



HAL
open science

Rapport de synthèse : Méthodologie afin de mesurer la mobilité régionale : élaboration d'une enquête régionale

Jimmy Armoogum, Maria Tebar, Barbara Christian, Cédric Garcia,
Minh-Hieu Nguyen, Fabio Rendina

► To cite this version:

Jimmy Armoogum, Maria Tebar, Barbara Christian, Cédric Garcia, Minh-Hieu Nguyen, et al.. Rapport de synthèse : Méthodologie afin de mesurer la mobilité régionale : élaboration d'une enquête régionale. [Rapport de recherche] IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux. 2018, 49p. hal-01822532

HAL Id: hal-01822532

<https://hal.science/hal-01822532>

Submitted on 25 Jun 2018

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

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



IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Rapport de synthèse Méthodologie afin de mesurer la mobilité régionale : élaboration d'une enquête régionale AME / DEST

Armoogum Jimmy
Grade : CR1
Fonction : chercheur
Téléphone : 33 (1) 81 66 86 07
Télécopie : 33 (1) 81 66 80 01
Jimmy.armoogum@ifsttar.fr

Date : 23/03/2018

Auteurs :

Jimmy Armoogum, AME, DEST
Maria Tébar, AME, DEST et CEREMA
Barbara Christian, CEREMA
Cédric Garcia, AME, DEST
Minh-Hieu Nguyen, AME, DEST
Fabio Rendina, AME, DEST

Nomenclature d'activité :

Référence sur Numéro de contrat* :

Confidentialité :

Convention n°12-300 N°Ifsttar RP10J12070

Non

Rév 03/11/14

Jimmy Armoogum, AME, DEST
Maria Tébar, AME, DEST et CEREMA
Barbara Christian, CEREMA
Cédric Garcia, AME, DEST
Minh-Hieu Nguyen, AME, DEST
Fabio Rendina, AME, DEST

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)

14-20 Boulevard Newton
Cité Descartes, Champs sur Marne
77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 81 66 80 00
Fax : 01 81 66 80 01

Laboratoire Dynamiques Économiques et Sociales des Transports (DEST)

14-20 Boulevard Newton
Cité Descartes, Champs sur Marne
77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 81 66 80 00
Fax : 01 81 66 80 01

Date	Version	Commentaires
19/03/2018	V1	Version préliminaire de Jimmy Armoogum
20/03/2018	V2	Prise en compte des remarques de Cédric Garcia
21/03/2018	V2	Prise en compte des remarques de Maria Tébar
21/03/2018	V2	Prise en compte des remarques de Fabio Rendina
28/03/2018	V3	Relecture de Jean-Loup Madre

SOMMAIRE

1	Introduction	5
1.1	Contexte	5
1.2	L'enquête déplacements régionale Rhône-Alpes 2012-2015 (EDR-RA)	5
1.3	Les projets de recherche	7
1.3.1	Nouvelles utilisations des enquêtes de mobilité	7
1.3.2	Limites des enquêtes classiques	8
2	Redressement des enquêtes déplacements	11
2.1	Introduction	11
2.2	Les données : la base unifiée des enquêtes déplacements	11
2.3	Présentation des Enquête Ménages-Déplacements	11
2.4	Les différents types de biais d'une enquête	12
2.5	Technique de redressement	12
2.5.1	Redressement du standard CEREMA	13
2.5.2	Principe du redressement par calage sur marges	13
2.5.3	Impact sur la précision	13
2.6	Stratégies de redressement	14
2.7	Calages réalisés	15
2.8	Sélection du calage	16
2.9	Conclusion	17
3	Test de mesure de la mobilité à l'aide d'un panel - TOMOP	19
3.1	Le protocole	19
3.2	Le carnet papier auto-administré	19
3.3	Le questionnaire auto-administré à remplir sur internet	20
3.4	Bilan de la collecte sur les deux vagues	21
3.4.1	Bilan des vagues 1 et 2 du panel	21
3.5	L'analyse du profil des répondants/non-répondants	23
3.6	Bilan de TOMOP	24
4	Test de mesure de la mobilité à l'aide de GPS - TOMOS	25
4.1	Apport des nouvelles technologies pour observer la mobilité	25
4.2	Utilisation en complément d'une enquête ménages transports	27
4.2.1	Description du pilote GPS	28

4.3	Architecture générale	29
4.4	Descriptif des logiciels de traitement	30
4.4.1	Logiciel expert 0(LE0) : Récupération des données sur les serveurs Géotraceur	30
4.4.2	Logiciel expert 1 (LE1) : Détermination des lieux visités à partir des traces GPS.....	30
4.5	Bilan du test.....	35
4.5.1	Bilan des enquêtes validées / invalidées et des refus / rebus	35
4.5.2	Résultat du test.....	36
4.6	Les points d'amélioration	37
4.6.1	Sur le Matériel	37
4.6.2	Sur les logiciels.....	39
4.6.3	Le logiciel de gestion	39
4.6.4	Le logiciel de collecte post recueil (Deuxième rendez-vous).....	40
4.6.5	Le logiciel de récupération des données (logiciel expert 0 - LE0)	40
4.6.6	Le logiciel de découpage (logiciel expert 1 – LE1)	40
4.6.7	Le logiciel d'enrichissement (logiciel expert 2 – LE2)	40
4.7	Bilan de TOMOS	41
5	Conclusion.....	43
6	Bibliographie	45
7	Valorisation de la recherche.....	47

1 Introduction

1.1 Contexte

Des méthodes d'enquêtes sur les déplacements existent depuis une quarantaine d'années : enquête nationale transports déplacements au niveau national et enquêtes ménages déplacements au niveau des agglomérations. En revanche, il n'existe pas de méthode stabilisée d'observation de la mobilité au niveau régional, alors que cette échelle de réflexion est de plus en plus pertinente en matière de planification et d'aménagement.

En 2010, la région Rhône-Alpes qui souhaitait mettre en place un dispositif d'observation et de prospective de la mobilité à l'échelle régionale (tant quantitatif que qualitatif à terme) pour asseoir ses choix de politique de transport, a contacté l'IFSTTAR pour l'aider à identifier les moyens de connaissance des déplacements tous modes des habitants de la région. Quatre partenaires techniques se sont associés à la région afin de mener à bien cette première étude exploratoire :

- Le CEREMA (Direction Technique Territoires et Ville, Direction Territoriale Centre-Est et Direction Territoriale Nord-Picardie, en tant qu'équipe de recherche associée à notre laboratoire Dynamiques Economiques et Sociales des Transports (DEST) de l'IFSTTAR sur l'analyse de la mobilité) ;
- L'École nationale des travaux publics de l'État (ENTPE) et
- L'IFSTTAR.

Cette démarche a été labellisée par le PST Rhône Alpes le 26 Mars 2010 et soutenue par le Ministère de l'Ecologie, du développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL). Elle a conclu à la mise en place d'un programme exploratoire d'outillage selon 4 orientations principales :

- Mettre en cohérence et exploiter au mieux ce qui existe sur les recueils de données ;
- Mettre en place une enquête de déplacements tous modes qui couvrent l'ensemble du territoire régional ;
- Participer à la recherche menée par le DEST (IFSTTAR) financée par le PREDIT sur de nouvelles méthodes d'observation continue avec des GPS ;
- Identifier les fonctionnalités et le recueil complémentaires nécessaires.

La mise en œuvre de ce programme nécessitant la mobilisation d'actions complémentaires pour finaliser la méthodologie, mettre au point de nouveaux outils et les implémenter au cours de la réalisation de l'enquête elle-même, ce sont ces actions complémentaires qui constituent l'objet de cette convention. Elles permettront au CEREMA de capitaliser la méthodologie utilisée et de valoriser les méthodes utiles à la connaissance des mobilités régionales.

1.2 L'enquête déplacements régionale Rhône-Alpes 2012-2015 (EDR-RA)

La Région Rhône-Alpes a exprimé en 2010 le souhait de mettre en place un dispositif pérenne d'observation et de prospective de la mobilité à l'échelle régionale, notamment pour asseoir ses choix de politique de transport régional de voyageurs. L'objectif de la Région est de pouvoir observer la mobilité des modes alternatifs à la voiture comme le train. Pour répondre à ses besoins, la Région Rhône-Alpes a mis en place un dispositif d'enquête visant à connaître les pratiques de déplacements des rhonalpins.

La méthode utilisée pour l'EDR-RA est une version adaptée de celle de l'Enquête Déplacements Ville Moyenne (EDVM) standard du CERTU. Il s'agit d'une enquête réalisée par téléphone auprès des ménages habitant la

région Rhône-Alpes. Dans chaque ménage, un enquêteur spécialisé interroge sur leurs déplacements 1 ou 2 personnes âgées de 11 ans et plus. Par ailleurs, chaque personne interrogée âgée de 16 ans et plus répond à des questions d'opinion.

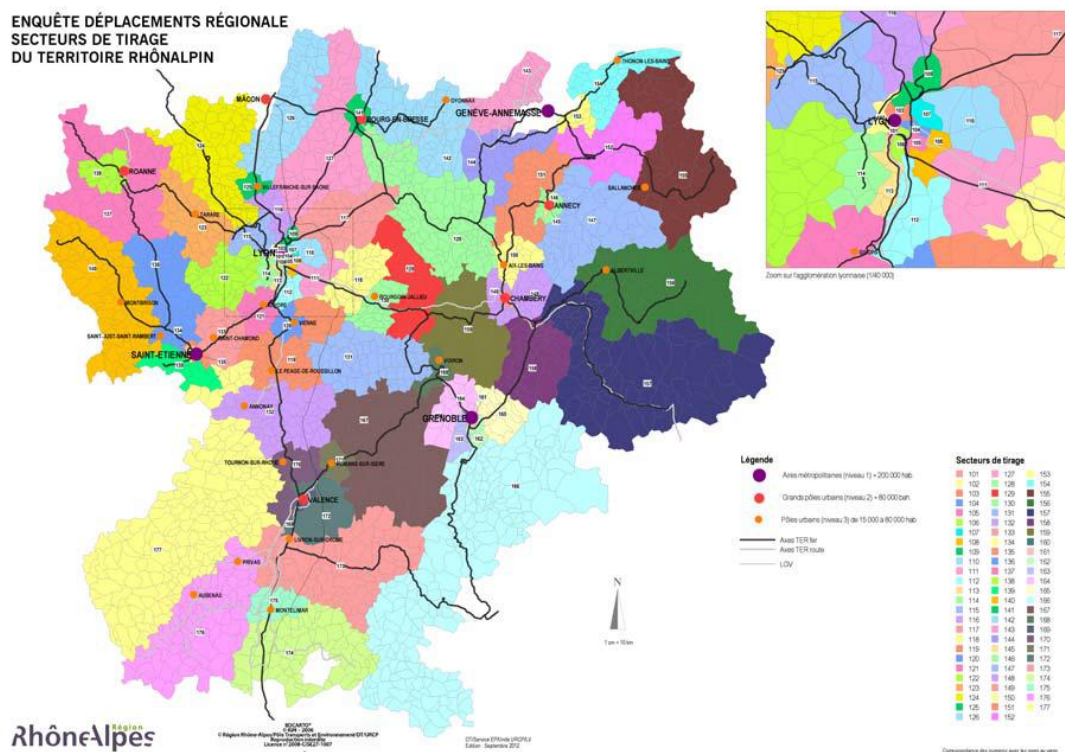
Pour réaliser le tirage de l'échantillon, la région Rhône-Alpes a été découpée en 77 secteurs dits « de tirage », homogènes en poids de population, dans lesquels ont été tirés au sort les ménages enquêtés. Il s'agit d'un découpage nécessaire pour représenter la population de manière fiable. Ce découpage est basé sur les principaux pôles urbains et pôles de vie de la région ainsi que sur les aires de chalandises des gares ou arrêts des transports régionaux de voyageurs. La collecte s'est échelonnée sur trois vagues successives sur la période 2012-2015 de octobre à mars, et elle visait à enquêter 37 000 habitants de Rhône-Alpes âgés de 11 ans et plus.

En interrogeant chaque année 160 personnes par secteur de tirage, il est possible à la fois de traiter chaque vague de manière indépendante des autres et d'analyser les évolutions éventuelles entre chaque année, mais il est également possible de rassembler les vagues afin de pouvoir réaliser des analyses plus fines dans chacun des secteurs de tirage.

L'enquête principale porte sur un jour de semaine, du lundi au vendredi, hors vacances scolaires et est réalisée d'octobre à mars. Elle sert à connaître les pratiques de déplacements en période de plein fonctionnement des territoires, lorsque tous les scolaires, y compris les étudiants, ont repris les cours. Elle s'intéresse à tous les modes de transports, marche comprise.

Ces enquêtes téléphoniques sont réalisées par des prestataires spécialisés. La réalisation de l'EDR-RA a été confiée, selon le code des marchés publics et après consultation par appel d'offres de la Région Rhône-Alpes, à la société AlyceSofreco.

Carte 1 : Les secteurs de tirage de l'enquête déplacements régionale Rhône-Alpes 2012-2015 (EDR-RA)



On note une progression significative de la mobilité entre 2012-13 et 2013-14, alors qu'il n'y a pas de différence significative entre 2013-14 et 2014-15. Comme dès 2012, la plupart des enquêteurs sélectionnés avaient déjà réalisé des enquêtes ménage déplacement (EDVM), il n'y a pas lieu de soupçonner un effet « mise en route » de l'enquête, mais la réflexion se poursuit sur ce point (Tableau 1.1).

Tableau 1.1: Bilan de la collecte des trois vagues de l'enquête déplacements régionale Rhône-Alpes 2012-2015

	Vague 1 2012-2013	Vague 2 2013-2014	Vague 3 2014-2015	Total 2012-2015
Nombre de ménage répondants	10 695	10 808	10 790	32 293
Taux de réponse (niveau ménage)	48%	54%	55%	52%
Nombre d'individus répondants (11 ans et plus)	12 398	12 603	12 455	37 456
Nombre de déplacements décrits	44 095	50 150	49 154	143 399

Sources : Enquête Régionale Rhône-Alpes, 2012-2015

1.3 Les projets de recherche

1.3.1 Nouvelles utilisations des enquêtes de mobilité

Aujourd'hui, la mobilité des personnes est de plus en plus variée dans le temps et l'espace. Cette évolution peut s'expliquer notamment par la fragmentation spatiale, le travail à temps partiel ou à domicile, la spécialisation de la main-d'oeuvre, une augmentation du nombre de familles avec plusieurs actifs, la plus grande diversité dans la composition des ménages et aussi par une tendance à l'augmentation du nombre de voitures par ménage.

D'autre part, les besoins de données sur la mobilité évoluent, de l'estimation la plus précise des trafics pour le dimensionnement des infrastructures (matrices Origine-Destination (Armoogum et Madre 1998), etc.), vers une meilleure compréhension des comportements individuels, non seulement au cours d'une journée « ordinaire » mais tout au long de l'année. En effet, la compréhension de la mobilité peut répondre à un besoin économique (comme dans la mesure de l'audience des médias extérieurs, notamment l'affichage) et les centres d'intérêt se déplacent vers des enjeux sociaux et environnementaux, car le secteur des transports est confronté à un défi redoutable par rapport aux objectifs du développement durable, puisque sa part continue à augmenter dans la consommation de produits pétroliers et dans l'émission de gaz à effet de serre.

Face à la complexité accrue des comportements et en tenant compte de l'évaluation des besoins en données, actuellement, La recherche se concentre de plus en plus sur l'enchaînement de la mobilité d'un individu pour chaque jour et chaque semaine, et sur les relations entre la structure spatiale globale (lieux de travail, d'achat, de loisirs, etc.) et les détails des lieux réellement visités au cours des déplacements (Kizel (2003) ; Mat et Timmermans (2004); Golo (2000); Barnet et Sarmiento (1998)). Un déplacement n'est plus traité comme un comportement autonome, mais comme faisant partie d'un ensemble complexe de mobilité. En conséquence, il est fondamental d'être en mesure de recueillir des données précises sur la localisation de l'origine et de la destination, le type de destination, la longueur, la durée, l'heure de départ et d'arrivée et les modes pour tous les déplacements quotidiens.

1.3.2 Limites des enquêtes classiques

Traditionnellement, les données de mobilité sont collectées au moyen d'enquêtes sur papier ou par téléphone. Les personnes « recrutées » sont invitées à décrire leur comportement de mobilité d'une journée ou à reconstruire leur comportement sur un ou plusieurs jours précédents. Il est démontré que les données recueillies par ces méthodes présentent systématiquement des écarts par rapport au comportement réel. Lors d'un recueil classique de données sur la mobilité, on demande à la personne sélectionnée de décrire les déplacements qu'elle a effectués la veille de l'interview (et parfois au cours du dernier week-end). Ces modes d'observation ne sont pas parfaits et comportent plusieurs types d'erreurs potentielles :

- I. Non-réponse totale : l'interviewé omet par exemple de décrire certains déplacements (Brog et al. 1980 ; Brog et Meiburg, 1981 ; Armoogum et Madre, 1997 ; Armoogum, 2002),
- II. Non-réponse partielle : l'interviewé répond correctement sur le nombre de déplacements mais ne renseigne pas certaines variables (motif, mode de transport, etc.) (Zmud et Arce, 1997 ; Armoogum et Madre, 1997),
- III. Arrondi : par exemple, heures de départ ou d'arrivée données à 5 ou 10 mn près, ce qui peut entraîner une grande incertitude quand on calcule un temps de transport par différence (Armoogum et Madre, 1997 ; Yamamoto 2009),
- IV. Sous-estimation : l'interviewé sous-estime les petits déplacements ainsi que ceux qui ne commencent pas ou ne se terminent pas au domicile et les conducteurs de voiture sous-estiment leurs temps de parcours (Ettema et al. 1996 ; Stopher, 1992),
- V. Surestimation : les personnes qui voyagent avec les transports publics ont tendance à surestimer les temps (Ettema et al. 1996 ; Stopher 1992).

En raison de leur coût et des moyens mobilisés, les enquêtes classiques n'ont lieu qu'avec une faible périodicité (jusqu'à 10 ans), ce qui est relativement long si des ruptures apparaissent dans les comportements. Ces types d'enquête donnent une image réductrice de la mobilité du point de vue des individus (Gascon et Madre, 2004). Tout se passe comme si leur comportement d'un jour de semaine était "reproductible", ce qui on le sait n'est pas réaliste et le devient de moins en moins en raison des désynchronisations des rythmes de vie, qui se traduisent notamment par des ouvertures tardives des commerces voire le dimanche pour certains (Golob et Meurs (1986) ; Axhausen et al. (2002) ; Bhat et al. (2004)).

Améliorer l'observation des mobilités complexes est maintenant possible puisque :

- D'une part, les méthodologies d'enquête ont évolué : nous sommes passés de l'ère PAPI (Paper and Pencil interview) à l'ère CATI ou CAPI (Computer Assisted Telephone Interview ou Personal Interview) ;
- D'autre part, les nouvelles technologies comme la localisation automatique par satellite (GPS mais aussi à moyen terme Galileo), par les antennes de téléphonie mobile (GSM) ou celles des stations de radio (RDS) ou encore par les infrastructures Wi-fi, permettent d'améliorer considérablement la précision du cadre temporel (heures de départ, d'arrivée...) et spatial (distances et lieux d'activité) des déplacements.

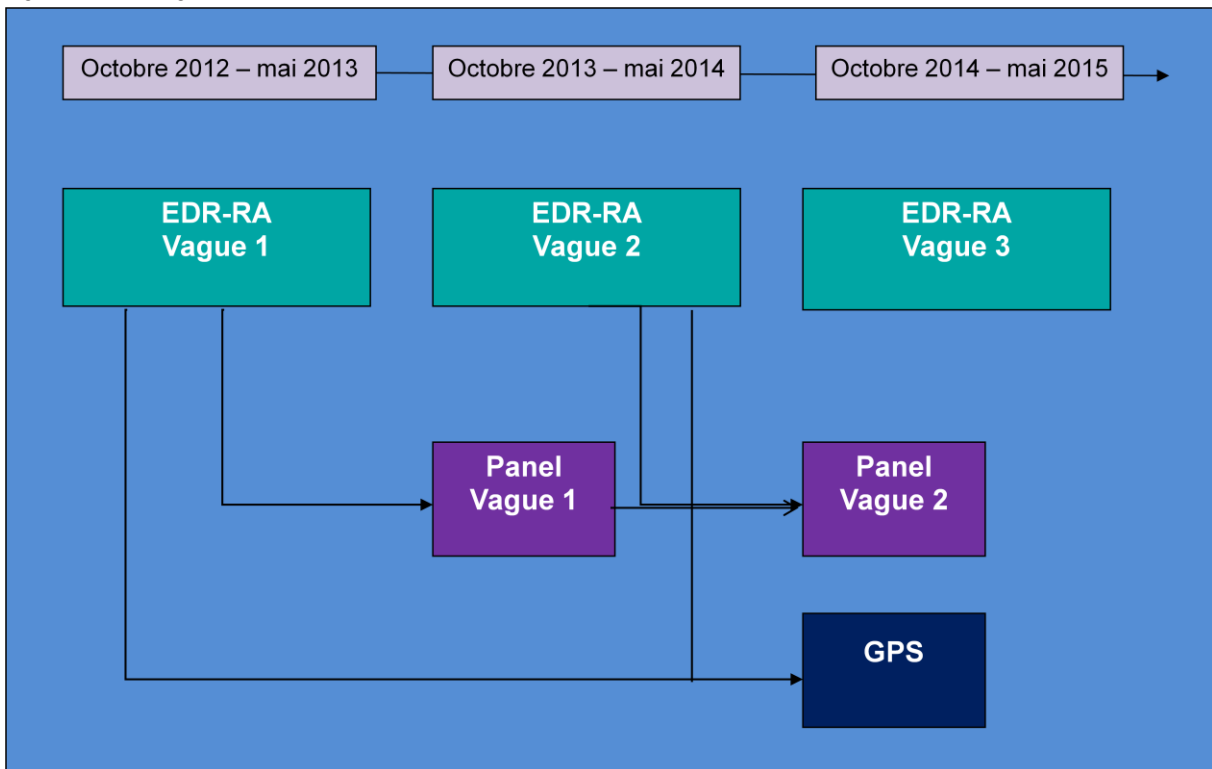
La Région et le PST Rhône-Alpes ont réalisé entre 2012 et 2015 une enquête téléphonique en continu qui a eu lieu pendant trois ans. Il nous a semblé intéressant de nous mettre en phase avec les projets du PST Rhône-Alpes, afin de tester et/ou améliorer plusieurs outils d'observation des déplacements :

- Amélioration du calcul de la pondération. Les techniques de redressement notamment par calage sur marges ont été développées afin d'améliorer l'estimation des variables d'intérêts.

- Observation par panel. En France, il n'y a pas de méthodologie de la mesure de déplacement en continu, nous avons mis en place des protocoles de réinterrogation par internet et par voie postale (les enquêtes Tests de l'Observation de la Mobilité par Panel, (TOMOP)). En effet, nous avons sélectionné un échantillon de la première vague de l'EDR-RA afin de réaliser la première vague de TOMOP, au même moment que la deuxième vague de l'EDR-RA. Puis nous avons réinterrogé l'ensemble des répondants TOMOP et un échantillon de la vague 2 de l'EDR-RA, au même moment que la troisième vague de l'EDR-RA (figure 1).
- Observation par GPS. Nous avons réalisé une enquête pilote de mesure de la mobilité à l'aide de récepteur Global Positioning System (GPS). Nous sommes partis d'un échantillon de volontaires de la vague 1 de l'EDR-RA et nous avons mesuré leurs déplacements grâce à un GPS data logger.

Nous avons aussi accompagné le Conseil Régional Rhône-Alpes dans la mise en œuvre méthodologique de l'EDR-RA afin de mesurer la mobilité à l'échelle d'une région. Pour répondre à ses besoins, la Région Rhône-Alpes a mis en place un dispositif d'enquête visant à connaître les pratiques des déplacements des rhonalpins. Cette collecte, qui s'échelonne sur trois vagues successives sur la période 2012-2015, vise à enquêter 37 000 habitants de Rhône-Alpes âgés de 11 ans et plus.

Figure 1 : Stratégie de collecte des données pour l'EDR-RA et TOMOP



Sources : Enquête Régionale Rhône-Alpes, 2012-2015

2 Redressement des enquêtes déplacements

2.1 Introduction

La qualité des estimations issues d'une enquête par sondage peut être améliorée en présence d'information auxiliaire (Tillé, 1992). L'information auxiliaire est un ensemble de variables (quantitatives ou qualitatives) disponibles pour toute la population. Ainsi, les recensements et les registres de population sont de grandes sources d'information auxiliaire. Connues au niveau de toute la population, ces variables dites auxiliaires peuvent alors être directement utilisées dans les formules des estimateurs, notamment dans les formules des estimateurs par calage.

Le calage sur marges permet en effet de redresser efficacement une enquête lorsque la taille de l'échantillon est suffisamment grande (Deville et Särndal, 1992). Généralement, nous redressons une enquête par rapport à quelques variables auxiliaires disponibles, sans regarder l'impact de ce redressement sur la précision de l'estimateur. Ce chapitre propose une optimisation du redressement en tenant compte de la précision des estimations fournies.

Lorsque le nombre de variables auxiliaires disponibles est grand et que l'on se restreint à un sous-échantillon de l'enquête, le redressement par calage peut conduire à des instabilités des poids, provoquant ainsi une diminution de la précision des estimations (voir par exemple, Chauvet et Goga, 2012). Ce chapitre a pour but de mener une discussion sur le choix des variables auxiliaires à utiliser lors d'un redressement au niveau d'un sous-échantillon. Dans le cas de l'estimateur par calage, l'obtention d'une précision minimale pour une variable d'intérêt donnée dépend des variables auxiliaires choisies. Les variables auxiliaires maximisant la précision (et donc minimisant la variance) peuvent donc être différentes d'une variable d'intérêt à une autre. En considérant plusieurs variables d'intérêt sur un même sujet, pas forcément très corrélées, nous proposons une méthode pour sélectionner les variables auxiliaires qui permettent d'établir un système de pondération unique pour différentes variables d'intérêt d'un même thème.

2.2 Les données : la base unifiée des enquêtes déplacements

Nos données proviennent de la base unifiée des enquêtes déplacements du CEREMA millésimée 2014. Cette base de données contient l'ensemble des enquêtes déplacements réalisées depuis 2008, selon le standard CEREMA (notamment les enquêtes ménages déplacements, les enquêtes déplacements villes moyennes et les enquêtes Déplacements grand territoire). Toutefois nous avons choisi d'utiliser seulement les 19 enquêtes réalisées en face à face de la base unifiée (les EMD, enquêtes réalisées uniquement en face à face), car les autres enquêtes sont réalisées au téléphone sur la totalité ou une partie du territoire, sont plus courtes et disposent donc de moins de variables compatibles avec le recensement. In fine, nous travaillerons sur 789 024 observations correspondant aux déplacements effectués par 211 771 personnes membres de 93 916 ménages.

2.3 Présentation des Enquête Ménages-Déplacements

Le périmètre d'une enquête est déterminé par le maître d'ouvrage et doit contenir au moins un Périmètre de Transports Urbains (PTU). Souvent, il s'étend jusqu'aux limites d'un SCoT.

Le champ d'une EMD porte sur l'ensemble des occupants des résidences principales du périmètre d'enquête. L'objectif d'une EMD étant de recueillir les pratiques de déplacements des personnes pour un jour « normal et moyen de semaine », il faut recenser tous les déplacements effectués par chaque membre du ménage interrogé âgé d'au moins 5 ans. Tous les modes sont pris en compte, y compris la marche à pied.

L'échantillon est tiré dans le fichier des propriétés bâties de la direction générale des impôts. Le plan de sondage est constitué de la manière suivante : les unités enquêtées sont les ménages des résidences principales de l'aire d'enquête. Le sondage comporte trois niveaux : logement, individu et déplacements.

L'échantillon de ménages est tiré de manière aléatoire sans remise et est stratifié géographiquement. La taille de l'échantillon est déterminée de manière à garantir une analyse sectorielle significative. Un minimum de 1500 ménages répartis sur une vingtaine de secteurs est requis. De plus, sur chaque secteur de tirage, au moins 70 ménages et 160 personnes doivent être enquêtés. Le découpage géographique en secteurs de tirage doit être compatible avec le découpage à l'IRIS 2000 de l'INSEE. Il est conseillé qu'il soit également compatible avec les découpages des précédentes enquêtes afin de mesurer des évolutions.

Les enquêtes sont réalisées en face-à-face au domicile des ménages tirés au sort et recensent les déplacements effectués la veille du jour d'enquête. Ainsi, les enquêtes sont réalisées du mardi au samedi pour recueillir les déplacements du lundi au vendredi. Les jours fériés, les vacances scolaires et les journées particulières (météo exceptionnelle, grève des transports en commun,...) sont exclus de la période de collecte. Afin de lisser le recueil, la collecte doit durer au minimum 10 semaines et ne peut commencer qu'après la rentrée universitaire d'automne et ne peut se terminer après le début du mois de mai suivant.

2.4 Les différents types de biais d'une enquête

L'information collectée lors d'une enquête n'est jamais complète. Même si une enquête est obligatoire, certains ménages sont difficiles à joindre ou refusent de répondre. Quand le contact est établi, tous les questionnaires ne sont pas toujours remplis et retournés. Et même dans un questionnaire rempli, notamment lorsque les questions sont trop complexes, certaines informations peuvent manquer ou s'avérer imprécises (par exemple arrondies), inexactes ou incohérentes. C'est pourquoi la saisie informatique directe face-à-face (CAPI), au téléphone (CATI) ou par internet (CAWI) permet de contrôler immédiatement la cohérence des réponses et de demander des précisions à la personne interrogée le cas échéant. En sondage, nous pouvons classer les types d'erreur en quatre principales catégories (Razafindranovona, 2015) :

- L'erreur due à la base de sondage (lorsque celle-ci ne contient pas tous les éléments de la population cible) ;
- L'erreur due à l'échantillonnage (le fait de prendre une réalisation d'un tirage aléatoire) ;
- L'erreur due à la mesure (lorsque l'on observe pour un individu et pour une variable d'intérêt, une valeur différente de sa vraie valeur) ;
- L'erreur due à la non-réponse (le fait de l'incapacité de mesurer sur toutes les unités de l'échantillon toutes les variables d'intérêt).

Les erreurs de mesure sont compliquées à détecter et à corriger, car il s'agit généralement d'omissions. Soit l'enquêté a oublié de déclarer un ou plusieurs événements, soit il ne souhaite pas les décrire.

2.5 Technique de redressement

Après la phase de collecte des données, nous pouvons classer les techniques de correction de la non-réponse en deux catégories qui cohabitent dans la pratique (Deville et Särndal, 1992 ; Rao et Singh, 2009 ; Goga et al, 2011) :

- l'imputation : cette technique est généralement utilisée pour amender la non-réponse partielle et les erreurs de mesure ;
- la repondération des répondants : cette technique est surtout utilisée pour corriger les défauts de la base de sondage, les défauts de l'échantillonnage, et la non-réponse totale.

La non-réponse totale ajoute une phase supplémentaire dans l'échantillonnage (Emrich, 1983). En effet, on tire d'abord un échantillon dans la population selon un plan de sondage connu. Puis on considère que l'ensemble des répondants est issu d'un tirage selon un plan de sondage inconnu conditionnellement à l'échantillon de départ : le mécanisme de réponse (Beaumont, 2005).

Le mécanisme de réponse peut dépendre de variables qui sont disponibles (par exemple, dans le recensement), de variables qui ne sont pas disponibles (par exemple, si le logement dispose d'un interphone ou non), mais aussi des variables d'intérêt. Si le mécanisme de réponse dépend surtout des variables dont on ne dispose pas ou bien des variables d'intérêt, alors les estimations seront fortement biaisées. Le redressement pourra éventuellement diminuer ces biais, dès lors que les variables du mécanisme de réponse sont corrélées avec les variables dont on dispose (Särndal et Swensson, 1987). Tout l'art du redressement consiste à choisir judicieusement les variables pour corriger la non-réponse parmi les informations auxiliaires à disposition. Cette étape est essentielle pour assurer une bonne représentativité de l'échantillon et la comparabilité avec d'autres sources statistiques (enquêtes de l'INSEE).

2.5.1 Redressement du standard CEREMA

Le redressement est réalisé par secteur de tirage et il tient compte des structures par taille du ménage et par tranche d'âge des individus. Les individus appartenant au même secteur de tirage, taille de ménage et tranche d'âge auront la même pondération.

2.5.2 Principe du redressement par calage sur marges

Les techniques de calage sur marges ont été développées afin d'améliorer l'estimation de la variable d'intérêt, car nous réduisons la variance de notre estimateur lorsque les variables auxiliaires de calage sont corrélées avec la variable d'intérêt. Cette technique consiste à faire coïncider les marges de quelques variables de l'échantillon à celles de la population en modifiant la pondération. L'idée générale de la méthode d'estimation par calage a été développée et formalisée par Deville et Särndal (1992), bien que de nombreux anciens travaux aient déjà utilisé les méthodes d'ajustements de tableaux à des marges connues (Deming et Stephan, 1940 ; Lemel, 1976 ; Madre, 1979, 1980 ; Stephan, 1942). Lorsque les variables auxiliaires sont qualitatives, cette approche ne nécessite pas la connaissance, dans la population, du croisement de ces variables auxiliaires. La méthode de calage sur marges la plus connue en matière de sondage est la 'méthode itérative du quotient' ou Raking Ratio introduite par Deming et Stephan (1940) et Stephan (1942). Deville et Särndal (1992) ont généralisé l'approche des estimateurs par régression en introduisant les estimations par « calage sur marges ». Nous pouvons ainsi corriger les différents types d'erreurs à condition d'utiliser les variables expliquant le mécanisme de la non-réponse lors du calage sur marges.

2.5.3 Impact sur la précision

Lorsque nous utilisons un grand nombre de variables auxiliaires, la variance de notre estimateur peut augmenter (El Haj Tirari, 2012). Car pour minimiser la variance, il faut minimiser la somme du produit des poids de calage et des résidus. L'introduction de l'information auxiliaire dans le calage permet de diminuer les résidus mais

augmente aussi la dispersion des poids. Il faut donc choisir judicieusement les variables auxiliaires qui permettent de diminuer la variance lors du calage pour le redressement d'une enquête. Néanmoins, si nous utilisons trop d'informations auxiliaires nous risquons d'augmenter la variance (le risque de sur-calage). En effet, dans une telle situation, les poids obtenus prennent pour un grand nombre d'observations des valeurs extrêmes et, par conséquent, une très large étendue des poids et une certaine fragilité des résultats en cas de données aberrantes. Ceci peut se traduire aussi par une variance plus grande.

Il n'est pas nécessaire de mettre toutes les variables auxiliaires dans un calage surtout lorsque ces variables sont corrélées entre elles. Le principal but de ce chapitre consiste à mettre au point une méthodologie afin de choisir judicieusement l'information auxiliaire nécessaire pour redresser une enquête de mobilité.

2.6 Stratégies de redressement

Variables auxiliaires disponibles et retenues

Afin de redresser il est nécessaire que les variables issues des deux bases de données soient identiques. Les variables communes aux enquêtes ménages déplacements et aux recensements sont :

- Le type de logement
- Le statut d'occupation du logement
- La taille du ménage
- La motorisation du ménage
- Le sexe de la personne
- L'âge de la personne
- Le statut : Nombre de personnes actives du ménage
- La profession et catégorie socioprofessionnelle (PCS) de la personne
- Le niveau d'étude (Diplôme le plus élevé obtenu)

Parmi les variables ci-dessus, certaines d'entre elles ne seront pas utilisables, car les modalités ne sont pas les mêmes dans les enquêtes ménages déplacement et dans le recensement (type de logement, statut d'occupation du logement et niveau d'étude). Nous n'avons pas pu retenir la variable PCS car dans le fichier du recensement disponible sur internet cette variable n'était pas compatible avec les autres informations auxiliaires (pour des questions de jointure de base de données).

Niveaux géographiques

L'enquête étant utilisée parfois au niveau d'un secteur de tirage, il convient de la redresser à ce niveau géographique. Mais pour les plus petits secteurs de tirage où le nombre de personnes est égal à 160, nous devons prendre des précautions par exemple en agrégeant les modalités de certaines variables. Nous pouvons aussi ne pas mettre toutes les informations auxiliaires au niveau du secteur de tirage, mais parfois sur des zones géographiques moins fines. Nous utiliserons quatre niveaux géographiques :

- ZT, le secteur de tirage
- Z3TIR qui est construit en rassemblant 3 secteurs de tirage qui sont proches
- Le D10 qui est un découpage de l'aire d'enquête en une dizaine de zones
- L'aire d'enquête

Remarque : En prenant le cas d'une enquête possédant 102 secteurs de tirage, le regroupement Z3TIR possèdera 34 zones, alors que le regroupement D10 lui est par définition composé de environ 10 zones. Leur point commun se retrouve sur la technique de rassemblement des secteurs de tirage. Il s'agit d'une stratégie en spirale partant du centre de l'agglomération. Cette méthode permet de conserver des distances similaires entre les secteurs définis et le centre-ville. Une spirale étant continue, les secteurs regroupés sont des zones

idéalement limitrophes les unes des autres. Néanmoins, comme les territoires ne suivent pas tous une forme circulaire, il peut arriver que deux territoires ne soient pas contigus.

Les variables et les modalités retenues sont :

Variable	Modalités
Taille du Menage	Ménage d'une personne
	Ménage de deux personnes
	Ménage de trois personnes
	Ménage de quatre personnes et plus
Motorisation	Ménage sans voiture
	Ménage avec une voiture
	Ménage avec deux voitures ou plus
Tranche d'âge	00-05
	06-10
	11-17
	18-24
	25-39
	40-54
	55-64
	65-79
80 ans ou plus	
Sexe	Homme
	Femme
Statut	Inactif
	Actif

Poids initial

Nous avons pris comme poids initial, l'inverse de la probabilité d'inclusion du secteur de tirage, soit : N/n (où N représente la population du secteur de tirage et n la taille de l'échantillon des répondants).

2.7 Calages réalisés

Nous avons réalisé dans un premier temps les calages suivants :

- Calage de référence : Taille des ménages (ZT) + Tranche d'âge (ZT)
- Calage 1 : Taille des ménages (ZT) + Tranche d'âge (ZT) + Motorisation (ZT) + Sexe(ZT) + Statut (ZT)
- Calage 2 : Taille des ménages (Z3TIR) + Tranche d'âge (Z3TIR) + Motorisation (Z3TIR) + Sexe (Z3TIR) + Statut (Z3TIR)
- Calage 3 : Taille des ménages (D10) + Tranche d'âge (D10) + Motorisation (D10) + Sexe (D10) + Statut (D10)

Le calage de référence est équivalent au redressement du CEREMA (qui utilise la taille des ménages et les tranches d'âge pour chaque secteur de tirage). Les autres redressements utilisent les informations auxiliaires la taille des ménages, la tranche d'âge, la motorisation, le sexe et le statut mais pour des niveaux géographiques différents. Le calage 1 se fait sur les secteurs de tirage, le calage 2 sur les Z3TIR et le calage 3 se fait sur les D10.

Dans un deuxième temps, afin de déterminer le niveau géographique optimal pour chaque variable auxiliaire, nous avons mis en place une régression avec une méthode de sélection « Stepwise » pas à pas ayant comme critère d'arrêt d'Akaike (AIC). Le modèle de calage sortant est le suivant :

- Calage modèle : Taille des ménages (Z3TIR) + Age (Enquête) + Motorisation (ZT) + Sexe (D10) + Statut (ZT)

Pour nous assurer de la pertinence du modèle, nous avons réitéré l'opération en utilisant différents critères d'arrêt. Il en ressort le même résultat. Le premier souhait était la recherche d'un calage performant et uniformisé pour l'ensemble des enquêtes.

2.8 Sélection du calage

Nous avons mis au point 3 critères afin de choisir le meilleur redressement possible pour les enquêtes déplacements, qui sont :

- L'écart-type du nombre moyen de déplacements par jour et par individu. Cet écart-type donne aussi la précision de cette estimateur (puisque l'on peut calculer à l'aide de cet écart-type un intervalle de confiance) ;
- Modèle par tableau de contingence. Nous proposons via cette méthode de croiser toutes nos variables auxiliaires dans l'optique de créer un tableau de contingence et de comparer les résultats issus des enquêtes déplacements à ceux du recensement (en faisant une régression (de type analyse de la variance) et en observant le R^2). Le modèle ayant le R^2 le plus proche de un, donne des résultats de comptage le plus proche du recensement ;
- Étendue des poids. Classiquement, la qualité d'un calage s'observe également par une faible fluctuation des poids autour des poids initiaux.

Tableau 2.1 : Synthèse des résultats

Calage	Ecart Type	R^2	Etendue des poids
Calage de référence	24 667	0.82	9.23
Calage 1	25 427	0.81	13.41
Calage 2	23 162	0.82	8.35
Calage 3	24 692	0.82	6.98
Calage modèle	22 802	0.84	5.54

Tous les critères suggèrent que le calage modèle est le plus approprié. Nous avons fait le choix d'un calage uniforme pour les dix-neuf enquêtes de la base unifiée. Nous nous proposons d'appliquer une régression munie d'une procédure stepwise, non pas à l'ensemble de la base unifiée, mais à chaque enquête indépendamment les unes des autres. Suite à cela, nous avons procédé aux dix-neuf calages. Nous nommerons ce calage : calage indépendant

Nous pouvons conclure que la réalisation du calage propre (calage indépendant) à chaque enquête est bien meilleur, qu'avec une méthodologie uniforme (calage modèle).

Tableau 2.2 : Niveaux géographiques des variables auxiliaires sur les 19 agglomérations

Id	Agglomération	Taille du ménage	Motorisation	Tranche d'âge	Sexe	Statut
1	Nice	Z3TIR	Enquête	Z3TIR	D10	ZT
2	Marseille	Z3TIR	Enquête	D10		Enquête
3	Bordeaux	Enquête	ZT	Enquête		D10
4	Strasbourg	D10	Enquête	ZT		Enquête
5	Grenoble	Z3TIR	ZT	Enquête		Enquête
6	Saint-Etienne	Z3TIR	Z3TIR	ZT	Z3TIR	Enquête
7	Bayonne	Enquête	Enquête	ZT		Enquête
8	Saint-Quentin-en-Yvelines	Enquête	Enquête	Z3TIR	ZT	
9	Amiens	Enquête	Enquête	ZT		ZT
10	Caen	ZT	ZT	Enquête	D10	ZT
11	Valenciennes	Enquête	Enquête	Enquête	Z3TIR	D10
12	Ile de France	ZT	ZT	Z3TIR	D10	ZT
13	Angers	D10	Enquête	Enquête		Z3TIR
14	Douai	Enquête	Enquête	Z3TIR	ZT	Enquête
15	Clermont-Ferrand	ZT	ZT	ZT	D10	ZT
16	Toulouse	Z3TIR	Enquête	Z3TIR	D10	ZT
17	Nancy	ZT	ZT	ZT		ZT
18	Valence	ZT	ZT	ZT	D10	
19	Montpellier	D10	D10	Enquête		D10

Tableau 2.3 : Comparaisons entre le calage indépendant et le calage modèle :

Calage	Ecart Type	R²	Etendue des poids
Calage modèle	22 802	0.84	5.54
Calage indépendant	21 268	0.85	5.22

2.9 Conclusion

Nous avons mis en parallèle différents types de redressements à l'aide des variables auxiliaires disponibles et accessibles avec plusieurs niveaux géographiques. En se basant sur la variable d'intérêt nombre de déplacements par jour comme indicateur de la mobilité, notre analyse montre qu'un calage sur marges propre à chaque enquête est meilleur. Toutefois, dans le cas où nous cherchons à instaurer une méthodologie uniforme à toutes les aires d'enquêtes déplacements, notre calage modèle est plus adaptée que celui qui est fait actuellement. Le gain en précision en passant du calage de référence au calage modèle est de 8% et on gagnerait encore 7% en passant au calage indépendant sur chaque enquête.

3 Test de mesure de la mobilité à l'aide d'un panel - TOMOP

Les enquêtes par panel permettent la compréhension des changements de comportement (et l'impact du temps liés à des effets tels que l'habitude et l'inertie dans l'utilisation des transports). Par des données de panel, nous entendons des informations identiques qui sont collectées à plusieurs reprises sur les mêmes personnes (Tourangeau et al, 1997; Stopher et al, 2009 ; Zumkeller et Ottman, 2009).

Afin de tester la réalisation d'enquêtes par panels en France, nous avons mis en place deux protocoles auto-administrés. Les personnes sélectionnées peuvent répondre soit en remplissant « un carnet papier » (à renvoyer par la poste à l'issue de l'enquête) soit directement sur le web. D'après les expériences internationales d'autres expériences en Europe, nous comptons sur un taux de participation d'environ 10 %, sachant qu'il s'agit de personnes qui ont déjà répondu à une enquête transport et qui ont accepté de répondre à nouveau. Nous avons tiré deux échantillons de 1950 personnes de la vague 1 de l'EDR, afin de mener à bien les deux protocoles d'enquête.

3.1 Le protocole

Comme nous connaissons bien ces ménages car ils ont déjà répondu une fois à l'EDR, les questions socio-démographiques sont pré-remplies et nous demandons de corriger s'il y a eu un changement ou une erreur. Ensuite, le questionnaire est composé d'un carnet de déplacements. Les répondants doivent le renseigner sur la base de leur mobilité pendant une semaine complète (activité à destination ; heure et lieu de départ ; heure et lieux d'arrivée ; distance parcourue).

3.2 Le carnet papier auto-administré

Le carnet papier auto-administré est inspiré du format des enquêtes qui relèvent la mobilité sur une semaine dans d'autres pays européens. Ce questionnaire a été conçu en partie pour adapter les enquêtes françaises du type EMD au panel allemand sur la mobilité. Les personnes sélectionnées pour répondre à cette enquête reçoivent à leur domicile un questionnaire incluant le carnet de déplacements (Figure 3.1) qu'ils doivent remplir pendant une semaine complète. Nous avons aussi envoyé une enveloppe pré-timbrée pour faciliter le retour du questionnaire.

Ce questionnaire papier a été conçu pour être le plus simple possible afin de pouvoir être compris par tous (sans intervention d'un enquêteur). Mais aussi compatible avec les définitions des enquêtes standards en France. Ainsi pour faciliter la réponse, nous avons :

- Envoyé un flyer (afin d'expliquer le but de l'enquête et montrer l'importance de telles enquêtes) et offert un stylo ;
- Laissé le libre choix à l'enquêté de la date pour commencer le remplissage du carnet (pour éviter de faire appel à sa mémoire) ;
- Envoyé en même temps que le questionnaire une enveloppe pré-timbrée, donc sans coût pour le répondant ;
- Mis en place un numéro local afin d'appeler le bureau d'étude en cas de problème ou de doute ;

- Laisser le libre choix à l'enquêté de répondre au questionnaire directement sur internet (car dans la lettre d'invitation, nous avons ajouté un identifiant pour se connecter éventuellement et répondre au questionnaire)
- Mis en place aucun système de relance, pour ne pas augmenter les coûts ;

Ce protocole présente quelques inconvénients :

- Les répondants devaient répondre 7 jours consécutifs et cela représente une charge importante pour les enquêtés ;
- Les répondants pouvaient abandonner facilement car il n'y a ni relances ni enquêteur.

Figure 3.1 : Exemple d'une page du relevé de déplacement du carnet papier

La destination de ce déplacement est l'origine du déplacement suivant

Prochain déplacement, nouvelle colonne !

N'oubliez pas de décrire les petits déplacements comme acheter le pain, promener le chien, retirer de l'argent, aller manger à midi ...

Source: Ifsttar-AlyceSofreco, enquête TOMOP

3.3 Le questionnaire auto-administré à remplir sur internet

Le questionnaire à renseigner sur internet suit le même principe que le carnet papier mais avec une interface web. Les personnes sélectionnées reçoivent un courrier papier avec une lettre expliquant le but de l'enquête et mentionnant l'adresse du site web et les identifiants pour se connecter à ce site, et un flyer pour motiver le fait de répondre. L'enveloppe étant plus fine (car il n'y avait pas de carnet déplacement), nous n'avons pas ajouté de stylo, mais pour remercier les enquêtés qui ont répondu pendant les 3 années (une année par téléphone et deux par Internet), nous avons offert une clé usb lors de l'enquête de la 3^{ème} année.

Le questionnaire étant le même que le carnet papier, les enquêtés se connectent au site web avec l'identifiant reçu puis vérifient les données socio-démographiques qu'ils avaient fournies lors de l'année précédente. Comme pour le papier, il n'y a pas d'intervention d'un enquêteur professionnel, mais le questionnaire guide les répondants.

Au départ, l'idée était que la personne se connecte tous les jours afin qu'elle renseigne les déplacements réalisés la veille, comme c'est le cas dans les EMD classiques. Mais, lors du pilote, les répondants avaient trop de mal à faire ce travail quotidiennement pendant les 7 jours. Nous avons donc décidé d'augmenter le nombre de jours pouvant être complétés lors d'une connexion, laissant choisir à l'enquêté la possibilité de remplir jusqu'à 3 jours (contre 1 précédemment). Le bureau d'études a mis en place un tableau des répondants afin de suivre la complétion du questionnaire et de procéder à des relances par téléphone dès que possible afin de prévenir les erreurs de mémoire. Ainsi pour faciliter la réponse, nous avons :

- Envoyé un flyer (afin d'expliquer le but de l'enquête et de montrer l'importance de telles enquêtes) ;
- Laisse la possibilité de remplir le questionnaire en se connectant 2 ou 3 fois durant la semaine ;
- Mis en place un numéro local afin d'appeler le bureau d'étude en cas de problème ou de doute ;
- Mis en place un système de relance (par messagerie) dès que la réponse faiblissait ;
- Offert une clé usb à la fin du projet

Ce protocole présente quelques inconvénients :

- Les personnes sont autorisées à remplir plusieurs jours de suite (au maximum 3 jours) ce qui peut entraîner des oublis considérables lors de la description des déplacements ;
- Même s'il y a des relances, l'abandon est possible car il n'y a pas d'enquêteur ;
- Peuvent répondre à cette enquête uniquement les personnes ayant accès à Internet, la population enquêtée ne sera donc pas représentative de toute la population.

3.4 Bilan de la collecte sur les deux vagues

3.4.1 Bilan des vagues 1 et 2 du panel

Les deux tests d'observation de la mobilité par panels (TOMOP) montrent des différences méthodologiques mais le principe du protocole et les questionnaires sont identiques. Parmi les répondants de la vague 1 de l'EDR qui souhaitent être ré-interrogés, nous avons tiré deux échantillons distincts de 1950 personnes, d'une part pour un carnet papier et d'autre part pour un questionnaire web. Notre objectif était d'obtenir pour chaque pilote 175 répondants. L'aire de l'enquête reste identique et il n'y a pas eu de stratification géographique (Tableau 3.1).

Lors de la réalisation de l'enquête par téléphone, le taux de rebut (faux numéro de téléphone ou résidence secondaire) était de 46%. Pour cette deuxième ré-interrogation le taux de rebuts doit être très limité car tous les ménages ont déjà été contactés auparavant lors de l'enquête téléphonique, seuls les déménagements peuvent provoquer un rebut.

Tableau 3.1 : Taux de réponse pour les deux modes d'enquête de la vague 1

	Taille de l'échantillon	Nombre de retours	Taux de retours	Nombre de carnets complets	Taux de réponse
Carnet Papier	1 950	352	18%	164	8%
Questionnaire Web	1 950	304	16%	127	7%
Total	3 900	656	17%	291	7%

Sources : Ifsttar, Pilotes Tomop 2014

Une analyse plus fine des données a en outre montré que :

- Contrairement à ce que nous avons anticipé, nous avons reçu plus de réponses par courrier que par le web.
- Sur le web, le taux d'abandon en cours d'enquête a été très important notamment du fait de la nécessité de se connecter plusieurs fois pour compléter le questionnaire.
- Sur papier, de nombreux questionnaires n'ont pas été validés car mal remplis par les enquêtés (à la différence du web, où la manière directive de compléter le questionnaire supprime une partie des incohérences).

Notre connaissance de tous les types de recueils nous amène à constater que le taux de retour (nombre de personnes souhaitant répondre) est plus que satisfaisant (18 % sur papier et 16 % sur le web), et supérieur aux objectifs de l'enquête.

Néanmoins, la complexité du questionnaire (la collecte des déplacements est un processus délicat), son mode de passation (en auto-administré), et surtout sa longueur (environ 1H), conduisent à un très fort taux d'abandon en cours de réponse. Ainsi, 27% des questionnaires papier retournés sont incomplets (on peut imaginer que certains enquêtés n'ont tout simplement pas renvoyé un questionnaire pourtant entamé), et 58% des répondants web abandonnent en cours de route.

Lors de la deuxième vague, le taux de retour brut (nombre de personnes souhaitant répondre) est plus que satisfaisant (Tableau 3.2) :

- 23% pour le nouvel échantillon (2) papier
- 23% pour le nouvel échantillon (2) web
- 59% pour l'échantillon 2014 (1-2) papier
- 40% pour l'échantillon 2014 (1-2) web

Tableau 3.2 : Bilan de la vague 2 du panel (2015)

	Mode de collecte	Taille de l'échantillon	Nombre de retours	Taux de retours	Nombre de carnets complets	Taux de réponse
Répondants papier de la vague 1 du panel	Papier	153	91	59%	78	51%
Nouvel échantillon de l'EDR (vague 2)	Papier	1 104	254	23%	118	11%
Répondants web de la vague 1 du panel	Web	191	77	40%	56	29%
Nouvel échantillon de l'EDR (vague 2)	Web	1 100	254	23%	113	10%
Ensemble	Papier + web	2 548	676	27%	365	14%

Sources : Ifsttar, Pilotes Tomop 2015

Néanmoins, la complexité du questionnaire (la collecte des déplacements est un processus délicat), son mode de passation (en auto-administré), et surtout sa longueur (environ 1H), conduisent à un très fort taux d'abandon en cours de réponse, ce qui donne des taux de questionnaires complets de :

- 11% pour le nouvel échantillon papier (2)
- 10% pour le nouvel échantillon web (2)

- 51% pour l'échantillon 2014 papier (1-2)
- 29% pour l'échantillon 2014 web (1-2)

Ainsi, 18% des questionnaires papier retournés sont incomplets ou incohérents (on peut imaginer que certains enquêtés n'ont tout simplement rien renvoyé même s'ils ont entamé le questionnaire), et 51 % des répondants web abandonnent en cours de route. Ces taux montrent toutefois une nette amélioration par rapport à l'enquête de 2014 (Tableau 7).

3.5 L'analyse du profil des répondants/non-répondants

Il s'agit de disposer d'un ensemble de caractéristiques renseignées pour les répondants ET les non-répondants de manière à pouvoir comparer le comportement des uns et des autres selon les mêmes critères, rassemblés sous la dénomination « d'information auxiliaire ». Les résultats seront analysés en « brut », c'est à dire sans introduire de pondération d'extrapolation : ce n'est pas nécessaire pour ce genre d'analyse des déterminants de comportement et le taux de réponse reste de toute façon trop faible pour extrapoler les résultats à l'ensemble de la région.

Etant donné le protocole mis en place, toutes les variables de la vague 1 de l'enquête régionale (EDRv1) peuvent jouer le rôle d'information auxiliaire. Il faudra garder à l'esprit cependant que 2 ans se sont passés entre les deux collectes, et de ce fait certaines situations ont pu changer (évidemment l'âge, mais aussi le niveau de formation, l'occupation principale d'une personne, la composition d'un ménage ou son équipement). Pour autant, c'est bien la situation de l'EDRv1 qui sera prise en compte pour caractériser le comportement de réponse.

Le choix des critères s'est fait au vu des résultats de la première étude sur « la réponse a priori » des personnes interrogées et en fonction des éléments déjà connus qui peuvent influencer la réponse à des enquêtes qui mesurent le niveau de mobilité d'une personne. Le niveau de regroupement des modalités tente de ne pas trop éclater l'échantillon de répondants TOMOP : les effectifs peuvent devenir rapidement très faibles si on croise différents critères.

On modélise la probabilité de répondre à tout ou en partie au questionnaire TOMOP grâce à une modélisation de type « logit ». Plusieurs essais ont été faits (entrée des critères un à un ou tous ensemble, changement de situation de référence, ajout ou suppression de critères) pour sélectionner ceux qui influencent la non-réponse.

Toutes choses égales par ailleurs, la probabilité qu'une personne réponde à l'enquête TOMOP dépend du revenu de son ménage, de la taille de son ménage, de son niveau d'étude, de sa fréquence d'utilisation de la voiture en tant que conducteur et s'il possède un abonnement de transport en commun. On notera que le mode de collecte internet ou papier n'influent pas sur le fait de répondre à l'enquête TOMOP, tout comme l'âge, le sexe ou l'activité principale de l'individu.

Ainsi, en première analyse, les personnes qui utilisent leur voiture de temps en temps ont une probabilité plus grande de répondre. Plus le niveau d'étude est élevé plus le risque de répondre le sera également. Les personnes dont le ménage a un revenu supérieur à 3000 € par mois a pratiquement 2 fois plus de chance de répondre. Plus la taille des ménages est grande plus la probabilité de réponse est petite. La détention d'un abonnement à un transport en commun fait diminuer la probabilité de répondre.

Tableau 3.3 : Variables expliquant le mécanisme de réponse – et odds ratio

Variable	Modalité	Odds Ratio	significativité
Fréquence d'utilisation de la voiture en tant que conducteur	Tous les jours	0,9	ns
	de temps en temps	1,4	***
	Jamais	Ref.	
Niveau d'étude	en cours d'étude	0,6	**
	avant bac	0,4	***
	Bac	0,8	ns
	post bac	Ref.	
Revenu du Ménage	Moins de 3000 euros	1,1	ns
	Plus de 3000 euros	1,9	***
	n'a pas répondu à l'EDR	Ref.	
Taille du ménage	1 personne	1,7	**
	2 personnes	1,7	**
	3 ou 4 personnes	1,2	ns
	5 personnes et plus	Ref.	
Abonnement TC	Non	1,5	***
	Oui	Ref.	

Sources : Ifsttar, Pilotes Tomop 2014

Niveau de signification (Chi2) : ns= >0,10 (non significatif) ; **=<0,05 ; ***=<0,01.

Guide de lecture : Appartenir à un ménage ayant un revenu de plus de 3000 € par mois multiplie par 1,9 le risque de répondre au panel.

3.6 Bilan de TOMOP

L'instabilité croissante de la conjoncture économique générale, en particulier des prix des carburants a des répercussions importantes dans le domaine des transports, spécialement sur la mobilité quotidienne, notamment dans les régions urbanisées. Or, les statistiques de trafics (comptages routiers et billetterie des TC) sont trop agrégées et les grandes enquêtes décennales trop peu fréquentes pour apprécier les changements de comportement induits par ces évolutions heurtées. Sachant l'influence du niveau de vie sur les programmes d'activité d'une part, du prix des carburants sur les comportements de déplacements d'autre part, ces enquêtes ne sont plus directement comparables avec les enquêtes antérieures pour déterminer des tendances de long terme, dans une période où les évolutions de la motorisation et des trafics sont souvent lentes, donc d'amplitude modérée par rapport aux fluctuations conjoncturelles. En outre dans l'analyse des programmes d'activité, les rythmes temporels ont pris une importance croissante. Il semble donc de plus en plus nécessaire d'observer en continu, c'est-à-dire :

- Toute l'année, et pas seulement en semaine l'hiver hors vacances scolaires, quand les trafics urbains atteignent leur maximum ;
- Et d'année en année pour observer les changements de comportement dès leur émergence. Des échantillons indépendants, même très importants (recensement), sont d'ailleurs insuffisants pour mesurer les changements de comportement ; le suivi de ménages ou d'individus par panel est alors indispensable.

4 Test de mesure de la mobilité à l'aide de récepteur GPS - TOMOS

4.1 Apport des nouvelles technologies pour observer la mobilité

Dans un premier temps, la méthode PAPI (PAper and Pencil Interview) a été utilisée pour toutes les enquêtes ménages déplacements pour des entretiens en face-à-face, par appel téléphonique ou par courrier. Des questions sur les déplacements d'une ou plusieurs journées étaient posées à une personne de référence du ménage ou à chacun de ses membres. Pour chaque déplacement, on demandait l'adresse à l'origine et à la destination, le lieu, le motif, le mode, le nombre de personnes accompagnant le répondant, etc. Avec cette méthode, l'enquêté est susceptible de fournir des informations imprécises ou même erronées, omettre des déplacements, arrondir la durée et la distance parcourue ou omettre des lieux d'origine et de destination.

Pour remédier à ces erreurs dans les données sur la mobilité, à partir des années quatre-vingt, on a remplacé les méthodes manuelles par les méthodes assistées par ordinateur : d'abord le CAPI (Computer Assisted Personal Interview), le CATI (Computer-Assisted Telephone Interview), le CASI (Computer Assisted Self Interview) ou CAWI (Web Interview). Parmi ces méthodes, chacune a des avantages et inconvénients. La méthode CATI permet d'allier souplesse, rapidité d'exécution, et possibilité de rappeler automatiquement les individus à des moments différents de la journée selon un protocole précis. Cependant, du fait de la prolifération de l'utilisation de cette technique par un certain nombre d'institutions, il existe un risque de voir diminuer la qualité des données et la participation à ce type d'enquête. D'autre part, la durée des interviews est courte et il n'est pas possible d'utiliser les images. Les méthodes CAPI et CASI ont été évaluées positivement dans de nombreux cas et fournissent des données précises. Toutefois, elles sont coûteuses et ne sont pas faciles à mettre en oeuvre à grande échelle. Ainsi, elles sont peu utilisées pour une enquête nationale déplacements.

Il y a eu de nombreuses études sur les méthodes classiques et les possibilités de passage vers des méthodes automatisées de collecte de données sur la mobilité. Notamment à l'aide de traceurs (récepteur qui enregistre les coordonnées horodatées).

Le GPS (Global Positioning System)

Le GPS est un système de radio positionnement par satellites développé par l'armée américaine (US Navy) conçu au début des années 70 par les militaires pour leur besoin propre. Il remplace le système transit qui fut conçu dans les années 50 et a fonctionné jusqu'au milieu des années 1980. Les coordonnées d'un point sont obtenues par triangulation en mesurant, à l'aide de signaux radio, sa distance par rapport à un certain nombre de satellites (dont les orbites sont quasi circulaires, de rayon 26 500 km, de période environ égale à 12 heures, situés dans six plans inclinés de 55° par rapport à l'équateur). Quatre satellites sont nécessaires pour établir les coordonnées x, y et z de ce point.

Le GPS a été déclaré opérationnel en février 1994 par le congrès américain et ses possibilités ont fait que la communauté civile scientifique s'est intéressée à lui. Il est aujourd'hui sous le contrôle du département de la défense (DoD) et du département des transports (DoT) des Etats Unis. Ce système opérationnel depuis au moins 30 ans offre une solution à presque tous les besoins de positionnement et de navigation, et présente une

utilisation simple sur le terrain. Les récepteurs sont donc passifs. Le GPS a apporté une révolution dans les méthodes de relevé topographique, en géodésie et en navigation. Aujourd'hui tous les nouveaux réseaux géodésiques nationaux sont réalisés par des méthodes spatiales et en particulier par GPS. Comme le récepteur doit être en vue des satellites, le GPS ne fonctionne pas très bien dans certains lieux comme dans un tunnel, dans le métro ou à l'intérieur des bâtiments. Les dispositifs GPS permettent en général d'obtenir une localisation dans les zones rurales plutôt meilleure que dans les zones urbaines (rues étroites, canyons urbains,...), et sont relativement peu affectés par la densité de population.

La technologie GPS est maintenant utilisée dans plusieurs domaines, une des applications en transport est un outil de suivi de la mobilité des personnes.

GSM (Global System Mobile)

Le GSM (Global System Mobile) constitue au début du 21ème siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique.

Le GSM s'appuie sur la triangulation et la puissance du signal des stations de transmission de base (BTS) pour déterminer la position. La précision du positionnement par GSM dépend de la densité des BTS. Il parvient donc à fournir les informations les plus précises dans les zones urbaines denses, où les stations de base sont peu espacées, mais ne fournit que des positions imprécises dans des zones reculées où les stations de base sont très largement espacées, lorsqu'elles existent. Les dispositifs GSM présentent l'avantage de fonctionner dans certains endroits où le GPS n'est pas en mesure de fournir une position. Pourtant, même dans les zones urbaines denses, la précision du positionnement d'un appareil GSM n'est généralement pas inférieure à ± 40 mètres, le plus souvent au-delà de 100 mètres dans les zones suburbaines (Varshavsky et al., 2006). En outre, le GSM ne donne pas d'information sur les déplacements courts intérieurs à une cellule couverte par une antenne, et surtout il peut fournir une information trompeuse pour un objet fixe s'il change d'antenne de référence alors que le récepteur n'a pas bougé.

Wi-fi

Indépendamment du GSM et du GPS, un autre système de positionnement pouvant trouver une application dans les enquêtes sur la mobilité des personnes mérite d'être présenté, le positionnement par Wi-fi. Le Wi-fi est l'abrégié de Wireless Fidelity et le nom commercial de la norme IEEE 802.11b, une technologie de réseau local Ethernet sans fil (en anglais : WLAN, pour Wireless Local Area Network / le mot "wireless" signifie "sans fil"), basé sur la fréquence 2.4 GHz.

Il s'agit donc d'une technologie de transmission de l'information par ondes radio électromagnétiques, de fréquence 2.4 GHz (Giga Hertz), entre différents ordinateurs. Des logiciels ou kits de développement permettent d'utiliser de plus en plus le Wi-fi dans des applications de localisation. Le dispositif qui peut être utilisé pour cela est un PC portable, un Tablet-PC, un Smartphone, ou des étiquettes RFID. Plus la densité des signaux Wi-fi dans une zone donnée est importante, meilleur sera le positionnement. Pour les enquêtes de mobilité, en utilisant un véhicule équipé en même temps par un GPS et un récepteur de signal Wi-fi, il est possible d'atteindre une précision de 13 à 20 mètres dans les zones urbaines denses, diminuant à 30 à 40 mètres dans les quartiers de banlieue (Chiou et al. 2009)(Lim et al. 2008). Comme dans le positionnement par GSM, les résultats dépendent de la densité des stations de base. Le Wi-fi semble être une bonne méthode pour sa précision dans les zones

urbaines denses. Cependant, la qualité de l'enquête dépend du taux d'acceptabilité par les enquêtés et elle n'est pas assurée dans les zones rurales où la densité des stations de base est faible.

Méthodes hybrides

La combinaison de nouvelles technologies de localisation nous permettra d'obtenir les meilleurs résultats car elle pourra diminuer les inconvénients de chaque technologie. Par exemple, nous pouvons profiter de la capacité du GPS à se localiser précisément dans les espaces ouverts et utiliser le Wi-fi ou GSM en milieu urbain dense. Le GPS peut être combiné avec un PDA, un ordinateur portable ou un téléphone mobile (Murakami and Wagner, 1999) (Doherty et al., 2001). De même, le GSM peut être utilisé comme dispositif unique, mais peut également être intégré à un PDA, ou à d'autres appareils de communication, ou même être combiné avec un récepteur GPS (Hato, 2006), (Itsubo and Hato, 2006). Une autre méthode hybride est la combinaison de GPS, Wi-fi et GSM : on a recensé dans ce but les données brutes des stations de Wi-fi, des satellites et des stations de téléphone mobile avec des algorithmes avancés de localisation. Un téléphone portable équipé de ce logiciel peut être localisé partout .

En général, la combinaison du GPS avec les autres nouvelles technologies est prometteuse. Le développement de ces technologies et la baisse de prix du récepteur GPS ouvrent des perspectives pour une enquête de mobilité à grande échelle. La méthode d'enquête sur les déplacements par interview face-à-face avec papier et crayon a été remplacée progressivement par des méthodes assistées par ordinateur telles que le CAPI, le CATI ou le CAWI, mais de nouveaux moyens pour recueillir des données sur la mobilité de manière plus précise et efficace sont encore recherchés. Le Global Positioning System peut contribuer considérablement à améliorer les données temporelles et spatiales sur les déplacements individuels en capturant exactement leurs heures de départ et d'arrivée, leurs origines et destinations, en fournissant également des indications précieuses sur le choix d'itinéraire. En s'appuyant sur ces données, la durée et la distance parcourue peuvent être facilement déduites.

4.2 Utilisation en complément d'une enquête ménages transports

De nombreuses études sur l'application du GPS dans les enquêtes sur les déplacements des personnes ont été menées (voir Armoogum et al. 2015). Nous pouvons différencier ces études en deux catégories :

- Les enquêtes à l'aide d'un boîtier GPS, ce type d'enquête est généralement réalisée avec un suivi de type passif (on donne à l'enquêté un matériel sans aucune interface graphique, il s'agit d'une « boîte noire » qui se contente d'enregistrer les lieux visités et l'heure de la visite).
- Les enquêtes à l'aide de Smartphone, généralement les enquêtés téléchargent une application et cette application enregistre les lieux visités et l'heure de la visite. On profite aussi de l'application pour poser quelques questions sur les déplacements.

Il y a des avantages et des inconvénients dans ces deux type d'enquêtes que nous pouvons résumer dans le tableau ci-dessous :

	Récepteur GPS	Smartphone
Avantages	Distribution possible à toute la population	Coûts (inutile d'acheter du matériel) Pratiquement toujours avec l'enquêté
Inconvénients	Coûts (achat de la balise, distribution aux enquêtés)	Déploiement compliqué : plusieurs systèmes différents (Iphone, Android, ...) Défaut de couverture de la population (70% de la population)

Nous avons opté pour des récepteurs GPS afin de n'exclure aucune sous-population, avec l'idée que l'on pourrait à terme avoir une approche mixte, c'est-à-dire, proposer aux enquêtés le choix entre une enquête à l'aide d'une application smartphone ou une enquête à l'aide de récepteurs GPS. Les deux dispositifs utiliseraient alors les mêmes procédures de post-traitement des traces GPS.

4.2.1 Description du pilote GPS

Nous avons testé une enquête de mobilité à l'aide de récepteur GPS, dans la région Rhône-Alpes sur un sous-échantillon de personnes ayant déjà participé à l'Enquête Déplacements Régionale (pendant la vague 2013-2014) et qui se sont déclarées volontaires pour une enquête GPS.

La phase de préparation de l'étude s'est déroulée entre le 15 octobre 2014 et le 28 février 2015, et l'enquête d'une part entre le 12 mars 2015 et le 11 avril 2015, puis du 05 mai au 05 juin 2015.

Le test est constitué de deux parties :

- Les développements informatiques et fonctionnels pour la réalisation de l'enquête.
- La réalisation d'une enquête par suivi GPS : Chaque enquêté doit prendre avec lui, à chaque déplacement pendant une semaine, le boîtier GPS qui lui a été fourni. Les données GPS ont été téléchargées sur une plateforme, ce qui a permis de fabriquer un questionnaire personnalisé. Les enquêtés ont pu remplir parallèlement un carnet de déplacements via internet et renseigné des informations complémentaires sur chaque déplacement. Ils ont dû répondre à un questionnaire sur le dernier jour de recueil des traces GPS. Ce jour était généralement la veille de l'enquête en face à face avec un enquêteur qui a récupéré le boîtier GPS.

L'Ifsttar s'est équipé de machines de la marque Géotraceur, dont la principale nouveauté réside dans le couplage du GPS avec une puce GSM. Ainsi, grâce à ce type de matériel, on devait être en mesure de disposer des données en « temps réel », et disposer également d'une capacité mémoire virtuellement infinie (puisqu'on peut vider la mémoire après chaque synchronisation avec le serveur).

Le principe de la méthodologie employée pour la réalisation de la collecte est le suivant :

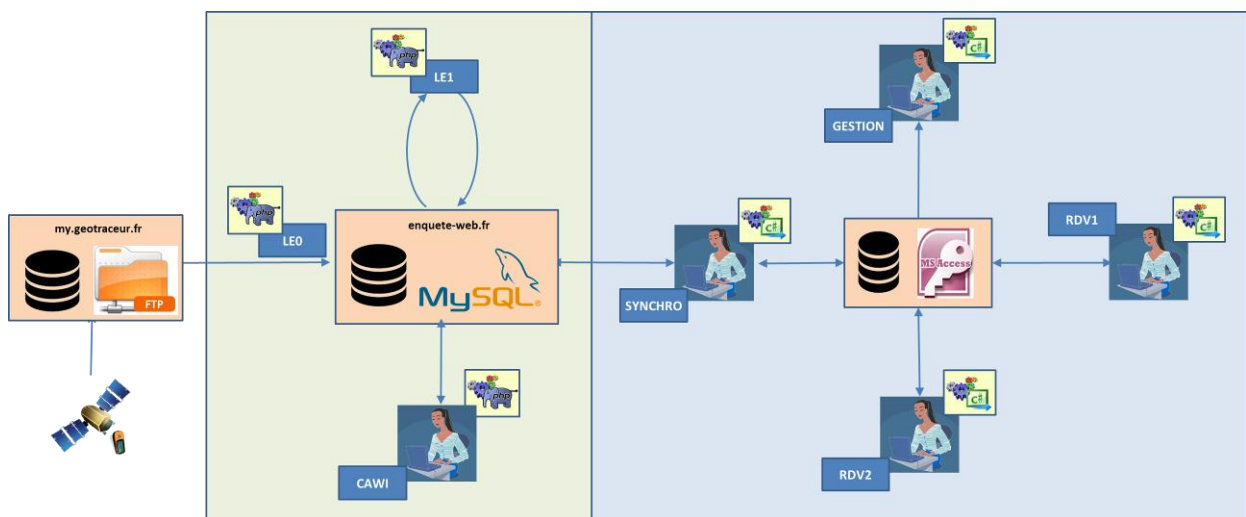
- Dans un premier temps, un enquêteur appelle la personne qui a accepté de répondre à une enquête par suivi GPS, et la recrute pour le test, puis prend rendez-vous pour la réalisation de la collecte. Un courrier préalable à cet appel est envoyé pour avertir la personne de l'appel. Seules les personnes de 18 ans ou plus ont été sollicitées pour l'enquête.
- Lors de la première visite, un enquêteur va chez la personne recrutée à la date du rendez-vous pris afin de lui remettre le récepteur GPS et lui donner les instructions pour sa bonne utilisation en vue du recueil

de traces pendant une semaine complète. Il vérifie les données dont on dispose déjà dans la vague 2 de l'EDR et localise certains lieux de déplacements habituels (domicile, travail, achat, loisirs, écoles...).

- Entre les deux visites de l'enquêteur. Les données GPS sont envoyées en temps réel à un serveur et sont traitées pour sortir une série de points numérotés qui indiquent chronologiquement les différents déplacements réalisés. Un premier logiciel adapte les traces reçues du GPS puis les transforme en points. En parallèle, les enquêtés ont la possibilité de répondre à un questionnaire par internet afin de décrire leur mobilité.
- Huit jours après le 1er rendez-vous, l'enquêteur repart chez la personne enquêtée afin de reprendre le GPS et de réaliser une deuxième interview afin de compléter les informations demandées pour chaque déplacement (sur la base des points numérotés) sur toute la semaine de recueil.

4.3 Architecture générale

Les interactions entre les différents modules de programmation peuvent être schématisés ainsi :



La base de données MySQL sur enquete-web.fr centralise l'ensemble des données de l'enquête :

- Les données d'initialisation (affectation des GPS, liste des candidats et affectation aux enquêteurs) sont chargées sur le serveur
- Les données GPS sont récupérées à l'aide du logiciel expert 0 (LE0) sur ftp://my.geotracteur.fr
- Le logiciel expert 1 (LE1), transforme les traces GPS en lieux visités.
- Les données collectées lors des premier et deuxième rendez-vous sont récupérées et synchronisées (SYNCHRO) sur les ordinateurs des enquêteurs
- Les données du carnet de trajet Cawi sont enregistrées à partir de la saisie des informations sur <https://www.enquete-web.fr/tomos/>

Le module « SYNCHRO » se charge :

- De récupérer les mises à jour des données d'initialisation (changement d'affectation d'un GPS à un enquêteur, mise à disposition de nouveaux candidats)
- De récupérer les informations GPS (charge et traces)
- De récupérer les informations saisies via le web
- D'envoyer les informations saisies via le CAPI lors de la seconde visite de l'enquêteur

La base de données MS Access sur chaque ordinateur d'enquête contient une base similaire à la base en ligne. Cette base contient l'ensemble des informations nécessaires aux différents modules du logiciel d'enquête :

- Suivi des enquêtes
- Suivi des données GPS
- Saisie des questionnaires CAPI

4.4 Descriptif des logiciels de traitement

4.4.1 Logiciel expert 0 (LE0) : Récupération des données sur les serveurs Géotraceur

Les balises GPS sont configurées pour communiquer directement avec les serveurs de la société Géotraceur, et il n'était pas possible de changer l'adresse d'envoi des données, alors que ceci aurait permis de communiquer directement avec les balises, et de récupérer les données. Nous avons donc convenu, en collaboration avec la société Géotraceur, de la mise en place d'une arborescence de données et d'une structure des fichiers, qui nous permet de récupérer les traces GPS ainsi que les informations sur l'état de charge des batteries.

4.4.2 Logiciel expert 1 (LE1) : Détermination des lieux visités à partir des traces GPS

Le logiciel LE1 analyse et enrichit les données présentes dans la table `gps_trace`, afin de construire la table `gps_visit`. Dans ce programme, on travaille avec l'identifiant du GPS, on n'a donc pas besoin de connaître l'affectation de l'appareil.

Première étape : le filtrage

La première étape consiste à supprimer les points aberrants (les sortir de l'échantillon). On remplit donc une colonne « filtre » avec une valeur 0 ou 1. A l'issue de cette étape, on ne conservera que les points à « 1 ».

Pour le choix d'un système de filtrage (détection et effacement des points aberrants), la thèse de Shuning YUAN nous orientait vers deux possibilités :

- Par la méthode Hdop (dilution de la précision horizontale) : nous n'avons pas pu implémenter cette méthode, car cette information sur la précision de la localisation des points à partir de la géométrie des satellites en vue de l'appareil, n'était malheureusement pas à notre disposition sur le jeu de données.
- Par la méthode Accélération Vitesse : cette méthode n'a pas semblé donner de résultats probants (au regard d'une analyse « empirique », basée sur une évaluation visuelle de la pertinence des points supprimés et conservés). On peut noter concernant cette méthode, trois points importants :
 - Dans la thèse, il est décrit qu'elle peut, dans certains cas, supprimer des points corrects et garder des points aberrants. C'est effectivement ce que nous avons pu constater sur notre jeu de données
 - Cette méthode ne gère aucun nettoyage pour 2 points distants de plus de 120 secondes. Or dans le cas de notre enquête, nous avons de nombreux trous de plus de 2 minutes (notamment les phases de réveil, qui peuvent émettre des points aberrants au démarrage)
 - En outre, le pas de temps de notre enquête est bien supérieur au temps prévu dans la thèse et, qui plus est, très irrégulier.

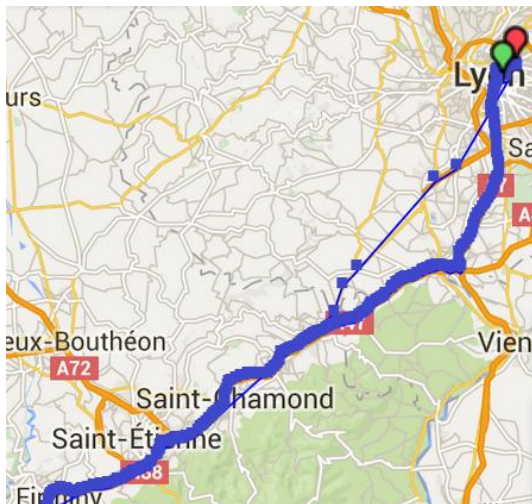
Aucune autre méthode de filtrage proposée dans les autres expériences n'ont pu être mises en place dans le cas de cette étude du fait :

- Du grand nombre d'informations qui n'étaient pas à notre disposition (HDOP, nombre de satellites, altitude)
- De la fréquence trop faible et irrégulière de prise de point (d'où impossibilité de travailler avec l'accélération)
- De « trous » dans la collecte : période où les personnes se sont déplacées avec le GPS, mais où l'information n'a pas été recueillie
- De la survenue d'erreur qui ne sont probablement pas dues au récepteur GPS, mais à d'autres éléments de la chaîne de transmission d'information (notamment lors de l'envoi des informations via GSM)

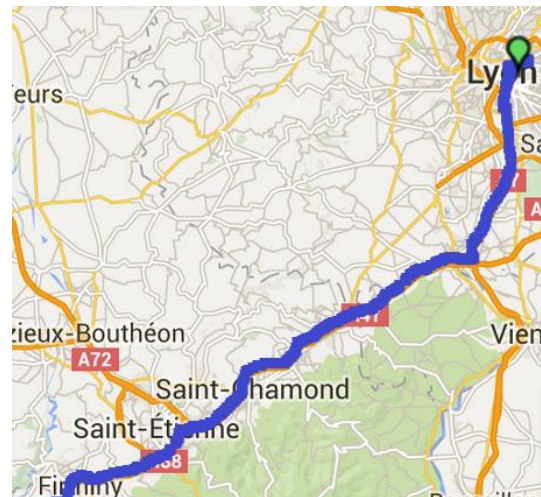
Pour toutes ces raisons, nous avons opéré un filtrage « à minima », qui ne valide pas un critère d' « universalité » de notre chaîne de traitement :

- Les longitudes et latitudes sont limitées à une partie de l'Europe ($-10^\circ < \text{lon} < 40^\circ$ et $30^\circ < \text{lat} < 80^\circ$)
- Les vitesses entre 2 points sont limitées à 350 km/h (modes terrestres)

Ce filtrage à minima, permet donc uniquement de supprimer les points « très aberrants ». Il subsiste néanmoins des points qui restent validés, malgré le caractère très certainement invalide de leur position (au regard de la cohérence vis-à-vis de l'ensemble des déplacements de la personne). En effet, une distance, même très grande, entre 2 points pris à un intervalle de temps également conséquent fera apparaître des vitesses convenables, et ne sera pas filtré.



Donnée brute



Donnée filtrée

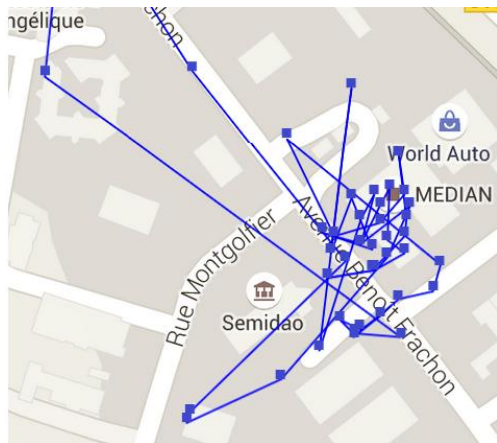
L'autre inconvénient de ce filtrage est son fonctionnement séquentiel et chronologique : si un mauvais point est validé en début de chaîne, il pourra invalider les points suivants, même quand ceux-ci sont corrects. Afin d'améliorer cette étape, il est nécessaire de disposer de plus d'informations sur la source de données pour construire un indice de qualité qui sera à la base du filtrage, et de collecter les points avec une fréquence régulière et paramétrable.

Deuxième étape : Application d'une fonction de lissage

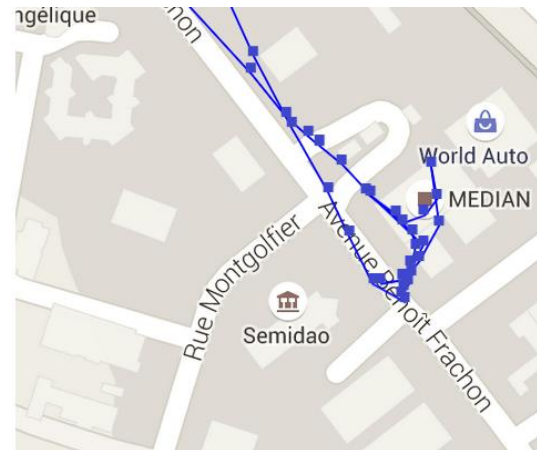
Cette étape consiste à amoindrir les erreurs de positionnement GPS à l'arrêt. Elle consiste donc à remplir 2 colonnes, `lat_gauss` et `lon_gauss`, avec les valeurs des latitudes et longitudes lissées.

La méthode de filtrage appliquée à l'étape 1 permet donc uniquement de supprimer les points « extrêmes ». Par ailleurs, un des problèmes les plus communs dans l'erreur de positionnement GPS, est la tendance à récolter des points qui rebondissent autour de la position réelle. Cette tendance complique grandement la détection des phases de mouvement et d'arrêt, car elle crée du « mouvement » qui n'existe pas.

Nous avons analysé plusieurs méthodes de lissage de données. La plus satisfaisante dans le cas de cette étude est l'application d'une fonction de lissage de type Gaussian Kernel Smoother ; c'est sur ces données lissées que nous appliquerons ensuite l'étape 3.



Donnée filtrée

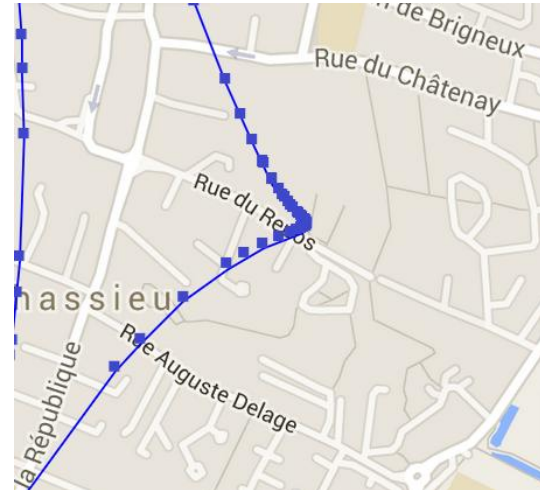


Donnée lissée

Le paramétrage pris ici est très large comparé à d'autres études, ce qui a tendance à « effacer » certains types d'arrêts, qui dès lors ne seront plus détectés.



Donnée filtrée



Donnée lissée

Note : afin de rester cohérent avec l'aspect « temps réel » de l'étude, chaque point devrait n'être lissé qu'à partir des points le précédant. Ceci permettrait de garantir que la fonction de lissage aura le même comportement en temps réel, et en traitement à postériori.

Afin d'améliorer cette étape il est essentiel de disposer de points plus fréquents afin de pouvoir « resserrer » la Gaussienne ; de disposer d'un indice de qualité pour pouvoir pondérer l'indice de correction et de mettre en place une méthode de redressement basée uniquement sur les points en amont

Troisième étape : Constitution de la table gps_visit

Cette étape consiste, en fonction de critères (temps minimum pour considérer un lieu, temps minimum pour considérer un déplacement), à remplir les lignes de la table `gps_visit`, qui contient la liste des lieux visités, et les heures de départ et d'arrivée.

Chaque ligne importée renseigne une colonne `date_up`, qui indique la date/heure à laquelle la ligne a été créée, pour l'importation des données en local (dans les tables MS Access des ordinateurs enquêteurs)

Pour cette étape, nous n'avons pas utilisé la méthode décrite dans la thèse de Shuning YUAN pour diverses raisons :

- Le pas de temps avec lequel nous travaillons est trop grand
- Le pas de temps est trop variable
- Le programme ne prend pas en compte les valeurs de distance pour détecter un mouvement

Nous avons donc mis à jour le programme développé lors de la thèse de Shuning Yuan, en réduisant les valeurs de seuil :

- Un mouvement est détecté s'il y a un déplacement de plus de 200m ou une vitesse de plus de 1.4 km/h
- Un arrêt est détecté s'il y a une vitesse de moins de 1.4 km/h pendant plus de 300s

Et en changeant également dans le programme :

- Suppression de la prise en compte de la vitesse GPS (on travaille uniquement avec la vitesse calculée à partir de la distance entre les points)
- Vitesse calculée sur la base des coordonnées lissées

Quatrième étape : Nettoyage de la table `gps_visit`

L'algorithme de constitution de la table `gps_visit` est imparfait, il est donc nécessaire de procéder à un nettoyage à posteriori :

- Si deux lieux visités sont proches en distance et en temps, nous les recollons
- Nous changeons la coordonnée du point GPS en prenant le centroïde de l'ensemble des points (lissés) qui constituent l'arrêt

Logiciel expert 2 (LE2) : Enrichissement des traces via les informations recueillies par interview

Cette étape consiste à générer les tables `rdv2_lieux` et `rdv2_trajets`. A partir des informations de la table `gps_visit`, des traces, et des informations de la personne interrogée, nous déterminons la liste des lieux visités, puis enrichissons l'information. On travaille donc ici avec l'identifiant de la personne enquêtée.

Première étape : remplissage de la table `rdv2_lieux`

La table `rdv1_personne2` contient, pour chaque personne interrogée, le numéro du GPS affecté, ainsi que la date de début et de fin de recueil. Nous récupérons donc les lignes de la table `gps_visit` correspondant à l'identifiant GPS et aux bornes temporelles, et nous construisons la table.

Deuxième étape : Clusterisation et Géocodage

Lors de cette étape, nous utilisons un algorithme qui détecte des clusters, c'est-à-dire des lieux qui se trouvent à proximité les uns des autres (nous utilisons l'algorithme `dbscan`, que nous avons configuré avec des valeurs assez serrées (50m de rayon). Nous intégrons dans la liste des lieux l'ensemble de ceux qui ont été visités, ainsi que les lieux recueillis (domicile et lieu de travail)).

Pour chaque cluster, nous modifions la valeur des latitudes et longitudes (en prenant la moyenne des valeurs du cluster). Egalement, si les clusters contiennent une des adresses recueillies, nous pourrions caractériser ces adresses.

A l'issue de cette étape, nous procédons à un recodage des adresses : en effet, les latitudes et longitudes des lieux ont été ajustées tout au long du processus, et proviennent de différentes sources (Géocodage Géotraceur, Mappoint, Google Maps). Cette étape permet de mettre en cohérence toutes ces informations.

Les points à améliorer sont :

- Disposer de points de meilleure qualité pour travailler sur un cluster resserré
- Disposer des coordonnées du domicile par relevé GPS lors de la visite de l'enquêteur
- Disposer d'un autre système de géocodage (car nous sommes limités en nombre de requêtes avec Google Maps)

Troisième étape : lissage des traces

A partir des informations contenues dans la table `rdv2_lieux`, nous pouvons déterminer si chaque intervalle entre deux lieux correspond à un déplacement (en récupérant l'ensemble des points de cet intervalle, et en analysant la trace).

Au cours d'un déplacement, la qualité du point GPS peut être inexacte, et le signal erroné. Ces erreurs sont très gênantes pour la détermination des axes empruntés, ainsi que pour la détermination des distances. Nous avons donc mis au point une méthode de lissage basée sur un filtre de Kalman. Ce filtre est appliqué :

- Uniquement sur les points en mouvement
- Une trace se limite à des points pendant lesquels nous n'avons pas de trou d'information de plus de 30 secondes (au-delà de 30 secondes, nous commençons une nouvelle trace)
- Une trace comporte au minimum 10 points

Il suffirait de disposer d'un indice de qualité et de points plus fréquents pour améliorer le lissage des traces.

Quatrième étape : Analyse des modes empruntés

Cette étape consiste à constituer la table `rdv2_trajets`. A partir des informations contenues dans la table `rdv2_lieux`, nous pouvons déterminer que chaque intervalle entre 2 lieux correspond à un déplacement. Nous récupérons l'ensemble des points de cet intervalle, et nous analysons la trace.

Les éléments à notre disposition ne nous ont pas permis de mettre en place un logiciel de détermination des modes. En effet, selon la thèse de Shunning Yuan, la méthode consiste à analyser les temps de déplacement, les vitesses, et les accélérations, afin de déterminer un mode probable. De notre côté, nous avons identifié des procédures permettant de déterminer le temps et le trajet emprunté entre deux points en fonction du mode utilisé (via un logiciel d'analyse de trajet le plus court). En associant cette analyse avec les traces, nous espérons pouvoir déterminer le mode probable.

Pour que cette analyse fonctionne, il faudrait disposer d'une étape de simplification des traces (réduire le nombre de points), en se basant sur les différents réseaux existants (nous gardons les points uniquement sur les lieux ces réseaux). En faisant de la sorte, on arriverait à déterminer l'ensemble des segments empruntés, et ainsi à déterminer la vitesse sur chaque segment, et le sens de parcours (qui donnent des informations sur le mode).

4.5 Bilan du test

Bien que plusieurs enquêtes-pilote aient été réalisées sur le sujet, on reste encore aujourd'hui loin de la phase de production. En effet, les matériels, les protocoles et les programmes de traitement restent largement expérimentaux, et il n'existe aujourd'hui aucune méthode standardisée. De plus, la technologie évolue très rapidement (au niveau de la durée de vie de la batterie, de la capacité mémoire, ...), et il est donc nécessaire d'adapter les méthodes aux contraintes et capacités techniques.

4.5.1 Bilan des enquêtes validées / invalidées et des refus / rebus

Au total, 128 enquêtes ont été réalisées en phase de production, dont 93 ont été validées. Le ratio entre le nombre d'enquêtes à réaliser et le nombre d'enquêtes correctes est très satisfaisant. Néanmoins, sur les 35 enquêtes invalidées, 24 le sont pour cause de « donnée GPS insatisfaisante ». Parmi ces 24, 10 enquêtes n'ont fourni aucune donnée, malgré confirmation de la charge de la machine, et du fait que la personne s'est déplacée avec son GPS. Nous n'avions pas anticipé un si grand taux de déchet pour cause de matériel défectueux, et ceci est à corriger pour une enquête de grande ampleur. Les autres causes d'invalidation que nous avons anticipé (abandon en cours d'enquête, oublis de l'enquêté, mauvais travail de l'enquêteur), ont été moins fréquentes qu'anticipés, ce qui donne un ratio assez correct.

Remarque : étant donnée l'aspect « boîte noire » des balises (si on ne reçoit aucune donnée, c'est peut-être que la machine n'a pas bougé, ou bien qu'elle n'était pas chargée, ou bien qu'elle ne communique pas, ou bien qu'elle ne fonctionne pas), il est très difficile de déterminer avec certitude les causes d'invalidation de chaque enquête. Si pour certaines balises le doute n'est pas permis (par exemple la balise 60543801446 n'a communiqué aucune donnée sur 3 enquêtes consécutives, ce qui nous pousse fortement à opter pour un problème de machine), pour les autres, il est difficile de savoir si un jour sans données, lorsque la personne interrogée répond qu'elle s'est déplacée, correspond à un jour où elle a oublié de charger la machine, ou de la prendre, ou si elle n'a pas enregistré les données. Il est donc plus que nécessaire de disposer d'un moyen fiable pour valider le bon fonctionnement du récepteur, si possible en temps réel.

Sur cette étude, nous avons enregistré des taux de refus tout à fait acceptables, étant donné le caractère intrusif que peut revêtir ce type de collecte. En effet, sur les 5 dernières enquêtes par questionnaire en face-à-face réalisées, nous obtenons un taux de refus (calculé comme étant refus / (refus + réalisées)) de 25%, avec un taux variant entre 19% et 27%. Sur l'enquête Tomos, 58 refus ont été enregistrés pour 128 enquêtes réalisées, ce qui représente un taux de refus de 32%, ce qui semble tout à fait acceptable. Il faut néanmoins tempérer ces très bons résultats en sachant que l'équipe d'enquêteurs affectée à Tomos correspond à une équipe très qualifiée, qui sait développer un argumentaire élaboré pour convaincre les enquêtés de participer. Concernant les rebus, nous avons enregistré 85 rebus, soit 40%, ce qui est un peu plus élevé que pour les enquêtes classiques (25 à 35%), mais s'explique par la réutilisation d'une base (la base EDR) qui datait d'un an.

Au final, nous avons obtenu 93 enquêtes exploitables. L'objectif initial de 100 enquêtes a été ajusté au vue du grand nombre d'enquêtes invalidées à cause d'un GPS défectueux.

4.5.2 Résultat du test

Le fonctionnement du GPS est conditionné par la détection de mouvement du boîtier. Si le boîtier est fixe, le GPS se met en veille et n'enregistre aucun point. Il n'enregistre que quand il détecte du mouvement. Dans un cas idéal, cela voudrait dire que tous les points enregistrés correspondent à des phases de déplacement. Néanmoins, consigne était donnée aux enquêtés de toujours garder leur GPS sur eux, de manière à ne pas l'oublier (surtout pour un déplacement court). Le GPS enregistre donc des points pour des mouvements à l'intérieur d'un bâtiment (je vais chercher un café), voire même des mouvements de la personne sans déplacement physique (je bats la mesure avec mon pied en ayant le GPS dans la poche).

Par ailleurs, les tableaux de déplacements construits par les enquêtés l'ont été sur la base du tableau généré automatiquement lors de l'enquête. Ce tableau aura été complété et modifié suite au questionnaire en face-à-face, mais il aura servi de base (et donc de guide) pour l'établissement des réponses. Lors de la phase d'étude post traitement, nous avons essayé de modifier les paramètres du programme, en maximisant le taux de ressemblance avec le tableau des données collectées sur le terrain. Il en est ressorti une plus forte corrélation pour les paramétrages proches des conditions d'enquête. Cette méthode d'analyse ne nous apparaît donc pas pertinente pour estimer la performance d'un algorithme. Il est donc difficile de construire un indicateur fiable de la performance des logiciels, en se basant uniquement sur les données dont on dispose. Nous présentons ici les éléments à notre disposition pour l'analyse : nombre de points détectés en déplacement, nombre de déplacements, et temps de déplacement.

Sur l'ensemble des points collectés (715 026 points), 323 263 ont été enregistrés pendant les 93 enquêtes validées. Lors du découpage en traces et en lieux, le logiciel a reconnu 183 384 points (57%) comme appartenant à des phases de mouvement. Sur les 183 384 points (en phase de mouvement), 3 460 sont éliminés (3 231 car pas de coordonnées, 229 sont filtrés sur la position et la vitesse par rapport au point précédent), il reste donc 179 924 (98% des points en mouvement) points exploitables.

Les 93 enquêtes ont représenté 690 jours. Sur ces 690 jours, 552 comprennent des déplacements. Avec le logiciel, nous avons détecté 2 494 déplacements (soit une moyenne de 3,61 déplacements par jour) et un total de 130 857 minutes en déplacement (soit 26 minutes par déplacement, et 94 minutes de déplacement par jour).

Tableau 4.1 : Quelques comparaisons entre l'enquête EDR-RA et le pilote GPS-RA

	GPS-RA		EDR-RA	
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane
% d'immobile	16,7%		9,1%	
Nombre de déplacements par jour et par personne mobile	3,6	3,5	4,4	4,0
Budget temps déplacement par jour et par personne mobile (minutes)	94,1	62,8	86,0	70,0
Budget distance par jour et par personne mobile (en km)	25,6	17,0	44,5	21,4

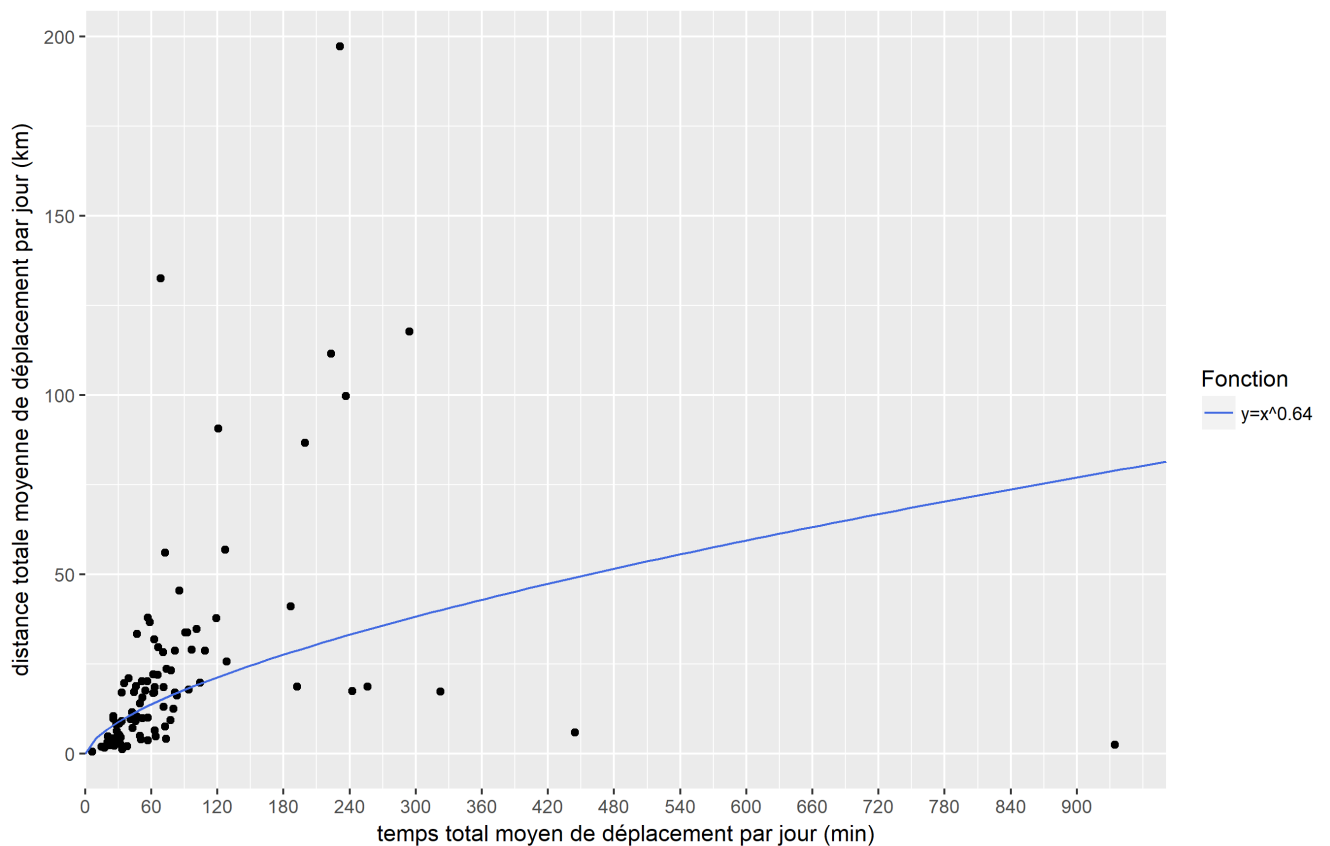
Sources : Enquête Régionale Rhône-Alpes, 2012-2015 et Pilotes GPS-RA

Le taux de personnes immobiles est pratiquement le double pour le pilote GPS par rapport au CATI (probablement plus dû à des erreurs matériels qu'humaines). C'est pour le budget temps quotidien que l'écart entre les deux instruments de mesure est le plus faible (environ 9%). Pour la distance un plus grand écart s'explique par le mode de calcul : pour le GPS, c'est la distance à vol d'oiseau entre les deux extrémités du

déplacement et pour l'EDR un calcul de distance à vol d'oiseau entre les centroïdes des zones de départ et d'arrivée.

On a également essayé d'expliquer la distance totale moyenne parcourue (notée D) en fonction du temps total moyen de déplacement (noté T), calculés sur les 93 personnes pour les 552 jours de mobilité observée. Une régression linéaire pondérée sans coefficient constant n'a pas été satisfaisante ($R^2=0.32$). Cependant, en prenant le logarithme des deux variables, on obtient un R^2 élevé ($R^2=0.89$).

Le modèle réalisé s'écrit : $\log(D) = a \times \log(T)$, ce qui est équivalent à $D = T^a$ avec $a = 0,64$.



Le graphique montre que pour des temps restreints (T inférieur à une heure), le modèle parvient à approximer la distance parcourue, mais au-delà les écarts deviennent très importants. Par ailleurs certains points semblent indiquer des incohérences, notamment lorsque le temps total de déplacement est très élevé pour une faible distance parcourue.

4.6 Les points d'amélioration

4.6.1 Sur le Matériel

Le matériel que nous avons eu à disposition semblait parfait au niveau de ses caractéristiques techniques pour accomplir la collecte selon les critères et contraintes prévues lors de cette étude. Lors de l'utilisation sur le terrain, il est apparu que plusieurs éléments étaient très problématiques pour la collecte. En effet, ce matériel a été initialement conçu pour détecter des positions : à intervalle régulier (mais avec une fréquence basse), on peut ainsi savoir où se situe notre voiture où notre chien par exemple. Nous avons « détourné » ce matériel pour l'utiliser en recueil de déplacements, et cela a généré plusieurs problèmes.

Les caractéristiques techniques

Nous tenons ici à insister sur le fait que le matériel semble disposer de toutes les caractéristiques recherchées pour ce type de collecte :

- La qualité du signal a été comparée par l'Ifsttar avec d'autres matériels et semble satisfaisante
- La connexion par SIM qui permet de récupérer les données à distance
- La présence d'un système de mise en veille par détection de mouvement

Pour les besoins de l'enquête, nous pensons qu'il est possible, en disposant d'un boîtier un peu plus important, de proposer une batterie avec une autonomie plus grande. De même, le retour du terrain montre que l'aspect « boîte noire » n'était pas apprécié, et qu'il serait meilleur de disposer de témoins de charge et de réception GPS. Par contre, nous pensons que des ajustements sur le fonctionnement de la machine (plutôt au niveau logiciel) doivent être opérés pour pouvoir les utiliser en recueil de déplacement.

L'irrégularité et la fréquence

Lors de l'utilisation d'un traqueur GPS (type Royaltek RBT 3000) lors d'expériences précédentes, nous avons constaté que la qualité et la fréquence des points est mauvaise au démarrage du GPS (temps de « chauffe » d'environ 30 secondes), puis une fois que le GPS est en route, nous obtenons des points de façon régulière, et les points sont enregistrés selon le pas de temps configuré, qu'il y ait réception ou pas. Si on ne reçoit pas de signal, un point « vide » est enregistré à la date/heure considérée. Sur les machines Géotraceur, l'analyse effectuée semble montrer un fonctionnement tout à fait différent, qui semble plus garantir l'autonomie de la batterie que la régularité des points collectés. Le pas de temps configuré semble déclencher une sortie de veille de la machine. Ainsi, il semble que la machine se met à chercher le signal « à froid » quasiment à chaque point collecté, ce qui induit un temps d'acquisition plus important (et peut-être une moins bonne qualité de signal ?).

Trois cas peuvent se produire :

- Le temps d'acquisition est inférieur au temps d'enregistrement : il semble que la machine se met en veille, et redémarre au prochain « top ». Les points sont disposés selon des intervalles de temps irréguliers, mais nous gardons « en moyenne » le bon nombre de points
- Le temps d'acquisition est supérieur au temps d'enregistrement : il semble que la machine se mette en veille et attende le prochain « top ». Nous perdons des points par rapport au pas de temps configuré.
- Le temps d'acquisition est égal à un multiple du temps d'enregistrement. Dans ce cas, la machine ne se met pas en veille et on redémarre l'acquisition directement.

Le problème dans ce cas, est que si le deuxième point est acquis en moins d'une seconde, nous aurons deux points au même horodatage, ce qui est également gênant.

Le manque d'informations sur la précision des points enregistrés

Les données mises à disposition sont également beaucoup trop succinctes pour analyser la qualité du signal et opérer des filtrages/lissages performants. En effet, les seules informations à notre disposition sont :

- L'horodate
- Les coordonnées GPS
- Le temps d'acquisition
- La vitesse instantanée du GPS
- Un booléen (bon/mauvais point)

La littérature montre que pour travailler de manière qualitative sur les données GPS, plusieurs indicateurs sont essentiels :

- Le nombre de satellites visibles

- La dilution de précision horizontale (HDOP)
- L'altitude peut également être utile, même si elle peut être obtenue de manière plus fiable par projection sur une carte.

Le contrôle des données

L'analyse des données collectées a montré qu'il semble manquer un contrôle de la qualité des points :

- Plusieurs parties de trames semblent mal horodatées
- Plusieurs points comprennent des erreurs de données GPS sur uniquement 1 chiffre

Il est essentiel de mettre en place un système de contrôle de checksum pour la phase de sauvegarde et d'envoi des trames GPS.

La fiabilité et la fréquence d'envoi

Sur les 128 collectes que nous avons réalisées, 24 ont été invalidées à cause de données totalement ou partiellement manquantes. De même, il est arrivé à de nombreuses reprises que des jeux de données apparaissent plus de vingt-quatre heures, parfois plus de quarante-huit heures après leur enregistrement, ce qui a amené certaines visites des enquêteurs à être réalisées sans avoir les données GPS à disposition. Il faudra veiller à fiabiliser le matériel, et toute la chaîne de recueil de l'information (de l'acquisition à l'envoi sur le serveur).

4.6.2 Sur les logiciels

Plusieurs logiciels ont été développés dans le cadre de cette étude, que ce soit pour la gestion de l'enquête, la passation des questionnaires, ou la récupération et l'analyse des données GPS.

Le logiciel de collecte initiale (Premier rendez-vous)

Le premier programme a été utilisé dès le deuxième pilote et a été très peu remanié. Il a globalement donné satisfaction dans son utilisation, et se base sur notre expertise dans le recueil de questionnaire de manière informatisée (CATI/CAPI/CAWI).

Néanmoins, ce logiciel a été conçu pour une enquête à petite échelle (4 enquêteurs ont été déployés sur le terrain). Pour une enquête à plus grande échelle, il faudra améliorer certains points : L'enregistrement de la coordonnée GPS du domicile et du lieu de travail est réalisé à partir d'un module MapPoint. Ce logiciel est vendu avec une License par machine. Il faudra donc veiller à mettre en place un autre système de collecte des adresses.

4.6.3 Le logiciel de gestion

Le logiciel de gestion a été utilisé dès le deuxième pilote et a été très peu remanié. Il a globalement donné satisfaction dans son utilisation, néanmoins, plusieurs points d'amélioration sont à prévoir dans le cadre d'une enquête en production :

- La base de données est au format Access, ce qui peut causer des problèmes sur de grosses bases de données.
- La synchronisation est bidirectionnelle (toutes les machines contiennent toutes les enquêtes), ce qui a des avantages (les machines sont interchangeable), et des inconvénients (toutes les enquêtes réalisées sont sur toutes les machines)
- Les informations sur l'état des GPS devraient être enrichies : en effet, on ne connaît pas l'heure à laquelle le GPS a communiqué pour la dernière fois, mais seulement l'heure de la dernière information que l'on a en mémoire.

4.6.4 Le logiciel de collecte post recueil (Deuxième rendez-vous)

Ce logiciel se base sur notre expertise dans le recueil de questionnaires de manière informatisée (CATI/CAPI/CAWI). Néanmoins, plusieurs éléments doivent être améliorés pour l'utilisation en production

- La collecte des données géographiques (comme pour le logiciel du premier rendez-vous)
- La rapidité de saisie, notamment pour la modification du tableau généré automatiquement

Le principal reproche fait par les enquêteurs concerne plus des problèmes liés au tableau construit automatiquement (parfois assez loin de la réalité des déplacements de la personne interrogée)

4.6.5 Le logiciel de récupération des données (logiciel expert 0 - LE0)

En utilisant les balises Géotraceur les données collectées sont envoyées directement sur les serveurs de Géotraceur. Nous avons donc réalisé un programme en collaboration avec Géotraceur pour récupérer les données sur leur serveur (qui est basé sur une mise à disposition des données via un FTP). Si ce logiciel a donné pleine satisfaction, nous pensons qu'il serait meilleur de développer un logiciel qui communique directement avec les machines (que les machines envoient leurs données directement sur un serveur dédié), ce qui aurait l'avantage de réduire le temps d'acquisition de la donnée.

Par ailleurs, ce logiciel devra être modifié pour prendre en compte la modification de la trame GPS (avec les informations d'altitude, nombre de points., ...)

4.6.6 Le logiciel de découpage (logiciel expert 1 – LE1)

C'est celui sur lequel le travail le plus important a été réalisé à l'issue de l'enquête, en tentant d'améliorer la qualité du découpage des traces. C'est certainement le logiciel le plus crucial de la chaîne de traitement, car c'est celui qui effectue le découpage des trames GPS en traces et en lieux. En effet, un paramétrage permet de déterminer les phases d'arrêt et de mouvements, à partir de plusieurs calculs et de diverses informations :

- Les points pris en compte,
- La distance entre 2 points successifs
- La vitesse calculée entre 2 points successifs
- La vitesse instantanée donnée par le GPS

Lors de la phase de production, nous avons utilisé un programme de Géotraceur. Néanmoins, les paramètres de ce programme avait été – sciemment – très larges, car en diminuant les paramètres (de vitesse, temps et distance limites), on génèrait beaucoup trop de lieux et de déplacements incohérents. Qui plus est, la méthode de découpage démarrait le déplacement assez loin du point de départ (ce qui nécessitait un retraitement à posteriori), et les vitesses limites étaient trop importantes, par exemple 8 km/h pour les déplacements piétons.

Nous avons donc repris dans son intégralité le processus de découpage des traces, en appliquant un nouveau mécanisme de filtrage, puis une fonction de lissage, afin de calculer les phases d'arrêt et de mouvement, avec le même programme principal, mais avec un paramétrage bien plus serré. Néanmoins, les méthodes appliquées ici ont été mises en place en tenant compte du manque d'information qualitative et de la faible fréquence des points. Nous pensons qu'avec un jeu de données correctes, nous pourrions appliquer des méthodes de filtrage et de lissage permettant de mieux traiter le jeu de données. Ces mécanismes devront donc être revus en fonction des nouveaux paramètres de collecte.

4.6.7 Le logiciel d'enrichissement (logiciel expert 2 – LE2)

Il travaille au niveau de la donnée de la personne enquêtée (un GPS affecté à une personne pendant une période donnée). Ce logiciel doit réaliser plusieurs tâches complémentaires :

- Enrichir les adresses : grâce à un mécanisme de clusterisation, qui détermine les endroits « identiques », et les caractérise en fonction des lieux connus (domicile et travail)
- Enrichir les déplacements, en déterminant les voies empruntées et les modes.

Il reste plusieurs améliorations à apporter, et également à tester ces programmes sur des jeux de données plus riches et plus denses afin d'obtenir un programme fonctionnel. En effet, parmi les mécanismes à améliorer on citera :

- Lisser les traces en déplacement : la donnée GPS manquait de précision sur cette étude pour réaliser correctement le map-matching (associer chaque point à un axe), nous avons donc travaillé à une fonction de lissage de type Kalman ; cette fonction n'est pas concluante à ce jour. Nous pensons qu'il est nécessaire de disposer de données exploitables pour réaliser ce lissage, mais que celui-ci n'est possible que si on dispose de suffisamment de points, et si on peut attacher un indice de qualité à chaque point.
- Déterminer le mode probable : nous avons travaillé sur des mécanismes de détection, par des méthodes simples (vitesse moyenne, distance), et des mécanismes plus complexes (map matching).

4.7 Bilan de TOMOS

Au vue de cette expérience, il est très important :

- De suivre, si possible en temps réel, le fonctionnement des GPS afin de remplacer sans tarder les appareils défectueux,
- De disposer d'indicateurs de précision pour chaque point enregistré (au moins le HDOP),
- D'enregistrer les points GPS à un pas de temps régulier et paramétrable.

5 Conclusion

Le PST Rhône-Alpes a mis en œuvre un projet expérimental d'outils de connaissance des déplacements tous modes à l'échelle régionale. Ce projet s'inscrit dans le champ des politiques publiques favorisant le report modal vers des modes de déplacements alternatifs à l'usage de la voiture en solo, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique et à la maîtrise des GES. Il nous a semblé intéressant de mettre nos projets PREDIT en phase avec les projets du PST Rhône-Alpes. Outre les tests que nous avons mené pour d'une part panéliser le dispositif et d'autre part, tester une enquête pilote de mesure de la mobilité à l'aide de récepteur GPS, nous avons aussi accompagné le Conseil Régional Rhône-Alpes dans la mise en œuvre d'une méthodologie visant à mesurer la mobilité à l'échelle d'une région.

Redressement

Nous avons mis en parallèle différents types de redressements à l'aide des variables auxiliaires disponibles et accessibles selon plusieurs niveaux géographiques. En se basant sur la variable d'intérêt Nombre de déplacement par jour comme indicateur de la mobilité, notre analyse montre qu'un calage sur marges propre à chaque enquête est meilleur que le redressement classique des EMD, avec un gain en précision de 15%.

Enquête par panel

L'instabilité croissante de la conjoncture économique générale, en particulier des prix des carburants a des répercussions importantes dans le domaine des transports, spécialement sur la mobilité quotidienne, notamment dans les régions urbanisées. Or, les statistiques de trafics (comptages routiers et billetterie des TC) sont trop agrégées et les grandes enquêtes décennales trop peu fréquentes pour apprécier les changements de comportement induits par ces évolutions heurtées. Sachant l'influence du niveau de vie sur les programmes d'activité d'une part, du prix des carburants sur les comportements de déplacements d'autre part ces enquêtes ne sont plus directement comparables avec les enquêtes antérieures pour déterminer des tendances de long terme, dans une période où les évolutions de la motorisation et des trafics sont souvent lentes, donc d'amplitude modérée par rapport aux fluctuations conjoncturelles. En outre dans l'analyse des programmes d'activité, les rythmes temporels ont pris une importance croissante. Il semble donc de plus en plus nécessaire d'observer en continu, c'est-à-dire :

- Toute l'année, et pas seulement en semaine l'hiver hors vacances scolaires, quand les trafics urbains atteignent leur maximum ;
- Et d'année en année pour observer les changements de comportement dès leur émergence. Des échantillons indépendants, même très importants (recensement), sont d'ailleurs insuffisants pour mesurer les changements de comportement ; le suivi de ménages ou d'individus par panel est alors indispensable.

Sur la base d'un état de l'art de la vingtaine d'enquêtes de mobilité permanentes en cours, avec un regard particulier sur celles qui ont suspendu puis repris ce mode de collecte. Nous avons proposé un protocole qui maîtrise les biais de sélection : ne pas exclure les générations ou les milieux sociaux les moins familiers avec internet. Nous avons testé deux types d'enquêtes-pilotes sur des sous-échantillon de l'enquête régionale :

- Un Panel de mobilité (avec un carnet de trajet sur 7 jours)
- Un Panel de mobilité à l'aide d'un questionnaire sur internet.

Malgré le taux de réponse traditionnellement bas obtenu par ces méthodes (10%), les résultats sont positifs. En effet les biais de sélection peuvent-être corrigés surtout si l'échantillon des panélisés est tiré à partir d'une enquête pré-existante (ici l'Enquête de Déplacements Rhône-Alpes) ou d'un access panel (où on dispose de beaucoup d'informations dès le départ).

Sur les enquêtes GPS

Cette enquête, réalisée sur un échantillon de 100 personnes environ, nous a permis de valider que ce type de recueil, quoique bien plus intrusif qu'une enquête déclarative, est aujourd'hui bien accepté par les enquêtés.

Le matériel reste l'élément clé de ce type d'enquête. C'est le maillon sur lequel toute la chaîne de fabrication de la donnée se construit. Il est donc nécessaire de disposer d'une donnée enrichie (plus de colonnes) et plus fournie (plus de lignes). Pour cela, une modification de la batterie (ou du temps de recueil) semble nécessaire. Le matériel semble « globalement » convenir, au point de vue des caractéristiques techniques. Il semble néanmoins que des améliorations sont à apporter au niveau « software », pour adapter la machine à la collecte de traces, et non de lieux. Il faudra également veiller à fiabiliser la donnée par des mécanismes de contrôle (checksum, double envoi,...), et également mettre en place un envoi de l'état machine (en effet, lorsque la machine n'envoie aucune donnée, à l'heure actuelle, on ne sait pas si elle est éteinte ou injoignable, ou juste si elle n'a pas bougé)

Les logiciels ont globalement rempli leur fonction, même si de nombreux points d'amélioration sont à considérer. Il semble nécessaire d'adapter le paramétrage des programmes à l'aune de données enrichies et densifiées. C'est en disposant de ce type de données qu'on pourra aller plus loin dans l'enrichissement de l'information.

Cette enquête a permis de tester le déploiement d'un matériel moderne auprès d'une population « type », dans des conditions proches d'une enquête standard. Toutes les réponses n'ont pu être apportées sur cette étude. Il semble qu'il faille en premier lieu travailler à la fiabilisation du protocole d'enquête (au travers d'une phase de pilote prolongée) avant de tester à nouveau ce protocole en conditions réelles.

6 Bibliographie

- Ampt, E.S. and J. de D. Ortúzar (2004) On best practice in continuous large-scale mobility surveys. *Transport Reviews* 24, 337-363.
- Ampt, E.S., J. de D. Ortúzar and A.J. Richardson (2009) On large-scale ongoing mobility surveys: the state of practice. In P. Bonnel, M.E.H. Lee-Gosselin, J. Zmud and J.-L. Madre (eds.), *Transport Survey Methods: Keeping Up With a Changing World*. Emerald, Bingley.
- Armoogum, J. and J.L. Madre (1998) Weighting or imputations? The example of non-responses for daily trips in the French NPTS. *Journal of Transport Statistics* 1, 53-63.
- Armoogum, J. (2000) Correction de la non-réponse et de certaines erreurs de mesures dans une enquêtes par sondage : Application à l'enquête Transports et communications 1993-94, PhD thesis, Université Libre de Bruxelles.
- Armoogum J, Roux S (2012) Mise en perspective des Enquêtes Nationales Transports 1973/74 -- 1981/82--1993/94 -- 2007/08, Note méthodologique, IFSTTAR
- Armoogum, J. & al. (2013) *COST Action TU 0804 Survey HARmonisation with New Technologies Improvement (SHANTI), Final report*, Collection Inrets
- Auld, Joshua, Chad Williams, Abolfazl (Kouros) Mohammadian, and Peter Nelson. 2009. "An Automated GPS-Based Prompted Recall Survey with Learning Algorithms." *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research* 1:59–79.
- Axhausen, K.W., M. Löchl, R. Schlich, T. Buhl and P. Widmer (2007) Fatigue in long-duration travel diaries. *Transportation* 34, 143-160.
- Axhausen, K.W., A. Zimmermann, S. Schönfelder, G. Rindsfuser and T. Haupt (2002) Observing the rhythms of daily life: a six-week travel diary. *Transportation* 29, 95-124.
- Banders, B. and K. Sloopman (1982) A panel for longitudinal research into travel behavior. In S. Carpenter and P.M Jones (eds.), *Recent Advances in Travel Demand Analysis*. Gower, Aldershot.
- Battellino, H. and J. Peachman (2003) The joys and tribulations of a continuous survey. In P.R. Stopher and P.M. Jones (eds.), *Transport Survey Quality and Innovation*. Pergamon, Amsterdam.
- Bricka, Stacey, and Chandra R. Bhat. 2006. "A Comparative Analysis of GPS-Based and Travel Survey-Based Data." [Http://www.metapress.com/content/X6643h3856243663/](http://www.metapress.com/content/X6643h3856243663/).
- Christensen, L. (2006) Possible explanations for an increasing share of no-trip respondents in the continuous Danish travel survey. In P.R. Stopher and C. Stecher (eds.), *Travel Survey Methods: Quality and Future Directions*. Elsevier, Oxford.
- Cochran, W.G. (1977) *Sampling Techniques*. Third Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Deville JC, Särndal CE (1992) Calibration estimators in survey sampling. *Journal of the American Statistical Association* 87:376-82
- Deville JC, Särndal CE, Sautory O (1993) Generalized Raking Procedures in Survey Sampling. *Journal of the American Statistical Association* 88:1013-20
- Feng, Tao, and Harry J. P. Timmermans. 2013. "Transportation Mode Recognition Using GPS and Accelerometer Data." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 37 (December):118–30.
- Golob, T.F., R. Kitamura and L. Long (eds.) (1997) *Panels for Transportation Planning - Methods and Applications*. Academic Press, New York.
- Goulias, K.G., N. Kilgren and T. Kim (2003) A decade of longitudinal travel behaviour observation in the Puget Sound region: sample composition, summary statistics and a selection of first order findings. 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, Switzerland.

- Horvitz DG, Thompson DJ (1952) A generalization of sampling without replacement from a finite universe. *Journal of the American Statistical Association* 47: 663-85
- Kilgren, N. (1998) Overview of the Puget Sound transportation panel survey (1989-1997). *Transportation Panel Survey (Wave7)* (www.naw1/its.com/psrc/index.htm).
- Kitamura, R. (1990) Panel analysis in transportation planning: an overview. *Transportation Research* 24A, 401-415.
- Madre, J-L (1979) *Ajustement et extrapolation de tableaux statistiques*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie
- Madre, J-L, K.W. Axhausen and W. Brög (2007) Immobility in travel diary surveys. *Transportation* 34, 107-128.
- Marchal, Philippe, Jean-Loup Madre, and Shuning Yuan. 2011. "Postprocessing Procedures for Person-Based Global Positioning System Data Collected in the French National Travel Survey 2007-2008." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2246 (December):47–54.
- Murakami, E. and C. Ulberg (1997) The Puget Sound transportation panel. In T. Golob, R. Kitamura and L. Long (eds.), *Panel for Transportation Planning, Methods and Applications*. Academic Press, New York.
- Murakami, E. and W.T. Watterson (1990) Developing a household travel panel survey for the Puget Sound region. *Transportation Research Record* 1285, 40-46.
- Richardson A.J. and E.S. Ampt (1993) *The Victoria integrated travel, activities and land-use toolkit*. Vital Working Paper VWP93/1, Transport Research Centre, Melbourne.
- Richardson A.J., E.S. Ampt and A.H. Meyburg (1995) *Survey Methods for Transport Planning*. Eucalyptus Press, Melbourne.
- Ruiz, T., H. Timmermans and J.W. Polak (2008) Analysis of attrition and reported immobility in the Madrid-Barcelona Corridor panel survey. 8th International Conference on Survey Methods in Transport, Annecy, France.
- Randrianasolo, T. (2013). *Inférence basée sur le plan pour l'estimation de petits domaines – Design-based inference for small area estimation*. Thèse de Doctorat. Université de Neuchâtel & Université Paris-Est.
- Randrianasolo, T. & Tillé, Y. (2013). Small area estimation by splitting the sampling weights. *Electronic Journal of Statistics* 7 1835-1855.
- Roux S, Armoogum J (2011) Calibration Strategies to Correct Nonresponse in a National Travel Survey. *Transportation Research Records: Journal of the Transportation Research Board* 2246:1-7
- Roux S (2012) *Transition de la motorisation en France au 20e siècle*. Thèse de doctorat, Université Paris-Sorbonne
- Schuessler, Nadine, and Kay Axhausen. 2009. "Processing Raw Data from Global Positioning Systems Without Additional Information." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2105 (October):28–36.
- Shen, Li, and Peter R. Stopher. 2013. "A Process for Trip Purpose Imputation from Global Positioning System Data." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 36 (November):261–67.
- Stopher, P.R. (2009) Collecting and processing data from mobile technologies. In P. Bonnel, M. Lee-Gosselin, J. Zmud and J.-L. Madre (eds.), *Travel Survey Methods: Keeping Up With a Changing World*. Emerald, Bingley.
- Stopher, P.R., K. Kockelman, S.P. Greaves, and E. Clifford (2008b) Reducing burden and sample sizes in multiday household travel surveys. *Transportation Research Record* 2064, 12-18.
- Stopher, P.R. and S. Greaves (2006) Guidelines for samplers: measuring a change in behaviour from before and after surveys. *Transportation* 34, 1-16.
- Stopher, P.R. and N. Swann (2008) Six-wave odometer panel for evaluation of voluntary travel behaviour change programs. *Transportation Research Record* 2049, 119-127.

- Stopher, P.R., C.G. Wilmot, C. Stecher and R. Alsnih (2006) Household travel surveys: proposed standard and guidelines. In P.R. Stopher and C. Stecher (eds.), *Travel Survey Methods: Quality and Future Directions*. Elsevier, Oxford.
- Stopher, P.R., Y. Zhang, J. Zhang, and B. Halling (2009). Results of an evaluation of TravelSmart in South Australia. 32nd Australasian Transport Research Forum, Auckland, New Zealand.
- Tourangeau, R., M. Zimowski and R. Ghadialy (1997) *An Introduction to Panel Surveys in Transportation Studies*. NORC, Chicago.
- Tillé Y (1992) Utilisation a posteriori d'informations auxiliaires en théorie des sondages sans référence à un modèle. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles
- Van Heukelingen, C. (2005) Setting-up a new travel survey concept without causing a trend break. ECTRI Young Researchers' Seminar, The Hague, Holland.
- Zumkeller, D. (2009) The dynamics of change: latest results from the German mobility panel. 12th International Conference on Travel Behaviour Research, Jaipur, India.
- Zumkeller, D., B. Chlond and W. Manz (2004) Infrastructure development in Germany under stagnating demand conditions: a new paradigm? *Transportation Research Record* 1984, 121-128.
- Zumkeller D., J.-L. Madre, B. Chlond and J. Armoogum (2006) Panel surveys. In P.R. Stopher and C. Stecher (eds.), *Travel Survey Methods: Quality and Future Directions*. Elsevier, Oxford.
- Zumkeller, D. and P. Ottmann (2009) Moving from cross-sectional to continuous surveying: synthesis of a workshop. In P. Bonnel, M.E.H. Lee-Gosselin, J. Zmud and J.-L. Madre (eds.), *Transport Survey Methods: Keeping Up With a Changing World*. Emerald, Bingley.

7 Valorisation de la recherche

Liste des productions scientifiques issues de ces projets :

- ARMOOGUM, J. (2016) Why collecting long and short distance within national travel surveys?, European Transport Conference - ETC 2016 Barcelone. 05-07 Octobre 2016.
- ARMOOGUM, J ; DILL J (2015) Sampling Issues, Data Quality & Data Protection. In *Transport Survey Methods: Embracing Behavioural and Technological Changes Selected contributions from the 10th International Conference on Transport Survey Methods* 16-21 November 2014, Leura, Australia
- ARMOOGUM, J. ; GUILLOUX, T. ; RICHER, C. (2015) ; *Mobilité en transitions : Connaître, comprendre et représenter*, Collection Rapports de recherche et rapports techniques du CEREMA, ISBN 978-2-371-80056-4, 327p. **DOI: 10.13140/RG.2.1.3013.1045**
- ARMOOGUM J., GUILLOUX T. & C. RICHER (2014) « Mobilités en transitions : bilan de quatre années de travail en réseau CETEs-CERTU-IFSTTAR », 13^{ème} Séminaire Francophone Est-Ouest de Socio-économie des Transports, Paris La Défense, 15-16 avril.
- ARMOOGUM J., TEBAR M., FOURNIER A. (2017) « Enquêter la mobilité à l'échelle régionale », In : *Journées d'échanges sur la mobilité urbaine : Collecter, exploiter & analyser les données de déplacements*, Paris, France, 24 avril 2017, 17 p
- ARMOOGUM, J.; TEBAR, M.; HUREZ, C (2015) Designing a continuous survey for Rhône-Alpes (France), 94th Annual Meeting Transportation Research Board TRB, Session 602: Panel, Continuous, and Cross-Sectional Travel Survey, Washington DC Etats-Unis, 13 janvier 2015 8p.
- ARMOOGUM, J. ROUX, S., PHAM T., (2013) The Total Nonresponse of a GPS-based travel surveys The French case study, *New Techniques and Technologies for Statistics – NTTS 2013*, Brussels

- CHRISTIAN B., HUREZ C., RABAUD M., ARMOOGUM J. (2016) « How the weather can influence your data collection? », European Transport Conference - ETC 2016 Barcelone. 05-07 Octobre 2016.
- HUREZ C., CHRISTIAN B., ARMOOGUM J., TEBAR M. (2016) « Measuring daily mobility, telephone vs face-to-face: a comparison in a doubly-covered region », Communication In: World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Shanghai. 10-15 Juillet 2016.
- HUREZ C., CHRISTIAN B., ARMOOGUM J. (2016) « Mesure de la mobilité quotidienne une comparaison téléphone vs face-à-face », Communication au Colloque francophone sur les sondages, Gatineau. 11 au 14 octobre 2016.
- HUREZ, C., & TÉBAR, M. (2014). The mobility of Rhône-Alpes inhabitants: the construction of a new travel survey protocol. In Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment.
- JAILLET, G. MINSTER, C. ARMOOGUM, J. (2012) Observation de la mobilité : Comparaison des dispositifs français et allemand, 7e Colloque francophone sur les sondages, Rennes du 5 au 7 novembre 2012.
- MINSTER, C. ARMOOGUM, J. CHLOND, B. (2018) Immobility and low mobility levels: An investigation of a seven-day travel diary panel, 15th International Conference on Travel Behaviour Research IATBR, Santa Barbara, CA, United States, July 15-20, 2018
- NGUYEN T.T., ARMOOGUM J., MADRE J.L. & THAO PHAM T.H. (2017) « GPS and travel diary: Two recordings of the same mobility », Communication and Poster in: 11th International Conference on Transport Survey Methods - ISCTSC 11th 24th-29th September 2017 Esterel Quebec Canada.
- POTIER, F., ARMOOGUM, J. (2013) Panorama des données sur la mobilité en France, 5e Forum Ville Région Monde (VRM) sur les méthodologies innovantes en études urbaine, 8 novembre 2013, Université Laval.
- RANDRIANASOLO, T ; TILLE, Y ; ARMOOGUM, J (2012) Estimation sur petits domaines par scission des poids, 7^{ième} Colloque francophone sur les sondages, Rennes, 5-7 novembre 2012
- RANDRIANASOLO T., ARMOOGUM J. (2018) « Optimisation du redressement d'un sous-échantillon d'une enquête : Application à un sous-échantillon de l'Enquête Nationale sur les Transports et les Déplacements de 2007-2008 », In : Recherche Transports Sécurité, Volume 2018, 18 pages.
- RANDRIANASOLO, T., TÉBAR,, M., ARMOOGUM, J. (2014). Optimal choice of auxiliary variables to reweight a mobility survey subsample. International Conference on Transport Survey Methods (ISCTSC) 10th Conference. Leura, Australia. 16-21 November 2014.
- RENDINA F., MAUMY-BERTRAND M. & J. ARMOOGUM (2017) « Estimation of tourism mobility by indirect sampling », Communication In: 11th International Conference on Transport Survey Methods - ISCTSC 11th 24th-29th September 2017 Esterel Quebec Canada.
- RENDINA F., RABAUD M. & J. ARMOOGUM_(2017) « Calibration strategies to reweight travel surveys: the case of urban households travel surveys in France », 11th International Conference on Transport Survey Methods - ISCTSC 11th 24th-29th September 2017 Esterel Quebec Canada.
- RENDINA F., RABAUD M., HASIAK F., ARMOOGUM J. (2016) 2016 « Calibration strategies to reweight travel surveys: the case of households urban travel surveys in France », Communication In: European Transport Conference - ETC 2016 Barcelone. 05-07 Octobre 2016.
- RENDINA F., RABAUD M., HASIAK F., MAUMY-BERTRAND M., ARMOOGUM J. (2016) « Choix des variables auxiliaires pour le redressement d'une enquête de mobilité », Colloque francophone sur les sondages, Gatineau. 11 au 14 octobre 2016.
- ROUX, S. ARMOOGUM, J. (2012) Acceptability of GPS-based travel surveys: The French Case study, 13th International Conference on Travel Behaviour Research Toronto 15-20, July 2012
- ROUX, S., TEBAR,, M., HUREZ, C., ARMOOGUM, J. (2014). Mixed-mode surveys instruments to reach different population segments. International Conference on Transport Survey Methods (ISCTSC) 10th Conference. Leura, Australia. 16-21 November 2014.

- TEBAR, Maria ; ARMOOGUM, Jimmy (2015) Optimal choice of auxiliary variable to reweight a mobility survey, 14th International Conference on Travel Behaviour Research IATBR, Windsor Royaume Uni 19-23 juillet 2015, 16p.
- TÉBAR, M., ARMOOGUM, J. (2015). Optimal choice of auxiliary variable to reweight a mobility survey. In International Conference on Travel Behaviour Research (IATBR) 14th Conference. Windsor, UK. 19-23 July, 2015.
- TÉBAR, M., HUREZ, C., MADRE, J-L., ARMOOGUM, J. (2014). The mobility of Rhône-Alpes inhabitants : the construction of a new travel survey protocol, first assessment. International Conference on Transport Survey Methods (ISCTSC) 10th Conference. Leura, Australia. 16-21 November 2014.
- TÉBAR,, M. ARMOOGUM, J. MADRE, J-L. (2014). Two tests of panel surveys to measure local mobility in France (TOMOP International Conference on Transport Survey Methods (ISCTSC) 10th Conference. Leura, Australia. 16-21 November 2014.