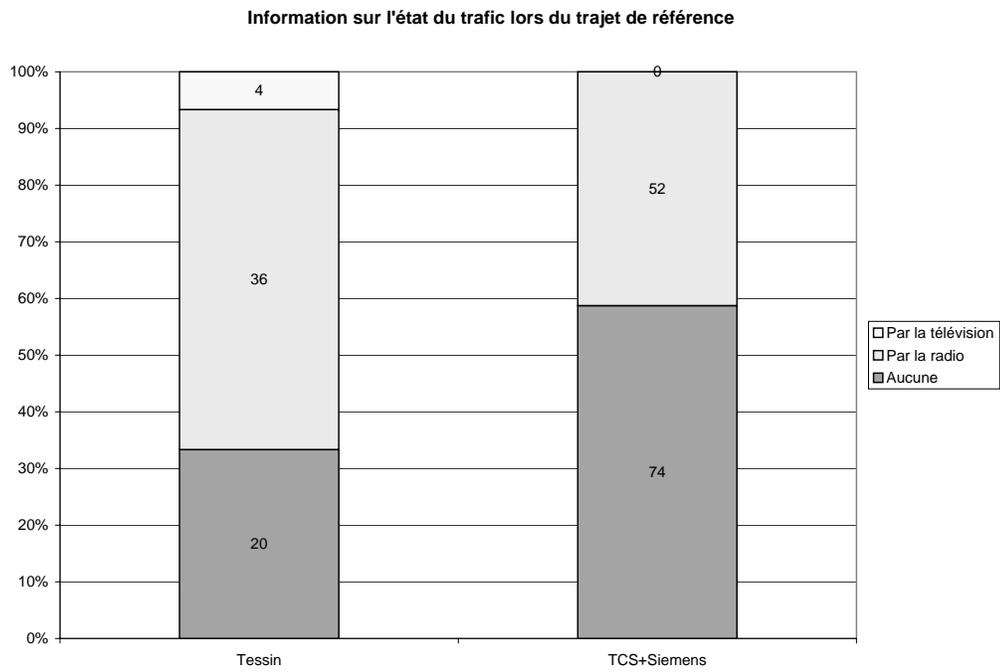


FIG. 7.11 – Connaissance de l'état du trafic lors du déplacement

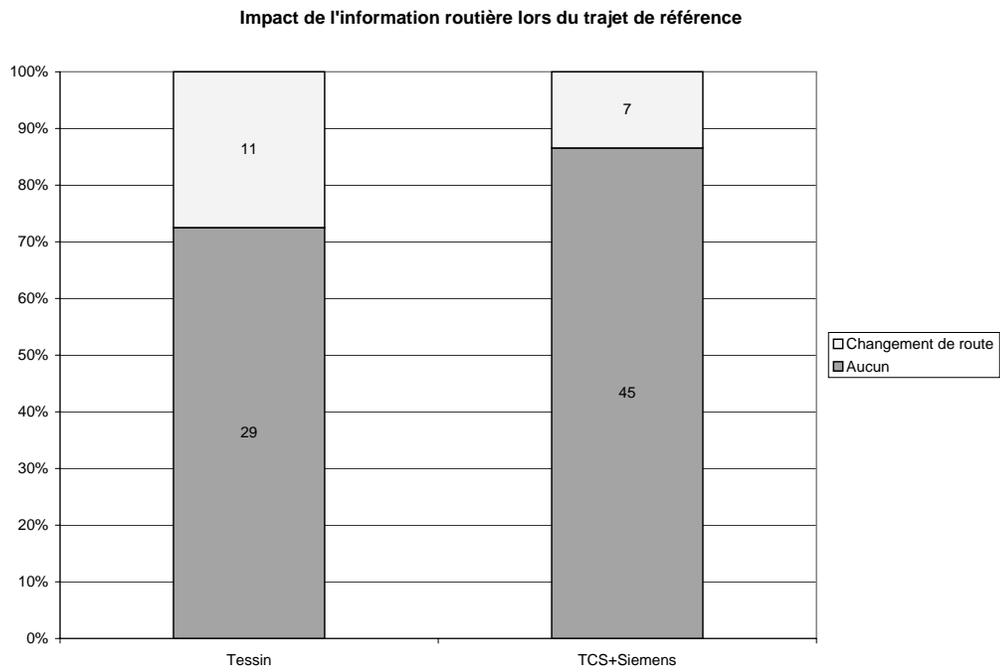


FIG. 7.12 – Impact de l'information routière lors du déplacement

# Bibliographie

- Ben-Akiva, M. and Bierlaire, M. (2003). Discrete choice models with applications to departure time and route choice, in R. Hall (ed.), *Handbook of Transportation Science, Second Edition*, Kluwer, pp. 7–37.
- Ben-Akiva, M., Bierlaire, M., Burton, D., Koutsopoulos, H. and Mishalani, R. (2001). Network state estimation and prediction for real-time transportation management applications, *Networks and Spatial Economics* **1**(3/4) : 293–318.
- Ben-Akiva, M. E. and Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge, Ma.
- Ben-Akiva, M., Koutsopoulos, H. N., Mishalani, R. and Yang, Q. (1997). Simulation laboratory for evaluating dynamic traffic management systems, *Journal of Transportation Engineering* **123**(4) : 283–289.
- Bierlaire, M. (2003). BIOGEME : a free package for the estimation of discrete choice models, *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*, Ascona, Switzerland.
- Hess, S., Bierlaire, M. and Polak, J. (to appear). Estimation of value of travel-time savings using mixed logit models, *Transportation Research A* .
- Koenig, A., Abay, G. and Axhausen, K. (2004). Zeitkostenansätze im personenverkehr, *Schriftenreihe 1065*, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern. final report for SVI 2001/534.
- Train, K. (2003). *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press. <http://emlab.berkeley.edu/books/choice.html>.