



HAL
open science

Mobilités actives et santé : apports et limites d'un protocole de mesure de la marche et du vélo combinant des capteurs de mouvements (GPS et accéléromètres)

Renaud Misslin, Hélène Charreire, Christiane Weber, Christophe Enaux,
Thomas Bastian, Chantal Simon, Jean-Michel Oppert

► To cite this version:

Renaud Misslin, Hélène Charreire, Christiane Weber, Christophe Enaux, Thomas Bastian, et al.. Mobilités actives et santé : apports et limites d'un protocole de mesure de la marche et du vélo combinant des capteurs de mouvements (GPS et accéléromètres). *Cybergeo: Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2015, pp.707. 10.4000/cybergeo.26711 . hal-01888408

HAL Id: hal-01888408

<https://hal.science/hal-01888408>

Submitted on 5 Oct 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.



Mobilités actives et santé : apports et limites d'un protocole de mesure de la marche et du vélo combinant des capteurs de mouvements (GPS et accéléromètres)

Active mobility and health: contributions and limitations of a protocol for measuring walking and cycling combining motion sensors (GPS et accelerometer)

Renaud Misslin, Hélène Charreire, Christiane Weber, Christophe Eaux, Thomas Bastian, Chantal Simon et Jean-Michel Oppert



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/26711>

DOI : 10.4000/cybergeo.26711

ISSN : 1278-3366

Éditeur

UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA)



Référence électronique

Renaud Misslin, Hélène Charreire, Christiane Weber, Christophe Eaux, Thomas Bastian, Chantal Simon et Jean-Michel Oppert, « Mobilités actives et santé : apports et limites d'un protocole de mesure de la marche et du vélo combinant des capteurs de mouvements (GPS et accéléromètres) », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 707, mis en ligne le 18 janvier 2015, consulté le 05 octobre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/26711> ; DOI : 10.4000/cybergeo.26711

Ce document a été généré automatiquement le 5 octobre 2018.

© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

Mobilités actives et santé : apports et limites d'un protocole de mesure de la marche et du vélo combinant des capteurs de mouvements (GPS et accéléromètres)

Active mobility and health: contributions and limitations of a protocol for measuring walking and cycling combining motion sensors (GPS et accelerometer)

Renaud Misslin, Hélène Charreire, Christiane Weber, Christophe Enaud, Thomas Bastian, Chantal Simon et Jean-Michel Oppert

Cette recherche a été financée par l'Institut national du cancer (INCa SHS-EPS 2011-113, projet ACTI-Cités). Un soutien à cette recherche a également été apporté par la Fondation Le Roch. Les chercheurs tiennent à remercier Dany Nguyen (Institut d'aménagement et d'urbanisme, IAU Ile-de-France), Alice Bellicha (Institut cardiométabolisme et nutrition, ICAN, Paris) ainsi que l'ensemble des volontaires qui ont accepté de participer à cette étude.

Introduction

- 1 La nutrition, comprenant l'ensemble des comportements alimentaires et d'activité physique, fait partie des principaux facteurs de risque des maladies chroniques – aujourd'hui première cause de mortalité dans le monde (Expertise Inserm, 2008 ; 2014). Le risque de développer un cancer du côlon diminuerait de 17 % pour les individus ayant une activité physique régulière par rapport aux individus les moins actifs . Pour le cancer du sein, cette différence serait de l'ordre de 20 % . La pratique de l'activité physique a également été associée à une réduction du risque cardiovasculaire, à un meilleur contrôle

du poids corporel et à une diminution du risque de développer un diabète de type 2 (Physical activity guidelines advisory committee, 2008). À ces effets sur la santé physique s'ajoutent des bénéfices sur la santé mentale (Oppert *et al.*, 2005).

- 2 Cependant, la pratique d'activité physique dans la population générale diminue et le temps de sédentarité augmente, aussi bien dans le cadre professionnel que durant les loisirs et les déplacements quotidiens (Ricroch et Roumier, 2011 ; Ng et Popkin, 2012). Or les enquêtes (Enquête ménage déplacement - EMD, Enquête globale transport - EGT) et les études réalisées (Commissariat général au développement durable, 2010 ; Certu, 2012 ; 2013) montrent que l'usage de la voiture demeure prédominant sur l'ensemble du territoire, mais que la part des déplacements réalisés en voiture a diminué dans le centre des grandes agglomérations au profit des transports en commun et des modes de transport actifs (Orfeuil, 2008 ; Wiel, 2010 ; Vincent-Geslin et Kaufmann, 2012). Les déplacements actifs (marche, vélo) sur des trajets de courte distance pourraient représenter la principale source d'activité physique quotidienne. Par ailleurs, la marche – qui est l'activité physique la plus fréquemment pratiquée (Saelens *et al.*, 2003 ; Charreire *et al.*, 2010) – a l'intérêt de pouvoir être réalisée, à moindre coût et par une grande partie de la population.
- 3 C'est pourquoi, depuis quelques années, l'un des axes majeurs des campagnes de promotion de la santé est d'encourager la pratique de la marche et le vélo au quotidien (Oppert *et al.*, 2005 ; Ogilvie *et al.*, 2007). Des actions innovantes sont mises en œuvre à l'échelle locale, comme à Strasbourg où, depuis 2012, certains médecins peuvent prescrire l'utilisation de vélos en libre-service (Vélhop) à leurs patients . Ainsi, les mobilités pédestres et cyclistes – regroupées ici sous le terme de mobilités actives – sont devenues des enjeux importants de santé publique.
- 4 Par ailleurs, des études montrent que les caractéristiques physiques et sociales de l'environnement pourraient influencer l'utilisation de ces modes de transport actifs (Lee et Vernez-Moudon, 2006 ; Saelens et Handy, 2008 ; Fraser et Lock, 2011). À ces caractéristiques s'ajoutent des déterminants dits individuels (psychologiques, sociodémographiques, etc.). Les choix de la personne qui se déplace (dans le mode de transport et l'itinéraire) sont liés à sa connaissance des lieux et des aménités, ainsi qu'à son appréciation de l'environnement au sein duquel elle évolue. Cet ensemble de critères forme un système complexe dynamique (Ramadier, 2007) qu'il est difficile de mesurer. Dans notre travail, ces dimensions liées aux choix des personnes, aux représentations des modes et des environnements n'ont pas été évaluées. L'objectif est ici de tester un protocole de recherche pour évaluer la pratique de la marche et du vélo en vie réelle et identifier les localisations de ces pratiques : où la marche et le vélo sont-ils pratiqués ? Quand ? Combien de temps par jour ? À quelle fréquence ? Les mesures obtenues sont-elles fiables et exploitables ?
- 5 Recueillir ces informations sur les pratiques (fréquence, durée) et sur les lieux de pratique de la marche et du vélo est actuellement un enjeu méthodologique en santé publique comme en aménagement du territoire. En effet, bien que la problématique des mobilités actives ne soit pas récente dans les politiques d'aménagement, on assiste à un renouveau des questionnements propres à la place et au développement de la marche et du vélo en ville . En parallèle, les questions de santé, notamment celles en lien avec les mobilités, sont devenues des éléments clés des politiques d'aménagement aux échelles locale et nationale . Cependant, peu de données sur les pratiques et les itinéraires précis empruntés par les piétons et les cyclistes sont disponibles (Genre-Grandpierre et

Foltête, 2003). Face à ces différents constats, l'objectif principal de notre étude consiste à tester un protocole visant à évaluer la pratique de la marche et du vélo en tant que comportements de santé. Cet objectif soulève des questions d'ordre méthodologique sur l'utilisation combinée de différents capteurs permettant de mesurer et de localiser les déplacements à pieds ou à vélo. Aussi cet article présente le protocole méthodologique et les principaux résultats d'une étude expérimentale basée sur l'utilisation d'un dispositif multi-capteurs associant des mesures simultanées d'accélérométrie et de relevés GPS pour évaluer les mouvements corporels et leur localisation dans un objectif de santé publique.

Contexte de la recherche

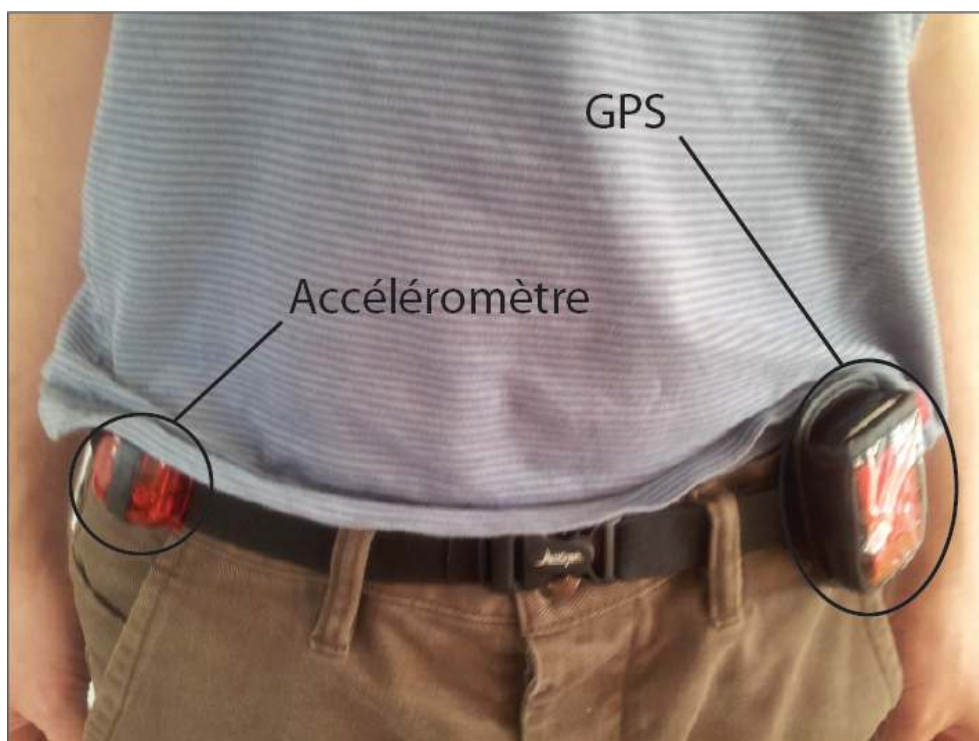
- 6 L'étude pilote et les méthodes proposées ont été développées dans le cadre d'un projet de recherche pluridisciplinaire ACTI-Cités, financé par l'Institut national du cancer (INCa), et associant des géographes, des médecins et des épidémiologistes. L'objectif général du projet de recherche ACTI-Cités est de mieux comprendre l'activité physique au quotidien, et plus particulièrement les pratiques liées aux transports actifs (marche, vélo) en tenant compte de certaines caractéristiques de l'environnement et des caractéristiques individuelles des sujets.
- 7 Si les carnets d'activités et les questionnaires permettent de caractériser les déplacements, ces outils ne permettent ni de connaître avec précision le niveau d'intensité physique de l'activité, ni d'identifier les lieux où sont réalisés les déplacements. De nouvelles méthodes de mesure et d'évaluation de l'ensemble des dimensions des mobilités actives doivent être proposées.
- 8 L'utilisation de données GPS pour identifier les déplacements et les lieux d'activité n'est pas nouvelle en géographie. Une méthode de restitution des cheminements et des lieux investis pour étudier le comportement spatial des enfants a, par exemple, été développée par Christophe Enaux et Alain Legendre (2010). Des études pilotes d'enquête ménage déplacement menées uniquement par GPS (« *GPS only* ») ont été réalisées dans les villes de Cincinnati dans l'Ohio aux États-Unis (The Greater Cincinnati Household Travel Survey (HTS) ; Giaimo *et al.*, 2010) et Sydney en Australie (Stopher et Wargelin, 2010). En France, une étude récente a évalué la faisabilité d'une enquête ménage déplacement en Île-de-France s'appuyant uniquement sur des données issues de capteurs GPS (Nguyen-Luong, 2012). Un travail combinant GPS et questionnaires a aussi été réalisé à Lyon (Chapon et Renard, 2009) et à Nice (Chapon *et al.*, 2011) pour mesurer les déplacements des personnes âgées et définir, à partir des relevés des capteurs GPS, les pratiques de l'espace au quotidien (Chapon *et al.*, 2011).
- 9 Dans le domaine de l'activité physique, l'usage des accéléromètres portables est l'une des approches fréquemment utilisées en recherche pour mesurer l'intensité et la durée des mouvements corporels (Chen *et al.*, 2012 ; Plasqui *et al.*, 2013). Ces appareils mesurent les accélérations induites par ces mouvements grâce à un ou plusieurs capteurs inertiels qui génèrent des signaux proportionnels à la force exercée. L'un des avantages de la technique est de pouvoir quantifier l'intensité et la durée de l'activité physique, même pour des intensités faibles, et de permettre une évaluation des périodes sédentaires (c'est-à-dire en dessous d'un seuil minimal d'activité).

- 10 L'originalité de la méthode proposée dans cette recherche repose sur la combinaison de ces deux types de capteurs : accéléromètres pour l'intensité du mouvement, et GPS pour la localisation grâce au calcul de positionnement par satellite. Ces méthodes de combinaison de capteurs sont actuellement en cours de développement aux États-Unis (Kerr *et al.*, 2011 ; Kang *et al.*, 2013 ; Brown *et al.*, 2014) et en Nouvelle-Zélande (Oliver *et al.*, 2010) où des projets de recherche se sont focalisés sur l'identification et la mesure de la marche (Kang *et al.*, 2013) et des transports actifs (Ellis *et al.*, 2014).

Utilisation de multi-capteurs : protocole de l'étude pilote

- 11 Dans le cadre de cette étude pilote, deux territoires d'étude (Paris et Strasbourg) ont été retenus afin de tester les résultats en fonction de différentes morphologies urbaines et des modes de transport public disponibles (tramway, métro). Au total, 28 volontaires adultes (14 dans chaque ville) ont été recrutés, dont 13 hommes et 15 femmes avec une moyenne d'âge de 41 ans à Paris (min : 23 ; max : 62) et de 38,4 ans à Strasbourg (min : 20 ; max : 77). Pour cette étude pilote, les adultes volontaires ont été recrutés dans l'entourage des chercheurs de l'étude.
- 12 Un « kit mobilité » composé d'une ceinture avec un accéléromètre et un récepteur GPS (Figure 1), d'un carnet d'activité sous forme papier, d'un dictaphone et d'un guide d'utilisation des appareils et du protocole de l'étude, a été remis à chacun des 28 sujets. Il leur était demandé de porter la ceinture sur laquelle étaient fixés l'accéléromètre (à droite) et le capteur GPS (à gauche), ceci pendant sept jours consécutifs du lever au coucher, sauf pendant la douche ou les activités aquatiques. L'utilisation du dictaphone avait pour objectif de permettre aux sujets d'enregistrer en direct leurs commentaires concernant leurs déplacements (horaires, impressions). Dans le cadre de cet article, l'utilisation et l'exploitation des informations issues du dictaphone ne sont pas décrites.
- 13 Un site internet dédié à l'étude pilote a été créé. Il était demandé aux sujets de reporter chaque soir sur le site les informations retranscrites au cours de la journée dans leur carnet d'activité papier. Pour chaque déplacement, les questions posées dans le carnet d'activité comme sur le site web étaient : la date, les horaires (départ et arrivée), les lieux (départ et arrivée), le(s) mode(s) de transport, si le sujet était accompagné lors du déplacement et l'intensité de l'activité telle que perçue par le sujet (sur une échelle de 1 (faible) à 3 (élevée)).
- 14 À la fin de la semaine de recueil des données, chaque sujet était invité à participer à un entretien pour évaluer l'acceptabilité du protocole ainsi que recenser et hiérarchiser les contraintes potentielles des méthodes utilisées.

Figure 1 : Port du GPS et de l'accéléromètre.



Description des capteurs de mouvement

Accéléromètre

- 15 L'accéléromètre est un appareil permettant de mesurer l'accélération selon un ou plusieurs axes orthogonaux (x, y, z ; proches des axes antéro-postérieur, dorso-ventral, et latéral du sujet). L'acquisition des données d'accélérométrie se fait à une fréquence définie par l'équipe de recherche (10 Hz dans notre étude). Les données recueillies sont exprimées en coup d'activité par minute (Tableau 1) et converties en niveau d'intensité d'activité physique à partir de seuils de référence (Freedson *et al.*, 1998). Par exemple, une activité inférieure à 100 coups/min indique une occupation de type « sédentaire ». Le modèle d'accéléromètre utilisé dans cette étude pilote est l'Actigraph GT3X+ qui est un accéléromètre tri-axial et le type le plus fréquemment utilisé dans la littérature scientifique internationale (Freedson, 2012).

Tableau 1 : Liste des informations recueillies par les différents capteurs.

Capteurs	Informations recueillies par les capteurs
GPS	Latitude
	Longitude
	Date/heure

	Vitesse (km/h)
	Nombre de satellites en vue
	Nombre de satellites utilisés
Accéléromètre	Coups/minute (intensité de l'activité physique)
	Date/heure

Capteur GPS

- 16 Le capteur GPS enregistre les coordonnées géographiques de positionnement. L'appareil enregistre également pour chaque couple de coordonnées : la date, l'heure, la vitesse, le nombre de satellites en vue (c'est-à-dire le nombre de satellites pouvant être utilisés pour calculer la position), ainsi que le nombre de satellites réellement utilisés pour réaliser les mesures de positionnement. Ces informations sur le nombre de satellites seront utilisées dans la suite de l'étude pour établir un ratio de précision des données géographiques. Nous avons utilisé un GPS récemment développé et largement utilisé dans les études en santé publique : le Qstarz BT-Q1000EX. Ce capteur a été sélectionné lors d'une précédente étude après une série de tests comparatifs entre différents modèles menés (Bastian *et al.*, 2012). Cette étude comparative, menée sous forme de parcours standardisés réalisés par 20 sujets dans la ville de Lyon, a également permis de tester et de définir le pas de temps de recueil du signal à 2 secondes (Bastian *et al.*, 2012). Une particularité technique de ce capteur est qu'il est équipé d'un bouton *on/off*, ce qui permet au sujet d'éteindre l'appareil lorsqu'il ne souhaite pas être localisé.

Méthode de traitement des données issues des capteurs

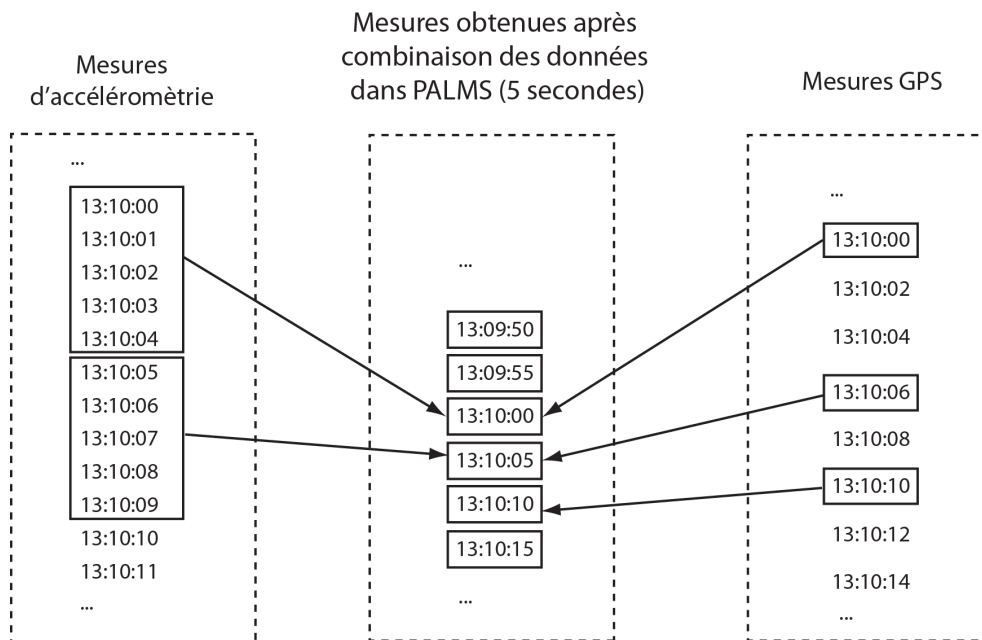
- 17 Les données issues des capteurs GPS et des accéléromètres ont été extraites à partir des logiciels spécifiques à chaque appareil (fournis par les fabricants, respectivement QTravel© et ActiLife©)¹. Après extraction des informations recueillies, la première étape consiste à combiner les deux sources de données pour qu'à chaque point GPS (couple de coordonnées géographiques) corresponde une information relative à l'intensité de l'activité physique du sujet en fonction de la date et l'heure du recueil. Dans une deuxième étape, ces données sont utilisées pour calculer des informations relatives aux déplacements.

Combiner les données recueillies par les capteurs de mouvement

- 18 La combinaison des données issues de l'accélérométrie et du positionnement par satellite a été réalisée à partir du logiciel PALMS©², développé à l'université de San Diego. Le principe de la combinaison de ces données repose sur l'heure et la date de chaque mesure enregistrée par les capteurs. Les données issues de l'accéléromètre sont, dans un premier

temps, traitées via le logiciel ActiLife© pour obtenir une mesure par seconde, puis dans un deuxième temps associées aux mesures issues du capteur GPS (une mesure toute les 2 secondes) tel que schématisé dans la figure 2. L'association des mesures est réalisée en effectuant une somme des valeurs de l'accéléromètre mesurées durant l'intervalle de temps que nous avons fixé à 5 secondes dans notre étude. À cette somme de mesures sont associées les coordonnées géographiques du premier point de la série de l'intervalle de temps concerné.

Figure 2 : Processus de combinaisons des données recueillies par le capteur GPS et par l'accéléromètre.



HH:mm:ss

D'après le guide d'utilisation de PALMS (Université de Californie, San Diego)

- 19 À la fin de cette étape, chaque point dispose d'informations relatives à la localisation géographique (latitude, longitude), à la vitesse (km/h), aux nombres de satellites, au nombre de coups par minutes ainsi que la date et l'heure (Figure 2). En moyenne le nombre de coordonnées géographiques (points) combinant les données recueillies par capteur GPS et par accéléromètre est d'environ 115 000 points par sujet lorsque les appareils ont été portés durant les 7 jours de l'étude.

Identifier les déplacements

- 20 Au sein de l'ensemble des points obtenus, un premier nettoyage de la base de données a été réalisé en excluant :
- les points dont la vitesse associée est supérieure à 150 km/h ;
 - les points identifiés comme uniques après une période de perte de signal GPS de plus de 10 minutes ;
 - les points enregistrés à l'intérieur d'un bâtiment (*indoor*, Tableau 2) en raison de l'imprécision des mesures dues à la perte du signal GPS, qui se traduisent par des clusters de points anarchiques autour du bâtiment à des distances plus ou moins importantes (Figure 3).

Dès lors, le ratio nombre de satellites en vue/nombre de satellites utilisés par le capteur fournit un indicateur pertinent pour identifier les relevés réalisés en intérieur vs en extérieur. Dans notre étude, les points dont le ratio était inférieur à 0,7 ont été exclus (Tableau 2). Ce seuil a été défini lors de l'étude comparative réalisée à Lyon (Bastian *et al.*, 2012).

Figure 3 : Imprécision des mesures GPS enregistrées lorsque le sujet est à l'intérieur d'un bâtiment ou d'une maison.

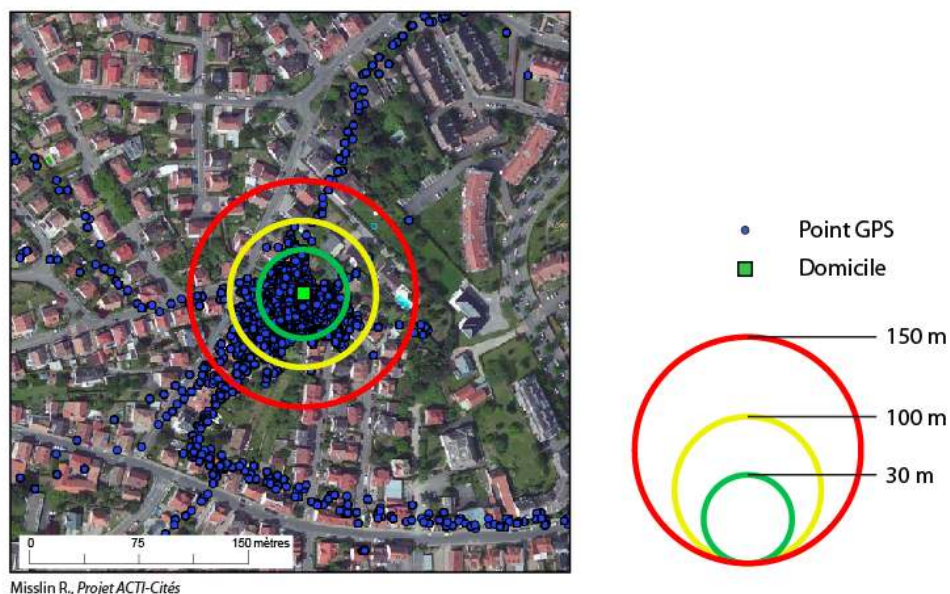


Tableau 2 : Liste des indicateurs élaborés après traitement des informations recueillies simultanément par GPS et accéléromètre.

Objectifs	Estimations		Indicateurs obtenus après traitement
	Méthodes	Seuils fixés	
Identifier les points à l'extérieur des bâtiments	Ratio du nombre de satellites en vue/satellites utilisés	Exclusion des points dont le ratio est <0,7	Statut du point (outdoor vs indoor)
Identifier les déplacements	En fonction de règles fixées pour la distance et la durée d'un déplacement ainsi que les temps de pause	Distance minimum parcourue en 1 minute : 50 m Distance minimum parcourue en un déplacement : 150 m Durée minimum d'un déplacement : 100 secondes Temps de pause minimum : 2 min et maximum : 5 min	Déplacement (oui/non) Numéro de déplacement

Identifier le mode de transport	Vitesse de déplacement	Voiture : [25-150[km/h Vélo : [10-25[km/h Marche : [2-10[km/h	Mode de transport
Identifier des lieux d'activité	Durée sans mouvement	Durée minimum stationnaire : 5 min	Numéro de lieu
Mesurer l'intensité de l'activité réalisée	En fonction du nombre de coups/minute (5 classes)	Seuils de Freedson* (Freedson <i>et al.</i> , 1998) Sédentaire : <100 coups/min Intensité faible : de 100 à 1953 coups/min Intensité modérée : 1953 à 5724 coups/min Intensité élevée : 5724 à 9498 coups/min Intensité très élevée : > 9498 coups/min	Intensité de l'activité

*Sédentaire : position immobile (assis par exemple) – Intensité faible : marche à faible allure – Intensité modérée : marche rapide, à une allure soutenue – Intensité élevée : course à pied type footing – Intensité très élevée : course à pied à une allure soutenue.

Caractériser les déplacements (vitesse, mode, lieux et intensité)

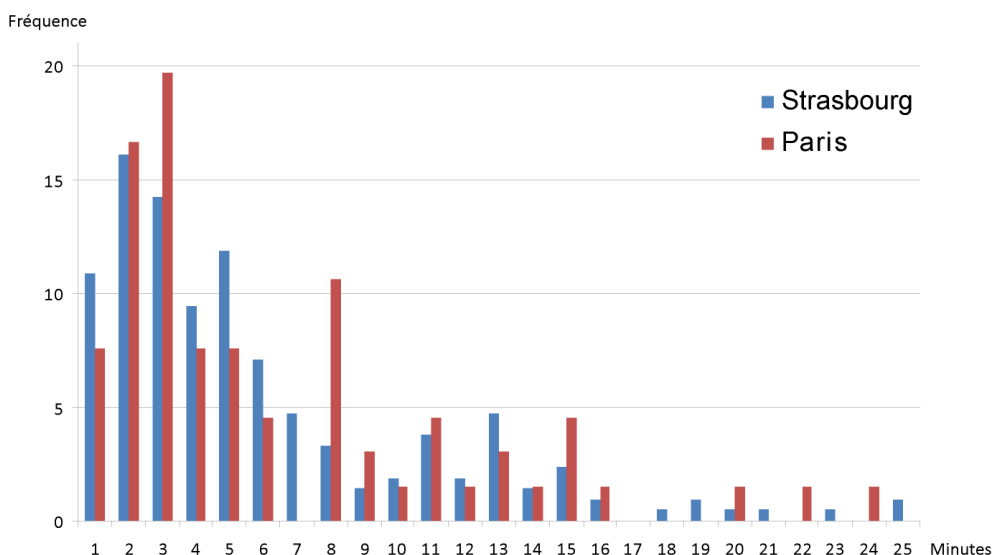
- 21 Les informations recueillies (Tableau 2) sont ensuite utilisées pour calculer la vitesse du déplacement, détecter le mode de transport et les lieux d'activité (origine, destination, trajet) et estimer l'intensité de l'activité réalisée. Pour chaque point, il est dès lors possible d'effectuer des calculs et des requêtes en ne retenant, par exemple, que les points dont l'intensité d'activité physique est supérieure à 100 coups/minute – ce qui correspond à une activité physique d'intensité faible, modérée ou élevée – ou de ne conserver que les points d'origine et de destination correspondant à un déplacement.

Comparaison des mobilités déclarées et mesurées

- 22 Après traitement, on dénombre une moyenne de 30 déplacements par sujet/semaine. Sur les 28 sujets de Strasbourg et de Paris, 6 n'ont pas été pris en compte dans le cadre des comparaisons entre données mesurées et données déclarées. Les sujets en question ont soit mal porté leur GPS et leur accéléromètre, soit mal rempli leur carnet d'activité. Les données étant incomplètes, les relevés n'ont pas pu être comparés.
- 23 Les horaires de départ et d'arrivée des déplacements déclarés par chaque sujet dans le carnet d'activité web et mesurés par le GPS ont été vérifiés. La figure 4 présente la distribution des écarts de temps entre ces horaires pour l'ensemble des déplacements à la

fois mesurés et déclarés par 22 sujets durant l'étude. Les écarts varient entre 0 et 28 minutes avec une grande majorité à moins de 5 minutes.

Figure 4 : Distribution des écarts de temps entre les horaires déclarés (carnet d'activité) et les horaires mesurés (GPS) dans les deux villes de l'étude (n =22).

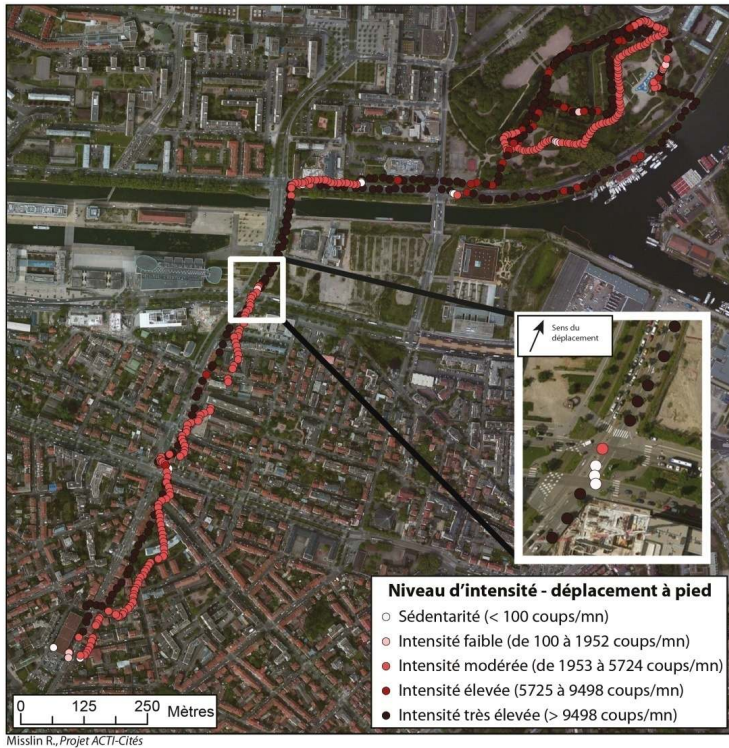


- 24 Ces résultats sont similaires à ceux observés dans l'étude de faisabilité d'une EGT par GPS où les deux tiers des écarts de temps entre déplacements déclarés vs mesurés par GPS étaient inférieurs à 5 minutes (Nguyen-Luong, 2012).
- 25 Ces écarts peuvent être liés à des imprécisions générées par le sujet et/ou par le capteur GPS. Les sujets ont en effet tendance à arrondir les horaires ou à reporter une approximation. Le temps de mise en route, d'acquisition et d'enregistrement des données par le GPS (« cold start »)³ peut varier en fonction du type de bâtiment d'où sort le sujet, du déplacement réalisé (dans le cas des trajets très courts par exemple) et de la morphologie urbaine (densité du bâti, hauteur des bâtiments ; Figure 7). Si ces erreurs d'approximation n'ont pas vraiment d'impact sur l'identification des déplacements longs, elles peuvent en revanche générer une sous-estimation des déplacements les plus courts.

Analyse des modes, lieux et intensité (physique) des déplacements

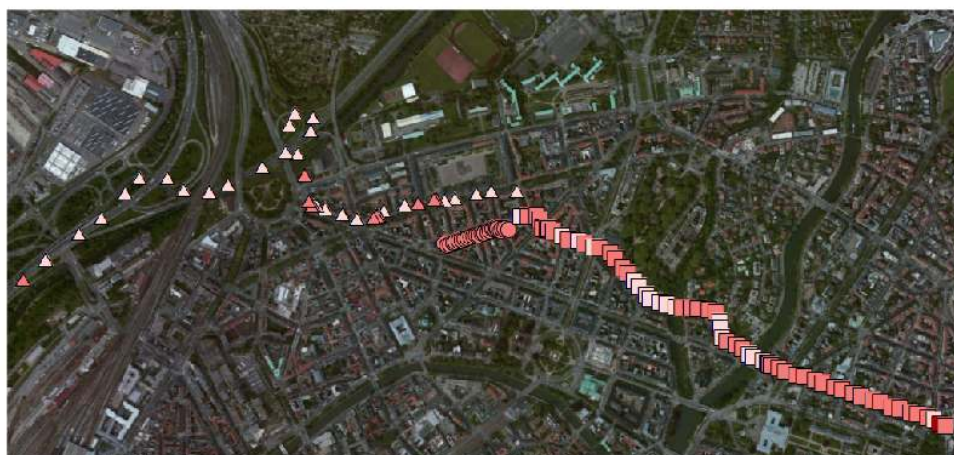
- 26 Dans notre étude, les mobilités actives représentent en moyenne 25 % du temps passé à pratiquer de l'activité physique durant la semaine de recueil. La figure 5 présente les déplacements d'un sujet réalisés à pied en distinguant les différents niveaux d'intensité d'activité associés à son déplacement. Les mesures d'intensité élevée (de 5 725 à 9 498 coups/min) et très élevée (> 9 498 coups/min) relatives à ce déplacement correspondent à des phases où le sujet est en train de courir. Durant cette course, certains points sont caractérisés par un niveau d'activité très faible (moins de 100 coups par minute : occupation sédentaire). Ces points correspondent à des arrêts marqués par le sujet et sont le plus souvent situés au niveau de croisements entre son itinéraire et des axes de circulation. Il est probable que ceux-ci correspondent au temps d'attente à des passages piétons pour effectuer la traversée.

Figure 5 : Identification des lieux de pratique et de l'intensité de l'activité physique liée à un déplacement réalisé à pieds entre le parc de la Citadelle et la place du Marché à Strasbourg.



- 27 Cependant, les relevés issus de l'accéléromètre et du GPS ne sont pas toujours aussi précis et diffèrent selon le mode de transport et le type d'environnement urbain (densité du bâti, hauteur des immeubles). La figure 6 montre un déplacement effectué à vélo dont la majorité des points est associée à un niveau d'intensité équivalent à une activité sédentaire (<100 coups/min). Le port de l'accéléromètre à la ceinture explique en partie l'imprécision des mesures d'intensité dans le cas du vélo. En effet, à vélo, les mouvements sont réalisés avec les jambes, le tronc ne bougeant que faiblement. Ces activités statiques au niveau de la taille sont donc parfois mal prises en compte par un accéléromètre porté à la ceinture (Freedson, John, 2012).

Figure 6 : Exemples de déplacements réalisés selon différents modes de transport : marche, vélo et voiture.



Misslin R., *Projet ACTI-Cités*

Mode de transport	Intensité de l'activité physique
○ Marche	□ Sédentarité (< 100 coups/mn)
□ Vélo	■ Intensité faible (de 100 à 1952 coups/mn)
△ Voiture	■ Intensité modérée (de 1953 à 5724 coups/mn)

- 28 Il serait possible d'améliorer la qualité des mesures d'intensité d'activité physique notamment pour les mobilités réalisées en vélo en améliorant les algorithmes de traitement des données (Doron *et al.*, 2013) ou en ajoutant – en plus de l'accéléromètre et du GPS à la taille – un accéléromètre à la cheville et/ou un cardio-fréquencemètre⁴ sur le torse. Cependant, les contraintes pour le sujet sont, pour l'instant, trop importantes pour réaliser ce type d'étude (combinant au moins 4 capteurs) en vie réelle ou sur de grands nombres de sujets.
- 29 Par ailleurs, les développements technologiques les plus récents permettent aussi d'imaginer, dans un avenir proche, le développement d'un multi-capteur unique, de très petite taille ou directement intégré dans un smartphone, combinant l'ensemble de ces outils de mesure. Certaines de ces technologies sont déjà proposées dans les appareils de type smartphone (GPS et accéléromètres) mais le niveau de précision de ces capteurs et les contraintes techniques (notamment l'autonomie de la batterie) doivent être mieux évalués. L'Institut d'aménagement et d'urbanisme (IAU) rappelle, par exemple, que ces applications sont de grandes consommatrices d'énergie qui nécessitent le rechargement de l'appareil au bout de quelques heures⁵.
- 30 L'effet de *cold start* et certaines situations particulières peuvent entraîner la perte du signal satellite par le GPS. Cette perte de signal se traduit soit par l'absence de données soit par des enregistrements de données peu précises voire aberrantes. Au cours des déplacements, la qualité de la réception du signal est impactée par la morphologie urbaine et les caractéristiques de l'environnement : une canopée végétale épaisse, un canyon urbain (rue étroite et immeuble haut), la réfraction du signal ou les zones blanches et tous déplacements sous terre (métro, tunnel) engendrent une perte de signal satellite ou des mesures moins précises. La figure 7 présente des relevés effectués à quelques secondes d'intervalle dans des secteurs très différents en termes de bâti (ville de Strasbourg). La partie sud de la carte est caractérisée par des rues larges et par de nombreux espaces ouverts : les relevés GPS sont précis et positionnés le long des axes

rouitiers. Dans la partie nord, où le bâti est beaucoup plus dense, la précision des relevés GPS est plus faible.

Figure 7 : Exemple de modification de la précision des relevés GPS en fonction de la morphologie urbaine.



Acceptabilité du protocole de mesure

- 31 Dans l'optique de réaliser ce type d'étude auprès d'un grand nombre de sujets et afin de limiter l'impact du port des capteurs sur les comportements des individus, la méthode de recueil proposée doit être la moins contraignante possible. Ainsi, l'acceptabilité du protocole de recherche par les participants a été évaluée a posteriori, après la semaine de recueil lors du deuxième entretien en face à face, au cours duquel leur était posée la question : « Quelle était selon vous la partie de l'étude la plus contraignante de l'étude ? Pourquoi ? ».
- 32 La majorité des sujets a déclaré que la partie la plus contraignante de l'étude était le remplissage du carnet d'activité web, et notamment le report des données sur internet (10 sujets), l'utilisation du dictaphone (9 sujets), la nécessité de recharger le GPS tous les soirs (2 sujets), le port de la ceinture (1 sujet), et enfin la surveillance du bouton *on/off* du GPS (1 sujet) pour éviter une fausse manipulation (éteindre le GPS).

Conclusion

- 33 Cette étude pilote a permis d'évaluer la faisabilité de l'utilisation d'une combinaison de différents capteurs (de localisation et de mouvement) pour mieux analyser la part des transports actifs dans les déplacements au sein des espaces urbains. L'analyse des

premiers résultats montre que, si elles ne sont pas parfaites, ces techniques permettent de répondre à certaines questions de recherche spécifiques. Dans le domaine de la santé publique, la combinaison de ces deux capteurs en situation de « vie réelle » permet : i) d'identifier les mobilités actives au quotidien et d'estimer la part de ces mobilités dans l'activité physique totale d'un individu ; ii) de localiser les lieux de pratique de ces activités dans la vie de tous les jours. Par ailleurs, la conduite de cette étude pilote a permis de mettre à jour les faiblesses et les forces du protocole et des méthodes développées.

- 34 Une partie des évolutions nécessaires est d'ordre méthodologique. L'imprécision de la mesure de l'activité physique lors des déplacements à vélo ainsi que la contrainte que représente le remplissage d'un carnet devra faire l'objet de réflexions futures. Par ailleurs, l'utilisation de capteurs tels que les GPS et accéléromètres ne permet pas d'obtenir des renseignements sur les motifs ou les motivations des déplacements – un questionnaire sous forme de carnet d'activité, par exemple, est dès lors nécessaire pour recueillir ces informations. Les solutions adoptées et les combinaisons d'outils dépendront des questions de recherche associées.
- 35 D'autres aspects d'ordre technologique doivent être améliorés : l'inaptitude des récepteurs GPS à mesurer les déplacements sur de très courtes distances et la perte du signal GPS. La morphologie urbaine impacte encore largement la continuité des signaux GPS et la qualité du recueil des données. Il est probable qu'une analyse plus fine et plus précise des déplacements puisse être réalisée dans les années à venir, en fonction des progrès technologiques dans le domaine du positionnement par satellite. Ces outils et méthodes devraient permettre de mieux connaître certaines dimensions des pratiques de la marche et du vélo qui répondent à la promotion des mobilités actives, enjeu majeur en santé publique et en planification urbaine.

BIBLIOGRAPHIE

Bastian T, Maire A., Misslin R. Oppert J.M., Enaux C., Kato A., Lefai E., Charreire H., Blanc S. , Weber C., Ropert-Coudert Y., Simon C., 2012, « Mesure objective de l'activité physique liée aux déplacements quotidiens : intérêt de l'utilisation couplée d'un GPS et d'un accéléromètre », Journées Françaises de Nutrition, Lyon, 12-14 décembre.

Brown B.B., Wilson L., Tribby C.P., Werner C.M., Wolf J., Miller H.J., Smith K.R., 2014, « Adding maps (GPS) to accelerometry data to improve study participants' recall of physical activity: a methodological advance in physical activity research », *British Journal of Sports and Medicine*, vol. 48, No.3,1054-1058.

Certu, 2012, « La mobilité urbaine en France principaux enseignements des années 2000-2010 », in *Mobilités et transport*, Editions CERTU, Coll. « Essentiel ».

Certu, 2013. « 30 ans de PDU en France. L'âge de la maturité ? », in *Mobilités et transport*, Editions CERTU, Coll. « Essentiel ».

Chapon P.M., Renard F., Gueslot J., Dautan M., Mallea P., Robert Ph., Guérin O., 2011, « Analyse des territoires de vie et de la mobilité de personnes âgées au moyen de traceurs GPS », *Annales de géographie*, vol. 679, No.3, 320-333.

Chapon P.M., Renard F., 2009, « Construire des logements adaptés aux personnes âgées : une analyse par les territoires de vie à Lyon (France) », *Geographica Helvetica*, vol. 64, No.3, 164-174.

Charreire H., Casey R., Salze P., Kesse-Guyot E., Simon C., Chaix B., Banos A., Badariotti D., Touvier M., Weber C., Oppert J.M., 2010, « Leisure-time physical activity and sedentary behavior clusters and their associations with overweight in middle-aged French adults », *International Journal of Obesity*, vol. 34, No.8, 1293-1301.

Chen K.Y., Janz K.F., Zhu W., Brychta R.J., 2012, « Redefining the roles of sensors in objective physical activity monitoring », *Medicine & Science in Sports Exercise*, vol. 44, No.1, 13-23.

Claudon O., 2012, « Des vélos sur ordonnances », *Dernières Nouvelles d'Alsace*, <http://www.dna.fr/edition-de-strasbourg/2012/04/01/velhop-sur-ordonnance>.

Commissariat général au développement durable, 2010, *La mobilité des Français, panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008*, Paris, Service de l'observation et des statistiques, Coll. « La Revue » du Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD).

Doron M., Bastian T., Maire A., Perrin E., Oudre L., Ovigneur H., Gris F., Francis A.L., Antonakios M., Guillemaud R., Villars C., Dugas J., Bourdin M., Deschamps T., Bianchi P., Caritu Y., Simon C., Jallon P., 2013. « SVELTE: Evaluation device of energy expenditure and physical condition for the prevention and treatment of obesity-related diseases through the analysis of a person's physical activities », *Ingénierie et Recherche Biomédicale*, vol. 34, No.2, 08-112.

Ellis K., Godbole S., Marshall S., Lanckriet G., Staudenmayer J., Kerr J., 2014, « Identifying active travel behaviors in challenging environments using GPS, accelerometers, and machine learning algorithms », *Front Public Health*, vol. 2, No.36, 1-8.

Enaux C., Legendre A., 2010, « Méthode d'identification des lieux investis par des enfants de six à onze ans dans leur espace de vie urbain quotidien », in Danic I., David O., Depeau S. (dir.), *Enfants et jeunes dans les espaces du quotidien*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, Coll. « Géographie sociale », 89-102.

Fraser S.D., Lock K., 2011, « Cycling for transport and public health: a systematic review of the effect of the environment on cycling », *European Journal of Public Health*, vol. 21, No.6, 738-743.

Freedson P.S., Melanson E., Sirard J., 1998, « Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer », *Medicine & Science in Sports Exercise*, vol. 30, No.5, 777-781.

Freedson P.S., John D.P., 2012, « ActiGraph and actical physical activity monitors: a peek under the hood », *Medicine & Science in Sports Exercise*, vol. 44, No.1, S86-89.

Genre-Grandpierre C., Foltête J.C., « Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Dossiers, 3ème colloque du Groupe de Travail Mobilités spatiales et fluidité sociale (GT23) : Offre urbaine et expériences de la mobilité, Strasbourg, France 20-21 et 22 mars 2003.

Gaiimo G., Anderson R., Wargelin L., Stopher P., 2010, « Will it work? Pilot results from the first large-scale GPS-based household travel survey in the United States », *Transport Research Board 89th Annual meeting*, Washington D.C., 10-14 janvier.

INCa, 2012, « Activité physique et cancers », *Fiches repères*, Institut National du Cancer.

- INSERM, 2008, « Activité physique - Contextes et effets sur la santé », Expertise collective.
- INSERM, 2014, « Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité physique », Expertise collective.
- Jacobi D., Charles M.A., Tafflet M., Lommez A., Borys J.M., Oppert J.M., 2009, « Relationship of self-reported physical activity domains with accelerometry recordings in French adults », *European Journal Epidemiology*, vol. 24, No.4, 171-179.
- Kang B., Moudon A.V., Hurvitz P.M., Reichley L., Saelens B.E., 2013, « Walking objectively measured: classifying accelerometer data with GPS and travel diaries », *Medicine & Science in Sports Exercise*, vol. 45, No.7, 1419-1428.
- Kawachi I., Berkman L., 2003, *Neighborhoods and Health*, New York, Oxford University Press Inc.
- Kerr J., Duncan S., Schipperijn J., 2011, « Using global positioning systems in health research: a practical approach to data collection and processing », *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 41, No.5, 532-540.
- Lee C., Vernez Moudon A., 2006 « Correlates of walking for transportation or recreation purposes », *Journal of Physical Activity and Health*, vol. 3, No.1 suppl, S77-S98.
- Ng S.W., Popkin B.M., 2012, « Time use and physical activity: a shift away from movement across the globe », *Obesity Review*, vol. 13, No.8, 659-680.
- Nguyen-Luong D., 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, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région d'Île-de-France (IAU IdF).
- Ogilvie D., Foster C.E., Rothnie H., Cavill N., Hamilton V., Fitzsimons C.F., Mutrie N., 2007, « Interventions to promote walking: systematic review », *British Medical Journal*, vol. 334, 1204-1214.
- Oliver M., Badland H., Mavoa S., Duncan M.J., Duncan S., 2010, « Combining GPS, GIS, and accelerometry: methodological issues in the assessment of location and intensity of travel behaviors », *Journal Physical Activity and Health*, vol. 7, No.1, 102-108.
- OMS, 2008, *Plan d'action 2008-2013 pour la stratégie mondiale de lutte contre les maladies non transmissibles*, Bibliothèque de l'OMS, Organisation mondiale de la santé.
- Réseau français des Villes-Santé de l'OMS, 2013, *Mobilités actives au quotidien, le rôle des collectivités*, Paris, Presses de l'École des hautes études en santé publique.
- Oppert J.M., Simon C., Riviere D., Guezennec C., 2005, *Activité physique et santé, arguments scientifiques pistes pratiques*, Paris, Société Française de Nutrition.
- Orfeuil J.-P., 2008, *Mobilités urbaines : l'âge des possibles*, Paris, Les Carnets de l'info, Coll. « Modes de ville ».
- Physical Activity Guidelines Advisory committee, 2008, *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report*, Washington DC, US Department of Health and Human Services.
- Piombini A., 2006, *Modélisation des choix d'itinéraires pédestres en milieu urbain : approche géographique et paysagère*, Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté - UMR 6049 CNRS, Besançon.
- Plasqui G., Bonomi A.G., Westerterp K.R., 2013, « Daily physical activity assessment with accelerometers: new insights and validation studies ». *Obesity Reviews*, vol. 14, No.6, 451-462.

- Ramadier T., 2007, « Mobilité quotidienne et attachement au quartier : une question de position ? », in Authier J.Y., Bacqué M.H., Guerin-Pace F. (dir.), *Le quartier : Enjeux scientifiques*, Paris, La Découverte, Coll. « Recherche », 127-138.
- Ricroch L., Roumier B., 2011, « Depuis 11 ans, moins de tâches ménagères, plus d'Internet », *Insee Première*, No.1377.
- Saelens B.E., Sallis F., Franck L.D., 2003, « Environmental correlates of walking and cycling findings from transportation, Urban Design, and Planning literatures », *Annals of Behavioural Medicine*, vol. 25, No.2, 80-91.
- Saelens B.E., Handy S.L., 2008, « Built environment correlates of walking: a review », *Medicine & Science in Sports Exercise*, vol. 40, No.7 suppl, S550-S566.
- Stopher P., Wargelin L., 2010, « Conducting a household travel survey with GPS: reports on a pilot study », *12th World Conference of Transport Research*, Lisbonne, 11-15 juillet.
- Vincent-Geslin S., Kaufmann V., 2012, *Mobilité sans racines : Plus loin, plus vite... plus mobiles ?*, Paris, Éditions Descartes & Cie, .
- Wiel M., 2010, *Etalement urbain et mobilité*, La Documentation Française, Paris.

NOTES

1. Les logiciels QTravel et ActiLife permettent la récupération, l'analyse et la gestion des données issues respectivement de capteur GPS de type Qstarz (<http://www.qstarz.com/Products/Software%20Products/QTravel-F.html>) et d'accéléromètre de type Actigraph (<http://www.actigraphcorp.com/product-category/software/>).
2. *Physical activity measurement system*: <http://ucsd-palms-project.wikispaces.com/>
3. Le « cold start » ou départ à froid se produit lorsque le GPS est resté éteint ou sans signal durant plusieurs heures. Lorsqu'il est rallumé, celui-ci peut mettre plusieurs minutes à retrouver le positionnement des satellites.
4. Le cardiofréquencemètre a pour objectif d'enregistrer les battements cardiaques pour en définir la fréquence, il se compose d'une montre et d'une ceinture thoracique avec électrodes. La fréquence cardiaque est corrélée à la dépense d'énergie lors d'une activité physique donnée.
5. IAU-IDF : <http://www.iau-idf.fr/egtpargps/>.

RÉSUMÉS

Les mobilités urbaines représentent un ensemble de comportements complexes à appréhender et difficiles à mesurer. Indépendamment des choix et des motivations individuelles, ces comportements peuvent être influencés par les caractéristiques de l'environnement urbain. Les mobilités actives, représentées par la marche et le vélo, sont peu étudiées en tant que comportements de santé alors que l'activité physique est l'un des déterminants des principales pathologies chroniques (maladies cardio-vasculaires, diabète, obésité, certains cancers). Promouvoir les mobilités actives (la marche et le vélo) apparaît aujourd'hui comme une priorité de santé publique. L'un des enjeux de recherche dans ce domaine est de mieux mesurer ces

mobilités actives, dans un contexte de « vie réelle », et de mieux identifier leurs lieux de pratique. Dans ce cadre, cet article présente une méthode de recueil et de traitement des données basée sur la combinaison de capteurs de mouvements (GPS et accéléromètre) et l'implémentation des données recueillies dans un système d'information géographique. Si cette étude pilote montre les limites de l'utilisation de tels capteurs, la méthode proposée offre des potentialités importantes.

Urban mobility represents a set of complex behaviors, which are difficult to measure. Independently of individual choices and motivations, these behaviors may be influenced by urban environmental characteristics. The level of physical activity is well recognized as a major determinant in the development of several chronic diseases, such as cardiovascular diseases, diabetes, the obesity and some cancers. Increasing the PA level in the population through the promotion of active mobility is considered as a public health priority in France. However, there is a lack of data for analyzing active mobility (walking and cycling) as a health behavior. One of the main research challenges in this field is to better measure active mobility (in a real life context) and, at the same time, to better locate and identify places where the activity is performed. In this pilot study, we describe a method for collecting and processing data on active mobility combining motion sensors capacities (GPS and accelerometer) and implementing collected data in a Geographic Information System. Despite some limitations, the use of multi-sensor may hold potentials for collecting objective data on active mobility at a large scale.

INDEX

Mots-clés : mobilités actives, GPS, accéléromètre, santé, activité physique, environnement urbain

Keywords : active mobility, GPS, accelerometer, health, physical activity, urban environment

AUTEURS

RENAUD MISSLIN

Université Paris-Est, Institut d'Urbanisme de Paris, Lab'Urba, UPEC
renaud.misslin@gmail.com

HÉLÈNE CHARREIRE

Maître de Conférences, Université Paris-Est, Institut d'Urbanisme de Paris, Lab'Urba, UPEC
helene.charreire@u-pec.fr

CHRISTIANE WEBER

Directrice de Recherche, UMR 7362 - Laboratoire Image, Ville et Environnement, Université de Strasbourg - CNRS,
christiane.weber@live-cnrs.unistra.fr

CHRISTOPHE ENAUX

Professeur, UMR 7362 - Laboratoire Image, Ville et Environnement, Université de Strasbourg - CNRS,
christophe.enaux@live-cnrs.unistra.fr

THOMAS BASTIAN

Post-Doctorant, CARMEN, Inserm U1060/Université de Lyon 1/INRA U1235 ; CRNH Rhône-Alpes ;
CENS ;
t.bastian@gmx.com

CHANTAL SIMON

Professeur, CARMEN, Inserm U1060/Université de Lyon 1/INRA U1235 ; Service d'Endocrinologie,
Diabète et Nutrition, Hospices Civils de Lyon ; CRNH Rhône-Alpes ; CENS ;
chantal.simon@recherche.univ-lyon1.fr

JEAN-MICHEL OPPERT

Professeur, Université Pierre et Marie Curie ; Service de Nutrition, Pitié-Salpêtrière (AP-HP) ;
Institut Cardiométabolisme et Nutrition (ICAN) ; Chercheur associé, Équipe de Recherche en
Epidémiologie Nutritionnelle, Université Paris 13, UMR 1153 Inserm, Inra, Cnam, Centre de
Recherche en Epidémiologie et Biostatistiques Sorbonne Paris Cité ; CRNH IdF ;
jean-michel.oppert@psl.aphp.fr