



HAL
open science

Évaluation comparée de l'apport de l'assistance GPS aux enquêtes de mobilité

Guillaume Drevon, Francis Jambon, Sonia Chardonnel, Sidonie Christophe, Isabelle I. André-Poyaud, Paule-Annick Davoine, Céline Lutoff

► To cite this version:

Guillaume Drevon, Francis Jambon, Sonia Chardonnel, Sidonie Christophe, Isabelle I. André-Poyaud, et al.. Évaluation comparée de l'apport de l'assistance GPS aux enquêtes de mobilité. NETCOM: Réseaux, communication et territoires / Networks and Communications Studies, 2014, Représenter des populations et des territoires en mouvement, 28 (1/2), pp.13-34. <10.4000/netcom.1527>. <halshs-01137445>

HAL Id: halshs-01137445

<https://shs.hal.science/halshs-01137445v1>

Submitted on 30 Mar 2015

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License



Netcom

Réseaux, communication et territoires

28-1/2 | 2014

Représenter des populations et des territoires en mouvement

Évaluation comparée de l'apport de l'assistance GPS aux enquêtes de mobilité

Guillaume Drevon, Francis Jambon, Sonia Chardonnel, Sidonie Christophe, Isabelle André-Poyaud, Paule-Annick Davoine et Céline Lutoff



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/netcom/1527>

DOI : [10.4000/netcom.1527](https://doi.org/10.4000/netcom.1527)

ISSN : 2431-210X

Éditeur

Netcom Association

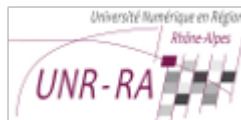
Édition imprimée

Date de publication : 16 décembre 2014

Pagination : 13-34

ISSN : 0987-6014

Ce document vous est fourni par Université Claude Bernard Lyon 1



Référence électronique

Guillaume Drevon, Francis Jambon, Sonia Chardonnel, Sidonie Christophe, Isabelle André-Poyaud, Paule-Annick Davoine et Céline Lutoff, « Évaluation comparée de l'apport de l'assistance GPS aux enquêtes de mobilité », *Netcom* [En ligne], 28-1/2 | 2014, mis en ligne le 27 février 2015, consulté le 19 décembre 2024. URL : <http://journals.openedition.org/netcom/1527> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/netcom.1527>



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

ÉVALUATION COMPARÉE DE L'APPORT DE L'ASSISTANCE GPS AUX ENQUÊTES DE MOBILITÉ

DREVON GUILLAUME¹, JAMBON FRANCIS²,
CHARDONNEL SONIA³, CHRISTOPHE SIDONIE⁴, ANDRE-
POYAUD ISABELLE⁵, DAVOINE PAULE ANNICK⁶ et LUTOFF CÉLINE⁷

Résumé – *Les enquêtes relatives aux mobilités quotidiennes permettent de recueillir des informations sur les pratiques et les comportements de mobilité des individus. Ces enquêtes et les analyses qui en découlent sont nécessaires pour l'élaboration et l'évaluation des politiques publiques de transport. Ces enquêtes utilisent généralement des moyens traditionnels de recueil de données, selon des méthodes d'enquête standard. Aujourd'hui, l'avènement des nouvelles technologies permet d'imaginer de nouveaux protocoles d'enquête et de recueil de données. Les technologies de géolocalisation, comme le GPS, peuvent en effet offrir un support intéressant à de nouveaux types d'enquêtes dites « assistées ». Cependant, ces*

¹ Doctorant à l'Université Grenoble Alpes.

CNRS UMR 5194 (PACTE), 14 bis av. Marie Reynoard, F-38100 Grenoble, France
Luxembourg Institute of Socio-Economic Research (LISER anciennement CEPS/INSTEAD),
Urban Development and Mobility Dpt., 4 av. de la Fonte, L-4364 Esch-sur-Alzette,
Luxembourg.

Tel. (+352) 58 58 55 - 215 - e-mail : guillaume.drevon@ceps.lu

² Maître de conférences à l'Université Grenoble Alpes.

CNRS UMR 5217 (LIG), Laboratoire d'Informatique de Grenoble, BP53, F-38041 Grenoble
cedex 9, France

Tel. (+33) 4 76 51 45 10 - e-mail : francis.jambon@imag.fr

³ Chargée de recherche à l'Université Grenoble Alpes.

CNRS UMR 5194 (PACTE), 14 bis av. Marie Reynoard, F-38100 Grenoble France

Tel. (+33) 4 76 82 20 89 - e-mail : sonia.chardonnel@ujf-grenoble.fr

⁴ Chargée de recherche à l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière

COGIT LAB, 73 avenue de Paris, F-94160 Saint-Mandé, France, Tel. (+33) 1 43 98 84 32 - e-mail : sidonie.christophe@ign.fr

⁵ Ingénieure Recherche à l'Université Grenoble Alpes.

CNRS UMR 5194 (PACTE), 14 bis av. Marie Reynoard, F-38100 Grenoble France

⁶ Maître de conférences à l'Université Grenoble Alpes.

CNRS UMR 5217 (LIG), Laboratoire d'Informatique de Grenoble, BP53, F-38041 Grenoble
cedex 9, France

⁷ Maître de conférences à l'Université Grenoble Alpes.

CNRS UMR 5194 (PACTE), 14 bis av. Marie Reynoard, F-38100 Grenoble France

technologies sont parfois difficiles à maîtriser dans le cadre d'enquêtes sur des échantillons représentatifs de la population. Par ailleurs, l'utilisation des technologies de géolocalisation impose de modifier significativement les protocoles d'enquête développés jusqu'à présent. Afin d'évaluer le bénéfice potentiel que les technologies de géolocalisation peuvent apporter aux enquêtes de mobilité actuelles, nous avons effectué une évaluation comparée entre une enquête de mobilité classique type Enquête Ménage Déplacement (EMD) et une enquête assistée par la technologie GPS. Cette évaluation comparée nous a également permis d'identifier les principaux verrous relatifs aux enquêtes assistées, qu'ils soient technologiques ou méthodologiques.

Mots-clés – *enquête mobilité, GPS, évaluation.*

Abstract – *Travel surveys can collect information about practices and behaviours of individual mobility. These surveys and the resulting analyses are necessary for the development and evaluation of public transport policies. Usually, these surveys use traditional methods for data collection with standard survey methods. Today, new survey protocols and data collection methods emerge thanks to the potential of new technologies. Geo-localization technologies, such as GPS, can be an interesting support for new types of so-called "assisted" surveys. However, these technologies may provide new types of challenges in the context of surveys with representative samples of the population. Furthermore, the use of location technologies requires modifying significantly the survey protocols. To identify the potential benefit of geo-localization technologies for travel surveys, we conducted a comparative study between a classic travel survey (Household Travel Survey) and a GPS assisted travel survey. This comparative evaluation also allowed us to identify the main technological and methodological limitations of GPS assisted travel surveys.*

Key words - *mobility survey, GPS, evaluation.*

INTRODUCTION

Aujourd'hui, la large diffusion des technologies de géolocalisation et de l'accès internet mobile permet d'imaginer de nouveaux protocoles d'observation des mobilités individuelles. En effet, grâce à la géolocalisation, il est désormais possible de recueillir automatiquement les données spatio-temporelles d'un individu au cours de ses déplacements. En outre, l'accès internet mobile offre la possibilité de solliciter ce même individu, in situ, afin d'obtenir immédiatement des informations au sujet de son déplacement, tel que le motif ou le mode utilisé. Au vu des possibilités aujourd'hui offertes par les technologies de géolocalisation, cet article souhaite questionner leurs apports dans le cadre d'une enquête de mobilité. En effet, l'utilisation de ces technologies pour assister une enquête impose de lever des verrous à la fois technologiques et méthodologiques. D'un point de vue technologique, le choix de la technique de géolocalisation ainsi que les algorithmes de filtrage et d'analyse des données brutes sont des éléments déterminants pour la validité des résultats. D'un point de vue méthodologique, ces nouvelles technologies imposent d'adapter le protocole

d'enquête aux exigences des outils utilisés et aux besoins des enquêteurs en termes de données.

Considérant l'apport possible des technologies de géolocalisation aux enquêtes de mobilité, nous avons souhaité vérifier l'hypothèse qu'une enquête « assistée » par ces technologies permettait un gain qualitatif significatif. Il s'agissait également de tester la fiabilité des algorithmes de détection des arrêts/déplacements. Pour cela, nous avons procédé à une étude comparative entre une enquête de mobilité classique, inspirée de l'EMD, et une enquête assistée. En tout, trois campagnes d'évaluation comportant chacune une douzaine de sujets sur des déplacements d'une journée sur la région grenobloise ont été réalisées. Plus généralement, l'objectif global de nos travaux vise à déterminer la méthodologie la plus adaptée pour l'analyse des comportements et des pratiques de mobilité individuelle via des enquêtes assistées.

L'étude présentée dans cet article a été conduite dans le cadre du projet « TRACES » (Méta-évaluation des méthodologies pour l'analyse des modes et patterns de mobilité) financé par le pôle MSTIC de l'Université Joseph Fourier (<http://traces.ligforge.imag.fr>). Les travaux présentés dans cet article ont été réalisés au cours de l'année 2011.

1 DES MÉTHODES D'ENQUÊTES STANDARD AUX ENQUÊTES ASSISTÉES

Le recueil d'informations relatives aux mobilités quotidiennes utilise depuis plusieurs décennies des méthodes d'enquête standardisées (en France, la méthode utilisée, dite CERTU⁸, a été importée des États-Unis dans les années 70). Ces enquêtes permettent de dresser l'évolution des comportements de mobilité. En outre, plus récemment, les chercheurs et les institutions ont mobilisé les technologies de géolocalisation en vue d'un gain de précision au niveau des déplacements, en souhaitant notamment limiter l'effort de mémoire imposé aux personnes enquêtées lors d'une interview. L'objectif de cette première partie est de présenter les principales caractéristiques des enquêtes standardisées françaises, puis les technologies de géolocalisation actuellement disponibles et leurs applications dans le cadre d'enquêtes de mobilités assistées.

1.1 Méthodes d'enquête standard

L'objectif principal des enquêtes standardisées est de recueillir une information fine et précise sur l'ensemble des déplacements (tous modes confondus) d'un échantillon représentatif de la population du territoire enquêté (une agglomération, une région urbaine, un département⁹). Cette observation donne une image au sujet des

⁸ Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques

⁹ Trois méthodes standards sont aujourd'hui proposées par le CERTU : l'Enquête Ménages Déplacements (EMD) pour les agglomérations (ou région urbaine) de plus de 100 000 habitants, l'Enquête Déplacements Villes Moyennes (EDVM) pour les villes de 100 000 habitants ou

pratiques et des habitudes de mobilité quotidienne des habitants (un jour donné de la semaine). Ces enquêtes permettent d'établir une vision globale et cohérente des déplacements à l'échelle d'un territoire (CERTU, 1998), nécessaire à l'élaboration et l'évaluation des politiques publiques de transport à l'échelle d'une région urbaine. En France, elles ont été rendues obligatoires pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants suite à une série de lois (LOTI 1982 ; LAURE 1996) encadrant les politiques urbaines et de déplacements. La méthode standard est conçue pour répondre aux besoins de représentativité de la population du territoire observé, pour rendre comparables les résultats d'une enquête à l'autre (récurrence tous les dix ans) et d'une agglomération à l'autre.

Dans la pratique, le périmètre du territoire de l'enquête est découpé en secteurs de résidence à partir desquels est tiré un échantillon de manière aléatoire à partir du fichier logement de l'INSEE. Selon le type de l'enquête, l'ensemble des personnes des ménages tirés au sort sont interrogées en face à face ou par téléphone. Le questionnaire comporte quatre volets : fiche ménage, fiche personne, fiche déplacement et fiche opinion. La fiche ménage permet principalement de recueillir des informations au sujet du logement et de la motorisation du ménage. Le questionnaire de la fiche personne porte sur le profil sociodémographique, l'occupation principale, la possession d'un titre de transport ou d'un permis de conduire, les principaux modes utilisés et les difficultés de stationnement pour chaque personne du ménage. La fiche déplacement constitue le volet principal de l'enquête, car elle renseigne pour chaque déplacement, la zone d'origine et de destination, les horaires de départ et d'arrivée, le motif, et le mode utilisé. Chaque origine et chaque destination de la chaîne des déplacements est codée selon un découpage du territoire en zones fines.

Ce principe général des enquêtes ménage déplacement est appliqué dans les grandes villes du monde (notamment en Europe, Amérique, Australie, et Afrique du Sud) et constitue une base d'information essentielle pour les institutions et les chercheurs. Des évolutions méthodologiques ont été apportées ces deux dernières dizaines d'années, notamment grâce à la mise en place d'outils CAPI (*Computer-Assisted Personal Interview*) ou CATI (*Computer-Assisted Telephone Interview*) qui permettent de gagner en efficacité dans le recrutement et la passation de l'enquête, tout en maintenant des échantillons de population importants (Stopher, 2009). Des enquêtes par internet ont aussi été expérimentées (Bayard, Bonnel, 2008 ; Stopher, 2009), mais elles présentent des biais importants dans l'échantillonnage. Outre l'évolution des techniques d'enquête, l'unité de mesure centrale est progressivement passée du seul « déplacement » vers l'« activité » et le « budget-temps » (Axhausen et Gärling, 1992). Ce changement d'approche dans les enquêtes est justifié, tant pour améliorer la précision des données de la chaîne de déplacements, que pour mieux définir et comprendre le phénomène de mobilité en abordant le déplacement par ce qui le motive (l'activité), et ce qui le rythme (le budget-temps), tout en gardant l'exigence de la représentativité et de la précision nécessaire au recueil des données. Cette perspective pose de nouveaux enjeux pour l'observation des comportements de mobilité. Le premier enjeu concerne la description

moins, et l'Enquête Grand Territoire (EGT) pour des territoires peu denses, périurbains, voir ruraux ou éloignés du centre des agglomérations.

des activités (ce que font les personnes entre deux déplacements), qui doit être plus précise quant à sa nature et sa localisation. Le second enjeu concerne la précision temporelle liée à la description des déplacements et des activités, nécessaire à une analyse fine des budgets-temps. Or, dans les enquêtes standards actuelles, les déplacements et les lieux d'activités ne sont pas localisés précisément. De plus, le principe du récit des déplacements a posteriori par l'enquête implique des biais de mémoire, conduisant parfois à des oublis et souvent à une approximation des horaires (qui sont souvent arrondis). C'est pourquoi, il est aujourd'hui convenu que les technologies et dispositifs de géolocalisation ouvrent des voies prometteuses pour améliorer la connaissance des comportements de mobilité.

1.2 Technologies et dispositifs de géolocalisation

Les techniques de géolocalisation¹⁰ accessibles au grand public se divisent en trois grandes catégories : GPS, GSM et WiFi. Ces techniques se basent généralement sur la connaissance de la distance entre le mobile à géolocaliser et une ou plusieurs références dont les positions sont connues. Ces techniques se distinguent principalement par leur précision et les limites des domaines dans lesquels elles sont utilisables. La géolocalisation par satellite (GPS-NavStar, Glonass ou Galileo) utilise comme référence une constellation de satellites. Cette technique est passive au sens où elle utilise seulement un récepteur au niveau du mobile à géolocaliser. Ainsi, elle n'est pas sujette aux risques de saturation lorsque le nombre de mobiles à traiter augmente. La précision est de l'ordre de la dizaine de mètres. Le domaine d'utilisation est principalement l'extérieur, les signaux des satellites étant affaiblis par les bâtiments. La couverture est mondiale, mais, le système souffre de difficultés de réception dans les tunnels ou les « canyons urbains » (rues étroites entourées d'immeubles élevés). La technique de géolocalisation GSM utilise comme référence l'ensemble des relais radio de téléphonie GSM. Il existe plusieurs variantes à cette technique. Selon les variantes, c'est le terminal ou le serveur de l'opérateur téléphonique qui effectue les calculs de géolocalisation. Dans tous les cas, une connexion internet mobile est nécessaire pour identifier les positions des relais GSM. Selon la variante mise en œuvre (terminal ou serveur), le système de géolocalisation est plus ou moins sujet à saturation lorsque le nombre de mobiles augmente. La précision est variable en fonction de la technique utilisée et de la densité des relais radios : de l'ordre de la dizaine de mètres en environnement urbain très dense, au kilomètre en zone rurale. Le domaine d'utilisation est à la fois intérieur et extérieur. Si la couverture GSM est inexistante, il est alors impossible de géolocaliser le mobile. La géolocalisation WiFi utilise comme référence l'ensemble des bornes WiFi, qu'elles soient publiques ou privées. Elle est très similaire, dans son principe, à la géolocalisation GSM. La précision est variable en fonction de la densité des bornes et de la technique utilisée : de l'ordre du mètre à la centaine de mètres. Destinée initialement à un usage intérieur, elle devient aujourd'hui utilisable en extérieur dans un environnement urbain dense du fait de la multiplication des bornes WiFi résidentielles. Sa couverture en extérieur est cependant très parcellaire car limitée aux zones urbanisées denses. Ainsi, elle ne peut pas totalement se substituer aux deux

¹⁰Les techniques de géolocalisation inertielles, hyperboliques, ou goniométriques ne seront pas prises en compte dans cet article, car elles ne sont pas disponibles pour un usage grand public.

précédentes techniques. Notons que ces techniques peuvent être utilisées de manière conjointe, c'est notamment le cas du A-GPS (GPS assisté) qui utilise une connexion internet mobile pour assister le dispositif GPS dans le téléchargement des données et au niveau des calculs de positionnement. D'autres approches, dites de géolocalisation hybride, utilisent conjointement plusieurs de ces technologies afin de garantir une géolocalisation à la fois plus rapide et plus précise, quel que soit le contexte d'utilisation.

Se basant sur ces technologies, il existe principalement deux types de dispositifs permettant de recueillir la localisation des mobiles. Les dispositifs du premier type, appelés « *loggers* », enregistrent dans la mémoire interne de l'appareil l'ensemble des positions de l'individu. Les dispositifs du second type, appelés « *trackers* », ont la possibilité d'envoyer en temps réel les positions à un serveur qui se charge de les mémoriser. Ainsi, les *trackers* peuvent s'affranchir de la phase de déchargement des données et permettent un traitement des données à distance et en temps réel. Ils sont cependant techniquement plus complexes car ils nécessitent une connexion internet mobile. Ces deux types de dispositifs peuvent être réalisés soit sous la forme d'appareils dédiés uniquement à cet usage, soit sous la forme d'une application pour Smartphone. Plus robustes et compacts, les dispositifs dédiés sont cependant limités en fonctionnalités. En effet, la modularité des applications Smartphones permet d'ajouter à la fonction géolocalisation des applications de type questionnaire ou carnet de route dont les entrées seront géolocalisées. Ces derniers sont cependant souvent plus fragiles, plus onéreux, et ne disposent pas toujours d'une autonomie suffisante. Notons à ce propos qu'en plus de la technologie de géolocalisation, il existe deux éléments primordiaux dans le choix d'un dispositif : son autonomie et sa capacité d'enregistrement. Ces deux paramètres doivent être compatibles avec le protocole de l'enquête. L'autonomie doit être suffisante pour permettre à la personne enquêtée de réaliser ses déplacements sans contraintes, même s'il est envisageable de lui demander de recharger le dispositif, par exemple, pendant la nuit. Dans le cas des *loggers*, la capacité d'enregistrement doit être suffisante pour permettre l'enregistrement des données jusqu'à la restitution du dispositif. Dans le cas des *trackers*, la capacité d'enregistrement doit être vue comme la capacité technique du dispositif à envoyer sans pertes la totalité du flux de données prévu pendant la durée de l'enquête, et la capacité du serveur à les recevoir, les stocker, et les traiter.

1.3 Enquêtes mobilités assistées

Considérant les nouveaux enjeux de précisions spatiales et temporelles qui sont aujourd'hui adressés aux enquêtes sur la mobilité des personnes, les dispositifs de géolocalisation peuvent apporter une source d'information complémentaire très intéressante. Le principe de l'enquête de mobilité assistée consiste à utiliser un dispositif de géolocalisation en complément d'une enquête de mobilité standard. En effet, si le dispositif de géolocalisation peut informer sur le temps et la localisation de l'individu suivi, il ne fournit cependant pas d'informations sur le mode utilisé¹¹, sur la nature de l'activité réalisée à destination, et encore moins sur les caractéristiques personnelles des

¹¹ Dans une certaine mesure la vitesse enregistrée par le GPS peut aider à déterminer le mode utilisé, mais il est parfois difficile de discriminer des modes dont les vitesses moyennes sont proches (comme le tramway en zone urbaine versus l'utilisation du vélo).

enquêtés. C'est pourquoi, il est d'usage de considérer des protocoles d'enquête qui combinent un suivi GPS avec une enquête de type questionnaire. Le questionnaire peut prendre plusieurs formes et être renseigné à différents moments. L'enquêté peut par exemple être interviewé à la fin de l'enquête. Si l'on dispose d'un dispositif de type Smartphone, il est possible de gérer des carnets de route électroniques. Dans ce cas, l'enquêté peut renseigner au fil de ses déplacements des informations qualitatives, qui sont elles aussi géolocalisées. Il est aussi possible de solliciter l'enquêté lorsqu'une information manque. Il s'agit alors d'un carnet de route dit « proactif » qui alerte la personne enquêtée au cours du déplacement afin qu'elle complète les informations utiles à l'enquête géolocalisées (Murakami et al., 2009).

Au tournant des années 2000, le développement d'enquêtes de mobilité assistées a rapidement progressé à travers le monde (Stopher, 2009).

Une première série d'enquêtes utilisant les GPS visaient essentiellement à compléter et corriger les données recueillies par les questionnaires. La première enquête de mobilité intégrant la technologie GPS a eu lieu en 1996 à Lexington dans l'État du Kentucky aux États-Unis. Pour cette enquête, 5 à 10 % de l'échantillon global a été équipé d'un *logger* GPS en complément d'une enquête papier. Par la suite, d'autres enquêtes ont été réalisées aux États-Unis, et notamment à New-York, Los Angeles et Minneapolis (Nguyen et al., 2012). En France, des expérimentations ont été menées à Bordeaux et Nantes en 2005 et à Lille en 2007, en complément des protocoles standards des enquêtes ménages et déplacements. Dans le même esprit, un suivi GPS a été appliqué à un sous-échantillon de l'enquête nationale transport (France – 2007-2008). Au cours de cette enquête, 170 *loggers* ont été distribués et 750 traces exploitées, en faisant préciser par l'enquêté, au moment de l'interview en face à face, les motifs et les modes des déplacements recensés. Les premiers enseignements de ces enquêtes montrent que la formation de l'enquêteur et la gestion de la flotte d'appareils sont des éléments primordiaux dans la démarche. L'acceptation de l'outil est variable d'un pays à l'autre ; alors que les taux de participation sont comparables aux enquêtes papier aux États-Unis, les expériences françaises montrent en revanche une certaine frilosité face à ces protocoles, puisque que seulement 30% des personnes se déclaraient volontaires dans l'expérience de l'Enquête Nationale Transport (Armoogum et al., 2007). Les travaux menés par l'IFFSTAR¹² ont montré que la seule utilisation du GPS ne pouvait remplacer les méthodes d'enquête standard, mais qu'à l'avenir, les technologies de géolocalisation permettraient probablement d'alléger les questionnaires utilisés aujourd'hui dans les méthodes standardisées (Armoogum et al., 2007).

Un deuxième groupe d'enquêtes concerne les enquêtes dites « *GPS only* » qui s'affranchissent totalement de la passation directe d'un questionnaire. On peut citer notamment les enquêtes de Cincinnati réalisées entre 2009 et 2010 sur un échantillon de 4 000 ménages et l'enquête de Sydney qui a débuté en Août 2010 sur un échantillon de 3 000 ménages (Mukurami, 2010). Une étude pilote portant sur un millier de personnes a été menée en Angleterre pour estimer la faisabilité d'une enquête « *GPS only* » pour remplacer l'enquête nationale (*National Travel Survey*) (Nguyen, 2012). Les

¹² Institut Français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.

premiers résultats ont montré que la principale limite de ce type d'enquête réside dans l'utilisation de l'appareil par les enquêtés (oubli, perte, échange des appareils au sein du ménage).

Dans ces deux premiers cas de figure, l'objectif du recueil par GPS est bien de pouvoir soit corriger et compléter les données traditionnellement recueillies, soit remplacer le questionnaire papier. L'analyse des données recueillies porte alors sur des mesures quantitatives des distances parcourues, des parts modales et des échanges.

Une troisième catégorie d'enquêtes correspond à des études qui visent à obtenir des données très détaillées sur les formes de déplacements d'une catégorie d'individus pour laquelle on cherche à avoir une approche « compréhensive » de leurs mobilités. Ainsi, l'avantage de ces protocoles est de s'appuyer sur la description et la visualisation des traces pour réactiver la mémoire des personnes qui sont interrogées a posteriori par entretien. On peut par exemple citer une enquête suisse dont l'objectif était de « décrire et comprendre les pratiques de mobilité des personnes habitant des territoires ruraux ou en ceinture d'agglomération faiblement desservis en transports publics » (Doyen et al., 2010). Cette dernière enquête portait sur un échantillon de vingt personnes suivies pendant dix jours. Les personnes étaient équipées d'un *logger* qu'elles devaient recharger chaque nuit. L'objectif de la géolocalisation était de présenter aux personnes, au cours d'un entretien réalisé a posteriori, les traces de leurs déplacements et ainsi « réactiver » leur mémoire pour mieux décrire leur mobilité. Selon les auteurs de l'étude, ces protocoles permettent effectivement d'améliorer l'exhaustivité et la précision des descriptions des mobilités et de récolter plus facilement des discours. D'autres études ont également utilisé ce mécanisme de réactivation, on peut citer notamment les travaux réalisés par l'Université de Tours au sujet de la mobilité des familles périurbaines de l'agglomération tourangelle, permettant ainsi de resituer les parcours quotidiens dans les espaces de vie des personnes (Bailleul et Feildel, 2011). Les études de Shoval (Shoval et al., 2010) visaient à améliorer l'analyse des pratiques et des déplacements des touristes en milieu urbain. Ainsi, le recueil des traces GPS des touristes arpétant les rues de la vieille ville d'Akko en Israël permettait d'identifier les attractions touristiques entre lesquelles circulaient ces personnes. L'apport méthodologique essentiel de ces travaux tient à l'analyse originale des données de déplacements basée sur la méthode d'alignement de séquences, qui permet d'identifier des typologies de parcours (*patterns-types*) dans l'espace touristique considéré. D'autres méthodes sont proposées pour déterminer des *patterns* de mobilité afin de produire des typologies de trajectoires (Etienne, Devogele et Bouju, 2009). Certaines recherches en épidémiologie s'appuient également sur des protocoles d'enquête utilisant le GPS, afin de produire des indicateurs d'exposition environnementale individuelle plus précis car tenant compte des mobilités des personnes entre les lieux fréquentés (Elgethum et alii, 2003 ; Chaix et alii, 2013).

Selon l'apport attendu du GPS et les objectifs de l'enquête, de nombreuses difficultés liées à l'usage et à la fiabilité du dispositif, ou au filtrage, à l'analyse et à l'interprétation des données ont été mises en lumière. Tout d'abord, au niveau de l'utilisation de l'appareil par l'enquêté, ce dernier peut oublier le dispositif à son domicile, le perdre ou encore l'échanger dans le cadre d'une étude portant sur l'ensemble du ménage. L'appareil en lui-même peut également présenter des dysfonctionnements au niveau de son logiciel interne, de son autonomie et de l'environnement physique dans

lequel il est utilisé (par exemple sa résistance aux chocs). Un deuxième niveau de limites concerne le post-traitement des données de géolocalisation recueillies. Celles-ci sont difficiles à manipuler de par la masse d'information recueillie et de par les positions aberrantes de certains enregistrements. En effet, les enregistrements sont sujets aux parcours fantômes (positions aberrantes), parcours multimodaux (non détection de changements du mode de transport au cours du trajet), et effets canyon (perte de réception GPS en zone très urbanisée). Un troisième niveau de limite concerne le manque de données de contexte et qualitatives, notamment dans le cadre de protocoles « *GPS only* ». Les conclusions des auteurs de ces expérimentations « *GPS only* » indiquent qu'il reste nécessaire de coupler l'utilisation d'un protocole GPS à un questionnaire de mobilité. Enfin, l'acceptabilité de tels dispositifs et leur nature intrusive constituent le quatrième type de limite. En revanche, il est admis que les principaux avantages des recueils GPS pour les enquêtes de mobilité sont une bien meilleure précision en termes d'horaires (temps) et de localisations (lieux visités et parcours), obtenue par rapport à ce que les personnes enquêtées peuvent rapporter dans des enquêtes classiques. De même, ces protocoles ouvrent la voie à des enquêtes portant sur plusieurs journées consécutives. Pourtant, Stopher (2009) souligne le manque d'études systématiques réalisées à ce jour pour mesurer exactement le gain (quantitatif et qualitatif) de ces protocoles comparativement aux protocoles classiques.

2 MÉTHOLOGIE

L'objectif de nos travaux est d'évaluer l'apport des technologies de géolocalisation aux enquêtes de mobilité. Plus précisément, nous souhaitons valider l'hypothèse que l'ajout d'un dispositif de géolocalisation au protocole d'une enquête de mobilité classique permet un gain significatif en termes de qualité, notamment concernant la fiabilité de détection des arrêts/déplacements. Nous souhaitons également valider le fait qu'un protocole spécifique à une enquête assistée est réalisable en pratique, tant du point de vue méthodologique que technique. Pour cela, nous avons mis en place une démarche de comparaison entre une méthode d'enquête de mobilité standard et une méthode d'enquête de mobilité assistée par un *logger* GPS.

La méthodologie que nous avons développée se devait d'atteindre trois objectifs. Premièrement, il s'agissait d'élaborer un protocole d'enquête de mobilité intégrant l'usage d'un dispositif de géolocalisation, et pouvant concerner un nombre significatif d'individus enquêtés en même temps au cours d'une journée type. Deuxièmement, il était nécessaire que les résultats du protocole d'enquête assistée puissent être comparés directement aux résultats d'une enquête utilisant la méthode standard. Enfin, le protocole devait limiter les biais en s'assurant que les conditions expérimentales de l'enquête standard influencent le moins possible l'enquête assistée et réciproquement.

2.1 Protocole d'enquête standard de type « Enquête Ménages Déplacements » (EMD)

Ce protocole (cf. figure 1) s'inspire directement du protocole des EMD (Enquêtes Ménages Déplacements) en le simplifiant. La simplification porte sur le détail des questions liées aux caractéristiques du ménage et aux questions annexes. Cette simplification permet de réduire considérablement la durée de l'entretien pour se concentrer sur les informations essentielles liées aux déplacements. Pour réaliser cette enquête, des supports simplifiés de recueil d'information d'EMD ont été utilisés : fiche ménage, fiche personne, fiche déplacement, carte des zones origines-destinations de l'ensemble de la région urbaine grenobloise, liste des noms des rues de Grenoble avec les codes des zones origines destinations associés, et enfin, la fiche nomenclature décrivant le codage des motifs et des modes.

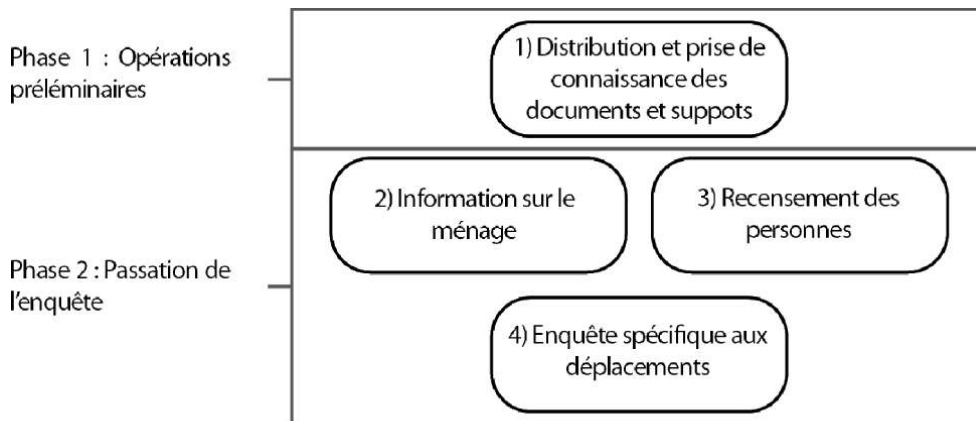


Figure 1: Protocole expérimental de l'enquête mobilité standard

Le protocole d'enquête comporte trois étapes. La première consiste à interroger la personne à partir de la fiche ménage. Celle-ci regroupe différentes informations d'ordre général. Ensuite, la deuxième étape vise à recenser les personnes du ménage à partir de la fiche personne. La troisième étape permet d'acquérir une information fine sur les motifs et les modes de déplacement de l'enquêté, qui doit se remémorer l'ensemble de ses déplacements de la veille. L'enquêté doit ainsi spécifier le motif d'origine (domicile, lieu de travail, université, etc.), le lieu d'origine, l'heure de départ, le motif de destination, le lieu de destination, l'heure d'arrivée, la durée ainsi que les modes de transport utilisés pour chaque déplacement.

2.2 Protocole d'Enquête de Mobilité Assistée par GPS (EMAG)

Le protocole de l'enquête de mobilité assistée par GPS (cf. figure 2) reprend les bases du protocole EMD en y ajoutant l'assistance de la géolocalisation. Du fait des contraintes techniques, notamment liées à la gestion des dispositifs de géolocalisation, il est plus complexe à mettre en œuvre. Ce protocole comprend ainsi sept étapes, au lieu de trois pour le protocole EMD. L'élaboration du protocole d'enquête assistée a nécessité de répondre à trois objectifs : identifier le dispositif de géolocalisation le plus

adéquat, élaborer des algorithmes capables de filtrer les données GPS et de détecter les déplacements et les arrêts, et enfin, mettre à disposition de l'enquêteur et du sujet les données filtrées et analysées à travers une interface d'enquête dans un laps de temps compatible avec une enquête déplacement classique.

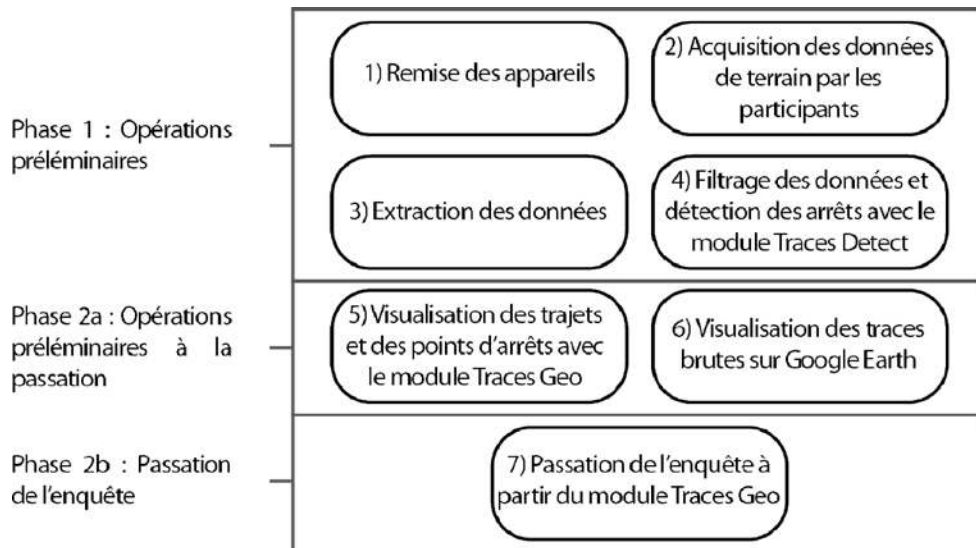


Figure 2 : Protocole expérimental de l'enquête mobilité assistée

Concernant le premier objectif, l'identification du dispositif de géolocalisation le plus adapté, la technologie de géolocalisation GPS a été choisie. En effet, celle-ci répond aux critères de coût, d'autonomie, de constance, de précision et de facilité de mise en œuvre nécessaires pour une enquête de mobilité. Le choix s'est porté sur un dispositif de type *logger*. Le type *tracker* a été écarté car il impose de disposer d'un abonnement de téléphonie mobile par dispositif, et nécessite la mise en place d'un serveur de collecte des données. En outre, vis-à-vis du droit à l'effacement des données, le fait que celles-ci soient transmises en temps réel vers un serveur rend plus délicat le contrôle par le sujet lui-même de ses données. Les principaux critères pris en compte pour le choix du matériel ont été son autonomie, sa capacité d'enregistrement, sa robustesse ainsi que la facilité de téléchargement des données. Le choix du type et du modèle a débuté par une étude des dispositifs existants sur le marché, à partir des documentations fournies par les constructeurs, puis six appareils ont été sélectionnés et testés afin de valider et compléter les spécifications. Au final, le modèle de GPS « Locosys Genie GT31 » a été retenu pour les expérimentations. Son autonomie supérieure à 24h, sa conception robuste, et la possibilité de stocker les données sur une carte mémoire amovible ont été des éléments déterminants pour le choix de ce dispositif.

Le deuxième objectif, le traitement des données de géolocalisation, a nécessité pour l'extraction des données l'utilisation d'un logiciel de conversion des données GPS brutes (SBN) vers un format facilement exploitable par de nombreux outils (GPX) : GPSBabel¹³. Concernant le filtrage des traces et la détection des arrêts/déplacements, nous avons développé un logiciel spécifique, « TRACES DETECT » (Christophe, 2010a) qui permet le traitement des traces GPS en quelques minutes. Les algorithmes utilisés pour les étapes de filtrage et de détection sont discutés dans la partie consacrée aux résultats.

Les données traitées sont ensuite mises à disposition de l'enquêteur et de l'enquêté via un second logiciel, « TRACES GEO » (Christophe, 2010a) (cf. figure 3), en vue d'une interview. Le but de l'entretien est d'enrichir sémantiquement les informations issues du traitement des données GPS. Ce logiciel est conçu de manière à obtenir les mêmes informations que la méthode d'enquête standard au sujet des déplacements de l'individu. Le logiciel a pu être testé au cours de deux campagnes d'expérimentation précédant les travaux présentés dans cet article. Ces campagnes étaient destinées à calibrer le traitement des données, notamment le paramétrage des GPS et les algorithmes de filtrage et de détection des arrêts. Elles avaient également pour objectif de valider globalement le protocole d'enquête dans des conditions quasi identiques à celles d'une enquête standard, depuis la remise des dispositifs aux personnes enquêtées, jusqu'aux entretiens avec un enquêteur. Chaque campagne d'expérimentation était composée d'un échantillon de 12 personnes. Les personnes ont été sélectionnées en fonction de la diversité des profils sociodémographiques et des modes de transports utilisés, afin de tester la robustesse des algorithmes de filtrage et de détection des arrêts.

¹³<http://www.gpsbabel.org/>

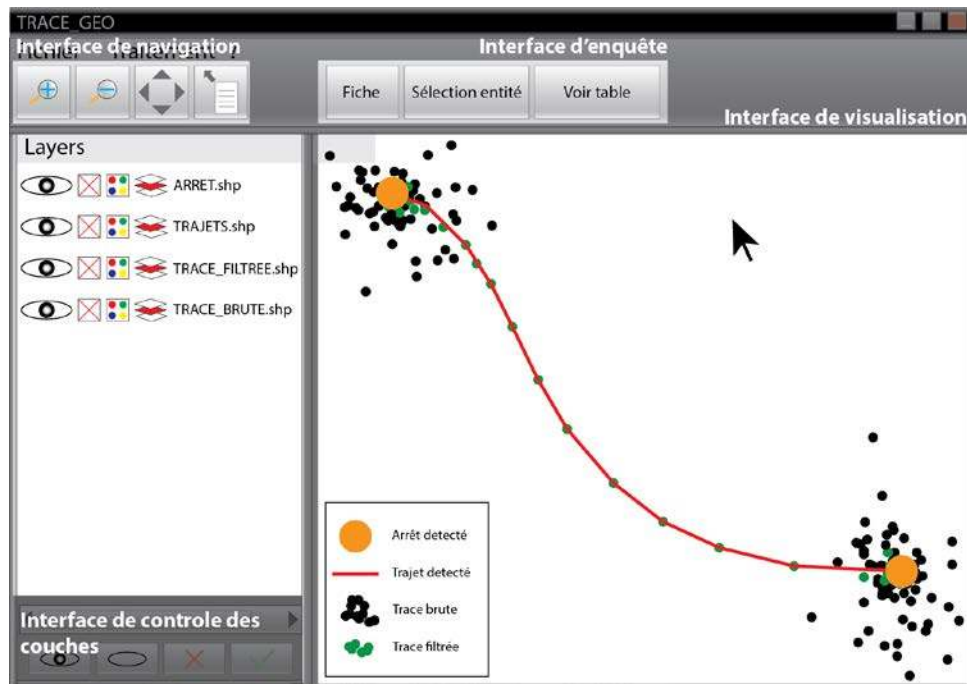


Figure 3 : Structure de l'interface du logiciel « TRACES GEO »

2.3 Comparaison entre enquêtes assistée et non assistée (EMD versus EMAG)

Pour comparer les deux types d'enquêtes EMD et EMAG, nous avons opté pour un protocole mettant en œuvre les deux types d'enquêtes sur la même journée. En effet, comparer le nombre d'arrêts détectés et de déplacements ne peut s'effectuer a priori que sur les mêmes trajets. Ce protocole de comparaison pose nécessairement le problème des biais causés par l'influence réciproque des deux enquêtes.

En pratique, toutes les phases de l'enquête ne sont pas concernées. Les phases préliminaires (phases 1 de l'EMD et de l'EMAG) peuvent s'effectuer ensemble sans risque d'interférence. De même, le déplacement en lui-même ne diffère entre une EMD et une EMAG que par la mise en route et le transport du dispositif de géolocalisation, ce qui a priori n'influe ni sur le déplacement en lui-même, ni la capacité de mémorisation de l'enquêté. La phase d'extraction, de filtrage et d'analyse des données (phase 2a de l'EMAG) est elle aussi indépendante car elle ne sollicite pas l'enquêté. Par contre, les phases d'enquête (phase 2 de l'EMD et phase 2b de l'EMAG) sont bien entendu liées. En effet, si l'on montre à l'enquêté les traces GPS avant de lui poser les questions d'une EMD classique, sa connaissance sur les données issues du GPS va nécessairement influencer sa capacité de mémorisation. L'inverse n'étant pas vrai, car les données enregistrées par le GPS ne sont pas influencées par la capacité de mémorisation de l'enquêté. C'est pourquoi, nous avons demandé à l'enquêté de répondre en premier aux questionnaires de l'EMD, puis à ceux de l'EMAG (phase 2 de l'EMD puis phase 2b de l'EMAG). En pratique, la phase de traitement des données GPS (phase 2a de l'EMAG)

pouvait s'effectuer en même temps que l'enquête EMD (phase 2 de l'EMD) via une tierce personne afin de réduire la durée de l'interview. A l'issue des deux enquêtes, la synthèse des résultats a été réalisée par une personne n'ayant pas participé aux enquêtes, de manière à limiter les biais.

Au début du protocole, les GPS sont remis par les enquêteurs aux participants. C'est à ce moment que les enquêtés sont informés sur la démarche globale de l'enquête et les consignes à respecter au cours de la journée d'acquisition des données de terrain. Un mémo est également remis aux personnes enquêtées. L'enquêté prend également connaissance de l'usage qui sera fait des données et donne son accord, conformément à la déclaration faite pour l'enquête auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL). L'acquisition des données de géolocalisation sur les déplacements des participants se déroule sur une journée de 24h. Les appareils sont remis aux personnes enquêtées la veille de l'enquête, batterie chargée, elles n'ont ainsi pas à gérer l'éventuel rechargement des appareils car leur autonomie suffit pour la durée de l'enquête. Les participants sont chargés de démarrer eux-mêmes l'appareil avant leur premier déplacement de la journée. Pour éviter un éventuel oubli, les personnes enquêtées sont invitées à programmer une alarme sur leur téléphone mobile. Par sécurité, un SMS leur est également envoyé le matin du jour de l'enquête. Les GPS pouvant mettre quelques minutes à déterminer une première position valide lors de la mise en route, il a été demandé aux participants de vérifier, sur l'écran du GPS, que le calcul de position était bien valide avant de commencer leur premier déplacement. Pour éviter un « démarrage à froid » des GPS, ceux-ci avaient été mis en route peu de temps avant l'enquête, de manière à disposer d'un almanach à jour. Les consignes données stipulaient que les participants devaient garder les GPS sur eux dans l'ensemble de leurs déplacements, et bien entendu, qu'ils ne devaient pas modifier leurs habitudes. En accord avec les exigences de la CNIL, les participants pouvaient suspendre l'enregistrement de leurs déplacements en éteignant l'appareil. Il leur était demandé de le remettre en fonctionnement à l'issue de ce déplacement ou de cette activité. Suite à la phase d'acquisition terrain, chaque participant était convié, le lendemain du jour de l'enquête, à un entretien avec un enquêteur. Une fois l'enquête EMD standard effectuée, l'enquêteur récupérait le GPS pour le traitement des données via « TRACES DETECT » pour extraire, filtrer et analyser les données afin de détecter les points d'arrêts et les déplacements de l'individu. Ensuite, à partir du module « TRACES GEO », qui affichait sur un fond cartographique de type plan les informations détectées (cf. figure 3), l'enquêteur enrichissait sémantiquement les données des déplacements grâce aux informations données par la personne enquêtée. L'enquêté pouvait également indiquer la validité des arrêts détectés. De même, les arrêts non détectés pouvaient être ajoutés le cas échéant. De plus, afin de permettre au participant de se repérer plus aisément, la trace brute issue du GPS était affichée en parallèle sur le logiciel « Google Earth ».

2.4 Echantillon

L'échantillon de l'expérimentation était composé d'étudiants inscrits à l'Université Joseph Fourier et participant à un même enseignement. Répartis en binômes, chaque étudiant a joué successivement les rôles d'enquêteur puis d'enquêté. Le recrutement d'étudiants pour une enquête apporte nécessairement certains biais. Ainsi, la répartition des profils (âge, situation familiale et nombre de personnes dans le

foyer) est peu représentative, c'est pourquoi elle n'a pas été prise en compte dans nos résultats. Cependant, l'étude ne s'intéressant pas directement à ces aspects, nous estimons que cela n'a pas constitué un biais important. Le profil académique des étudiants (Master de géographie) implique que les personnes enquêtées ont a priori une connaissance bien plus approfondie des notions de cartographie que le reste de la population. Nous pouvions donc nous attendre à une meilleure capacité des personnes enquêtées à interpréter la carte du module « TRACES GEO ». Cela a pu avoir pour conséquence d'augmenter la précision des réponses aux questions et de raccourcir globalement la durée de l'entretien. L'impact étant a priori le même sur l'EMD et l'EMAG, la différence entre les deux n'est ainsi pas affectée. Cet échantillon avait cependant d'autres caractéristiques intéressantes. Notamment, les participants utilisaient des modes de transports très différents. Par ailleurs, étant donné la localisation de leurs domiciles par rapport à l'université, leurs déplacements étaient situés dans des espaces très hétérogènes, du rural à l'urbain dense, ce qui a un impact important sur la qualité de réception des dispositifs de géolocalisation, nous permettant ainsi d'éprouver l'ensemble du protocole EMAG dans différentes configurations.

3 RESULTATS

La comparaison des résultats des enquêtes EMD et EMAG nécessite de disposer, pour un même individu, de données de bonne qualité sur les deux types d'enquêtes. En conséquence, si au moins l'une des enquêtes n'a pas la qualité attendue, le jeu complet doit être retiré de l'étude. Au final, parmi les douze jeux de données obtenus, seulement sept ont pu être retenus. Les données issues des déplacements des cinq autres personnes n'ont pu être prises en compte pour l'analyse, du fait de problèmes techniques au niveau du dispositif de géolocalisation, ou d'absence de réponses au niveau du questionnaire EMD. De ce fait, notre étude s'est focalisée sur une analyse qualitative des résultats, l'échantillon étant trop faible pour une analyse quantitative fiable.

3.1 Synthèse des résultats

La figure 4 présente les résultats obtenus pour chaque protocole EMAG et EMD. La troisième variable de comparaison, dite de référence (REF), correspond à une estimation du nombre réel de déplacements et d'arrêts réalisés par le sujet. Cette troisième variable a été construite a posteriori, par interprétation experte des deux précédents résultats. Elle est obtenue en fusionnant les arrêts et déplacements détectés et validés par le sujet sur les deux types d'enquêtes. Cette valeur est une bonne approximation du nombre réel de déplacements et d'arrêts effectués par le sujet. Notamment, le risque d'obtenir des faux positifs est faible car le sujet valide chacun des arrêts. Par contre, il y a un risque de présence de faux négatifs, car le sujet peut oublier un arrêt, qui lui-même n'a pas été détecté par le dispositif de géolocalisation. Il faut donc considérer cette valeur de référence comme un nombre minimum de déplacements et d'arrêts, et non comme le recensement exhaustif des déplacements et arrêts effectués par le sujet.

Les résultats issus des sept sujets présentent des différences importantes au niveau du recensement du nombre de déplacements et d'arrêts comptabilisés pour chacune des personnes. Globalement, on constate que les deux protocoles d'enquête n'atteignent pratiquement jamais un niveau de recensement minimum du nombre de déplacement et d'arrêt. La différence entre l'EMAG et la référence montre une perte d'information très importante pouvant aller jusqu'à plus de la moitié des arrêts et donc des déplacements dans la grande majorité des cas (S1~S5). L'EMD par contre, présente des résultats nettement meilleurs comparativement à l'EMAG. Elle atteint le niveau de la référence par deux fois (S6 et S7).

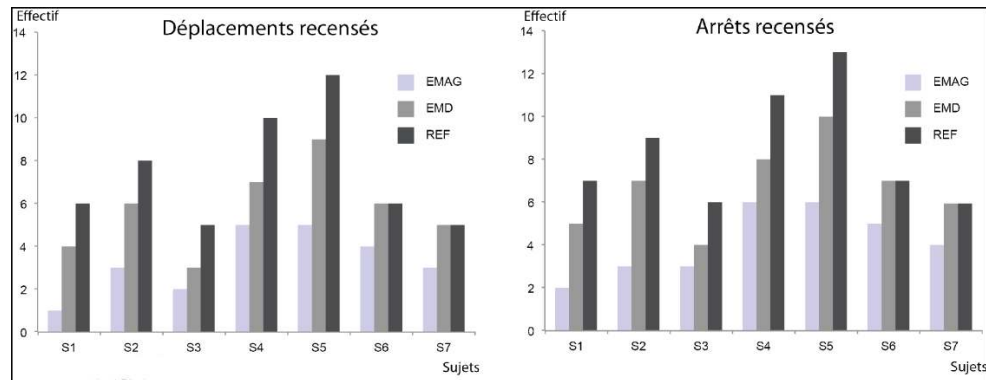


Figure 4 : Répartition du nombre de déplacements et d'arrêts recensés pour chaque sujet, comparaison EMD-EMAG-REF

Bien que ces résultats concernant la détection du nombre de déplacements et d'arrêts semblent indiquer que, quantitativement, le protocole EMAG n'apporte aucun gain significatif aux enquêtes EMD, une étude qualitative plus précise des résultats apporte un éclairage nouveau sur l'intérêt des enquêtes EMAG. En effet, dans certains cas, l'enquête EMAG peut avoir un rôle complémentaire à l'EMD. Nous proposons de résumer l'analyse comparative des protocoles selon trois cas archétypiques issus de nos résultats.

3.2 Exemples de résultats archétypiques

Le premier cas correspond au meilleur résultat que nous avons obtenu pour le protocole EMAG. Le schéma de synthèse (cf. figure 5) met en comparaison les résultats des protocoles EMD et EMAG vis à vis de la référence. Dans ce premier cas, le sujet compte trois déplacements, il s'est arrêté quatre fois pour réaliser des activités. Le protocole EMD a permis de recenser la totalité des déplacements et des arrêts effectués par ce sujet. Le protocole EMAG présente un résultat incomplet avec le dernier arrêt (et donc déplacement) manquants. Dans ce premier cas, le protocole EMD est plus efficace concernant le recensement des déplacements et des arrêts. Notons néanmoins que les trois premiers arrêts et les deux premiers déplacements ont été recensés de manière commune par les deux protocoles.

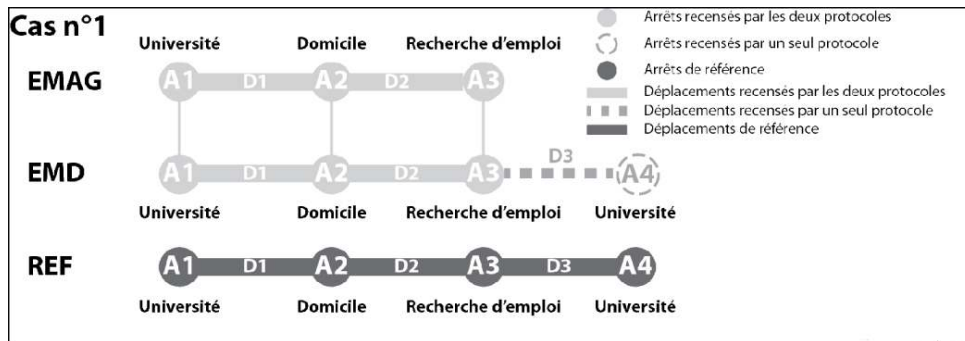


Figure 5 : Cas n°1 – Schéma de synthèse de détection des arrêts et des déplacements, comparaison EMD-EMAG-REF

Le deuxième cas (cf. figure 6) correspond à un résultat moyen du protocole EMAG. La référence présente sept déplacements et huit arrêts. Dans ce cas, aucun des deux protocoles d'enquête n'a pu détecter l'ensemble des déplacements et arrêts réalisés par l'individu. Le protocole EMD présente les meilleurs résultats avec sept arrêts détectés sur huit et six déplacements sur sept. Les résultats obtenus avec le protocole EMAG sont moins satisfaisants, seulement quatre arrêts et trois déplacements ont été recensés. Les deux premiers arrêts et le premier déplacement sont communs aux deux protocoles, cela est également le cas pour l'arrêt (A3/EMAG) et l'arrêt (A5/EMD). Le plus intéressant dans ce cas est que le protocole EMAG a permis de détecter un arrêt (A4/EMAG) non recensé par l'EMD, illustrant ainsi le rôle potentiellement complémentaire des enquêtes EMAG. En d'autres termes, même si l'enquête EMAG ne permet pas à elle seule d'obtenir une meilleure détection des déplacements et arrêts, elle peut cependant avoir un rôle complémentaire à une enquête EMD.

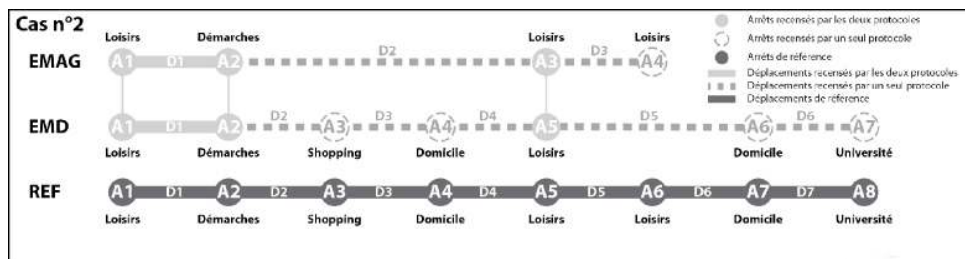


Figure 6 : Cas n°2 – Schéma de synthèse de détection des arrêts et des déplacements, comparaison EMD-EMAG-REF

Le troisième et dernier exemple présente un cas typique d'un résultat quantitativement médiocre du protocole EMAG. La référence présente huit déplacements et neuf arrêts. Les deux protocoles d'enquête n'ont pas recensé l'ensemble des déplacements et des arrêts. Le protocole EMD présente les meilleurs résultats avec six déplacements recensés sur huit et sept arrêts recensés sur neuf. Par contre, le protocole EMAG recense seulement trois déplacements et quatre arrêts. Notons

cependant que le protocole EMAG a permis de détecter deux arrêts « oubliés » par le protocole EMD (A1/EMAG et A3/EMAG).

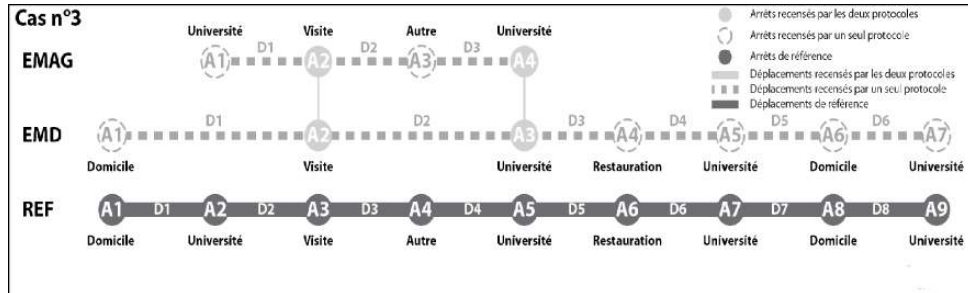


Figure 5 : Cas n°3 – Schéma de synthèse de détection des arrêts et des déplacements, comparaison EMD-EMAG-REF

En synthèse, le protocole EMD présente quantitativement les meilleurs résultats au niveau du recensement des déplacements et des arrêts par rapport à la référence. Bien que les résultats de l'EMAG soient quantitativement moins bons, ils apportent pourtant dans de nombreux cas une information complémentaire à l'enquête, en permettant la détection de certains arrêts oubliés par l'enquête EMD. En effet, nous avons constaté que dans quasiment toutes les enquêtes effectuées, l'EMAG a permis d'identifier des arrêts non détectés par l'EMD. Les deux protocoles présentent ainsi une complémentarité au niveau des résultats.

3.3 Limites liées aux aspects techniques

Une première limite concerne les GPS utilisés ainsi que les logiciels destinés à récupérer les données. Nous avons rencontré deux cas où, suite à des chocs ou de fortes accélérations, dû à des maladresses ou pratiques sportives, le système d'enregistrement s'est déconnecté, entraînant une perte totale des données enregistrées. En outre, le logiciel livré avec l'appareil présentait un dysfonctionnement qui entraînait dans certains cas une récupération partielle des données. Il a été remplacé par un logiciel open-source, « *GPS-Babel* », plus fiable.

Le logiciel que nous avons utilisé pour l'enquête, « *TRACES GEO* » a également été une source de difficultés. Étant prévu pour être uniquement manipulé par des enquêteurs expérimentés, son ergonomie n'a pas été particulièrement travaillée, ce qui a eu pour conséquence d'augmenter les risques d'erreurs et la durée des entretiens. En outre, le fond cartographique utilisé, de type « plan », ne permettait pas facilement aux enquêtés de se situer géographiquement. Estimé initialement à une demi-heure, ce temps a été largement dépassé, notamment lorsque le nombre et la densité des arrêts étaient importants. Afin de palier partiellement ce problème, nous avons utilisé en parallèle le logiciel « *Google Earth* » afin de visualiser les traces brutes sur un fond cartographique de type « vue aérienne », plus simple à interpréter.

Concernant l'algorithme de filtrage, il s'est avéré que les critères de filtrage n'étaient pas toujours pertinents, engendrant parfois une perte importante d'information. En effet, l'objectif du filtrage était de supprimer les « positions fantômes » relevées dans les cas où le GPS se situe à l'intérieur d'un bâtiment. Les deux principaux critères de filtrage sont la dilution horizontale de la précision (HDOP) et le nombre de satellites (SAT) : les positions n'étaient retenues que si $HDOP \leq 2$ et $SAT \geq 5$. Ce filtrage, s'il est effectivement efficace lorsque la réception des satellites est globalement bonne, est trop sélectif lorsque les personnes enquêtées se déplacent à pied dans un environnement urbain dense comme le centre ville de Grenoble. Ces conditions génèrent notamment un « effet canyon » qui réduit considérablement le nombre de satellites visibles, même si la trace elle-même est le plus souvent d'une qualité acceptable. Le filtrage n'a pas pu être modifié au cours du projet, cependant, les tests ultérieurs réalisés à l'aide du SIG montrent qu'il est plus pertinent d'utiliser conjointement les métadonnées présentes dans les fichiers gpx qui témoignent de la qualité du signal (« FIX ») et du nombre de satellites (« SAT ») comme critère de filtrage¹⁴.

L'algorithme de détection des arrêts a également présenté des dysfonctionnements entraînant à la fois des faux négatifs mais aussi des décalages spatio-temporels. Les faux négatifs se traduisent notamment par l'absence de détection du domicile de la personne enquêtée avec pour conséquence une récurrence de déplacements manquant lors du retour au domicile. Nous avons également constaté des erreurs de géolocalisation au niveau des points d'arrêts ou encore un décalage temporel pour tous les points d'arrêts, ce qui a entraîné des difficultés lors des entretiens avec les personnes enquêtées. Des erreurs de programmation sont probablement à l'origine d'une partie de ces erreurs. Actuellement, l'algorithme utilisé identifie un point d'arrêt si la vitesse associée à une suite de positions se situe en dessous du seuil 0,5 km/h durant 3 minutes. Il est aussi probable que l'algorithme utilisé ne soit pas pertinent pour certains arrêts, notamment si l'information de vitesse donnée par le GPS n'est pas fiable. C'est pourquoi, nous avons récemment développé un nouvel algorithme basé sur un seuil de dispersion spatiale au lieu d'un seuil de vitesse, ce dernier a donné de bons résultats sur des traces filtrées.

CONCLUSION

Les enquêtes assistées par GPS constituent des pistes intéressantes pour l'avenir des enquêtes de mobilité. En effet, le développement des nouvelles technologies et notamment des techniques de géolocalisation permet aujourd'hui d'imaginer de nouveaux protocoles d'enquête. Nous avons émis l'hypothèse qu'une enquête « assistée » par les technologies de géolocalisation permettrait un gain significatif en termes de qualité de donnée pour la détection des arrêts et des déplacements. Pour cela, nous avons procédé à une étude comparative entre une enquête de mobilité classique, inspirée des enquêtes déplacements, et une enquête assistée. Pour l'enquête « assistée », nous avons dans un premier temps sélectionné un dispositif de géolocalisation puis

¹⁴ Par exemple, les seuils tel que $FIX=3D$ ou DGPS et $SAT \geq 5$ pourraient s'avérer pertinents.

défini un protocole expérimental. Par ailleurs un outil de traitement des données de géolocalisation a été, développé (TRACES DETECT), ainsi qu'un outil d'assistance à l'enquête (TRACES GEO).

Les résultats de cette étude comparative montrent qu'au niveau du recensement des arrêts et des déplacements, le protocole assisté n'atteint pas, quantitativement, le niveau de performance d'une enquête classique. Néanmoins, nous avons montré que l'enquête assistée permet de détecter certains arrêts et déplacements omis par les enquêtes au cours de l'enquête classique. En conclusion, une enquête assistée apporte un gain significatif de détection des arrêts et déplacements à une enquête classique, dans le cas où celles-ci sont utilisées de manière complémentaire. Notons que certaines limites de l'enquête assistée ont probablement pour cause principale des aspects techniques, notamment les algorithmes de filtrage et de détection des arrêts dont les limitations ont depuis été comblées.

Les enquêtes assistées n'ont pas pour vocation de remplacer à l'identique les enquêtes classiques. En revanche, elles se prêtent particulièrement bien à l'étude des itinéraires des personnes et de leurs patterns de mobilité et plus particulièrement s'il s'agit de mesurer des variations sur des durées importantes où la capacité à faciliter la re-mémorisation des traces GPS sera un élément déterminant de la qualité de l'enquête. Enfin, à l'instar de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD), une enquête assistée peut être appliquée à un sous-échantillon afin d'enrichir ou valider les données recueillies à partir du protocole d'enquête classique.

SUITE DES TRAVAUX ET PERSPECTIVES

Ces travaux, réalisés en 2011, avaient comme perspectives l'amélioration des méthodes de filtrage et d'identification des arrêts. Ces aspects ont, au moment de la publication de cet article, été grandement améliorés. Notamment, l'utilisation d'un algorithme basé sur un calcul de dispersion géométrique a permis une détection quasi-complète des arrêts sur des traces GPS correctement filtrées. Cependant, le dispositif de géolocalisation en lui-même reste un verrou de l'approche, du fait de pertes de données dues à l'absence de réception satellitaire ou de positions aberrantes difficilement filtrables. Des tests sur de nouveaux types de *loggers* disposant de puces GPS plus récentes n'ont pas donné de résultats significatifs. C'est pourquoi, nous envisageons actuellement l'utilisation de techniques de géolocalisation hybride telles que celles utilisées par les SmartPhones, même si l'autonomie pratique de ces dispositifs en géolocalisation continue se révèle très limitative. Cette suite de nos travaux a été réalisée dans le cadre des projets « MobiTrace » (Observer les trajets en temps et en espaces) soutenu par le PEPS du CNRS et « SM2D » (Structuration méthodologique des données de déplacements) soutenu par le pôle Usages des TIC- M@rsoin de la Maison des Sciences de l'Homme en Bretagne.

Une autre de nos perspectives, qui reste toujours d'actualité, concerne l'amélioration des outils « TRACES DETECT » et « TRACES GEO », qui nécessitent des améliorations fonctionnelles et ergonomiques. En effet, leur utilisation lors des expérimentations a confirmé la nécessité d'un outil intégré facilitant les passations

d'enquête. Ces travaux, qui nécessitent un investissement en développement informatique important, sont envisagés à court terme dans le cadre d'un projet financé. En outre, une réflexion plus générale devra être menée concernant les questions de protection des données liées à la *vie privée* lors d'une enquête assistée. Même si nous avons constaté qu'un tel protocole demeure relativement bien accepté, et que les participants n'ont pas exprimé de réticences particulières vis à vis de l'outil, les données issues d'un GPS sont potentiellement très intrusives. En effet, elles permettent une localisation très précise de tous les déplacements d'un individu, sans possibilité pour lui de les « omettre » discrètement au moment de l'entretien, comme il pourrait le faire lors d'une enquête classique. Le protocole que nous avons mis en place permettait aux personnes enquêtées de suspendre l'enregistrement des traces, donc de les effacer a priori. Cependant, il est également important de leur permettre de les « effacer » a posteriori en cas d'oubli ou de changement d'avis.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été en partie financé par le pôle MSTIC de l'Université Joseph Fourier dans le cadre du projet « TRACES » (Méta-évaluation des méthodologies pour l'analyse des modes et patterns de mobilité).

Nous remercions Ahmed LBATH, Nadine MANDRAN, Brigitte MEILLON et Sylvie PONS (LIG) ainsi que Anthony VERNAGALLO, Caroline DUVAL, Karam ELIAS (étudiants stagiaires au LIG) qui ont participé aux expérimentations et réalisé une partie des logiciels mis en œuvre au cours du projet.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMOOGUM, J., HUBERT, J.-P., BONNEL P., MADRE J.-L., (2007) *Préparer la prochaine enquête nationale transport avec un regard international*, Rapport IFSTTAR-Predit 3.
- AXHAUSEN K. W., GÄRLING T. (1992), Activity-based approaches to travel analysis: conceptual frameworks, models, and research problems, *Transport Reviews*, 12 (4), 323-341.
- BAILLEUL, H. et FEILDEL, B. (2011), Le sens des mobilités spatiales à l'épreuve des identités spatiales : un éclairage par le récit de vie spatialisé et l'herméneutique cartographique, in DEPEAU, S., RAMADIER, T. (dir), *Se déplacer pour se situer. Place en jeu, enjeux de classes*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 196 p.
- BAYARD, C., BONNEL, P. (2008), *Enquête web auprès des non-répondants de l'enquête ménages déplacements de Lyon 2005-2006*, Rapport final, Contrat PREDIT n°05MT5029, 260 p.
- CHAIX, B., MELINE, J., DUNCAN, S., MERRIEN, C., KARUSISI, N., PERCHOUX, C., LEWIN, A., LABADI, K., KESTENS, Y. GPS tracking in neighborhood and health studies: A step forward for environmental exposure assessment, a step backward for causal inference?, *Health & Place* vol 21, 46-51.

- CERTU. (1998), *L'enquête ménages déplacements « méthode standard : note méthodologique et annexes*, Bourg-en-Bresse, CERTU, 295 p.
- CHRISTOPHE S., ANDRÉ-POYAUD I., CHARDONNEL S., DAVOINE P.A., JAMBON F., LUTOFF C., et al., Human Behaviour Analysis during Remarkable Flood Episodes: Proposition of Automatic Survey Protocols based on Mobile Technologies, *Proceedings of the Workshop on "Movement Research: are you in the flow?"* AGILE 2010.
- CHRISTOPHE S., DAVOINE P.-A., JAMBON F., ANDRÉ-POYAUD I., CHARDONNEL S., LUTOFF C., LBATH A., Acquisition de connaissances sur les déplacements quotidiens des individus dans un contexte de risques naturels / Protocoles d'enquête à l'aide de technologies mobiles. *Spatial Analysis and GEomatics (SAGEO'2010)*, Toulouse, 2010.
- DOYEN E., POCHON M., KAUFMANN V., *Mobilité et modes de vie: l'offre CarPostal et les enchaînements d'activités*, Lasur, 2010.
- ELGETHUM K., FENSKE R. A., YOST M.G., PALCISKO G.J., Time-location analysis for exposure assessment studies of children using a novel global positioning system instrument, *Environment Health Perspectives*, vol 111 (1), 2003, p. 115-122.
- ETIENNE L., DEVOGELE T., BOUJU A., Analyse de similarité de trajectoires d'objets mobiles suivant le même itinéraire : Application aux trajectoires de navires, *Revue Ingénierie des Systèmes d'Information (ISI)*, numéro thématique Systèmes d'information et géolocalisation, Servigne, S., Zeitouni, K. (eds.), Hermès, Vol. 14 (5), 2009, p. 85-106.
- MUKARAMI, E., O'CONNOR, S., GOULD, J., (2009) Electronic Instrument Design and User Interfaces: Synthesis of a Workshop, in BONNEL et al (dir), *Transport Survey Methods, Keeping up with changing world*, UK, Emerald, 659 p.
- MUKARAMI, E., MOHAMMADIAN K. Draft of the Subcommittee TRB Annual Meeting New Technology, 12 Janvier, 2010.
- NGUYEN-LUONG et al., (2012), *Faisabilité d'une Enquête Globale Transports (EGT) intégrale par association d'un GPS, d'un SIG et d'un Système expert en Île de France*. Rapport Final, IAU-PREDIT, 95 p.
- SHOVAL, N., ISAACSON, M., (2010), *Tourist mobility and advanced tracking technologies*, New York, Routledge, 228 p.
- STOPHER, P. R., (2009), The travel Survey Toolkit, in Bonnel et al. (dir), *Transport Survey Methods, Keeping up with changing world*, UK, Emerald, 659 p.
- STOPHER, P. R., (2009), Collecting and processing data from mobile technologies, in Bonnel et al. (dir), *Transport Survey Methods, Keeping up with changing world*, UK, Emerald, 65.