

**MOBILITÉS ACTIVES, VILLE ET SANTÉ :  
VERS DE NOUVELLES APPROCHES DE  
RECUEIL DES DONNÉES D'ACTIVITÉ  
PHYSIQUE**

Mémoire de master 1, géographie de la santé

Directrice de mémoire : Hélène Charreire

Renaud Misslin  
renaud.misslin@gmail.com

Année Universitaire 2011/2012

## SOMMAIRE

Résumé .....	4
Remerciements .....	5
Introduction.....	6
1. Contexte .....	8
1.1. L'activité physique: un déterminant de la santé .....	8
1.1.1. Les effets de l'activité physique sur la santé .....	8
1.1.2. Les bénéfices des déplacements actifs .....	8
1.1.3. Promotion des transports actifs .....	10
1.2. L'environnement urbain : un des déterminants de l'utilisation des transports actifs ? .....	12
1.2.1. Les caractéristiques de l'environnement physique pouvant influencer la pratique des transports actifs .....	13
1.2.2. L'action publique : la place faite à la marche et au vélo dans la ville dans le développement urbain .....	21
1.2.3. Evaluer ces déterminants : les outils existants et leurs limites.....	23
1.3. Une méthode innovante pour mieux mesurer l'activité physique dans l'environnement de vie : l'approche multi-capteurs .....	25
1.3.1. Mesurer l'activité physique .....	25
1.3.2. Evaluer les mobilités et les lieux d'activités .....	26
1.3.3. Combinaison d'accéléromètres et de GPS : revue de la littérature internationale .....	32
2. Cadre de l'étude pilote .....	35
2.1. Protocole de recherche : l'organisation de l'étude pilote .....	35
2.1.1. Protocole d'utilisation du GPS et de l'accéléromètre .....	36
2.1.2. Carnet d'activité web .....	39
2.1.3. Dictaphone .....	42
2.2. Méthode de traitement des données .....	43
2.2.1. Combiner les différentes données : l'apport du logiciel PALMS.....	43
2.2.2. Traitement croisé des données GPS/accéléromètre.....	47
2.2.3. Un Système d'Information Géographique pour vérifier et analyser les données .....	49
2.3. Projection des données brutes : identification des problèmes à résoudre .....	53
2.3.1. Les clusters de points .....	53
2.3.2. Les points aberrants.....	54
2.3.3. Les mesures et le réseau routier IGN .....	55
3. Résultats méthodologiques : comment répondre aux questions posées par les problèmes identifiés ? .....	56
3.1. Résultats de la méthode de nettoyage automatisée .....	56
3.1.1. Analyse globale .....	56
3.1.2. La position des points pour les lieux de départ et d'arrivée.....	58
3.1.3. Les mesures et le bâti .....	60
3.2. Vérification de la méthode automatique et couplage avec les données déclarées ...	63
3.2.1. Vérification de la méthode de nettoyage automatique par une méthode manuelle .....	63
3.2.2. Couplage des déplacements mesurés et déclarés .....	65
3.2.3. Vérification de la cohérence générale des déplacements : horaires, mode de transports et lieux fréquentés.....	67
4. Résultats des traitements, analyse et limites .....	70

4.1.	Résultats de l'étude-pilote de Strasbourg .....	70
4.1.1.	Résultats généraux des données GPS, accéléromètres : analyse des données brutes .....	70
4.1.2.	Croisement des données mesurées avec les données déclarées dans le carnet d'activité .....	73
4.1.3.	Exemples de résultats cartographiques (moyens de transport utilisés et intensité de l'activité physique) .....	77
4.2.	L'analyse des données issues de relevés multi-capteurs à partir d'un SIG : qu'est-il possible de faire ? .....	80
4.2.1.	Pourquoi ces informations ? .....	80
4.2.2.	Proposition d'analyse statistique utilisant les différentes données collectées..	85
4.3.	Limites et perspectives d'évolution de la méthode développée .....	89
4.3.1.	Limites : l'étude et les sujets .....	89
4.3.2.	Les limites dues aux appareils et aux logiciels utilisés .....	93
4.3.3.	Amélioration du protocole de recherche .....	94
	Conclusion .....	97
	Table des figures .....	98
	Bibliographie .....	100
	Table des sigles .....	103
	Annexes .....	104

**Keywords:** Active transport, mobility, physical activity, GPS, accelerometer, health, urban environment, pilot study

**Abstract:**

Today, chronic and degenerative diseases represent the main cause of mortality in the world. Most of these diseases were linked with the occidental current way of life and more particularly with the nutritional behavior (malnutrition and lack of physical activity). In the physical activity field, encouraging active mobility has become a priority of public health policies. Characteristics of the urban environment can facilitate or limit active mobility. Modifying these characteristics in order to support active mobility requires a precise and extended knowledge of these characteristics and their links with physical activity behavior. Therefore, one of the research challenges in this field is to assess active mobility in real-life context. In a pilot study, we tested multi-sensor methods using both GPS receiver and accelerometry-based movement counter. The purpose of this study is to test out this multi-sensors method, to analyze the main results, to identify its strengths and weaknesses and to suggest future developments that can be provided to the method.

**Mots-clés:** Transport actif, mobilité, activité physique, GPS, accéléromètre, santé, environnement urbain, étude-pilote

**Résumé :**

Aujourd'hui, les maladies chroniques et dégénératives représentent la cause principale de mortalité dans le monde. La plupart d'entre-elles ont été mises en relation avec le mode de vie des sociétés occidentales et plus particulièrement avec leur comportement nutritionnel (malnutrition et manque d'activité physique). Dans le domaine de l'activité physique, encourager les mobilités actives (la marche et le vélo) apparaît maintenant comme une priorité des politiques de santé publique. Les caractéristiques de l'environnement urbain peuvent faciliter ou limiter la pratique des mobilités actives. Modifier ces caractéristiques urbaines dans le but de favoriser la pratique de ce type de mobilités nécessite une connaissance vaste et précise de ces caractéristiques et des relations qu'elles entretiennent avec l'activité physique. Actuellement, un des challenges de la recherche dans ce domaine est de mesurer les mobilités actives dans leur contexte réel. Dans une étude-pilote, nous avons testé des méthodes de recueil de données issues de relevés multi-capteurs utilisant des GPS et des accéléromètres. Le but de cette étude est de tester cette méthode, d'analyser ses principaux résultats, d'identifier ses forces et ses faiblesses et de suggérer des perspectives de développement.

## **Remerciements**

Les quatorze personnes, amis, membres de ma famille ou connaissances qui ont accepté de participer à cette étude et de se plier à ses contraintes,

Hélène Charreire, pour son implication, sa disponibilité, ses conseils et son aide précieuse,

Jean-Michel Oppert, pour m'avoir associé au projet ACTI-Cités et pour l'aide qu'il m'a apporté en matière d'accélérométrie,

Christophe Enaux, pour l'aide qu'il m'a apporté sur l'élaboration du protocole de recherche,

Thomas Bastian pour son aide et ses idées concernant le protocole de mesure,

Alice Bellicha pour l'aide et les connaissances qu'elle m'a apportées au sujet du traitement des données d'accélérométrie,

Gilles Misslin pour ses conseils techniques avisés et ses cours de programmation,

Bertrand Neu, pour les informations précises qu'il a pu me fournir sur les aménagements de la commune d'Eckbolsheim,

Arnaud Piombini pour les connaissances et les idées qu'il m'a apportées,

Et plus généralement, je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé et m'ont conseillé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

## INTRODUCTION

Aujourd'hui, les maladies chroniques et dégénératives représentent la cause principale de mortalité dans le monde (OMS 2008). Une grande partie de celles-ci pourrait être évitée. L'apparition de ces maladies étant liée au mode de vie de ceux qui les contractent, ceci passe par une réduction des facteurs qui influencent les comportements favorisant leur apparition (OMS 2008). Ces facteurs concernent notamment les habitudes contemporaines en termes d'alimentation et d'activité physique. En effet, l'état biologique, physiologique et psychologique des individus est étroitement lié aux comportements individuels et à l'environnement de vie ; liens qui prennent la forme de boucles rétroactives complexes et non linéaires.

Le temps de sédentarité de la population mondiale augmente sans cesse depuis de nombreuses années, aussi bien dans le cadre des occupations professionnelles que durant les loisirs (Ricroch and Roumier 2011). En parallèle, la place de l'automobile au quotidien n'a cessé d'augmenter depuis les années 1980 (Solere and Murard 2010). Or, la plupart des déplacements quotidiens sont des déplacements de courte distance dont une grande partie est effectuée en voiture. Du fait de l'augmentation du temps de sédentarité pendant les temps de travail et de loisir, les déplacements actifs (marche, vélo) sont devenus la principale source d'activité physique quotidienne pour beaucoup d'individus. Face à ces constats, les mobilités quotidiennes actives représentent un enjeu majeur en termes de santé publique.

Des études internationales montrent que l'environnement (physique, social, psychologique, politique) peut influencer l'utilisation de ces modes de transports actifs (Zenk, Schulz et al. 2011). Ceci est particulièrement vrai en milieu urbain. Ainsi, l'influence de l'environnement physique sur les pratiques d'activité physique au cours des déplacements devrait être davantage pris en compte lors de l'aménagement (ou réaménagement) des espaces urbains.

Dans le but d'élaborer des projets de renouvellement urbain adaptés aux situations locales et aux pratiques en termes de mobilités, il est aujourd'hui nécessaire d'évaluer avec précision les liens qu'entretiennent ces aménagements avec la pratique des transports actifs. Dans la littérature internationale, les environnements de vie sont souvent évalués par des questionnaires et/ou des entretiens (Bricka, Sen et al. 2012). Si la mesure de l'environnement par questionnaire permet de prendre en compte les représentations que les individus ont de leur environnement, ces méthodes ne permettent pas de connaître, avec précision, les lieux de ces pratiques, et notamment de la marche et du vélo.

Afin de mieux connaître ces lieux de pratique dans les espaces urbains, de nouvelles méthodes d'évaluation doivent être proposées : l'intensité physique peut être évaluée avec précision par l'accélérométrie et localisée grâce au calcul de positionnement par satellite. Ces méthodes sont actuellement en cours de développement dans différents projets de recherche aux Etats-Unis (Seattle Obesity Study) ou en Nouvelle Zélande (GPS-HRN).

Face à ces différents constats, comment mieux appréhender les différences spatiales de mobilités actives en tant que comportement de santé au sein des espaces urbains ? Afin de répondre à cette question, notre objectif principal sera de mener une étude-pilote permettant l'élaboration d'une méthode de recueil de données issues de relevés multi-capteurs (GPS et accéléromètre).

La réalisation de cet objectif passe par la conception d'un protocole de recherche et par la préparation et la conduite d'une étude-pilote. Celle-ci a été réalisée au travers de plusieurs étapes :

- Réalisation d'une bibliographie internationale sur les mesures d'activité physique et de localisation dans les transports actifs ;
- Élaboration d'un protocole de recueil et de traitement des données ;
- Construction d'une base SIG permettant l'analyse des données.

La première partie de ce mémoire a pour objectif d'exposer le contexte dans lequel cette étude-pilote a été menée. La seconde partie sera consacrée à la description des outils utilisés et à la présentation du protocole de traitement élaboré. La troisième partie présente les principaux résultats de ces traitements. La quatrième et dernière partie de ce mémoire synthétise l'analyse générale des données traitées, présente des perspectives d'analyses futures et expose les limites et les évolutions potentielles des méthodes proposées.

## **1. Contexte**

### **1.1. L'activité physique: un déterminant de la santé**

#### **1.1.1. Les effets de l'activité physique sur la santé**

L'influence de l'activité physique sur l'état de santé des populations fait l'objet d'un intérêt spécifique de la part des épidémiologistes et des spécialistes de la nutrition. La notion « d'activité physique habituelle » désigne « *tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques qui entraîne une augmentation substantielle de dépense d'énergie au-dessus de la valeur de repos* » (Oppert 2011). L'activité physique ne concerne donc pas uniquement les pratiques sportives, mais toutes celles qui peuvent être pratiquées dans la vie professionnelle et dans la vie courante.

De nombreuses études ont évalué les relations entre l'activité physique et les pathologies chroniques (certains cancers notamment). Par exemple, le risque de contracter un cancer du côlon diminuerait de 17% pour les individus les plus actifs par rapport aux individus les moins actifs (INCa 2012). 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 des risques cardiovasculaires et une limitation du risque d'obésité. Enfin, certaines études ont démontré que le faible niveau d'activité physique était significativement associé à la forte prévalence de diabète de type 2 (OMS 2008).

À ces effets positifs sur la santé physique s'ajoutent des bienfaits sur la santé psychologique et cognitive. La pratique d'une activité physique régulière permettrait de lutter de manière efficace contre la dépression et est associée à une réduction du risque de développer la maladie d'Alzheimer. (Oppert, Simon et al. 2005).

De manière générale, les individus les plus actifs présentent des taux de mortalité moins élevés que les individus les moins actifs (toutes causes de décès confondues) (OMS 2010).

#### **1.1.2. Les bénéfices des déplacements actifs**

Le champ de l'étude de l'activité physique est longtemps resté cantonné à la seule pratique sportive. Cette pratique concerne généralement une activité de forte ou très forte intensité. Les scientifiques ont progressivement pris conscience de l'étendue réelle de l'activité physique et des possibilités qu'offraient les activités quotidiennes pour la pratiquer.



En 1996, le CDC (Centers for Disease Control and Prevention, États-Unis) publia un rapport qui stipule que la pratique d'activité physique d'intensité modérée pour une durée journalière totale de 30 à 45 minutes réduirait le risque d'être exposé à des troubles cardiovasculaires, à l'hypertension, au cancer du côlon et au diabète (CDC 1996). Ce rapport précisait qu'une activité physique modérée peut être pratiquée au cours de déplacements en marchant rapidement ou en faisant du vélo.

En 2010, l'OMS publie ses recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé. En se basant sur les résultats de nombreux programmes de recherche sur les bénéfices de l'activité physique, l'organisation conseille d'atteindre une durée totale de 150 minutes d'activité physique d'endurance d'intensité modérée par semaine (OMS 2010). Cette recommandation concerne les individus de 18 à 64 ans. Le rapport indique que cette préconisation peut être mise en pratique lors des déplacements en les effectuant à pied ou à vélo.

Les modes de transports dits « actifs » sont les modes qui nécessitent une énergie humaine. Ils regroupent des moyens de transport traditionnels comme la marche et le vélo, mais également des moyens de transport utilisés préférentiellement par certaines catégories de la population (le skateboard par exemple) et d'autres dont l'épanouissement est plus récent comme la trottinette ou le roller.

Les avantages de l'adoption de ces moyens de transport ne se font pas uniquement ressentir au niveau individuel. Pour la société, le développement des transports actifs présente des bénéfices non négligeables. En 2007, le secteur des transports était à la source de 34% des émissions totales de CO<sub>2</sub> françaises (Ministère de l'écologie 2010). Le sous-secteur des transports de passagers représente une source d'émission de gaz à effets de serre très importante (Reynolds, Winters et al. 2010). En France, la plupart des déplacements quotidiens sont effectués en voiture ou en deux-roues motorisés. Dans le Bas-Rhin par exemple, malgré la place importante du vélo, 60% des trajets sont effectués en voiture (Bigot 2010).

Les transports actifs n'émettent pas de gaz polluants lors de leur utilisation et sont responsables de très peu d'émissions au cours de leur fabrication. Ils sont susceptibles de représenter une alternative « durable » aux transports motorisés individuels, notamment en milieu urbain, pour les trajets courts. À plus court terme, une hausse de l'utilisation des transports actifs réduirait l'exposition des individus aux émissions des véhicules motorisés.

Une hausse de l'utilisation des transports actifs pourrait également permettre de diminuer les dépenses liées aux troubles de santé associés à la sédentarité. Une étude canadienne estime par exemple qu'une réduction de 10% de la prévalence de l'inactivité physique permettrait d'économiser 150 millions de dollars canadiens par an (Katzmarzyk, Gledhill et al. 2000).

La décongestion et la réduction du bruit entraînées par la hausse de l'utilisation des transports actifs pourraient également être des avantages liés au développement des transports actifs. Le bruit du trafic est notamment lié à des problèmes de santé à court et long terme causés par les troubles du sommeil (augmentation du risque d'accident cardiovasculaire par exemple) (Pierrera, Valck et al. 2010).

Malgré leurs nombreux avantages, les transports actifs présentent quelques risques pour la santé de leurs utilisateurs. Des études ont montré que le risque de blessure ou de décès par rapport à la distance parcourue est plus élevé pour les usagers de transports actifs que pour les automobilistes. La marche présenterait des risques de blessure 4 fois plus élevés que l'automobile. Ce rapport serait de 7,5 pour 1 concernant les risques encourus par les cyclistes (Elvik 2009). Il faut néanmoins noter que le risque total d'accidents (moyens de transport motorisés compris) pourrait certainement être réduit si la place des transports actifs gagnait en importance.

Les utilisateurs de transports actifs sont généralement plus exposés aux polluants atmosphériques (Briggs, Hoogh et al. 2008). Ceci serait surtout le fait de leur plus longue exposition et de leur rythme respiratoire élevé par rapport à celui des automobilistes. Ici aussi, plus la pratique de la mobilité douce sera répandue, plus le niveau d'exposition à la pollution atmosphérique baissera.

Ces inconvénients peuvent être considérés comme secondaires lorsqu'ils sont comparés aux nombreux avantages en termes de santé publique à l'échelle de la planète. De plus, les accidents de la route en véhicules motorisés existent aussi et les usagers de ces moyens de transport sont également exposés à la pollution.

### **1.1.3. Promotion des transports actifs**

Face à ces constats, de nombreux programmes de prévention et de promotion de l'activité physique ont vu le jour. À la fin des années 1980, ces programmes encourageaient généralement la pratique d'une activité sportive régulière (Oppert, Simon et al. 2005).

Récemment de nombreux programmes ont été mis en place, avec pour intention principale de promouvoir la pratique de l'activité physique d'intensité modérée dans la vie courante. Une partie de ces programmes fait la promotion de toutes sortes d'activités de la vie quotidienne qui pourraient participer à l'augmentation du taux d'activité physique journalier. D'autres visent plus spécifiquement les transports actifs (**document 1**).

En France, plusieurs campagnes de sensibilisation ont été mises en place au cours des dernières années (**document 1**). Elles font suite au lancement, en 2001, du « Programme National Nutrition Santé » (PNNS). Ces campagnes font souvent référence à la possibilité de pratiquer une activité physique lors des déplacements quotidiens en promouvant les mobilités douces, saines et actives (INCa 2012). Elles défendent les bienfaits de cette pratique et sa simplicité de réalisation.

**Document 1** : Campagne de promotion de l'activité physique



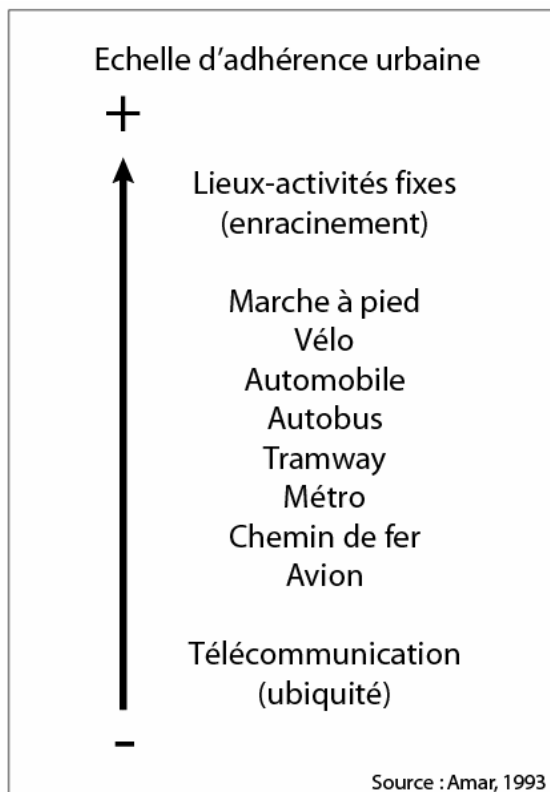
Selon certains chercheurs, conseiller aux patients d'accroître leur temps d'activité physique quotidienne modérée serait plus efficace à long terme que de leur conseiller de participer à des programmes structurés d'exercice sportif. En effet, maintenir une activité physique modérée mais quotidienne serait plus courant que conserver la pratique d'une activité physique d'intensité forte (Dunn, Marcus et al. 1999). A Strasbourg, certains médecins prescrivent l'utilisation de vélos en libre service (« Velhop ») à leurs patients (Claudon 2012). Ceci atteste de la place que les déplacements quotidiens pourraient potentiellement occuper dans l'activité physique totale et donc dans la santé, surtout chez les individus les moins actifs.

## 1.2. L'environnement urbain : un des déterminants de l'utilisation des transports actifs ?

Le « déplacement » est un type de mouvement qui consiste à se rendre d'un lieu d'activité A à un lieu d'activité B. Pour un déplacement, un ou plusieurs modes de transport différents peuvent être utilisés (marche, vélo, voiture, bus/tram...). Cependant, définir le déplacement uniquement comme le passage d'un lieu A à un lieu B peut paraître réducteur. Celui-ci ne se fait pas instantanément et s'inscrit dans un environnement : le déplacement entretient des relations plus ou moins fortes et plus ou moins longues avec son environnement. Dans un contexte urbain, ces relations sont particulièrement importantes.

Le rapport à l'environnement urbain diffère en fonction du/des mode(s) de transport utilisé(s). Ce rapport peut être évalué grâce à « l'échelle d'adhérence urbaine » (Amar 1993). D'après G. Amar, les déplacements réalisés en transports actifs sont en contact plus direct avec leur environnement (**document 2**). En zone urbaine, la marche est notamment influencée par la proximité. En revanche, sa pratique est moins conditionnée par le réseau que l'est la pratique du vélo. Du point de vue de l'environnement physique, la pratique du vélo est particulièrement liée aux aménagements cyclables.

**Document 2** : Echelle d'adhérence urbaine (Amar, 1993)



### **1.2.1. Les caractéristiques de l'environnement physique pouvant influencer la pratique des transports actifs**

La recherche visant à définir les déterminants de l'activité physique est aujourd'hui largement orientée vers l'activité d'intensité modérée réalisée au cours des déplacements. Les facteurs environnementaux qui favorisent (ou non) l'utilisation de la marche et du vélo comme moyen de transport sont parfois différents (Pikora, Giles-Corti et al. 2003).

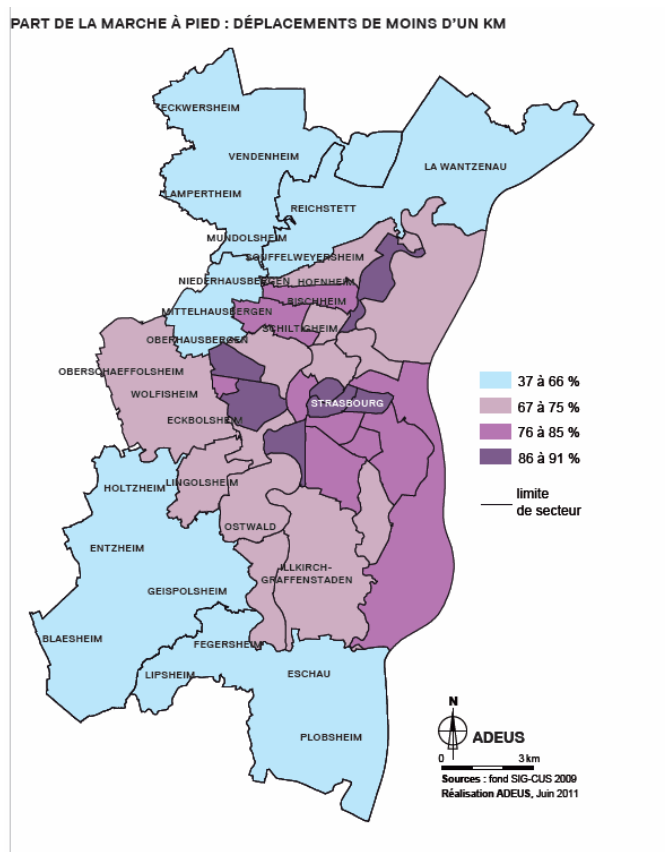
#### **A. Marche**

La marche est la forme la plus commune d'activité physique (Saelens, Sallis et al. 2003) et est le seul moyen de transport « autosuffisant » : il n'a pas besoin d'être raccordé à d'autres modes pour pouvoir fonctionner. La marche peut être réalisée dans le cadre des loisirs (marche récréative) ou pour effectuer des déplacements « utiles » (marche utilitaire).

##### **a. La proximité, la densité et la mixité fonctionnelle**

La proximité est un des facteurs déterminant de la pratique de la marche utilitaire (ADEUS 2011). En zone urbaine, celle-ci est liée à la densité du bâti ainsi qu'à la mixité fonctionnelle. D'après l'Enquête Ménage Déplacement (EMD) menée en 2009 dans le Bas-Rhin, 25% des déplacements s'y font à pied (Bigot 2010). Cette même enquête estime que pour les déplacements dont la distance parcourue est inférieure à 1 km, ce chiffre monte à 60%. Dans de nombreux cas, le choix modal est réalisé en suivant un objectif d'efficacité : pour les déplacements courts, il peut être moins contraignant de se déplacer à pied. Cette influence de la proximité des destinations sur la pratique de la marche explique en grande partie le fait que la pratique de celle-ci soit plus courante dans les zones urbaines et notamment dans le centre des villes. Un nombre de destinations élevé favorise également la pratique de la marche (Bentley, Jolley et al. 2010). Ceci joue également dans le fait que la marche soit très pratiquée en centre-ville. Ce type de zones bénéficie en générale d'une offre commerciale large et variée. La **carte 1** permet de se rendre compte de l'importance de la proximité et de la densité pour la pratique de la marche à travers l'exemple de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS).

**Carte 1 : Part de la marche à pied dans les déplacements de moins d'un kilomètre dans la CUS (ADEUS, 2011)**



Les zones urbaines (centre) de la CUS sont nettement plus concernées par la pratique de la marche dans le cadre des déplacements de moins d'1 km. Dans le centre-ville et dans certains quartiers de Strasbourg, la part de la marche représente pratiquement la totalité des modes de transports choisis. Dans les périphéries de Strasbourg et surtout dans les zones plus rurales et résidentielles du Nord et du Sud de la ville la part de la marche est beaucoup plus réduite. Ces zones sont plus concernées par l'étalement urbain et sont donc moins en adéquation avec les besoins des mobilités à faible portée comme la marche.

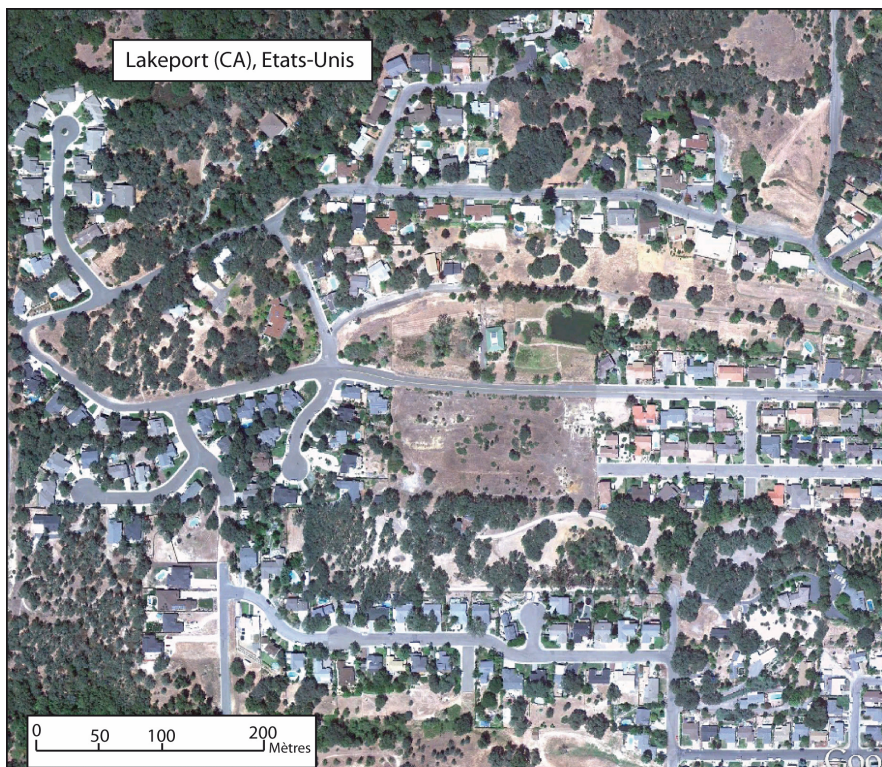
### **b. La fonctionnalité du réseau**

La fonctionnalité du réseau s'apprécie d'après de multiples caractéristiques : sa forme générale, la taille de ses mailles, sa connectivité, la taille et la continuité de ses trottoirs (s'il y en a), son état et son entretien, le volume et la vitesse du trafic, la distance entre les intersections, etc... (Pikora, Giles-Corti et al. 2003; Piombini 2006). Une autre façon d'évaluer la fonctionnalité générale d'un réseau est de mesurer l'accessibilité des destinations.

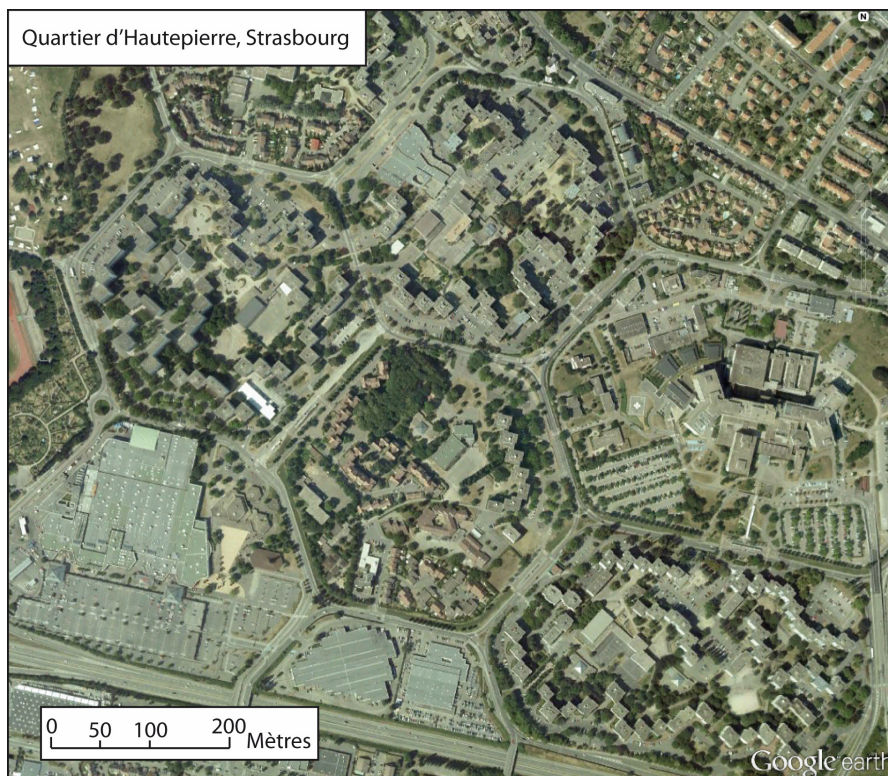
Depuis la démocratisation de l'usage de la voiture, un des objectifs des aménagements urbains étaient de favoriser les déplacements motorisés. Aujourd'hui, alors que ces objectifs ont évolué vers plus d'interventions en faveur des mobilités douces, de nombreux réseaux sont inadaptés.

Les **documents 3 et 4** présentent deux situations différentes de réseaux aux formes adaptées à un usage intensif de l'automobile. Le quartier de la ville de Lakeport (Californie, USA) présente une connectivité faible. Les rues sont orientées selon un axe Est/Ouest. Cette orientation rend difficile et long le cheminement d'un piéton dans le sens Nord/Sud. Le quartier de Hautepierre (à Starsbourg) (document 4) a lui aussi été pensé en donnant à la voiture une place très importante. Le quartier est conçu selon un plan en mailles. L'espace public à l'intérieur de ces mailles se réduit souvent à des parkings destinés aux habitants. Les déplacements piétons entre les différentes mailles sont entravés par des routes où les voitures peuvent circuler rapidement et où les passages piétons sont rares.

**Document 3** : Lakeport, Californie, USA (photo Google Earth)



**Document 4:** Strasbourg, quartier de Hautepierre (photo Google Earth)



Les besoins des piétons en termes de fonctionnalité du réseau sont très différents de ceux des automobilistes. Ils sont souvent antagonistes : favoriser l'efficacité des déplacements d'une catégorie peut revenir à défavoriser l'efficacité de la mobilité d'une autre (Piombini 2006).

La mesure de l'accessibilité permet d'évaluer le degré d'efficacité d'un réseau. Cette mesure peut prendre en compte à la fois la distance-temps et le nombre de destinations présentes dans une zone (Iacono, Krizek et al. 2010). Cette mesure permet de mettre en valeur des « points noirs » d'accessibilité dans une ville. Malgré ces avantages, cette méthode ne prend pas en compte certaines caractéristiques des itinéraires importantes pour les piétons comme la sécurité, les éléments du paysage ou simplement les connaissances qu'ont les usagers du réseau.

**c. La sécurité**

En pratique, la marche n'aurait pas besoin d'aménagements spécifiques pour être exercée. Cependant, lorsque sa pratique se fait en association avec d'autres modes de transport, certains aménagements doivent être réalisés. Ces derniers, souvent réalisés dans le but de protéger le piéton et de faciliter son cheminement, peuvent être défavorables au trafic automobile. Il peut s'agir de mise en place de zones piétonnes, d'agrandissements des



trottoirs, d'installations de feux et de passages piétons ou de limitation de vitesse (zones 30, zones de rencontre).

D'autres aménagements peuvent être réalisés dans le but d'améliorer la sécurité et le confort des marcheurs tels que l'éclairage public ou les passerelles piétonnes. Des auteurs ont montré que la présence d'aménagements sécurisants est très corrélée à la pratique de la marche utilitaire et de la marche récréative en Australie (Pikora, Giles-Corti et al. 2003). Certains aménagements peuvent influencer positivement ou négativement sur la perception de la longueur (distance et/ou temps) d'un itinéraire. Le temps d'attente à un passage piéton peut par exemple contribuer à augmenter la perception de la distance-temps d'un itinéraire. Cette perception peut également être influencée par le paysage.

#### **d. Le paysage et l'esthétique**

Certains éléments du paysage peuvent influencer la pratique de la marche tels que la vue de commerces (Bentley, Jolley et al. 2010) ou encore la présence de végétation (Piombini 2006). Cependant, l'absence de végétation ne nuit pas significativement à la pratique de la marche (Piombini 2006). D'autres éléments du paysage urbain, au contraire, limite la pratique de la marche (le stationnement par exemple).

Cependant les études sur l'influence des éléments du paysage sur la marche ont été menées dans un faible nombre de villes. Or, ces éléments peuvent changer considérablement en fonction des villes et de leurs habitants.

#### **B. Le vélo**

Selon G. Amar (document 2), les relations qu'entretient le cycliste avec son environnement physique au cours d'un déplacement sont moins fortes que pour le piéton. Cependant, le cycliste est très dépendant des aménagements cyclables et des équipements qui lui sont destinés. Par rapport aux piétons, les cyclistes ont plus tendance à se déplacer en suivant une logique d'efficacité<sup>1</sup>. Cet aspect de leurs déplacements les rapproche des automobilistes. D'après un sondage de l'ADEUS, les premiers avantages du vélo en milieu urbain cités par les usagers sont les côtés « pratique » et « rapide » du véhicule (ADEUS 2011). Il est intéressant de noter que les automobilistes citent les mêmes caractéristiques concernant la voiture. Il est probable que le report modal de la voiture vers le vélo réponde à une logique de

---

<sup>1</sup> Entretien avec A. Piombini (25/05/2012)

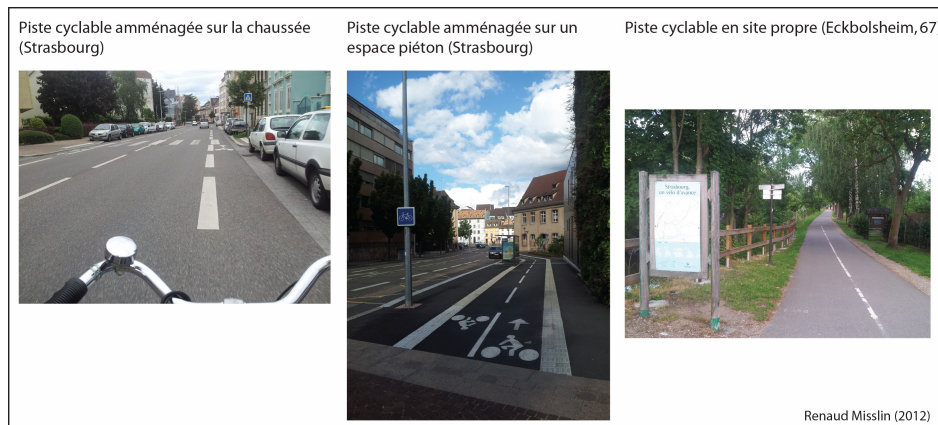
performance/rapidité. Néanmoins, la portée du vélo reste relativement réduite par rapport à celle de la voiture.

### a. Les aménagements et équipements destinés aux cyclistes

#### - Aménagements sur le réseau

De nombreux types d'aménagements concernant le réseau cyclable sont significativement corrélés à la pratique du vélo en ville (Vandenbulcke, Dujardin et al. 2011), et notamment à la présence de pistes cyclables à proximité du domicile des sujets (quel que soit le type de pistes cyclable : sur la chaussée, sur le trottoir, en contre sens, dans les couloirs de bus... **document 5**). Cependant, une étude a montré que 40% des cyclistes préfèrent emprunter un chemin plus long sur une piste cyclable séparée de la route que passer par une bande cyclable située directement sur la chaussée (Shafizadeh and Niemeier 1997). Dans le cadre d'une autre étude, 20% des gens interrogés ont déclaré qu'ils changeraient de mode de transport si des pistes hors de la chaussée n'étaient pas disponibles (Pucher, Dill et al. 2009).

#### **Document 5:** Différents exemples de types de piste cyclable de zone urbaine (CUS, 67)



En situation urbaine dense et/ou à partir d'un certain seuil concernant le nombre de pistes cyclables, la pratique du vélo pourrait ne pas être influencée par ce type d'aménagements. À Strasbourg par exemple, augmenter le nombre de pistes cyclables ne favoriserait probablement pas significativement la pratique du vélo (ADEUS 2011) car le vélo est déjà profondément inscrit dans la culture urbaine locale. Dans ce cas, le sentiment de sécurité du cycliste ne change pas significativement s'il est en présence ou non d'une piste cyclable.

La signalisation des pistes cyclables (marques au sol et panneaux) semble elle aussi avoir une influence positive sur la pratique du vélo. Celle-ci permet d'améliorer la sécurité effective et perçue des cyclistes. Plusieurs études ont montré qu'il existe une relation entre les

revêtements utilisés et la pratique du vélo (Pucher, Dill et al. 2009).

#### - **Equipements et mobiliers urbains destinés aux cyclistes**

L'usage du vélo implique la présence d'équipements urbains particuliers permettant de mettre le véhicule à l'abri du vol ou des intempéries. L'élément de mobilier urbain le plus utilisé et le plus adapté est l'arceau à vélo. Plusieurs études ont mesuré une corrélation forte entre le nombre d'arceaux à vélo et la pratique du vélo (Pucher, Dill et al. 2009). De plus, un des arguments les plus utilisés pour justifier le choix de ne pas effectuer de transfert modal de la voiture au vélo est celui de la peur du vol (Evrard 2005).

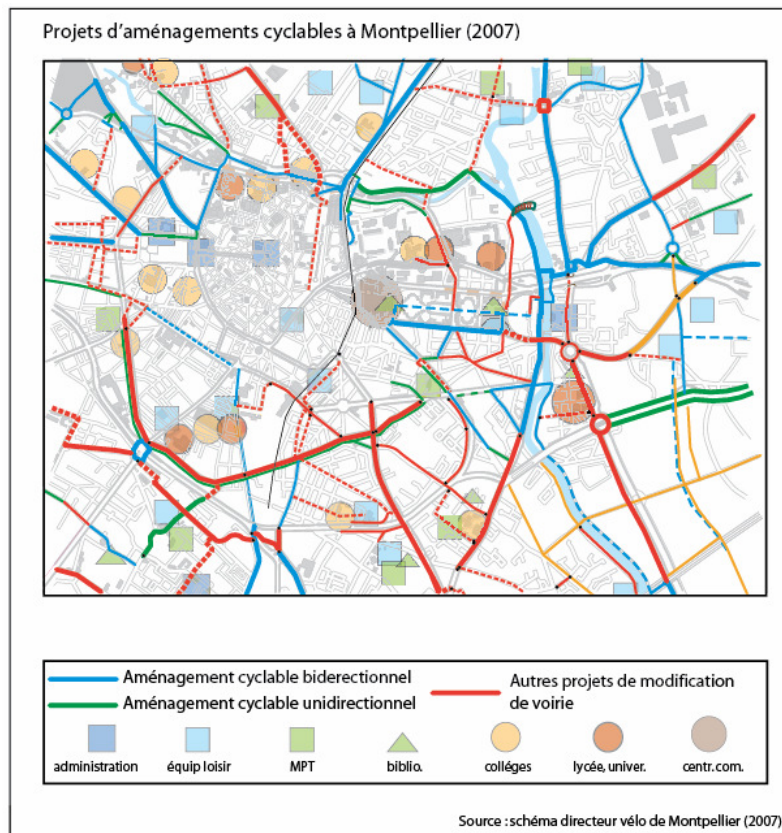
L'implantation de parkings à vélo à proximité de plateformes multimodales a également été positivement corrélée à la pratique du vélo (Pucher, Dill et al. 2009).

#### **b. Fonctionnalité et connectivité du réseau**

La fonctionnalité d'un réseau s'apprécie selon plusieurs critères. Ces critères peuvent être différents selon les modes de transport étudiés. Lorsque le réseau existe, sa capacité à répondre aux besoins du cycliste dépend de la place qui est faite au vélo ainsi que de sa connectivité.

Les cyclistes étant très dépendants des aménagements cyclables, le niveau de performance d'un réseau est particulièrement lié à son degré de connectivité. Pour les villes où la place du vélo est moindre autant que pour celles où le vélo a une place plus importante, le développement de la continuité du réseau est susceptible d'augmenter le nombre de cyclistes. Les villes de Montpellier et de Strasbourg, par exemple, ont toutes les deux inscrit ce développement dans les objectifs principaux de leur « schéma directeur vélo » (**document 6**).

## Document 6: Projets d'aménagements cyclables à Montpellier (2007)



### Conclusion :

Les déterminants physiques environnementaux favorisant la pratique du vélo et de la marche sont nombreux. Ils agissent selon les situations avec des poids différents. A ces déterminants physiques s'ajoutent des déterminants individuels (psychologiques, sociodémographiques, etc...). En plus de ces différents types de déterminants, il faut garder en mémoire que les choix (mode de transport, itinéraire) de la personne qui se déplace sont liés à sa connaissance et à son appréciation de son environnement (physique mais aussi social, culturel, psychologique, etc...).

L'ensemble des critères pouvant entrer en compte dans le processus de décision d'une personne forme un système complexe. Ces déterminants étant connus dans leurs grandes lignes, de nombreuses municipalités tentent de d'agir sur leurs aménagements pour favoriser la pratique de la marche et du vélo. Plusieurs types d'aménagement peuvent être mis en place dans le but de réguler la cohabitation vélo/piéton/voiture ou vélo/piéton. Il s'agit des zones 30, des zones de rencontre et des aires piétonnes déjà citées comme facteurs pouvant favoriser

la pratique de la marche. Ces zones peuvent aussi faire l'objet d'aménagements spécifiques aux cyclistes.

### **1.2.2. L'action publique : la place faite à la marche et au vélo dans la ville dans le développement urbain**

#### **A. Aménagement et mobilités actives**

Les plans de déplacements urbains (PDU) ont été rendus possibles pour la première fois en 1982 par la loi d'orientation sur les transports intérieurs (LOTI). Ils ont été rendus obligatoires en 1996 par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE), puis renforcés par la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbain (SRU). La mise en place d'un PDU consiste à organiser, pour une durée de 5 à 10 ans, l'ensemble des éléments touchant aux transports de personnes et de marchandises, à la circulation et au stationnement. Un des objectifs principaux est de favoriser le développement des transports collectifs et des moyens de transport doux et actifs (marche à pied et vélo).

Afin de réaliser les objectifs de leur PDU concernant les mobilités actives, de nombreuses villes ont élaboré des « schémas directeurs vélos » et des plans piétons. Ces schémas visent non seulement à favoriser les pratiques en développant leurs différents déterminants physiques mais aussi à leur donner une place plus importante dans les projets d'aménagement.

Certains projets figurants dans les « plans piétons » ou les « schémas directeurs vélo » ont pour objectif principal de réaliser des aménagements destinés aux piétons et aux cyclistes. La ville de Paris par exemple a mis en place un programme d'aménagement cyclable. Ce programme répertorie toutes les rues où seront aménagées des bandes ou des pistes cyclables. Cette ville a également construit un projet de passage des places et des portes particulièrement accidentogènes. (APUR 2010). Cependant, nombreux projets sont encore réalisés de manière opportuniste. Le programme d'aménagement cyclable n'est alors qu'une addition de projets d'aménagements ayant pris en compte les piétons et les cyclistes dans leurs plans. La ville de Strasbourg a souvent fonctionné de cette façon. Lors de la conception des projets, les aménageurs étant obligés de prendre en compte les mobilités actives, la municipalité a instauré le « 1% piéton (CUS, RR&A et al. 2012). Celui-ci oblige à ce que les coûts engendrés par les actions visant à favoriser la marche ne soient pas inférieurs à 1% du budget prévisionnel de l'aménagement en question (cette mesure concerne les aménagements liés aux Tram, Bus départementaux et TER). Le principal travers de cette méthode réside dans le fait que le réseau cyclable ou piéton dans sa globalité risque de ne pas être cohérent à l'échelle de

l'ensemble de la ville ou de la communauté urbaine.

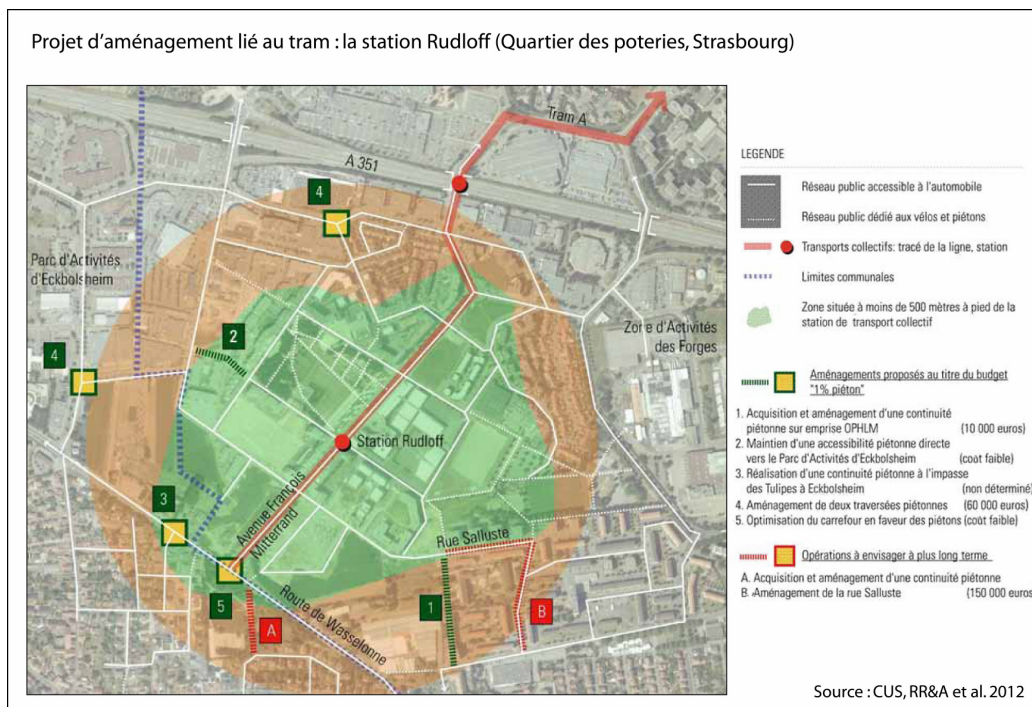
## B. Transports en commun et mobilités actives : une association à prendre en compte

Les transports en commun ne se suffisent pas à eux même : un usager des transports en commun doit venir jusqu'à la station de départ, repartir de la station d'arrivée à pied ou à vélo (ou plus rarement en voiture), changer de bus, de tram ou de métro.

Plusieurs études ont été menées afin de déterminer si les usagers des transports en commun marchent plus que les autres. Une étude réalisée en 2008 sur des étudiants australiens a mis en évidence une relation positive entre le fait d'utiliser les transports en commun et le fait de faire plus de 10 000 pas par jour (OR=3,55 et IC=95%) (Villanueva, Giles-Corti et al. 2008). D'autres études plus récentes confirment ces résultats (Morency, Trépanier et al. 2011; Lachapelle and Noland 2012)

L'importance de cette relation implique qu'elle doit être prise en compte dans les projets d'aménagements de transports collectifs. Par exemple, le **document 7** présente les projets d'aménagements destinés à faciliter l'accès piéton à une future station de tram dans la ville de Strasbourg.

### Document 7: Projet d'aménagement lié au tram (Strasbourg, 67)



Une autre façon de faciliter l'intermodalité entre transports en commun et mobilités actives

est de faire en sorte que les rames de tram puissent accueillir des vélos. La ville de Brest a prévu cette possibilité dans son schéma directeur vélo (ADEME 2010).

### **1.2.3. Evaluer ces déterminants : les outils existants et leurs limites**

Les déterminants physiques environnementaux favorisant la pratique du vélo et de la marche ont été identifiés dans leurs grandes lignes par de nombreuses études. Cependant ces études sont parfois contradictoires dans leurs résultats. Ceci peut-être dû au fait qu'elles soient souvent menées à l'échelle d'une seule ville (non reproductibilité des résultats) et à l'aide de méthodes de mesure subjectives (questionnaires, entretiens). D'autres méthodes, plus objectives, permettent d'évaluer la disponibilité et l'accessibilité de certains équipements à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG). La suite de ce travail décrit rapidement les principales méthodes utilisées dans la littérature internationale pour définir et évaluer les caractéristiques de l'environnement physique.

#### **A. Questionnaires et entretiens**

Une grande partie des études visant à déterminer les facteurs physiques de l'environnement influençant la pratique d'activité physique utilise des questionnaires (Brownson, Hoehner et al. 2009). Ceux-ci sont auto-administrés ou administrés par des enquêteurs en personne ou par téléphone. Les informations recherchées portent principalement sur les déterminants de la pratique de la marche et du vélo : la disponibilité et l'accessibilité d'équipements particuliers dans le quartier, la présence d'aménagements destinés aux piétons et aux cyclistes ou la sécurité.

Les entretiens permettent aussi le recueil de données qualitatives. Ils peuvent être menés individuellement ou grâce à des « focus groups ». Leur apport spécifique se situe au niveau de la compréhension des interactions entre l'environnement physique et l'environnement social qui peuvent influencer l'activité physique (McCormack, Rock et al. 2010).

Les questionnaires et les entretiens permettent le recueil d'informations sur les perceptions qu'ont les sujets de leur environnement. Cependant, ces données sont déclaratives et donc subjectives. Elles ne sont pas généralisables et peuvent être difficiles à implémenter dans des modèles.

#### **B. Les bases de données géolocalisées et l'analyse SIG**

Dans le cadre de l'évaluation des déterminants de l'activité physique, l'environnement physique est généralement évalué : au travers de la disponibilité et de l'accessibilité de

certaines équipements (en distance par exemple), sur la fonction ou le type de zone visitée (fonction résidentielle, commerciale, mixte) ou encore sur la connectivité d'un réseau (Badland, Schofield et al. 2008). Ces mesures sont effectuées grâce au couplage de la position d'équipements spécifiques (une station vélib' par exemple), de la forme du réseau, de la fonction des zones étudiées, etc...

L'exploitation de données géolocalisées grâce à un SIG permet la modélisation et la mise en place d'indicateurs. Par exemple, l'indicateur de « walkability », qui prend en compte les variables liées à la proximité et les variables liées à la connectivité (Vargo, Stone et al. 2011), permet d'évaluer les caractéristiques de l'environnement physique qui encouragent la pratique de la marche.

Si cette méthode d'analyse est efficace pour évaluer les caractéristiques physiques d'un quartier, elle ne permet pas de connaître les pratiques réelles de l'espace par les habitants de la zone d'étude.

### **Conclusion :**

Le système composé par les déterminants urbains de l'activité physique est complexe à appréhender dans sa globalité à l'aide des outils et des méthodes ayant été utilisées jusqu'à présent. Même combinées, ces méthodes ne permettent pas de mesurer la pratique réelle de l'espace ni le recueil d'informations détaillées et objectives sur les déterminants physiques environnementaux de la pratique de l'activité physique.

Un des enjeux actuels de la recherche dans ce domaine est donc de mesurer de manière plus objective et plus détaillée l'environnement physique et son influence sur la pratique d'activité physique et plus particulièrement dans le cadre des transports actifs. Un second enjeu est de parvenir à définir à l'échelle de la ville ou d'un quartier les lieux de pratique d'activité physique (c'est-à-dire les lieux qui la favorise et « les points noirs »).

Afin de répondre à ces enjeux, il est nécessaire de développer et de tester de nouvelles méthodes de mesures et d'évaluation des facteurs de l'environnement physique urbain pouvant influencer la pratique de l'activité physique. Ces méthodes sont décrites dans la partie suivante.



### **1.3. Une méthode innovante pour mieux mesurer l'activité physique dans l'environnement de vie : l'approche multi-capteurs**

L'appréciation objective et précise part des pratiques d'activité physique au cours des déplacements et de leurs localisation (question où ?) peuvent être réalisées par l'utilisation conjointe de capteurs GPS et d'accéléromètre. Ces deux capteurs ont beaucoup été utilisés de manière séparée dans le cadre de projets de recherche et dans la société civile. La combinaison de ces deux capteurs pour évaluer les relations entre pratique et lieux de vie est plus récente. Après avoir décrit les deux types de capteurs (accéléromètre et GPS), une revue de la littérature concernant l'exploitation de ces outils est proposée dans cette partie.

#### **1.3.1. Mesurer l'activité physique**

##### **A. Fonctionnement de l'accéléromètre**

L'accéléromètre est un capteur, qui se présente sous la forme d'un boîtier, permettant de mesurer l'accélération linéaire d'un sujet (document 8). Ce module est composé de trois accéléromètres afin de pouvoir mesurer le mouvement dans trois dimensions (vertical, horizontal et antéro-postérieur). Ces accéléromètres sont composés de fines lamelles de céramique sur lesquelles est fixée une masse sismique. Lorsque cette masse est soumise à une force (accélération), une contrainte est exercée sur les lamelles de céramique. Grâce à leurs propriétés piézoélectriques, les composants de céramique se polarisent sous l'effet de cette contrainte. Au moment du retour de la masse sismique vers sa position initiale, l'accélération du corps est enregistrée. À l'aide de ces mesures, le capteur peut estimer une valeur de mouvement généralement exprimée en « coups d'activité ». Le capteur effectue des mesures à fréquences régulières (jusqu'à 60 Hz), ce qui permet d'exprimer ces coups d'activité en fonction du temps. L'unité habituellement utilisée est exprimée en « coups par minute ». Ces mesures permettent ensuite d'évaluer objectivement la durée, la fréquence et l'intensité de l'activité physique réalisée par un sujet.

**Document 8:** Exemple d'accéléromètre avec ceinture (Actigraph GT3X+)



**B. Les indicateurs d'activité physique**

Les informations recueillies via l'accéléromètre peuvent ensuite être converties en dépense énergétique globale en s'appuyant sur la formule de Freedson (Freedson, Melanson et al. 1998). Celle-ci tient compte du poids et de la taille du sujet.

**1.3.2. Evaluer les mobilités et les lieux d'activités**

**A. Les « Carnets de bord » : outil de recueil dans les études de mobilités**

L'utilisation des carnets de bord (« travel diaries ») est très répandue dans les enquêtes réalisées dans le domaine des transports (l'Enquête Ménages Déplacements - EMD en France par exemple) pour recueillir des informations précises concernant les déplacements des sujets. Généralement, les personnes enquêtées sont invitées à y reporter les horaires de départ et d'arrivée de leurs déplacements ainsi que le nombre de personnes les ayant accompagné ou le mode de transport utilisé. Ils doivent aussi indiquer les lieux visités et les activités réalisées dans ces lieux. D'autres informations sont couramment demandées comme celles qui concernent le véhicule utilisé (personnel ou non) ou les prix du parking (**document 9**).

**Document 9:** Exemple de carnet de bord utilisé dans le cadre de l'enquête ménages-déplacements de la région de Tahoe (Californie) en 2005

**START** Record each PLACE you go to below, beginning with wherever you are at 3 a.m. on your survey day.

Most people are home asleep at 3 a.m. If so, check "Home," write all the activities you did there and then record the exact time you leave for the first time. If you are somersplace other than your Home or Work, please provide the name and address of the location.

If you work as a driver (bus, taxi, commercial vehicle, ambulance, etc.) do not record trips made as part of your job.

**RECORD the following information about each place:**

PLACE	Address City/State/Zip Cross street/Landmark	What TIME did you ARRIVE? <small>(record exact time)</small>	HOW did you GET there? <small>(use last 1 codes - list all modes)</small>	NUMBER of people in your travel party? <small>(including yourself)</small>	COST of Parking or Transit Fare? <small>(your amount)</small>	Was a PERSONAL VEHICLE available?	WHAT did you DO there? <small>(use last 2 codes - list all activities)</small>	What TIME did you LEAVE? <small>(record exact time)</small>
PLACE 1	WHERE were you at 3 a.m.? (place name & address) <input type="checkbox"/> Home <input type="checkbox"/> Work <input type="checkbox"/> Other: (provide place name & address)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PLACE 2	WHERE did you go next? (place name & address)	: am/pm			\$ _____	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		: am/pm
PLACE 3	WHERE did you go next? (place name & address)	: am/pm			\$ _____	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		: am/pm
PLACE 4	WHERE did you go next? (place name & address)	: am/pm			\$ _____	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		: am/pm
PLACE 5	WHERE did you go next? (place name & address)	: am/pm			\$ _____	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		: am/pm
PLACE 6	WHERE did you go next? (place name & address)	: am/pm			\$ _____	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		: am/pm
PLACE 7	WHERE did you go next? (place name & address)	: am/pm			\$ _____	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		: am/pm
PLACE 8	WHERE did you go next? (place name & address)	: am/pm			\$ _____	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		: am/pm

**STOP** Did you record EVERY PLACE you went, even short walks, quick stops, and any place you went after returning home from work? Did you record exact place names, complete addresses and all activities? Did you include your trip home if it was the last trip of the day? If you have more than eight PLACES on your survey day, record the additional PLACES on a separate piece of paper.

**LIST 1 CODES: HOW did you get there?**

- 1 Car/Truck/Van
- 2 Motorcycle/Moped
- 3 School bus
- 4 Public transit
- 5 Paratransit/dial-a-ride
- 6 Casino shuttle
- 7 Private shuttle (all lodges, snowmobile tour, etc.)
- 8 Taxi/Limousine
- 9 Gondola
- 10 Ferry
- 11 Bicycle
- 12 Walk
- 97 Other: (write code 97 and specify)

**LIST 2 CODES: WHAT did you do there?**

**At-Home Activities:**

- 1 At home activities (sleeping, watching TV, reading, personal care, housework, etc.)
- 2 Working at home (job related for pay)
- 3 Loop trip beginning and ending at home (walking dog, jogging, hiking, etc.)

**Work/Work-Related:**

- 4 Work (including regular volunteer work)
- 5 Work-related (meeting, errand, sales call, etc.)

**Personal/Household:**

- 6 Minor shopping (frequent, grocery, clothes)
- 7 Major shopping (furniture, COSTCO, appliance, car, etc.)
- 8 Quick stop (gas, ATM, coffee, newspaper)
- 9 Medical
- 10 Personal business (bank, pay bill, dry cleaning, errands, etc.)
- 11 Visiting friends or relatives
- 12 Religious
- 13 Community/Political meeting

**School**

- 14 School

**Social/Entertainment:**

- 15 Eating or drinking at restaurant/bar
- 16 Outdoor recreation participation (skiing, snowmobiling, fishing, hiking, etc.)
- 17 Casino gaming
- 18 Indoor recreation participation (bowling, ice skating, etc.)
- 19 Entertainment (music, sports event, show, etc.)

**Other:**

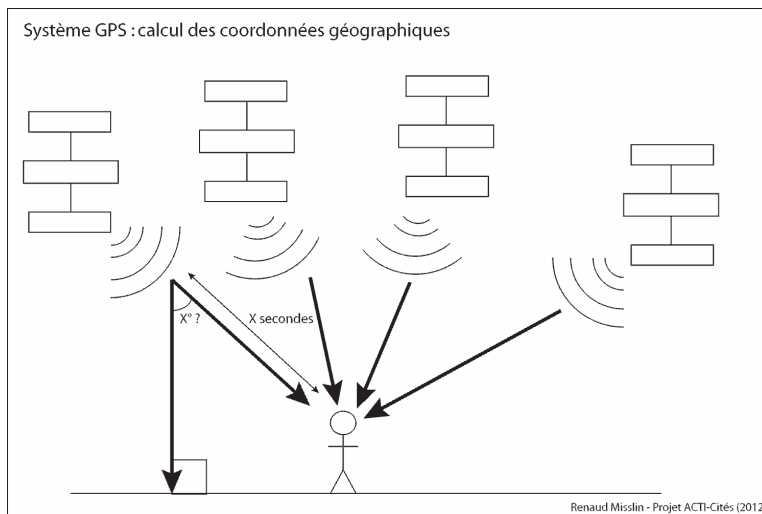
- 20 Picking up someone
- 21 Dropping off someone

## B. Un outil pour des mesures objectives : le GPS

Le Global Positioning System (GPS) est un système de positionnement par satellite composé de 24 satellites en orbite autour de la terre (à 20 000 km d'altitude). L'orbite des satellites est positionnée de telle sorte qu'au minimum 4 satellites soient visibles à chaque instant en tout point de la terre. Dans nos régions les GPS captent en moyenne entre 9 et 12 satellites en extérieur. Ces satellites émettent un signal comprenant : date et heure, éphéméride et almanach (Nguyen-Luong 2012). La date et l'heure permettent au capteur GPS d'estimer le temps de transmission du signal et d'en déduire la distance à laquelle se situe le satellite (triangulation temporelle).

Les deux dernières informations permettent au récepteur de calculer la position du satellite et l'azimut. La position (en trois dimensions : la latitude, la longitude et l'altitude) du récepteur GPS est ensuite calculée à l'aide d'une méthode de trilatération (avec une précision de quelques mètres pour les systèmes civils) (voir **document 10**).

**Document 10:** Schéma du processus de calcul des coordonnées géographiques d'un sujet à l'aide du Global Positioning System (GPS)



## C. Carnets de bord et GPS : de la validation à la substitution

Dans le domaine des transports, des études ont utilisé conjointement des traceurs GPS et des carnets de bord pour évaluer les déplacements. Les premières enquêtes de mobilité utilisant les GPS ont été menées aux Etats-Unis, au milieu des années 1990 (*Inbakaran and Kroen 2011*). Ces enquêtes visaient à évaluer la possibilité de réaliser des enquêtes de mobilité par GPS et à développer des méthodes de vérifications des données déclarées par des données mesurées.

### - **Quels apports ?**

Certaines études ont été conduites dans le but de comparer les données issues de ces deux méthodes (*Stopher, Fitzgerald et al. 2007*). D'autres ont combiné ces outils afin de valider, de développer et d'améliorer la technique de recueil de données par GPS (*Stopher and Shen 2011*). Parmi ces dernières, certaines ont utilisé les traceurs GPS pour recueillir des informations complémentaires aux carnets de bord : la position géographique précise des sujets et leurs horaires. En effet, si les principales limites liées à la méthode de récolte de données par carnets de bord sont connues depuis longtemps, la comparaison entre les données déclarées (carnet) et les données mesurées (GPS) ont contribué à remettre en question la qualité des données déclaratives. (*Stopher and Greaves 2007*). Cette remise en question a été permise par une quantification des erreurs et des omissions des informations recueillies par carnets de bord (*Stopher, Fitzgerald et al. 2007; Stopher and Shen 2011; Bricka, Sen et al. 2012*). Ces études visaient également à comprendre quels étaient les facteurs pouvant influencer les écarts observés entre les données mesurées par GPS et celles déclarées par les sujets. Les explications avancées pour expliquer les imprécisions et les lacunes des carnets de bord font référence à/au :

- la régularité des trajets (les trajets les plus fréquents sont souvent oubliés) ;
- au but du déplacement ou à leur destination (les trajets vers le domicile ont plus tendance à être oubliés et les trajets relatifs au travail le sont moins) ;
- leur durée et à la distance (les trajets de courte distance et les trajets de moins de 5 mn sont moins souvent référencés) ;
- la période de la journée (les sujets oublient plus facilement de déclarer les trajets réalisés en fin d'après-midi et le soir) ;
- la tendance qu'ont les sujets à arrondir les heures de départ ou d'arrivée ;
- au jour de la semaine (les sujets oublient plus facilement de référencer les trajets du week-end, lorsque leur emploi du temps est moins régulier) ;
- la compréhension de la définition d'un déplacement (*Mavoa, Oliver et al. 2011*).
- la lassitude des sujets (Les deux premiers jours sont généralement très bien remplis, puis la précision des déclarations baisse jusqu'à la fin de la semaine)

D'autres déterminants, d'ordre sociodémographique, ont été proposés dans la littérature :

- au sexe (en moyenne, les hommes répondent moins précisément que les femmes)
- l'âge (en général, les moins de 50 ans oublient de déclarer plus de trajets que les autres)

- au revenu (les sujets ayant les revenus les plus faibles et les plus élevés répondent moins bien)
- la charge de travail (plus elle est élevée, plus les sujets concernés ont tendance à sous-déclarer leurs trajets)
- la taille du ménage (les ménages les plus petits répondent moins précisément que les grands).

Au-delà de la dimension de validation des informations recueillies par carnet de bord (*Stopher and Greaves 2007*), les GPS permettent de recueillir des informations concernant les caractéristiques des déplacements : les lieux visités (latitude/longitude), l'heure à laquelle ils l'ont été, ainsi que la vitesse et la direction du déplacement (*Stopher 2008*). Ces informations permettent

1. d'étudier les déplacements et les itinéraires exacts des sujets (*Stopher, Clifford et al. 2008*) ;
2. de compléter les enquêtes de mobilité en déduisant les modes de transport et les buts des trajets. Certains chercheurs ont proposé des méthodes de calcul réalisées en superposant dans un SIG : la vitesse, les réseaux de transport et des informations concernant les sujets (les lieux souvent visités comme les lieux de travail, de scolarisation et les magasins les plus fréquentés) (*Wolf 2000; Wolf, Guensler et al. 2001; Chung and Shalaby 2005; Stopher, Clifford et al. 2008; Bohte and Maat 2009*).

La combinaison de ces données permet aux auteurs d'obtenir des informations relativement précises sur les modes de transport empruntés. Le **document 11** présente les résultats d'une étude ayant comparé des modes de transport calculés aux modes de transport déclarés.

En utilisant des méthodes similaires, ces mêmes chercheurs ont proposé des techniques qui permettent d'identifier le but du trajet.

**Document 11:** Comparaison entre une méthode de détection des modes de transport via des données GPS et des modes de transport reportés par les sujets dans leur carnet de bord (Wolf, Guensler et al. 2001; Chung and Shalaby 2005)

Mode	Correct	Incorrect	Total
Marche	23	0	23
Vélo	3	0	3
Voiture	21	3	24
Bus	8	2	10
Total	55	5	60

Dans certaines études, les traceurs GPS ont été utilisés pour évaluer le territoire de vie ou « l'espace d'activité » des sujets (Chapon and al. 2011; Zenk, Schulz et al. 2011). P.-M. Chapon a ainsi utilisé des traceurs pour analyser la mobilité de personnes âgées afin de mieux comprendre leur perception de leur espace de vie (Chapon and al. 2011).

#### - Les principales limites des GPS présentées dans la littérature

Les mesures GPS ne sont pas dénuées de défauts. Du point de vue technique d'abord, certaines situations peuvent entraîner la perte du signal satellite qui se traduit soit par l'absence de données soit par des enregistrements de données aberrantes. Cette mauvaise réception du signal est due aux conditions environnementales (sous une canopée épaisse, dans les canyons urbains, dans le métro, dans les trains ou en intérieur) (Maddison and Mhurchu 2009) ou aux effets de « cold starts<sup>2</sup> » (Chung and Shalaby 2005). Il existe plusieurs méthodes de traitement des données (*à posteriori*) permettant de combler ces lacunes : il est par exemple possible d'estimer par interpolation la position d'un point en fonction de celui qui le précède et de celui qui le suit (Maddison and Mhurchu 2009) ; il est possible de corriger l'itinéraire d'un trajet lorsqu'il s'agit d'un déplacement de routine. Cependant, et nous allons l'expérimenter et le présenter dans la suite de ce mémoire, la ré-imputation de points

---

<sup>2</sup> Le « cold start » ou « départ à froid » se produit lorsque le GPS est resté éteint ou sans signal durant quelques heures. Le capteur garde en mémoire les informations satellitaires de sa dernière position géographique. Si il est éteint, les satellites continuent leur orbite sans que le récepteur n'enregistre le changement de position. Lorsqu'il est rallumé, celui-ci peut mettre plusieurs minutes à « retrouver » les satellites.

manquants ou la correction de données aberrantes n'est pas aisées.

Pour les sujets, l'utilisation des GPS entraîne des contraintes organisationnelles liées à la capacité de la batterie. Il est souvent nécessaire de recharger son GPS tous les soirs (*Bohte and Maat 2009*).

Enfin, les individus concernés par les études utilisant des GPS peuvent oublier leur appareil chez eux (*Stopher and Shen 2011*) ou l'éteindre dans la journée et oublier de le rallumer. Pour tenter de remédier à ce problème, des chercheurs ont donné aux participants des « pense-bêtes » à coller sur la porte et/ou à accrocher au porte-clé (*Bohte and Maat 2009*). Une autre solution serait de mettre en place un système de rappels par SMS (*Almanza, Jerrett et al. 2012*). Étant donné que le week-end est plus propice à l'oubli et qu'au début de la période d'étude les participants ont tendance à être plus consciencieux, des auteurs (*Stopher, Fitzgerald et al. 2007*) suggèrent de commencer les relevés GPS le samedi.

Malgré leurs défauts, certains chercheurs considèrent que ceux-ci seront amenés à remplacer les carnets de bord dans les enquêtes de transport (*Stopher, Fitzgerald et al. 2007; Bohte and Maat 2009*). La faisabilité d'une enquête transport uniquement menée par GPS a été évaluée par l'IAU (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme). Le rapport final de cette étude souligne le fait qu'en plus de ces apports techniques, l'utilisation de traceurs GPS permettrait de réduire le coût global de l'étude (*Nguyen-Luong 2012*). Wolf souligne le fait que dans les carnets de bord, réduire le nombre de questions dont les réponses peuvent être déterminées à l'aide de GPS permet de poser d'autres questions en minimisant les désagréments (*Wolf, Guensler et al. 2001*).

La plupart de ces études ont porté sur la mobilité dans son ensemble. Très récemment, une partie d'entre-elles s'est concentrée sur les thématique de santé et d'activité physique au travers de l'évaluation des déplacements actifs (*Kerr, Duncan et al. 2011; Krenn, Titze et al. 2011*).

### **1.3.3. Combinaison d'accéléromètres et de GPS : revue de la littérature internationale**

Un des enjeux actuels de la recherche dans le domaine de l'activité physique est d'arriver à mesurer de manière objective les pratiques d'activité physique de la vie quotidienne et de leurs lieux de pratique. Pour cela il est nécessaire de combiner des outils permettant de



connaître, pour un sujet et à un moment précis, l'intensité de son activité physique et sa position dans l'espace.

Une méthode de mesure de la position de la pratique d'activité physique consiste à combiner accéléromètres et récepteurs GPS. Les mesures sont effectuées de manières simultanées par des sujets portants des capteurs, en vie réelle, au cours de leurs déplacements quotidiens. Les données issues des deux appareils sont ensuite appariées et exploitées dans des Systèmes d'Information Géographique (SIG).

À notre connaissance, la première étude utilisant une méthode de mesure combinant accéléromètres et récepteurs GPS a été publiée en 2005 (Rodriguez, Brown et al. 2005). Cette étude avait pour objectif principal d'étudier la faisabilité d'une enquête de ce type. Dans cette optique, les auteurs avaient testé la qualité des mesures GPS en fonction de plusieurs situations et à partir de mesures statiques et de conditions réelles. Les auteurs en avaient conclu que les mesures étaient de qualité satisfaisante (86,8 % des données étaient utilisables). Différentes façons de porter le récepteur GPS avaient été testées. Les résultats donnaient la position à la taille comme étant la plus adaptée. Finalement, les auteurs concluaient que l'analyse par SIG des données combinées nécessitait des approfondissements.

Suite à cette étude, quelques projets de recherche ont permis d'approfondir la méthode de recueil de données. Les recherches se sont accélérées depuis 2010 : à notre connaissance, 8 articles ont été publiés entre 2010 et 2012 (**document 12**). Une grande partie de ces études portent sur les lieux de pratique de l'activité physique (comme les parcs pour les enfants). Seules quelques études s'intéressent à l'activité physique réalisée au cours des déplacements. De plus, une grande partie de ces études ne portent pas sur la population générale.

**Document 12:** Synthèse de lecture d'articles portant sur la combinaison d'accéléromètres et de récepteurs GPS

Année de publication	Auteur	Lieu de l'étude	Nombres de sujets	Durée de l'étude	Caractéristiques des sujets	pas de temps GPS	pas de temps accéléro	objectif principal
2005	Rodriguez	North Carolina	35	3 jours	20 à 61 ans	30 secondes	1 minute	Examiner l'utilité de coupler des mesures d'accélérométrie à des mesures de positionnement par GPS
2009	Jones	Norfolk (England)	100	4 jours	9 à 10 ans	changement de vitesse ou de direction	5 secondes	Identifier les caractéristiques des environnements où est pratiquée l'activité physique d'intensité moyenne ou élevée
2010	Oliver	Auckland	37	7 jours	adultes	5 secondes	15 secondes	Évaluer la faisabilité de la combinaison GPS/accéléromètre pour comprendre l'activité physique réalisée dans les transports
2010	Cooper	Londres	137	plus de 480 minutes d'enregistrement	11 ans	10 secondes	10 secondes	Combiner GPS et accéléro pour connaître où et à quelle intensité est pratiquée l'activité physique chez les enfants allant à l'école en marchant
2010	Quigg	Dunedin (New Zealand)	184	7 jours	5 à 10 ans	1 minute	3 secondes	Identifier la proportion d'activité physique chez les enfants réalisée dans les parcs avec aire de jeu
2010	Troped	Massachusetts	148	4 jours	19 à 78 ans	5 secondes	1 minute	Comparer les associations de variables entre les lieux de travail ou de domicile et la pratique d'activité physique d'intensité moyenne à élevée
2012	Rodriguez	Minneapolis (Minnesota)	293	6 jours	adolescente (15 à 18 ans)	1 minute	30 secondes	Identifier les lieux de pratique d'activité physique chez les adolescentes de 15 à 18 ans
2012	Almanza	Chino, Californie (USA)	208	7 jours	8 à 14 ans	30 secondes	30 secondes	Étudier les relations entre "l'exposition à la végétation" et la pratique d'activité physique dans deux types de quartiers différents
2012	Rainham	Halifax (Canada)	380	7 jours	12 à 16 ans	1 seconde	30 secondes	Identifier les lieux de pratique d'activité physique d'intensité moyenne à vigoureuse
2012	Oreskovic	Revere, Massachusetts (USA)	24	3 fois 7 jours (hiver, printemps, été)	11 à 12 ans	changement de vitesse ou de direction	30 secondes	Identifier les méthodes optimales pour mesurer l'activité physique chez les jeunes

## **2. Cadre de l'étude pilote**

Le projet ACTI-Cités est un projet pluridisciplinaire réunissant plusieurs partenaires : l'UREN (Inserm U557, Inra, Cnam, Université Paris 13-Sorbonne Paris Cité), le Lab-Urba (UPEC, IUP), le CRNH (Université de Lyon) et le LIVE (Université de Strasbourg, CNRS). Il est financé par l'Institut National du Cancer et est coordonné par le professeur Jean-Michel Oppert. L'objectif du projet est de mieux comprendre les pratiques d'activité physique liées aux transports actifs en prenant en compte non seulement les caractéristiques individuelles des sujets mais aussi leur environnement physique.

L'objectif principal de l'étude-pilote était de proposer des méthodes qui permettront de mieux appréhender les différences spatiales de mobilités actives en tant que comportement de santé dans les espaces urbains. Pour ce faire, nous avons choisi de tester une méthode de recueil combinant accéléromètre et GPS.

### **2.1. Protocole de recherche : l'organisation de l'étude pilote**

#### **A. Sujets et design de l'étude**

L'étude pilote a été menée auprès de 28 personnes réparties entre Strasbourg et Paris (14 personnes dans chaque ville). Les sujets ont été choisis dans l'entourage des enquêteurs et n'étaient pas rémunérés. De plus, ils ont signé un consentement écrit et participent en tant que volontaires à l'étude Nutrinet-santé pour laquelle un accord de la CNIL a été délivré (CNIL N°1460707V1, DR 2012-289). Le choix des sujets a été réalisé de manière à ce que toutes les tranches d'âge soient représentées (à partir de 18 ans, moyenne d'âge = 38,4 ans) et que la répartition par sexe soit équilibrée (8 hommes, 6 femmes). Nous avons également essayé de constituer des groupes hétérogènes du point de vue des connaissances en informatique et en navigation internet. L'étude pilote a été réalisée de Mai à Juin 2012. Durant cette période, les conditions climatiques sont souvent propices à l'utilisation des transports actifs. Dans chaque ville, les 14 sujets ont été répartis sur deux semaines en combinant vacances, week-end et jours ouvrables.

Les 14 sujets étaient invités à porter un GPS et un accéléromètre à la ceinture du lever au coucher et du lundi matin au dimanche soir. En plus de porter ces appareils, les sujets ont rempli des carnets d'activité par le biais d'un site internet sécurisé. Les 7 sujets de la première semaine ont été invités à le remplir mardi et samedi et les 7 sujets de la deuxième semaine devaient le remplir tous les jours. Les sujets des deux semaines d'étude ont également été

invités à enregistrer des informations à l'aide d'un dictaphone durant deux demi-journées. Le "kit mobilité" était donc composé d'une ceinture avec un accéléromètre et un GPS, d'un dictaphone et d'un site internet.

## **B. Territoires de l'étude pilote**

L'étude a été menée en parallèle à Paris et à Strasbourg. Le choix de ces villes a été motivé par plusieurs éléments. Le premier concerne les spécificités de ces deux villes dans le domaine des transports actifs. Les Franciliens et plus particulièrement les Parisiens sont les français qui marchent en moyenne le plus (Le.Parisien; Le.Monde 2012). Strasbourg est la ville la plus cyclable de France et les Bas-Rhinois sont les français qui font le plus de déplacements à vélo (Bigot 2010). Le second élément qui a motivé le choix de ces villes est dû au fait qu'une grande partie des équipes partenaires du projet ACTI-Cités sont basées à Strasbourg ou à Paris.

Ce mémoire est centré plus particulièrement sur l'étude-pilote menée dans la ville de Strasbourg auprès de 14 sujets.

### **2.1.1. Protocole d'utilisation du GPS et de l'accéléromètre**

Deux façons différentes de transmettre les consignes aux sujets (utilisation des instruments, utilisation du site internet, du dictaphone) ont été testées au cours des deux semaines d'étude. Chacune de ces méthodes a été expérimentée au moment de la transmission du matériel. Durant la phase de transmission de la première semaine, la personne chargée de mener l'étude a lu le manuel d'utilisation avec les sujets pour identifier les points les plus compliqués à comprendre. La phase de transmission de la deuxième semaine d'étude s'est déroulée légèrement différemment : le sujet lisait seul le manuel d'utilisation puis pouvait poser des questions au chargé d'étude.

Les parties suivantes décrivent le protocole d'utilisation des instruments de mesure ainsi que les consignes transmises aux utilisateurs.

## **A. Le réglage des appareils**

### **- Le GPS**

Le modèle de GPS ayant été retenu pour l'étude-pilote est le modèle le plus récemment développé par la société Qstarz (modèle BT-Q1000EX). Celui-ci a été retenu près une série de tests sur différents instruments réalisés à Lyon par l'équipe du CRNH partenaire du projet ACTI-Cités. Les GPS Qstarz sont, par ailleurs, actuellement les GPS les plus fréquemment utilisés à l'échelle internationale dans les études en santé publique.

L'équipe du CRNH de Lyon a également établi les seuils de mesure et les autres fonctions qui doivent être réglées sur les appareils. Pour le GPS, le pas de temps retenu est de deux secondes. En plus des simples coordonnées géographiques, il faut également régler l'appareil pour qu'il enregistre le nombre de satellites en vue et le nombre de satellites utilisés pour réaliser les mesures. Ces dernières données serviront à établir un ratio de précision des mesures GPS. Le GPS enregistre ces données à partir du moment où il est allumé par l'utilisateur.

Les modules GPS sont réglés par le biais du logiciel QTravel.

### **- L'accéléromètre**

Le modèle d'accéléromètre retenu pour le projet ACTI-Cités est l'Actigraph GT3X+. Ce modèle est très utilisé dans les études portant sur l'activité physique. Dans le cadre du projet ACTI-Cités, la fréquence de relevé choisie est de 10 Hz (10 relevés par seconde).

Il faut également régler la date et l'heure de commencement des mesures. Le réglage de la date et l'heure de fin d'enregistrement est facultatif : ne pas les régler réduit le risque de commettre une erreur.

## **B. Les consignes aux sujets (utilisation et port des appareils) <sup>3</sup>**

### **- Comment les porter ?**

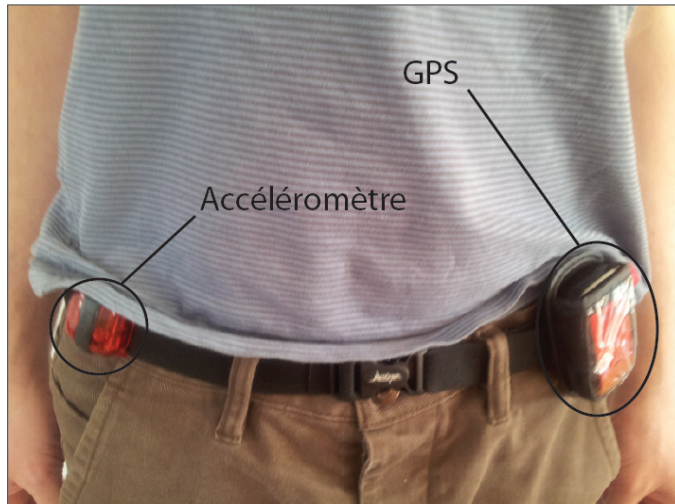
Malgré le fait que la méthode de transmission des consignes ait été différente entre la première semaine d'étude et la seconde, les consignes transmises sont restées les mêmes. Les

---

<sup>3</sup> Le manuel d'utilisation distribué aux participants est disponible en annexe.

sujets ont été invités à porter au niveau des hanches une ceinture sur laquelle étaient fixés le récepteur GPS et l'accéléromètre. Pour des raisons de réglage, l'accéléromètre se porte toujours du côté droit et le GPS du côté gauche (**voir document 13**).

**Document 13:** Description du port de l'accéléromètre et du GPS dans l'étude pilote mobilités



- **Allumer, éteindre et recharger**

Le récepteur GPS a une autonomie de 48h. Par mesure de précaution, il a été demandé aux sujets de recharger l'appareil tous les soirs. Le récepteur était donc fourni avec un câble usb et un adaptateur usb/secteur. Le récepteur GPS dispose d'un bouton latéral de sélection à trois positions : off, 1Hz et 10Hz. Seuls les deux premières positions sont à utiliser par les sujets. La première position ("off") permet à l'utilisateur d'éteindre l'appareil quand il le souhaite. La présence de ce bouton est obligatoire dans les études de mobilité. La seconde position ("1 Hz") permet de sélectionner la fréquence d'enregistrement préprogrammée (dans cette étude-pilote la fréquence préprogrammée est de 0,5 Hz. L'utilisation de la troisième position, qui enregistre 10 points par seconde, est à proscrire car la mémoire de l'appareil se remplit en quelques heures.

L'accéléromètre ne consommant pas énormément d'énergie, la capacité de sa batterie est supérieure à 3 semaines. De plus, l'appareil ne dispose pas de bouton on/off : il est réglé pour commencer à enregistrer à une date et une heure précise. Les sujets n'ont donc pas à manipuler l'accéléromètre. Il est possible de programmer l'accéléromètre pour qu'une LED clignote lorsque l'appareil est en période d'enregistrement. Ceci permet de rassurer les sujets susceptibles de se demander si l'appareil enregistre correctement.

### 2.1.2. Carnet d'activité web

En plus de porter un GPS et un accéléromètre durant une semaine, il a été demandé aux participants de l'étude-pilote de remplir un "carnet d'activité web".

#### A. Construction du carnet d'activité web

Comme nous l'avons vu auparavant (voir 1.3.2), les mesures GPS sont souvent accompagnées de carnets de bord. Ceux-ci permettent de vérifier, corriger ou valider les données relevées par récepteur GPS. Dans un premier temps, les carnets d'activité visaient à comparer les réponses aux données GPS. En plus de ces questions permettant la comparaison entre des données mesurées et des données déclarées, nous avons intégré des questions dont les réponses ne peuvent pas être évaluées par les mesures GPS. La mise en place de ce carnet d'activité web s'est faite en prenant appui sur la littérature existante dans ce domaine (voir 1.3.2) et a bénéficié d'une étroite collaboration avec Christophe Eaux, chercheur au LIVE (Université de Strasbourg, CNRS) et partenaire du projet ACTI-Cités.

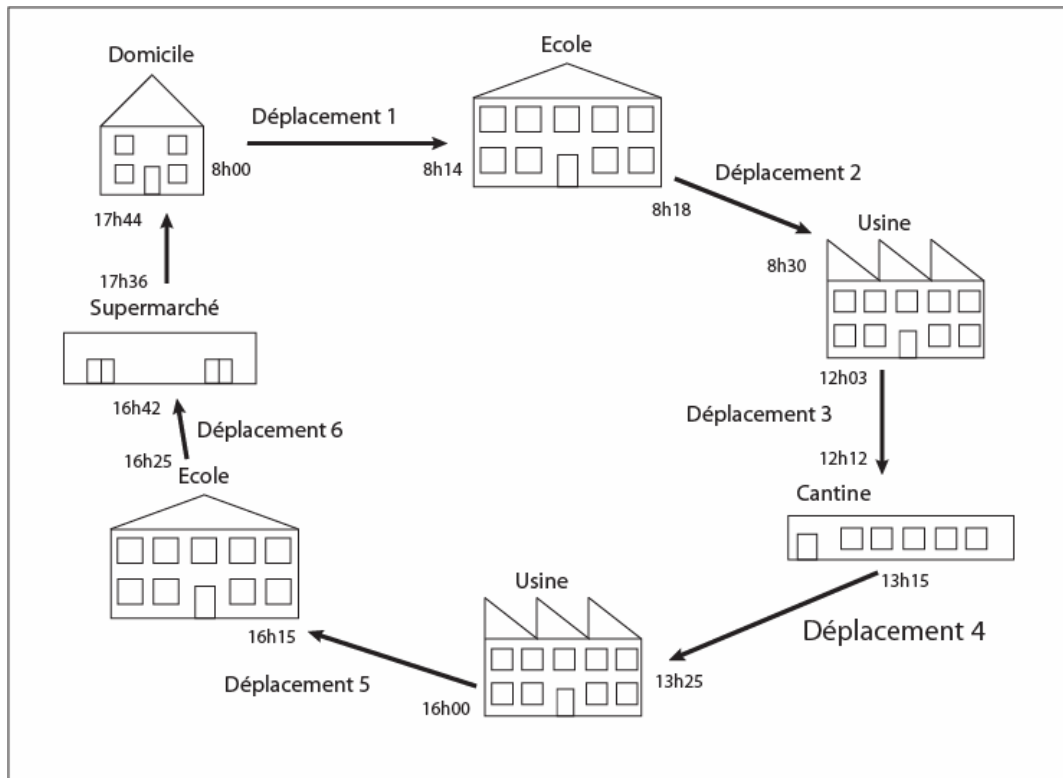
Il est important de garder en mémoire que ce carnet d'activité est un test préliminaire à un recueil de données à plus grande échelle. Ce dernier nécessite la mise en place d'un processus de collecte de données en routine. Pour des raisons d'efficacité d'extraction, nous avons fait le choix de réaliser un site web sécurisé sur lequel peuvent être déclarées les informations demandées.

#### B. Questionnaire Web

Les premières questions de ce carnet d'activité concernent la phase de « validation » des mesures des récepteurs GPS et des accéléromètres. Il est possible de segmenter la journée de mesure d'un individu en déplacements et en périodes statiques. Les données à déclarer via le site web sont les déplacements. Ceux-ci sont définis comme toutes mobilités effectuées à pied, à vélo (ou rollers/trottinette), en voiture et en transport en commun.

Un déplacement est une mobilité permettant de se rendre d'un lieu à un autre (voir **document 14**). Il peut être découpé en plusieurs trajets (domicile → arrêt de bus 1; arrêt de bus 1 → arrêt de bus 2; arrêt de bus 2 → lieu de travail). Dans certains cas, les lieux de départ et d'arrivée peuvent être les mêmes (lorsqu'une personne promène son chien par exemple).

**Document 14:** Exemple de schéma de déplacement sur une journée



Les informations déclarées par le sujet qui serviront à la comparaison avec les données mesurées sont les suivantes :

- Le jour de la semaine ;
- l'heure de départ ;
- l'heure d'arrivée ;
- le lieu de départ ;
- le lieu d'arrivée ;
- le(s) mode(s) de transport.

La suite du questionnaire porte sur des éléments qui ne peuvent pas être déduits des données issues par les appareils de mesure :

- **l'accompagnement (c'est-à-dire avec qui ?)**

A première vue, savoir avec qui était le sujet lors de son déplacement peut donner des pistes pour comprendre le choix concernant le mode de déplacement. Par exemple, un parent allant chercher son ou ses enfant(s) à l'école préférera peut-être la voiture au vélo ou à la marche.



- **l'intensité d'activité physique ressentie.**

Cette question est posée dans le but de savoir si l'intensité d'activité physique perçue peut agir sur le choix d'un mode de transport ou d'un itinéraire.

**C. Protocole de recueil**

Pour faciliter le recueil des données et éviter l'oubli d'un déplacement réalisé durant la journée, les sujets avaient à disposition dans le « kit mobilité » une version papier du carnet d'activité qu'il était possible de compléter tout au long de la journée (format A5). Le soir, il leur est demandé de reporter les informations notées durant la journée sur le site internet prévu à cet effet (environ 10 minutes).

**D. Définir les limites du quartier de vie**

Au sein du questionnaire web, en plus de la partie « déclarer ses déplacements » il était demandé au volontaire de représenter les limites de son « quartier de vie » (**voir document 15**) grâce à une application spécialement conçue pour être intégrée au site web.

La définition de « quartier de vie » proposée aux volontaires est la suivante :

*« Votre quartier de vie englobe les lieux et les espaces que vous pratiquez dans le cadre de votre vie quotidienne. C'est dans cet espace que se trouvent les commerces de proximité que vous fréquentez le plus (boulangerie, supérette, supermarché de proximité, arrêt(s) de transport en commun le(s) plus utilisé(s), bars, restauration ...). Il peut s'agir d'une simple rue, d'un bloc, d'un ensemble de rues, d'une place, etc. »*

L'analyse des limites des quartiers de vie devrait permettre de comprendre comment le sujet appréhende son environnement physique direct. L'analyse des aménagements présents dans cette zone nous permettra d'apporter des explications aux choix des sujets en termes de modes de transport (actifs vs non actifs) et d'itinéraires.

**Document 15:** Exemple de limites de quartier de vie représentées à l'aide de l'application web (quartier de la Krutenau, Strasbourg, 2012)



### 2.1.3. Dictaphone

Le dernier élément du kit de mobilité est un dictaphone. Celui-ci permet, d'une part, au volontaire d'enregistrer des informations durant deux demi-journées (a) et d'autre part d'enregistrer les entretiens de débriefing programmés avec chaque sujet à la fin de la phase de recueil des données (b).

a. Au cours des deux demi-journées durant lesquelles les sujets devaient utiliser leur dictaphone, les informations suivantes devaient être déclarées pour chaque déplacement :

- Heure de départ
- Heure d'arrivée
- Qui vous a accompagné ?
- Pourquoi avez-vous choisi cet itinéraire ?
- Quel mode de transport avez-vous utilisé ?
- Pourquoi avez-vous choisi ce mode de transport ?
- Vos impressions d'ensemble au cours de votre déplacement : sur les modes de transport utilisés, sur les éléments plaisants et déplaisants ou sur toute autre information qui vous paraît importante à signaler.

En raison d'un manque de temps, ces données n'ont pas été utilisées dans le cadre de ce

travail. Elles ne seront donc pas mentionnées dans l'analyse des résultats.

b. Au cours du débriefing final qui clôturait la semaine de recueil, les questions posées aux sujets étaient :

- Auriez-vous accepté de participer à l'étude dans les mêmes conditions si vous n'aviez pas été contacté par une personne que vous connaissiez ?
- Sur une échelle de 1 à 5 (où 1 est le moins contraignant), notez le niveau de contrainte posé par : la ceinture (GPS et accéléromètre + rechargement GPS), le remplissage du carnet d'activité web, entretiens de briefing et de débriefing, le dictaphone, lecture des documents.
- Attendez-vous quelque chose de spécial par rapport à l'étude et à ses résultats ?

## **2.2. Méthode de traitement des données**

Les données brutes des accéléromètres et des récepteurs GPS sont extraites grâce aux logiciels livrés avec les appareils: Actilife<sup>®</sup> pour les accéléromètres et QTravel<sup>®</sup> pour les récepteurs GPS.

Les données déclarées par les sujets dans le carnet d'activité web et lors de l'inscription sont transférées directement sur des bases de données MySQL lorsqu'elles sont envoyées grâce au site web. Les données enregistrées sur les dictaphones sont écrites au format WMA (format audio standard de windows) et sont donc transférables dans l'ordinateur pour l'étape d'écoute. Une fois les données extraites des différents appareils, les données vont subir un prétraitement pour traiter et organiser les bases de données afin de pouvoir les exploiter.

### **2.2.1. Combiner les différentes données : l'apport du logiciel PALMS**

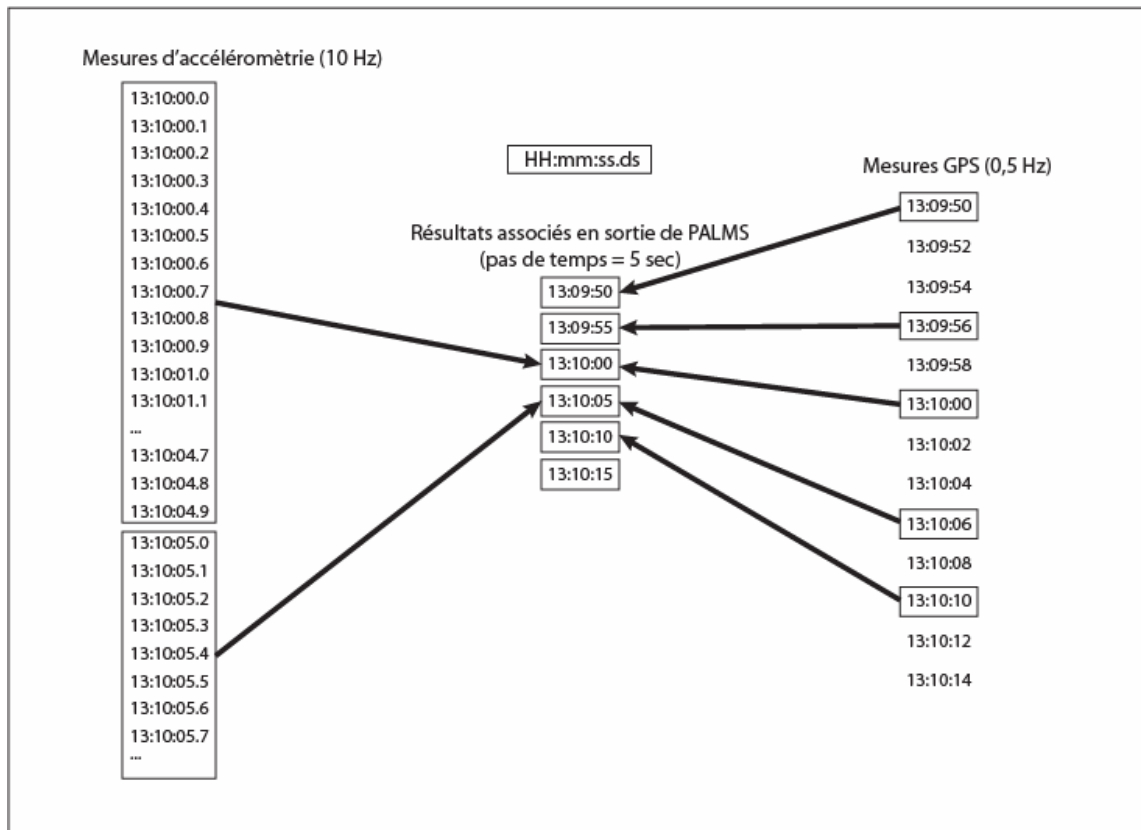
Le recueil de données est double : il se fait via l'accéléromètre et le récepteur GPS. L'objectif est de combiner ces données afin que chaque couple de coordonnées géographiques dispose d'informations concernant l'intensité de l'activité physique du sujet au moment où le point est mesuré. Tels que nous les avons programmés, l'accéléromètre enregistre à une fréquence de 10 Hz et le GPS à une fréquence de 0,5 Hz. Or, l'analyse des données ne peut se faire que si les données issues des deux appareils sont combinées. Il nous faut donc créer des points auxquels seront associées une position (coordonnées géographiques du point) et une valeur d'accélérométrie. A ces deux éléments, il est essentiel d'ajouter la date et l'heure précise (à la seconde), ce qui permettra d'identifier et d'ordonner les points.

Le logiciel PALMS (Physical Activity and Location Measurement System), développé à l'université de San Diego (USA), a été spécialement conçu pour traiter et combiner des données d'accélérométrie et de positionnement satellite.

Lorsqu'un point est enregistré sur l'accéléromètre ou sur le récepteur GPS, l'appareil de mesure lui associe une date et une heure. Au moment de l'association des données, le logiciel va utiliser ces informations relatives à l'heure et à la date pour combiner les points entre eux. L'association des mesures d'accélérométrie se fait en effectuant une somme des valeurs mesurées durant l'intervalle de temps demandé. A cette somme de mesures sont associées les coordonnées géographiques du premier point de la série de l'intervalle de temps concerné. Ce processus que nous avons appelé "merging" est schématisé dans le **document 16**.

Le pas de temps entre chaque point choisi pour cette étude-pilote est de **5 secondes**. Ce pas de temps court permettra une analyse fine des résultats tout en évitant la surcharge des espaces de stockage des appareils et des bases de données.

**Document 16:** Processus de merging des données d'accélérométrie des données GPS avec PALMS



Source : R. Misslin d'après le guide d'utilisation de PALMS (2012)

Grâce aux données en entrée (données brutes accéléromètre et GPS), PALMS va associer plusieurs informations à chaque point. La valeur de certaines de ces informations (ex: vitesse de déplacement, exclusion de valeurs...) a été établie par des calculs aux constantes prédéfinies par nos soins<sup>4</sup> soit sur les données GPS soit sur les données d'accélérométrie.. Les règles que nous avons fixées pour chaque information sont décrites dans la suite de ce travail.

## **A. Règles fixées sur PALMS pour traiter les données issues des récepteurs GPS**

**1. Perte de signal** : si un point apparaît seul après une période de perte de signal supérieure à 10 minutes, le point est considéré comme invalide.

**2. Filtrage des valeurs invalides** :

- Lorsqu'un point a une vitesse associée supérieure à 150 km/h, il est marqué comme invalide.
- Lorsque deux points sont séparés par une distance inférieure à 1 mètre ou supérieure à 500 mètres, le second point est marqué comme invalide.

**3. Détection des points mesurés à l'intérieur d'un bâtiment** : Lorsque le ratio "nombre de satellites utilisés pour les mesure / nombre de satellites en vue" est inférieur à 0,7, le point est marqué comme "indoor". Cette technique permet non seulement d'éliminer les points mesurés à l'intérieur de bâtiments mais aussi de supprimer ceux dont le niveau de précision de mesure est faible.

**4. Calcul de la vitesse de déplacement** : la vitesse est calculée entre deux points grâce au temps et à la distance qui les sépare. Cette vitesse est calculée directement par le récepteur GPS. Le logiciel permet de lisser la vitesse. Ce lissage est effectué sur 3 points.

**5. Détection des modes de transport** : La vitesse moyenne d'un déplacement et la vitesse maximale sont utilisées pour définir le mode de transport. Cependant, un déplacement peut se voir attribuer plusieurs modes de transport (ces modes étant attribués par point et non par déplacement).

Les valeurs seuils utilisées pour définir les modes de transport sont les suivantes :

- Voiture : 25 km/h ;

---

<sup>4</sup> La définition de ces valeurs seuils a bénéficié de discussions avec Thomas Bastian de l'équipe de Lyon (CRNH).

- Vélo : 10 km/h ;
- Marche : 2 km/h.

Ces valeurs seuils ont été définies grâce à plusieurs tests réalisés sur des mesures ayant précédées l'étude-pilote.

#### **6. Détection des déplacements :**

- Distance minimum parcourue en 1 minute : 50 mètres (ce qui équivaut à une vitesse minimum de déplacement moyenne sur une minute de 3 km/h).
- Distance minimum parcourue en un déplacement : 150 mètres. Cette distance a été fixée après plusieurs essais où nous avons pu constater que les déplacements dont la distance était inférieure à 150 mètres étaient soit invalides soit non mesurés.
- Durée minimum d'un déplacement : 100 secondes. En dessous de cette durée, le déplacement a très peu de chance d'être mesuré (le temps d'acquisition des signaux satellite par le récepteur est d'approximativement 1'30" selon conditions). S'il l'est, une grande partie de celui-ci sera mal mesuré, ce qui le rendra très difficile à interpréter.
- Temps de pause minimum/maximum : Pour qu'un point soit caractérisé comme étant un point de pause, le temps de pause doit être supérieur à 2 minutes et inférieur à 5 minutes.

Les déplacements détectés par les algorithmes de PALMS se voient attribuer un numéro. Tous les points faisant partie du premier déplacement détecté recevront le numéro 1 et ainsi de suite.

**7. Détection des lieux :** La détection des lieux se fait dans un cluster de 30 mètres de rayon. Ce rayon équivaut à ce qui peut être observé en moyenne autour du domicile des sujets (selon la situation et les caractéristiques du domicile). La durée minimum passée en un lieu a été fixée à 5 minutes.

Le logiciel PALMS attribue un numéro différent à chaque lieu identifié. Le principe est le même que pour l'attribution des numéros des déplacements, mis à part le fait que si un lieu a déjà été détecté, il devrait recevoir le même numéro qu'à sa première détection.

#### **B. Règles fixées dans PALMS pour traiter les données d'accélérométrie**

**1. Détection des périodes durant lesquelles l'accéléromètre n'est pas porté :** Cette option permet de différencier les périodes durant lesquelles l'accéléromètre n'est pas porté des périodes de sédentarité. Lorsque la durée de sédentarité totale (0 sur les trois axes) dépasse 30 minutes, on considère que l'accéléromètre n'est pas porté.

**2. Classification de l'intensité de l'activité physique :** Le niveau d'intensité de l'activité physique mesurée est noté sur une échelle de 5 sur laquelle 1 est le niveau de sédentarité. Les seuils que nous avons utilisés sont ceux fixés par Freedson (voir 1.3.1).

- Sédentarité : < 100 coups/min ;
- Activité d'intensité faible : de 100 à 1952 coups/min ;
- Activité d'intensité modérée : de 1953 à 5724 coups/min ;
- Activité d'intensité élevée : 5725 à 9498 coups/min ;
- Activité d'intensité très élevée : supérieure à 9498 coups/min.

L'ensemble de ces informations (dont nous avons fixé les seuils) sont disponibles pour chaque point créé par PALMS à partir des données brutes (accéléromètre et GPS). Le nombre de points dans une base de données "normale" se situe généralement entre 100 000 et 130 000. La suite du travail consiste à trier, nettoyer, combiner et analyser ces informations pour l'ensemble des 100 000 points de chaque base de données.

### **2.2.2. Traitement croisé des données GPS/accéléromètre<sup>5</sup>**

L'objectif de cette étape de traitement des données issues de PALMS est de créer une base de données qui pourra être:

**A. importée directement dans un SIG ;**

**B. comparée avec les données déclarées.**

Cette étape de traitement des données a été effectuée (phase de test) grâce à des programmes informatiques que nous avons développés.

---

<sup>5</sup> Lors de cette étape, nous ferons référence à des programmes informatiques spécialement conçus pour ce travail.

## **A. Création d'une base pouvant être importée dans un SIG : nettoyage des points aberrants ne faisant pas partie de déplacements**

L'objectif de cette étude-pilote de proposer une méthode d'évaluation des mobilités actives. Nous nous intéressons donc en priorité aux déplacements lors du traitement des données. Comme nous l'avons vu, la base de données à la sortie de PALMS est composée de plus de 100 000 points. Parmi ces points, une grande partie est marquée comme "stationnaire" et/ou est mesurée en intérieur : ce ne sont donc pas des déplacements. Ces points ont donc été supprimés.

Les programmes que nous utilisons permettent de nettoyer ces bases de façon automatique. Seuls les déplacements correctement mesurés sont conservés. Les points sont éliminés lorsque le niveau de précision de l'enregistrement est trop faible (ratio nombre satellites utilisés pour les mesures / nombre satellites en vue < 0,7) ou lorsque les points n'ont pas été identifiés par PALMS comme faisant partie d'un déplacement.

## **B. Création d'une base de données permettant la comparaison entre les données mesurées et les données déclarées par les sujets**

Cette étape est également effectuée à l'aide de programmes informatiques spécifiques. Les données utilisées (les points GPS nettoyés) serviront à :

### **- Définir les horaires de départ et d'arrivée des déplacements mesurés :**

Le logiciel PALMS a attribué à chaque point des caractéristiques spécifiques (voir 2.2.1). Une de ces caractéristiques est le numéro du déplacement auquel appartient le point. Grâce à ce numéro, il est possible d'identifier dans la base de données nettoyée le premier et le dernier point d'un déplacement. Ces informations nous permettent de définir les heures de départ et d'arrivée mesurées par le GPS.

### **- Définir le/les mode(s) de transport principal(aux) :**

Une autre des caractéristiques attribuées par PALMS à chacun des points est le nom du mode de transport mesuré (ou le terme "stationnaire" dans le cas où le point ne ferait pas partie d'un déplacement). Le programme permet de compter l'apparition de chaque terme dans un déplacement et de calculer le ratio de sa fréquence d'apparition par rapport au nombre total de points. Ce calcul attribue dès lors un "mode de transport mesuré" à



chacun des points.

### **- Donner une moyenne de l'intensité de l'activité physique mesurée**

Chacun des points GPS est associé à des mesures d'accélérométrie. L'échelle de valeur d'intensité d'activité physique mesurée va de 0 à 4. Pour chaque déplacement, le programme calcul la moyenne de ces valeurs.

Une fois ces données rassemblées, il est nécessaire de coupler les déplacements mesurés avec les déplacements déclarés. Cette étape a été réalisée de manière manuelle pour repérer les déplacements déclarés et mesurés allant de paire. Les horaires mesurés et déclarés n'étant généralement pas exactement les mêmes, il faut prendre chaque déplacement individuellement et le faire correspondre avec son double mesuré ou déclaré. Il est aussi nécessaire de remettre les déplacements dans leur contexte (analyser le déroulement de la journée de l'individu) afin de d'identifier ceux qui sont aberrants ou manquants.

Pour identifier ces points (aberrants, manquants) nous nous sommes appuyés sur la projection des points dans un SIG. En effet, l'analyse des points projetés permet de comprendre (a) si deux lieux ne sont pas reliés par des points (déplacement manquant) ou si (b) un déplacement aberrant n'a pas été identifié et donc pas éliminé (voir 3.2). Identifier un déplacement aberrant n'ayant pas été éliminé peut également se faire en analysant le niveau d'intensité d'activité physique qui lui est associé. Pour un déplacement à pied, ce niveau est généralement supérieur à 2. Il est inférieur à 2 pour les déplacements en voiture ou à vélo mais n'est jamais égal à 0.

### **2.2.3. Un Système d'Information Géographique pour vérifier et analyser les données**

Après nettoyage, les points (combinant les coordonnées GPS et l'intensité d'activité physique) sont introduits dans un SIG. Avant d'analyser les relations entre lieux et intensité d'activité, il est nécessaire de vérifier les données pour ensuite proposer les premiers supports d'analyse des données. Ces étapes méthodologiques sont décrites ci-dessous.

#### **A. Vérifier les données et identifier les problèmes qui pourraient faire obstacle à une analyse fine**

Lors de cette étape, les points sont superposés à des informations issues de base de données IGN. Ces informations cartographiques ont permis de comprendre la répartition des points

GPS par rapport au réseau de transports. D'autres informations (cours d'eau, végétation, frontières administratives) ont été utilisées afin d'aider la personne chargée du traitement des données à se repérer.

Les informations IGN que nous avons utilisés comme couche dans le SIG datent de 2008 et sont les suivantes :

- Surfaces administratives (la Communauté Urbaine de Strasbourg, les communes qui la compose et les communes avoisinantes);
- Routes (axes primaires et secondaires) ;
- Chemins (chemins d'exploitation, chemin dans les parcs, petits passages piétonniers, etc) ;
- Cours d'eau.
- 

## **B. Comprendre les problèmes et analyser les données à l'aide d'un SIG**

### **- L'apport de l'imagerie satellite :**

Il pourrait être intéressant d'intégrer les informations du bâti dans cette base de données géographiques. Cependant, la base IGN dont nous disposons ne recense pas l'ensemble du bâti. De plus, la façon dont est dessiné le bâti sur une carte IGN 1/25 000e ne permet pas de se rendre compte de son type (la seule information donnée étant l'emprise au sol). De ce fait, l'utilisation d'images satellites en compositions colorées<sup>6</sup> et classifiées<sup>7</sup> pourrait être intéressante pour la vérification des données, pour la compréhension de la répartition des points (les points sont-ils placés de façon plus précise dans les quartiers les plus ouverts (comme les quartiers pavillonnaires) et pour l'analyse des données. Selon l'échelle à laquelle elles sont classifiées et selon leur échelle de précision, l'utilisation d'images satellites classifiées implique que le réseau qui a le moins d'emprise (routes secondaires) disparaisse au profit du type du bâti qui l'entoure. Dès lors, il sera possible superposer le réseau routier IGN à ces images classifiées du bâti pour gagner en précision d'analyse.

---

<sup>6</sup> Une image satellite est en fait composée de plusieurs images prises sur des canaux de couleurs différentes (ces canaux sont différents pour chaque satellite). Une image en composition colorée rassemble plusieurs images et permet de visualiser une zone avec ses couleurs réelles.

<sup>7</sup> La classification d'une image satellite est une technique de télédétection qui utilise les informations contenues dans une image (sur un ou plusieurs canaux) pour réaliser une caractérisation qualitative des zones étudiées.

## - Les aménagements destinés aux piétons et aux cyclistes : des informations à recueillir :

La compréhension et l'évaluation de l'influence de l'aménagement sur l'activité physique ne peut se faire sans mettre en rapport les mesures d'activité physique et ces aménagements. Ceci implique la création d'une base de données géographiques recensant ces aménagements spécifiques.

Un exemple de ce type de bases de données géographiques a été développé à l'échelle d'une commune de 6 000 habitants (Eckbolsheim). Cette commune partage sa frontière Est avec la ville de Strasbourg. Elle est accolée aux quartiers d'Hautepierre et de Koenigshoffen situés à l'Ouest de Strasbourg et fait partie de la CUS (Communauté Urbaine de Strasbourg). Nous l'avons choisi pour ses nombreux aménagements spécifiques et sa taille modeste.

Le recensement des aménagements piétonniers et cyclistes de la commune a été réalisé en grande partie grâce aux nombreuses et précises informations transmises au cours d'entretiens avec M. Neu, chargé d'urbanisme et de développement durable à la Mairie d'Eckbolsheim. Ces entretiens ont permis de recenser : les différents aménagements cyclables (pistes, bandes, etc), ainsi que les zones de rencontre et les zones 30<sup>8</sup>. Les passages piétons ont été repérés à l'aide de Google Earth (image de 2006). Les itinéraires des lignes de bus et les arrêts associés ont été identifiés grâce aux informations disponibles sur le site internet de la Compagnie des Transports Strasbourgeois (CTS)<sup>9</sup>.

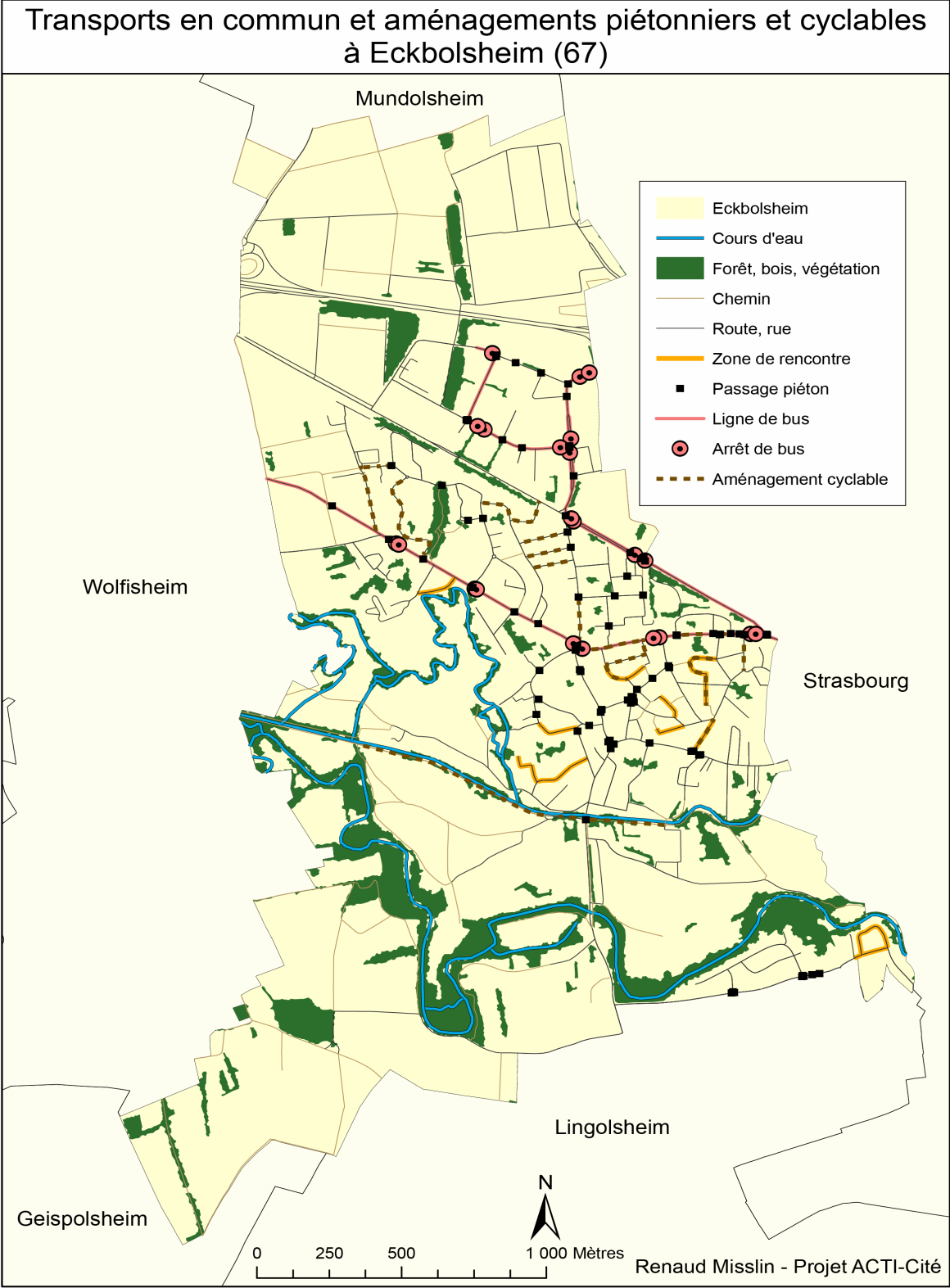
Une fois les aménagements vectorisés et intégrés à un SIG (**voir carte 2**), il est possible d'y ajouter les relevés GPS et les niveaux d'intensité d'activité physique qui y sont associés. Cet ensemble de données permettra, dans des analyses futures, d'évaluer l'influence des aménagements sur la pratique de l'activité physique dans le cadre des transports actifs.

---

<sup>8</sup> Mis à part les deux axes principaux (Nord/Sud et Est/Ouest et la zone d'activité située au Nord, la totalité de la commune est classée en zone 30. Nous avons donc choisi de ne pas les représenter sur la carte.

<sup>9</sup> [www.cts-strasbourg.fr](http://www.cts-strasbourg.fr)

Carte 2: Transports en commun et aménagements piétonniers et cyclables à Eckbolsheim (67)

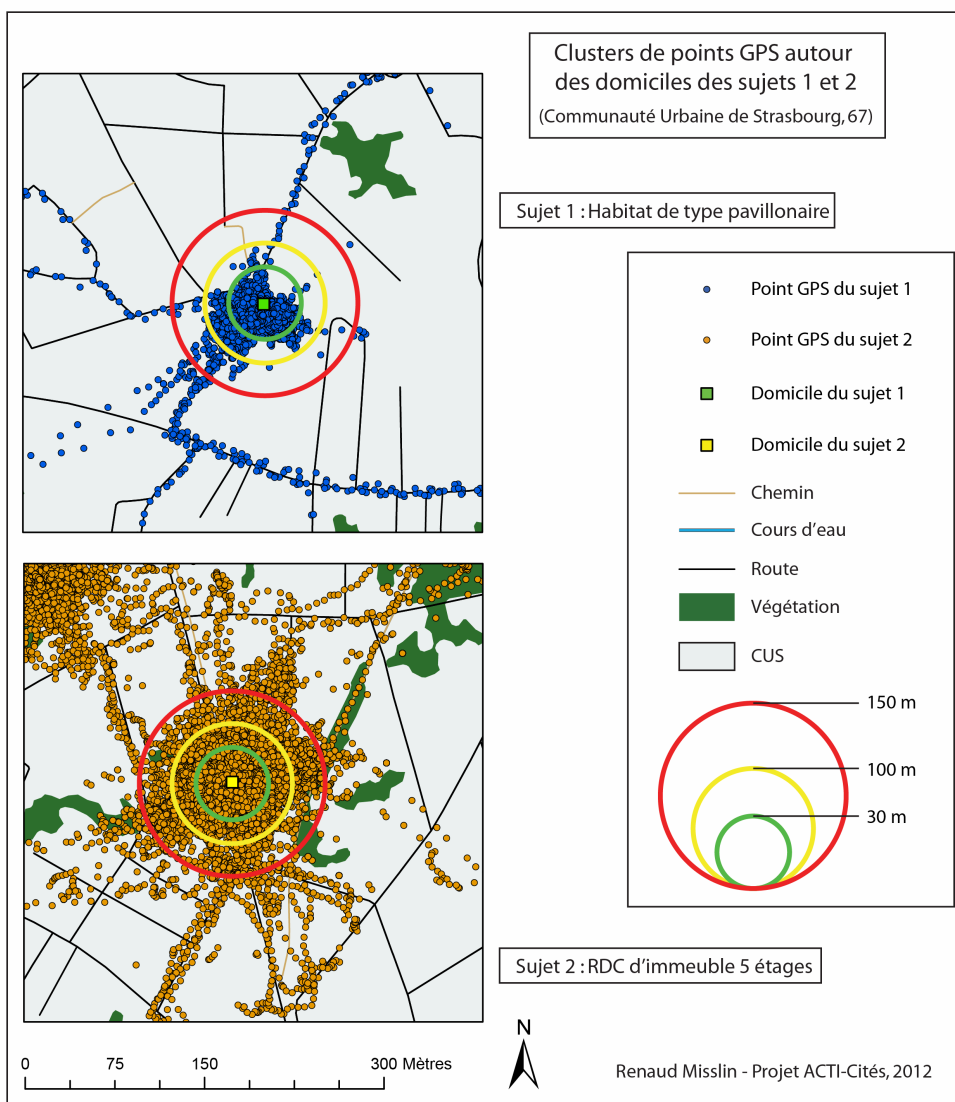


## 2.3. Projection des données brutes : identification des problèmes à résoudre

### 2.3.1. Les clusters de points

Lorsque le GPS enregistre des points à l'intérieur d'un bâtiment, la réception des signaux satellites baisse. Le positionnement des relevés GPS baisse donc également en précision. Lorsque les points non nettoyés sont projetés dans un SIG, on retrouve ces points placés de manière imprécise (voir **carte 3**) et formant des clusters de points, d'emprise plus ou moins importante. Leur surface d'étalement dépend beaucoup du type de bâtiment au sein duquel ils ont été enregistrés. La **carte 3** illustre deux clusters différents, en fonction du type d'habitat. On peut remarquer que le cluster de points enregistrés dans un habitat de type pavillonnaire est nettement moins étendu que celui qui est enregistré au rez-de-chaussée d'un immeuble de 5 étages (construction fin années 1990).

**Carte 3:** Exemple de répartition des points GPS non nettoyés autour du domicile en fonction du type d'habitat

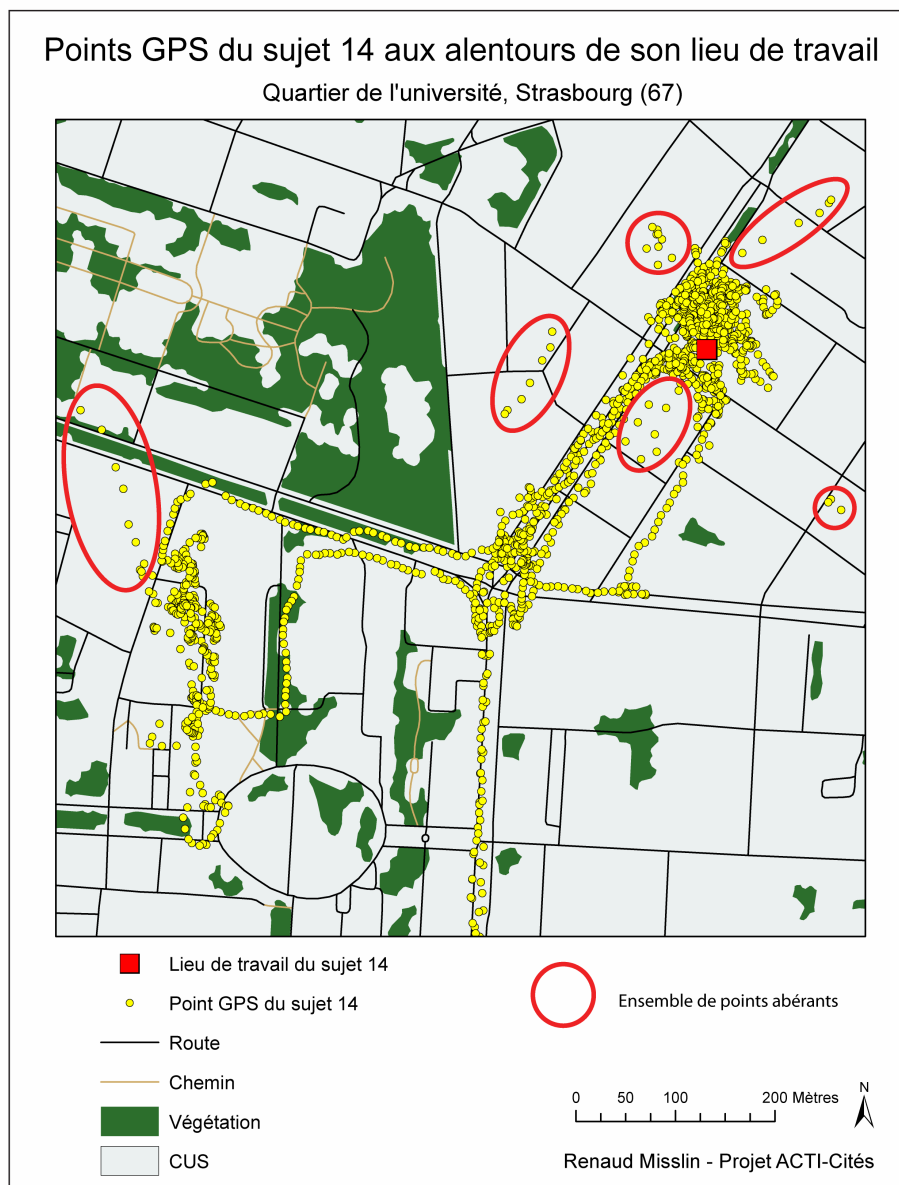


Ces clusters rendent difficile la lisibilité de la carte et, plus problématique, l'analyse des déplacements. La plupart de ces points ne faisant pas partie de déplacement, il paraît judicieux de ne pas les conserver.

### 2.3.2. Les points aberrants

En plus des clusters, l'enregistrement de points à l'intérieur ou les mauvaises réceptions occasionnelles entraînent des placements de points imprécis (voir **carte 4**). Ces points peuvent soit être isolés soit être regroupés. Dans ce dernier cas de figure, l'ensemble de points enregistré peut ressembler à un déplacement (voir **carte 4**). Cependant, celui-ci est aberrant, les points sont donc à éliminer.

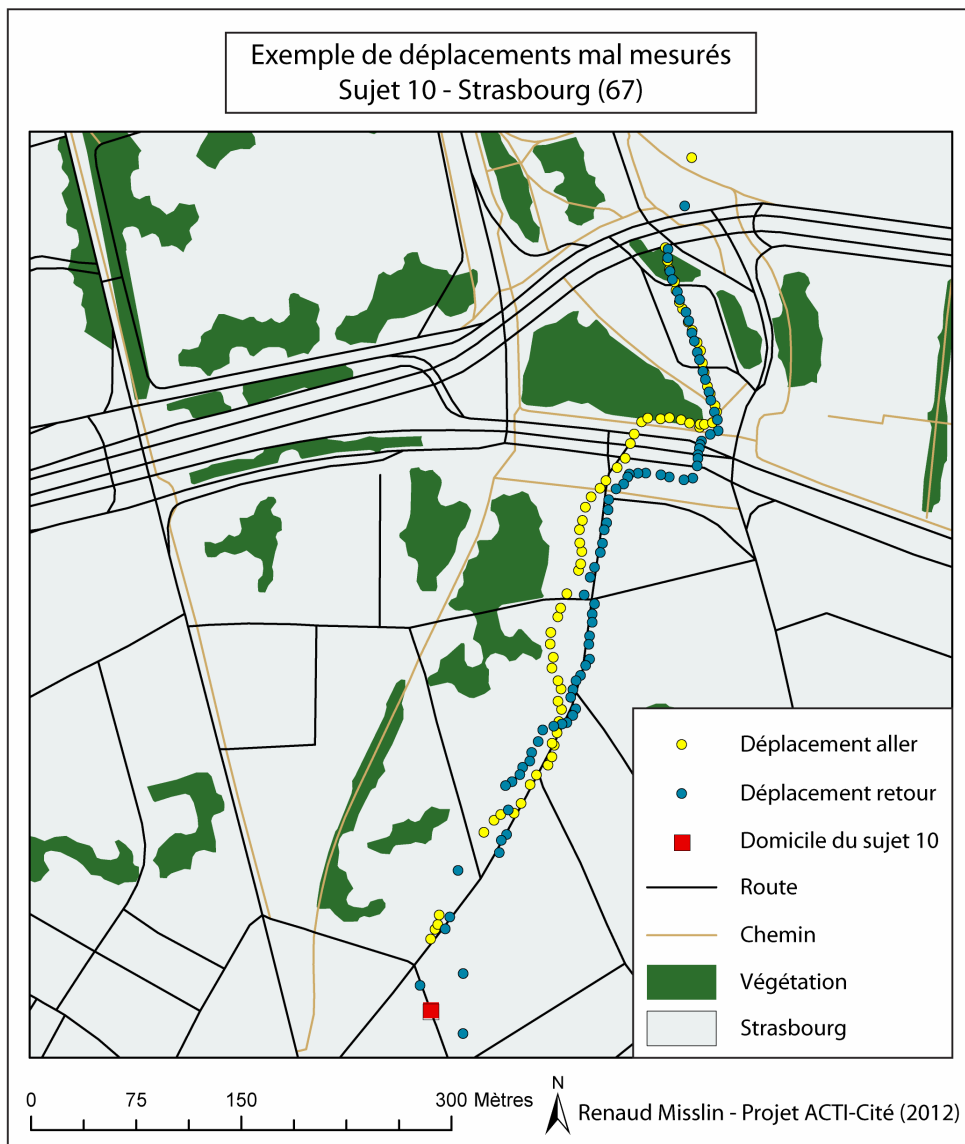
**Carte 4:** Exemples de points GPS non nettoyés autour d'un lieu de travail



### 2.3.3. Les mesures et le réseau routier IGN

En comparant le positionnement des relevés GPS et le réseau routier, il est possible d'observer des décalages. Sur la **carte 5**, une partie des points mesurés au cours du déplacement aller (en jaune) sont placés parfois à plus de 40 mètres de la route. Ces placements imprécis sont dus à une mauvaise réception du signal GPS. On peut également noter le fait que les points du déplacement retour sont nettement mieux positionnés (en bleu). Une hypothèse serait que la personne ait marché d'un côté de la rue à l'aller et de l'autre au retour, les deux côtés n'auraient donc pas les mêmes qualités en terme de réception du signal.

**Carte 5:** Exemple de décalage des mesures GPS lors de déplacements empruntant le même chemin à l'aller et au retour

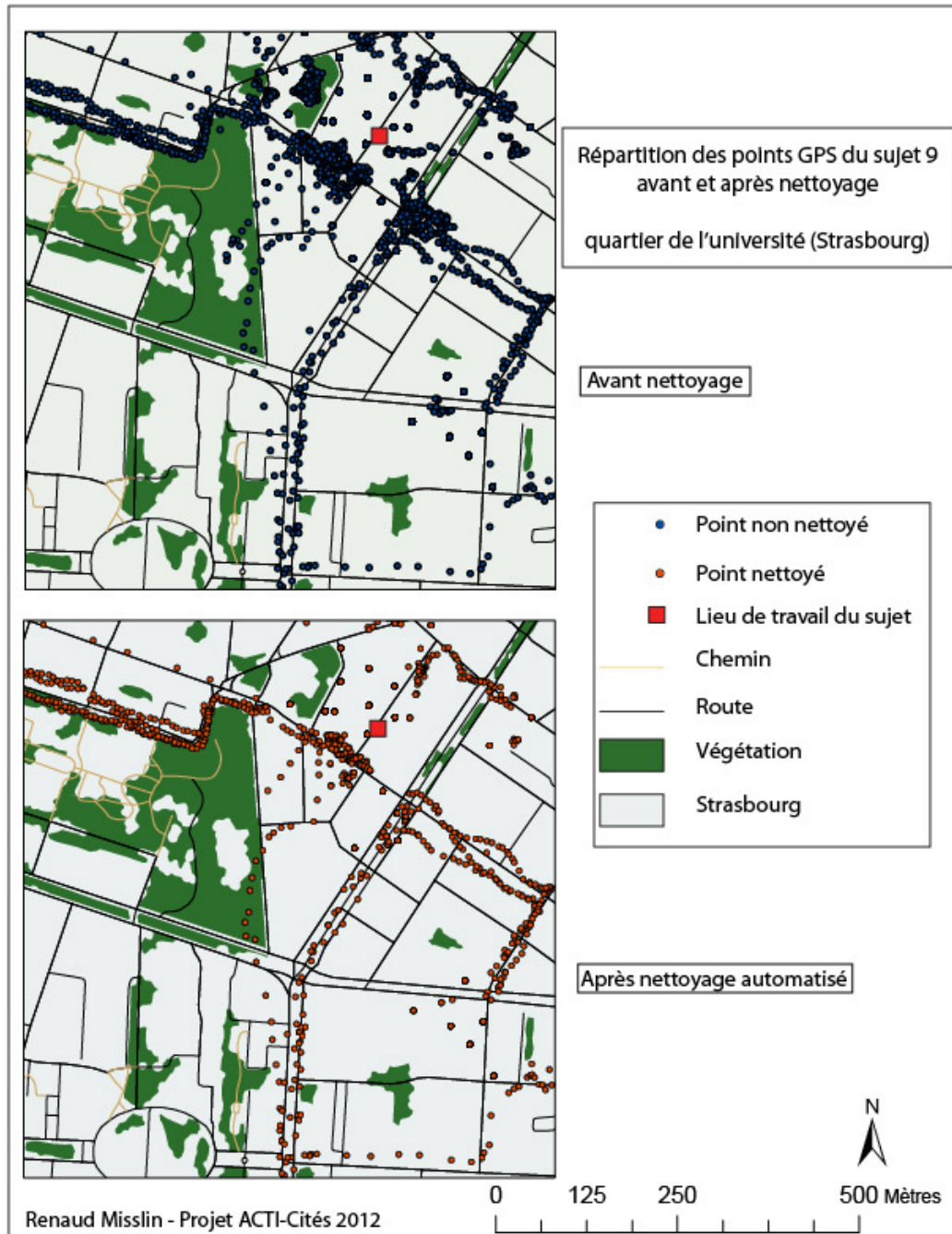


### 3. Résultats méthodologiques : comment répondre aux questions posées par les problèmes identifiés ?

#### 3.1. Résultats de la méthode de nettoyage automatisée

##### 3.1.1. Analyse globale

Carte 6: Répartition des points GPS avant et après nettoyage automatique



La méthode automatique, qui permet de traiter les données sorties de PALMS, à l'avantage d'être très rapide, de réduire le risque "d'erreur humaine" et présente de bons résultats. Il subsiste malgré tout des points et des déplacements qui paraissent aberrants visuellement (ils



ne suivent pas forcément les routes du fond de carte, voir **carte 6**). Cependant, certaines routes sont en réalité beaucoup plus larges que ce que laisse penser le fond de carte utilisé. Pour limiter ces erreurs de lecture, nous avons projeté les points sur une image satellite (**Carte 7**).

**Carte 7:** Répartition des points GPS avant et après nettoyage automatique (fond de carte image satellite Google Earth)



L'image satellite utilisée comme fond de carte permet de mieux visualiser les imprécisions des mesures GPS. Cependant, l'analyse de la **carte 7** ne permet pas vraiment d'expliquer le fait que certains points soient décalés par rapport aux rues/routes. En règle générale, on remarque que lorsque les points sont en dehors de la route sur la carte 6, ils le sont également sur la **carte 7** (fond Google Earth). L'apport de l'image satellite se situe surtout au niveau de l'analyse de la précision par rapport au type de bâti qui entoure la route et à largeur de cette dernière. De ce point de vue, il pourrait être intéressant de comparer ces déplacements avec des déplacements réalisés dans des espaces où le bâti serait moins dense.

### 3.1.2. La position des points pour les lieux de départ et d'arrivée

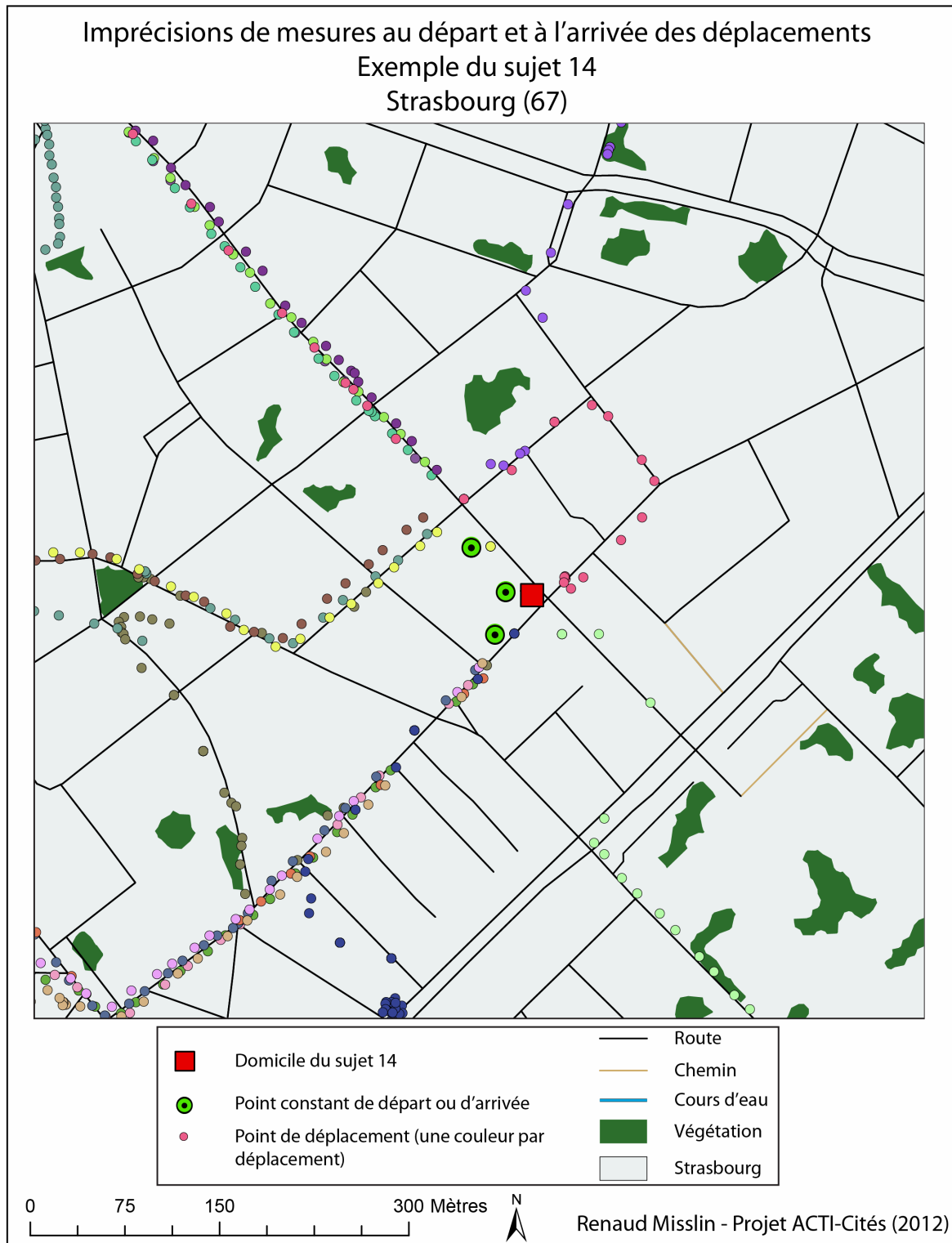
En analysant plus en détail le positionnement des points au cours des déplacements réalisés à pied, on remarque que les points de départ et d'arrivée sont presque toujours localisés en un même lieu. Celui-ci est généralement en léger décalage avec le lieu réel de départ ou d'arrivée. En règle générale, les points de départ des déplacements mesurés pendant une semaine se concentrent sur trois ou quatre points. La **carte 8** présente un exemple où chaque départ du domicile ou retour au domicile est localisé sur un des trois points (représentés en vert et noir sur la carte 8). Il est probable que ceci soit dû à des imprécisions dans les mesures et notamment au temps de connexion avec le satellite (dans le cas du lieu de départ). En effet, le récepteur GPS n'enregistre pas ou peu lorsqu'il est à l'intérieur d'un bâtiment et le récepteur doit se synchroniser avec les satellites lorsque le sujet quitte un bâtiment (en l'occurrence son domicile). Le récepteur calcul donc une approximation qui se trouve être toujours la même et la distance qui sépare le lieu (adresse du domicile) et le moment où le récepteur enregistre convenablement les données est particulièrement stable.

Les imprécisions de mesure à l'arrivée d'un déplacement sont plus compliquées à expliquer. Une hypothèse serait que les récepteurs GPS présentent des difficultés à traiter la fin des enregistrements (inscription des données en mémoire flash, mémoire cache non inscrit?). Lorsque le sujet rentre à l'intérieur d'un bâtiment, le récepteur va rechercher des satellites pendant quelques secondes puis va finir par interrompre son enregistrement. Il est possible que le récepteur ne parvienne pas à enregistrer correctement les données dans les secondes qui précèdent cette étape et que, comme pour les points de départ, le récepteur effectue une approximation.

Ces imprécisions au départ et à l'arrivée des déplacements n'entraînent pas de biais majeur lors de l'étude de déplacements longs. En revanche, dans le cas des petits déplacements à moins de 200 mètres du domicile, ces derniers ont une forte probabilité d'être mal évalués et mesurés.

Il est probable que ce phénomène d'imprécision au départ et à l'arrivée d'un déplacement soit le même pour des déplacements effectués à vélo (**carte 8**). Le vélo étant plus rapide que la marche, la distance (métrique) – entre le moment où le sujet sort de son domicile et le moment où l'appareil enregistre correctement – sera plus importante dans le cas d'un déplacement à vélo.

**Carte 8:** Exemple d'imprécisions de mesures au départ et à l'arrivée des déplacements



### 3.1.3. Les mesures et le bâti

L'influence du bâti sur la qualité des mesures GPS est importante. Si, comme expliqué dans la partie 2.3.1, le type de bâti influence les mesures lorsque le sujet se trouve dans un bâtiment, celui-ci influence aussi la qualité des mesures lorsque le sujet se trouve à l'extérieur, dans la rue.

La **carte 9** présente les points enregistrés aux alentours du domicile d'un sujet. Ces points ont été enregistrés dans le quartier des Contades (quartier allemand de la « Neudstadt », Strasbourg). Le bâti est dense, les murs sont épais, les rues relativement étroites et les immeubles sont hauts de 4 à 5 étages (voir **Document 17**).

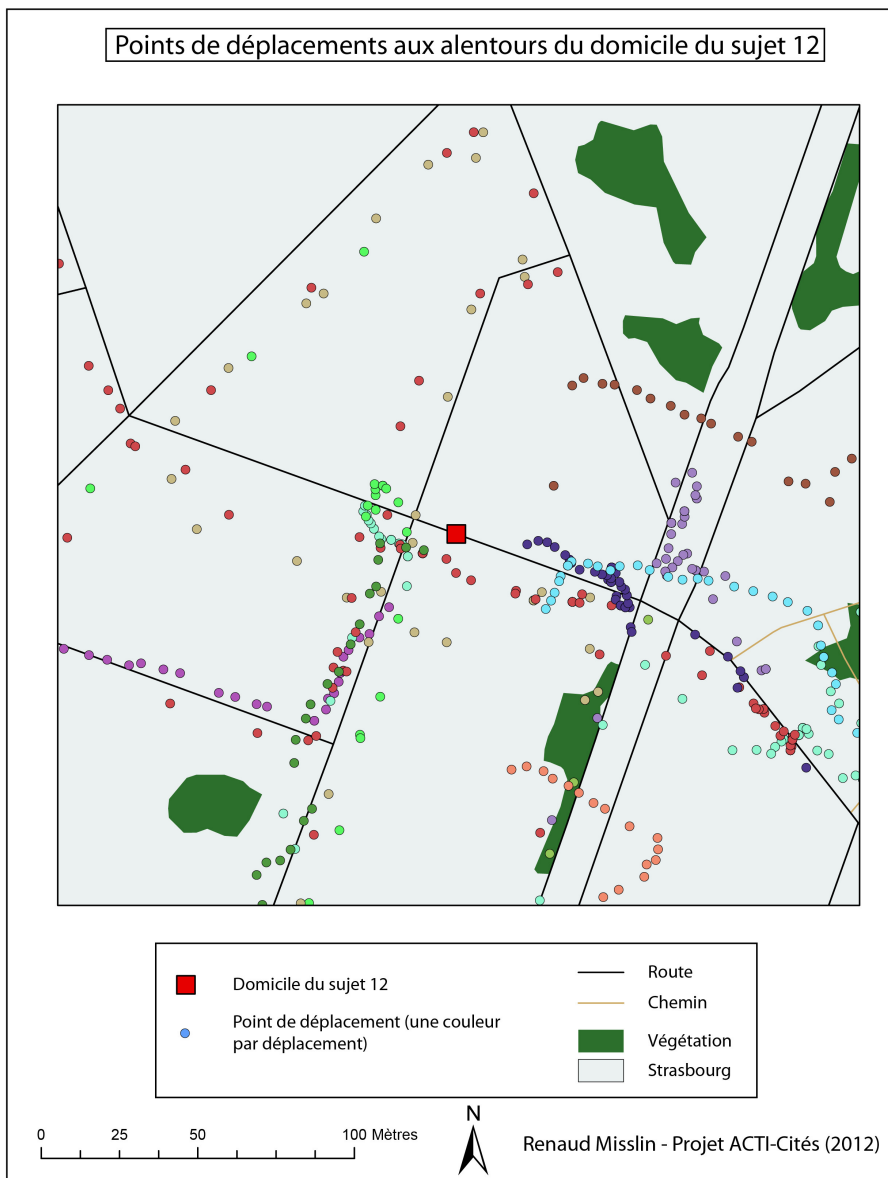
**Document 17:** Architecture allemande, rue Schwendi, Strasbourg (67) (photo wikipedia)



Sur la **carte 9**, en dehors des points enregistrés sur l'avenue des Vosges (la grande rue qui traverse l'Est de la carte du Nord au Sud), il est difficile d'identifier des déplacements structurés. Le décalage des mesures entre les points estimés et les rues est important dans les secteurs où les points forment un nuage dans lequel discerner des déplacements est compliqué: les mesures sont donc peu fiables.

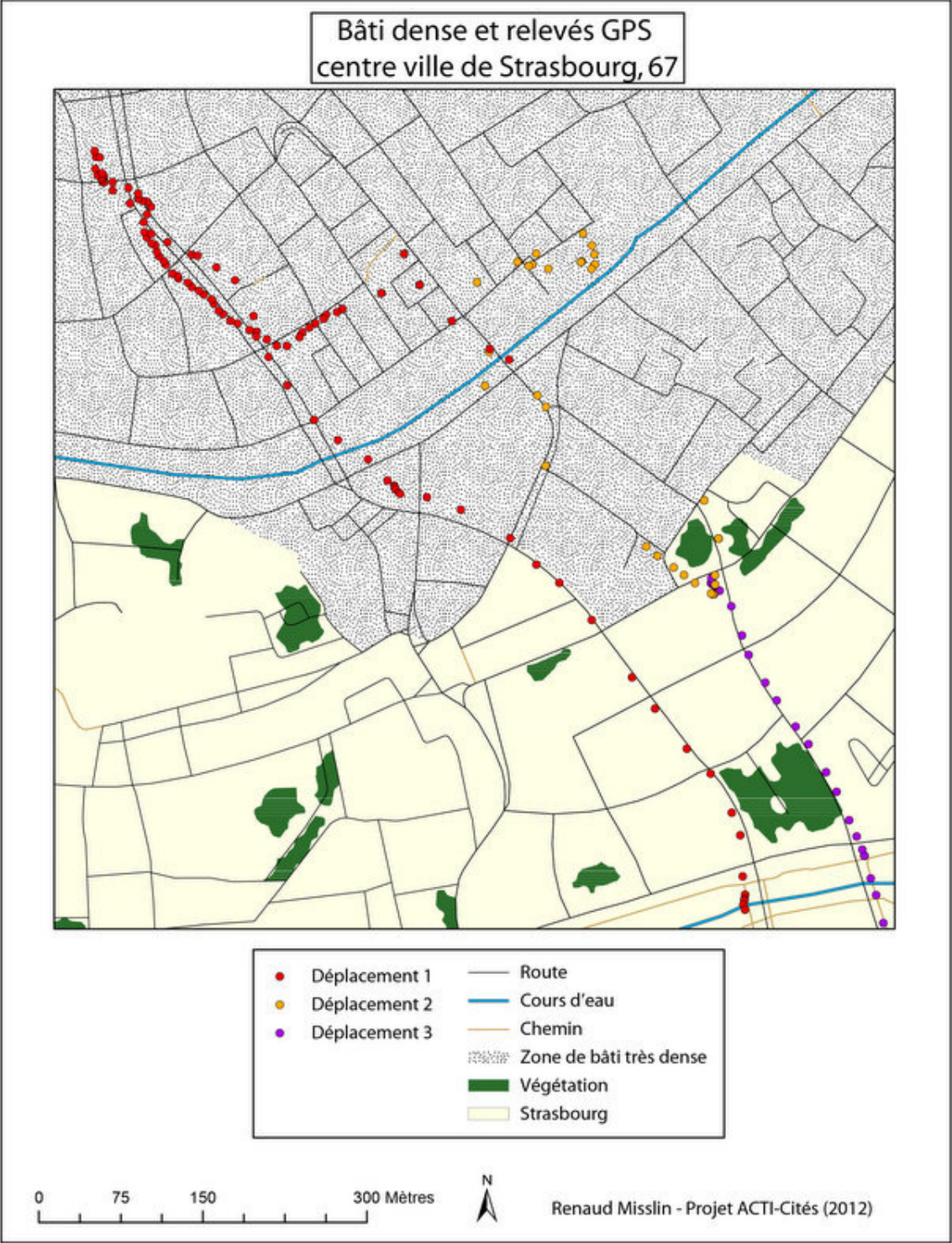
Lorsqu'un quartier est susceptible, de part la forme de son réseau et le type de son bâti, de créer des canyons urbains, et donc de perturber l'enregistrement des coordonnées par le GPS, les analyses sont peu réalisables, notamment dans le cas de déplacements courts.

**Carte 9:** Points de déplacement aux alentours du domicile du sujet 12



La **carte 10** permet de comparer des relevés effectués à quelques secondes d'intervalle dans des zones très différentes en termes de bâti. La moitié nord de la carte (partie hachurée) est caractérisée par des bâtiments de 5 à 6 étages et un bâti dense. Au sud, les bâtiments sont tout aussi hauts mais le bâti est moins dense. Les rues sont un peu plus larges et les espaces ouverts (places) sont plus nombreux. Ces différences de bâtis se ressentent au niveau de la précision des mesures. Au sud, les coordonnées issues des déplacements 1 et 3 correspondent au réseau routier alors que dans la partie nord de la carte, les points sont nettement moins bien positionnés par rapport au réseau routier.

Carte 10: Zone de bâti dense et relevés GPS au centre-ville de Strasbourg



### **3.2. Vérification de la méthode automatique et couplage avec les données déclarées**

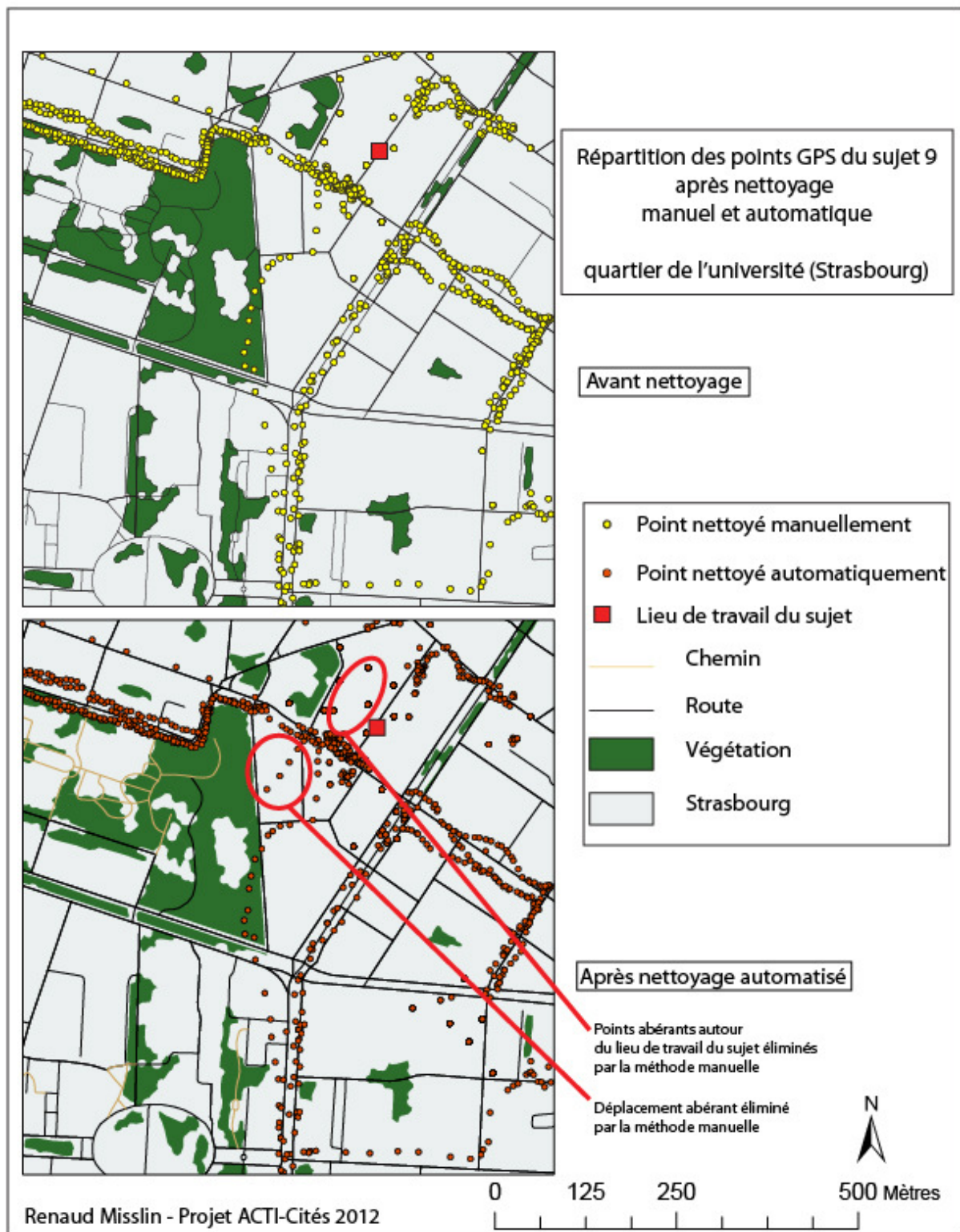
La méthode de nettoyage automatique que nous avons utilisée a été comparée à une méthode manuelle dans le but d'en apprécier les forces et les faiblesses. Celle-ci est présentée dans la partie qui suit.

#### **3.2.1. Vérification de la méthode de nettoyage automatique par une méthode manuelle**

La méthode développée durant le stage pour nettoyer les données de sortie PALMS se base sur un programme informatique et sur le logiciel de traitement d'informations géographiques Arcgis.

Dans un premier temps, tous les points n'ayant pas été classés par PALMS comme faisant partie d'un déplacement sont supprimés par une des étapes du programme informatique. Les points restants sont projetés dans Arcgis. Parmi les points projetés, ceux qui sont aberrants et qui sont facilement repérables visuellement sont supprimés.

**Carte 11:** Répartition des points GPS après nettoyage manuel et automatique



La **carte 11** permet de comparer les deux méthodes de nettoyage que nous avons utilisées. On peut noter que le nettoyage manuel est plus propre que le nettoyage automatique. D'une part, certains déplacements considérés comme tels par PALMS et acceptés par le programme



informatique sont en fait des déplacements aberrants qui peuvent être éliminés de manière manuelle. Malgré le fait qu'ils soient aberrants, ces déplacements ont un ratio satellite acceptable, ce qui les rend difficilement identifiables de manière automatique. D'autre part, la méthode manuelle permet d'éliminer des ensembles de points considérés comme des déplacements par la méthode automatique mais ne ressemblant pas visuellement à des déplacements. Ces points se situent souvent autour des lieux d'arrêts intérieurs (lieu de travail par exemple). Il est probable qu'il s'agisse de points enregistrés par le GPS lorsque le sujet se situe à proximité d'une fenêtre. Cependant, l'inconvénient de la méthode est sa longue durée de mise en pratique. Il faut compter en moyenne 30 minutes de travail par sujet (pour des relevés effectués sur une semaine) uniquement pour la phase de nettoyage.

Finalement, cette méthode de nettoyage manuelle permet de se rendre compte des forces et des faiblesses de la méthode automatisée en vue d'améliorer l'automatisation. Nous pouvons notamment remarquer que la grande majorité des déplacements est correctement identifiée par l'utilisation combinée de PALMS et du programme de nettoyage automatique. Néanmoins, la méthode de nettoyage manuel permet d'éliminer les points mal mesurés au début et à la fin des déplacements. Elle permet également d'éliminer les déplacements aberrants résiduels (étape qui ajoute 10 à 15 minutes de travail). Le nettoyage manuel d'une base pré-nettoyée de manière automatique permet d'obtenir une base propre, prête à être analysée.

### **3.2.2. Couplage des déplacements mesurés et déclarés**

#### **A. Nettoyage et correction des données déclarées**

Une fois les déplacements mesurés vérifiés, ils peuvent être couplés avec les déplacements déclarés par le sujet sur le carnet d'activité web. Comme pour les données mesurées, les données déclarées issues du carnet d'activité web doivent être nettoyées.

Ces données sont parfois déclarées de façon incorrecte par rapport à ce qui est attendu. Certaines personnes ont déclaré des trajets à la place des déplacements. Dans ce cas, il est nécessaire de comprendre le cheminement dans la journée pour pouvoir corriger les données.

Des erreurs manifestes dans la déclaration du jour ou de l'heure du déplacement ont également été identifiées. L'erreur dans la déclaration du jour est souvent due au fait que les sujets devaient sélectionner le jour de la semaine correspondant au déplacement. Dans

certain cas, les sujets ont oublié de sélectionner ce jour. Le carnet d'activité reste donc par défaut sur la journée du lundi. Cependant, lorsque les données sont reçues dans la base, les déplacements sont classés chronologiquement selon l'ordre dans lequel ils ont été déclarés. Il a donc été simple et rapide de corriger ce défaut lié à la présentation du carnet et de réattribuer le jour de la semaine correct correspondant à chaque déplacement.

Il est arrivé plusieurs fois qu'un sujet se trompe dans la déclaration de l'heure du déplacement (les minutes sont bonnes mais les heures sont fausses). Cette erreur se repère de la même façon que la précédente et peut être corrigée en comparant les données déclarées avec les données mesurées. Les lieux de départ et d'arrivée déclarés sont comparés aux lieux de départ et d'arrivée mesurés afin de comprendre la logique générale du cheminement. Ceci permet ensuite de réattribuer l'heure correcte au déplacement.

## **B. Exécution du couplage des déplacements mesurés et déclarés**

Une fois les deux bases de données (mesurée et déclarée) nettoyées, le couplage peut être réalisé. Le programme décrit dans la partie 2.2.2 permet d'identifier de manière automatique les horaires de départ et d'arrivée mesurés. Les points mesurés nettoyés sont projetés dans un SIG, ce qui permet de vérifier si les lieux déclarés et les lieux mesurés correspondent. Lorsqu'une paire de déplacements est identifiée, les informations mesurées sont copiées dans la base de déplacements déclarés.

Malgré le travail de nettoyage automatisé et de nettoyage manuel, il arrive que certains déplacements mesurés ne soient pas à prendre en compte. Un seul déplacement déclaré peut par exemple être coupé en deux dans la base des déplacements mesurés. En analysant le cheminement du sujet, il est possible de les repérer. Lorsqu'un déplacement (mesuré ou déclaré) ne trouve pas de déplacement auquel il peut être apparié, il faut essayer de comprendre à quel niveau se situe le problème : est-ce que le premier déplacement est en trop (et donc à éliminer) ou est-ce que le second déplacement n'a pas été mesuré/déclaré ?

La durée de cette étape d'appariement et d'identification des problèmes diffère énormément selon les sujets. Elle est dépendante de la qualité des mesures et des déclarations, du nombre et de la taille des déplacements et de la complexité du cheminement du sujet. Le couplage des données mesurées et déclarées d'une personne qui se déplace beaucoup et dans des endroits

toujours différents sera nettement plus long que celui d'une personne dont les principaux déplacements sont domicile/travail à horaires plus ou moins fixes.

### 3.2.3. Vérification de la cohérence générale des déplacements : horaires, mode de transports et lieux fréquentés

Une fois le travail de couplage terminé, il est possible de comparer les données mesurées et les données déclarées. Cette étape permet d'une part d'évaluer le niveau d'exactitude des données et d'autre part de vérifier la cohérence générale des mesures.

A partir du **document 18**, il est possible de comparer les horaires mesurés et les horaires déclarés. Lorsqu'une erreur est identifiée, il peut parfois être compliqué de comprendre où elle se situe vraiment (dans les données déclarées ou dans les données mesurées). La source de l'erreur étant difficile à identifier, notre intérêt se portera plutôt sur les différences temporelles pouvant exister entre les horaires mesurés et les horaires déclarés. Cela permettra de vérifier que la méthode de mesure et la méthode déclarative ont bien des résultats similaires.

Les modes de transport mesurés et déclarés peuvent également être comparés afin de vérifier l'exactitude des algorithmes d'identification utilisés par PALMS. Les résultats de ces comparaisons peuvent être étudiés au niveau des déplacements en additionnant la différence temporelle de départ et la différence temporelle d'arrivée. En suivant le même principe, cette observation peut également se réaliser sur un sujet, une semaine de relevés ou sur l'ensemble de l'étude-pilote.

**Document 18:** Tableau comparatif des déplacements mesurés et déclarés sur une journée (exemple sujet 3)

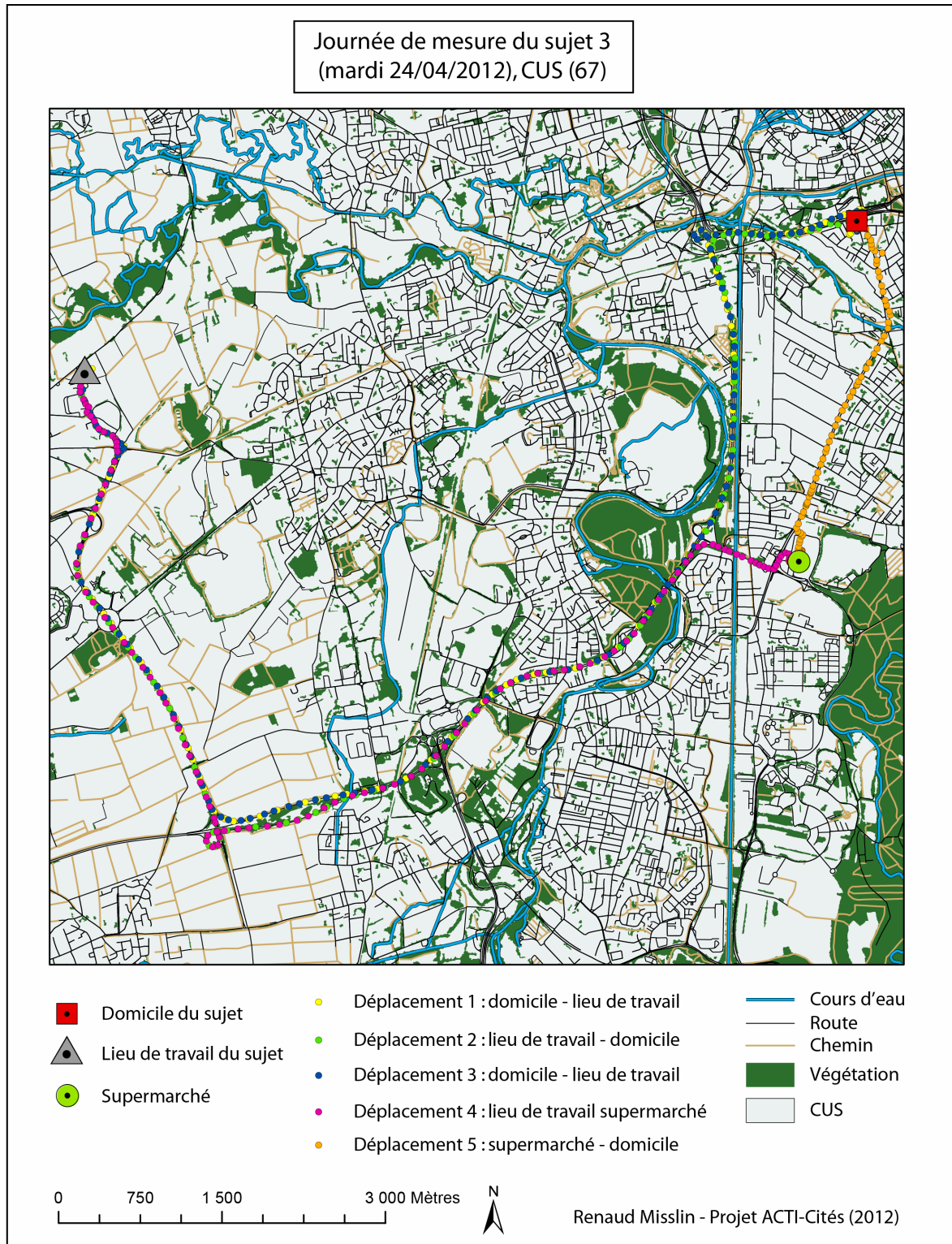
n°	Jour	Lieu départ	Lieu arrivée	Départ gps	Arrivée gps	Départ carnet	Arrivée carnet	Mode transport carnet	Mode de transport GPS	Intensité d'AP mesurée
1	Mardi	domicile	lieu de travail	08:47	09:02	08:40	08:58	voiture	voiture	0
2	Mardi	lieu de travail	domicile	12:30	12:46	12:36	12:49	voiture	voiture	0
3	Mardi	domicile	lieu de travail	13:31	13:46	13:39	13:53	voiture marche	voiture	0
4	Mardi	lieu de travail	Supermarché	18:11	18:29	18:25	18:35	voiture	voiture	0
5	Mardi	Supermarché	domicile	20:05	20:13	20:08	20:19	voiture	voiture	0

La projection des lieux fréquentés et des points GPS dans un SIG nous a permis de vérifier la cohérence générale des déplacements au cours de la journée (voir **carte 13**) et plus particulièrement d'identifier les déplacements manquants ou en trop dans une des deux bases.

Les adresses du domicile et du lieu de travail renseignées par les sujets lors de leur inscription sur le site du carnet d'activité web sont projetées dans le SIG. En revanche, la localisation des autres lieux fréquentés dépend des mesures ou des déclarations. Il est donc souhaitable que la personne, qui analyse les données, connaisse la région étudiée. Ceci lui permettrait d'une part de comprendre plus facilement pourquoi tel déplacement n'a pas été correctement mesuré par le GPS et d'autre part de se rendre compte plus aisément des erreurs de couplage, de déclaration ou de calcul (est-il possible de se rendre sur cette route en voiture ? Y a-t-il vraiment un supermarché dans tel autre lieu ? Est-il possible de se rendre à vélo du lieu A au lieu B en X minutes ? ...).

La **carte 12** présente une journée de mesure pour un sujet. Cette projection permet de vérifier la cohérence générale de la journée du sujet. En analysant son parcours, on se rend compte que tous les points sont reliés. Il n'est donc pas nécessaire de se poser la question concernant un éventuel manque de données. En comparant cette carte avec le **document 18**, il est possible de comprendre pourquoi tel ou tel déplacement a été effectué et à quelle heure.

**Carte 12:** Journée de mesure d'un sujet (mardi 14/04/2012)



#### 4. Résultats des traitements, analyse et limites

##### 4.1. Résultats de l'étude-pilote de Strasbourg

##### 4.1.1. Résultats généraux des données GPS, accéléromètres : analyse des données brutes

D'après le pas de temps que nous avons fixé (un point toutes les 5 secondes), le nombre attendu de points recueillis est de 120 960. Sur les 14 sujets, deux ont par mégarde sélectionné la position 10 Hz du GPS, leur période de recueil est donc plus courte (39 955 points ont été recueillis pour l'un et 6113 pour l'autre). Ces sujets ont été exclus de la suite des analyses portant sur les données GPS ou sur les points issues de PALMS. En revanche, ils ont été conservés lors de l'analyse des données brutes d'accélérométrie, ces dernières n'étant pas impactées par le calibrage du GPS. Le **document 19** décrit le nombre total de points recueillis pour les 12 autres sujets durant les 7 jours de recueil.

**Document 19:** Nombre de points total recueillis (n=12 sujets)

	<b>Nombre de points</b>
<b>Minimum</b>	105713
<b>Maximum</b>	114566
<b>Moyenne</b>	111230,583
<b>Écart-type</b>	3072,64927
<b>Médiane</b>	112537

Si pour aucun des sujets le maximum attendu de points n'est recueilli, le recueil de données est cependant largement satisfaisant.

Dans la suite des analyses, et en raison des contraintes de temps, nous avons utilisé un des sujets (le sujet 8) comme exemple de traitement possible des données recueillies durant ces 7 jours. Le **document 20** présente le nombre de points recueillis par tranches horaires (sachant que le nombre de points attendus par tranche d'une heure est de 5040). Pour ce sujet, sur la semaine d'étude, les appareils portés ont donc effectué des mesures complètes tous les jours entre 8h et 20h. Sans surprise, le nombre de points est moins important dans les autres tranches horaires qui correspondent aux heures de nuit durant lesquelles les déplacements de ce sujet sont moindres.

**Document 20:** Nombre de points recueillis par tranches horaires (de une heure)

Heure	Total nombre de points mesurés % (sur le nombre de points attendus par tranche horaire soit n=5040)	
	N	
0	4320	87,7
1	4320	87,7
2	4320	87,7
3	4320	87,7
4	4320	87,7
5	4320	87,7
6	4320	87,7
7	4655	92,4
8	<b>5040</b>	<b>100</b>
9	<b>5040</b>	<b>100</b>
10	<b>5040</b>	<b>100</b>
11	<b>5040</b>	<b>100</b>
12	<b>5040</b>	<b>100</b>
13	<b>5040</b>	<b>100</b>
14	<b>5040</b>	<b>100</b>
15	<b>5040</b>	<b>100</b>
16	<b>5040</b>	<b>100</b>
17	<b>5040</b>	<b>100</b>
18	<b>5040</b>	<b>100</b>
19	<b>5040</b>	<b>100</b>
20	<b>5040</b>	<b>100</b>
21	4812	95,5
22	4320	85,7
23	4320	85,7
<b>Total mesuré</b>	<b>113867</b>	
<b>Total attendu</b>	<b>120960</b>	

Le **document 21** présente des informations générales sur les données d'accélérométrie manquantes pour les 14 sujets de l'étude

**Document 21:** Données d'accélérométrie manquantes pour les 14 sujets (en %)

	Points d'accéléromètre manquants (%)
Minimum	22,2
Maximum	85,3
Moyenne	51,8
Écart-type	17,7
Médiane	50,5
Moyenne première semaine	45,6
Moyenne deuxième semaine	57,9

Les points d'accélérométrie invalides sont regroupés dans les périodes durant lesquelles la ceinture n'est pas portée (la nuit par exemple). Il est normal que la durée de cette période diffère selon les sujets. Cependant, les relevés invalides devraient tout de même se situer dans un intervalle de plus ou moins un écart-type de la moyenne. Dans le cas inverse, il est nécessaire d'analyser les données en détail afin de comprendre pourquoi les points manquants apparaissent en nombre trop élevé ou trop peu élevé. Les sujets concernés par le minimum et le maximum sont des sujets dont les relevés sont particuliers. Le sujet concerné par le minimum avait sélectionné la position "10 Hz" sur son GPS, la mémoire du GPS est donc rapidement saturée et n'a pu stocker que 3 jours de données. De fait, PALMS n'a associé les données d'accélérométrie que sur 3 jours. La part de données manquantes est donc plus faible que pour les autres sujets.

Les moyennes de points d'accélérométrie manquants par semaine sont très différentes : 45,6% pour la première et 57,9% pour la seconde. Ceci est dû à une erreur de programmation des accéléromètres ayant entraîné un non enregistrement des données sur une partie de la dernière journée de mesure durant la deuxième semaine. Il paraît logique que la moyenne de points d'accélérométrie manquants soit légèrement inférieure à 50%. En effet, la période de "mouvement" des gens ayant une activité est souvent supérieure à 12h. Enfin il faut garder en mémoire qu'il est peu probable que les sujets enlevaient la ceinture juste au moment de l'entrée dans le lit (ou mettaient la ceinture juste au moment de la sortie du lit).

Le **document 22** présente les points d'accélérométrie mesurés en fonction du niveau d'intensité d'activité physique et du lieu où ils ont été mesurés (intérieur ou extérieur). Les points d'accélérométrie invalides rassemblent 78,99% du total. Ce chiffre est particulièrement élevé. Ceci est en partie dû à l'erreur de programmation des accéléromètres durant la deuxième semaine de relevés. On peut également constater qu'un peu plus de 4% des points d'accélérométrie ayant été mesurés à l'extérieur sont associés à des niveaux positifs d'activité



(faible, modéré, intense, très intense).

**Document 22:** Descriptif des points mesurés par l'accéléromètre (sujet 8)

Niveau Intensité	Points Accéléromètre TOTAL		Points Accéléromètre mesurés en EXTERIEUR	
	Nbre	%	Nbre	%
Mesure invalide	89938	78.99	63637	83.23
Sédentaire	19206	16.87	9507	12.43
Faible	3804	3.34	2660	3.48
Modéré	876	0.77	623	0.81
Intense	39	0.03	28	0.04
Très intense	4	0.00	3	0.00
TOTAL	113867		76458	

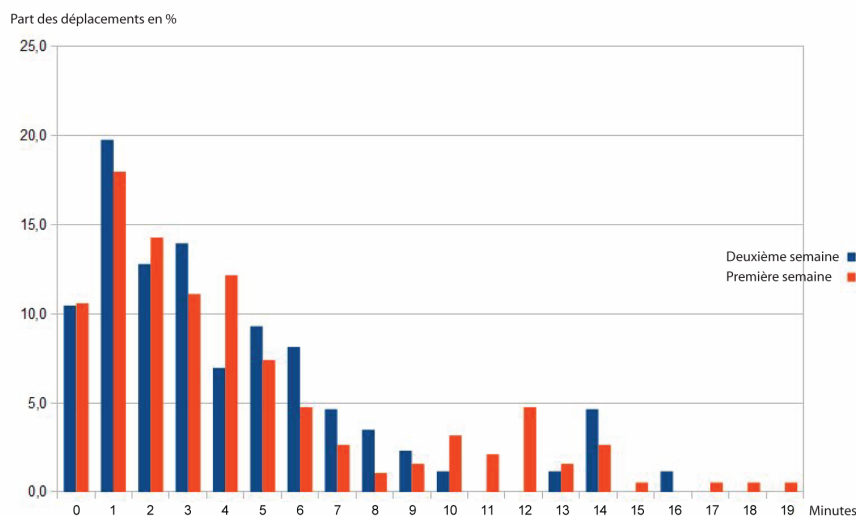
**4.1.2. Croisement des données mesurées avec les données déclarées dans le carnet d'activité**

**A. Les horaires**

Grâce au programme que nous avons développé (voir 2.2.2), nous avons pu déterminer et comparer les horaires de départ et d'arrivée des déplacements mesurés. Les horaires déclarés ont ensuite été soustraits aux horaires mesurés. Ceci permet de calculer les écarts de temps existant entre ces deux horaires. Les **documents 23 et 24** présentent les résultats de ce calcul (réalisé sur les 12 sujets).

**Document 23:** Différence de temps entre les déplacements mesurés et déclarés selon la semaine d'étude (n=12 sujets)

Différence de temps entre les déplacements mesurés et déclarés sur les deux semaines d'étude



Le graphique permet de vérifier que les deux semaines de relevés sont bien similaires et que

les données peuvent être rassemblées. Malgré quelques différences, la ressemblance entre les différences horaires des deux semaines est frappante. Les courbes dessinées présentent chacune deux extremums situés à 1 minute et entre 12 et 14 minutes. La répartition des autres valeurs est très similaire entre les deux semaines. Les petites différences qui existent sont probablement dues à des variations individuelles. Le nombre de sujets étant assez faible, les résultats sont très sensibles à ces fluctuations. Les “différences horaires” des deux semaines d’étude ont donc été associées (**document 25**).

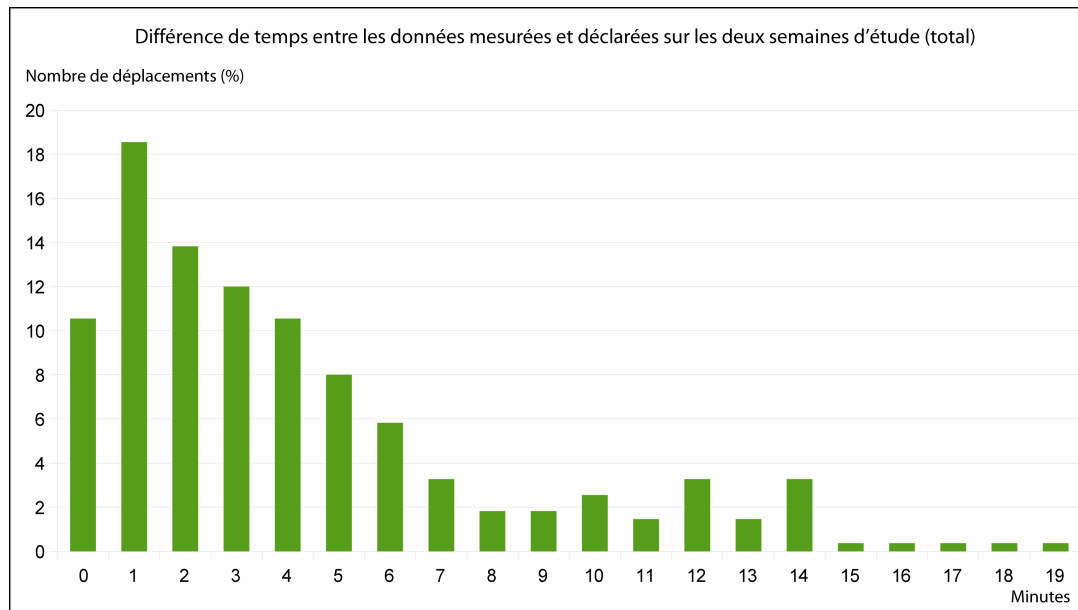
**Document 24:** Répartition des différences horaire (%) entre les déplacements mesurés et déclarés durant les deux semaines de mesure (n=12 sujets)

Différence de temps (minutes)	% total de déplacements	% cumulés
0	10,5	10,5
1	18,5	29,1
2	13,8	42,9
3	12,0	54,9
4	10,5	65,5
5	8,0	73,5
6	5,8	79,3
7	3,3	82,5
8	1,8	84,4
9	1,8	86,2
10	2,5	88,7
11	1,5	90,2
12	3,3	93,5
13	1,5	94,9
14	3,3	98,2
15	0,4	98,5
16	0,4	98,9
17	0,4	99,3
18	0,4	99,6
19	0,4	100

Malgré le fait que seulement 10,5 % des horaires soient exactement similaires, on peut noter que 73,5% des horaires de départ ou d’arrivée ont 5 minutes ou moins de différence entre la valeur déclarée par le sujet et l’horaire mesuré par le capteur.

Le **document 25** représente les différences de temps entre les horaires de départ ou d’arrivée déclarés et les mêmes horaires mesurés. Ces différences horaires ressemblent fortement aux résultats obtenus par D. Nguyen-Luong lors de son étude de “faisabilité d’une Enquête Globale Transports intégrale par association d’un GPS, d’un SIG et d’un système expert en Île-de-France” (voir **annexe 1**).

**Document 25:** Différence de temps entre les déplacements mesurés et déclarés pour les deux semaines d'étude (réalisé sur 274 horaires de départ ou d'arrivée)



Les horaires mesurés et déclarés étant relativement similaires, on peut penser que les deux méthodes sont correctes. Ces données ne permettent pas vraiment d'apporter d'explications précises concernant les marges d'erreur observées. En revanche, les observations faites durant le couplage des données nous permettent de dresser une liste des sources potentielles d'erreur de mesure ou de déclaration. L'addition de ces sources d'erreur (chacune ayant plus ou moins de poids selon les sujets) nous donne la courbe que l'on peut observer sur le **document 25**. L'ensemble de ces sources est présenté dans la suite de ce travail:

**Les sources d'erreur dans les données mesurées :**

- Le "départ à froid" et les problèmes de transcription des données à l'arrivée : comme nous l'avons expliqué (voir 3.1.2), les points de départ ou d'arrivée ne sont souvent pas situés au bon endroit. Ceci peut faire perdre entre quelques secondes et 1 minute à la mesure du départ (et inversement pour le point d'arrivée).

**Les sources d'erreur de déclaration :**

- Chez certains sujets, nous avons remarqué une tendance à arrondir les horaires déclarés. Cette habitude peut modifier l'heure déclarée de + ou - 1, 2 ou 3 minutes.
- Il est probable que certains sujets aient oublié de noter leur heure de départ ou

d'arrivée au moment du départ (ou de l'arrivée). Ne se souvenant pas de l'heure exacte, le sujet peut être tenté de donner une approximation. Celle-ci aura de grande chance d'entraîner un décalage entre les données déclarées et les données mesurées.

- Il est peu probable que les horloges, montres et autres appareils permettant aux sujets de connaître l'heure soient exactement réglés sur l'heure du système GPS. Les décalages existants entre ces appareils et l'heure du système GPS peuvent entraîner des décalages entre les données mesurées et les données déclarées.
- Si le sujet habite dans un immeuble, le GPS arrête d'enregistrer lorsque la porte d'entrée est passée. Or, certains sujets de notre étude habitent dans des étages élevés. Si ceux-ci remplissent le carnet en rentrant dans leur appartement, il y aura un décalage entre les données mesurées et les données déclarées.

Si ces erreurs d'approximations n'ont pas vraiment d'impact sur l'étude de longs déplacements, elles impactent davantage les mesures des déplacements courts (en distance et en temps). Nous avons par exemple pu observer qu'un des sujets a déclaré presque tous les jours un déplacement vers une boulangerie proche de son domicile (le trajet pour s'y rendre est de 105 mètres). Ce déplacement journalier n'a jamais été enregistré correctement par le capteur GPS. Pour l'instant, la seule solution que nous pouvons envisager pour pallier cette limite d'enregistrement des trajets courts serait de demander aux sujets d'attendre quelques minutes devant leur domicile avant de commencer leur déplacement. Cependant, la lourdeur de cette contrainte fait qu'avec la technologie actuelle, il est difficile d'envisager une étude fine des déplacements courts.

## **B. Les modes de transport**

Le couplage des déplacements mesurés et des déplacements déclarés permet également de comparer les modes de transport mesurés et les modes de transport calculés.

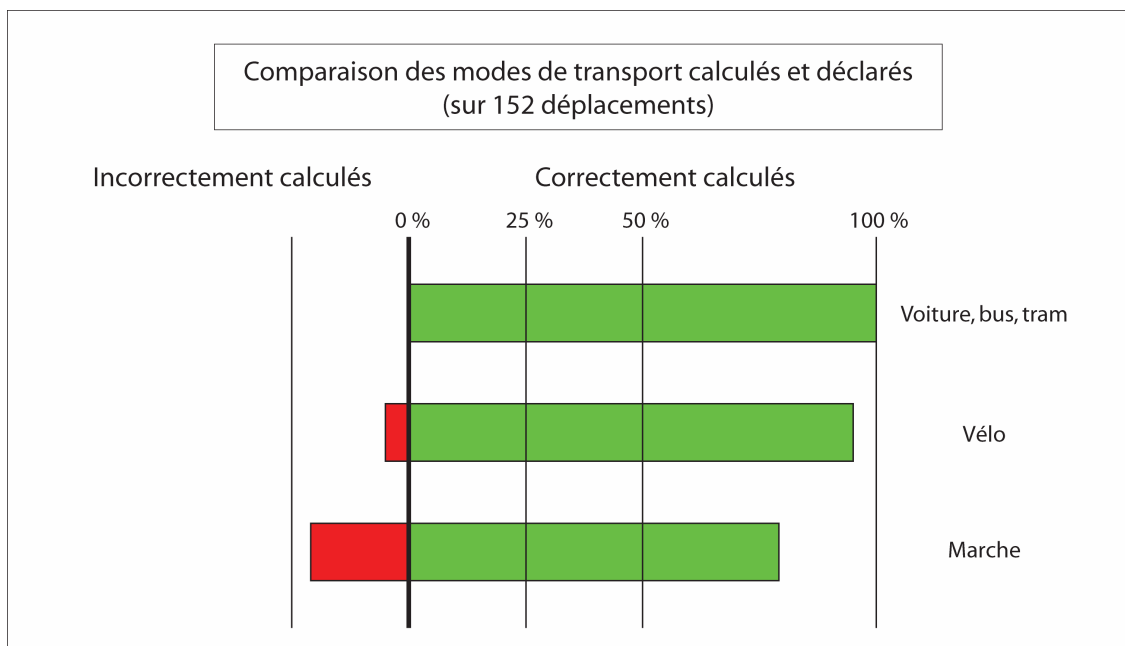
Le **document 26** présente les résultats de la comparaison entre les modes de transport déclarés et les modes de transport mesurés. Ceux-ci sont globalement très satisfaisants. Les véhicules motorisés sont toujours identifiés correctement. Cependant, la méthode utilisée ne permet pas de différencier un bus, d'un tram ou d'une voiture.

Les déplacements à vélo sont un peu moins bien calculés. Certains de ces déplacements ont été confondus avec des déplacements effectués en voiture à cause de leur vitesse moyenne

trop élevée par rapport au seuil que nous avons fixé. En pratique, il suffirait donc d'augmenter le seuil fixé pour pouvoir mesurer ces déplacements comme étant effectués à vélo. Cependant, cette manipulation entraînera automatiquement un passage de certains déplacements effectués et calculés en voiture vers la classe des déplacements calculés à vélo. Une solution à ce problème consisterait à utiliser les données d'accélérométrie en plus des données GPS pour calculer le mode de transport.

Certains déplacements effectués à pied n'ont pas été mesurés comme tels. Ceci peut être dû à l'imprécision des données GPS (une grande partie de ces déplacements ont été effectués au centre-ville, là où la réception du signal du GPS est la plus faible). Les erreurs de mesure des déplacements pédestres peuvent également être dues à un seuil de vitesse fixé trop bas (un déplacement "footing" a par exemple été calculé comme effectué à vélo).

**Document 26:** Résultats de la comparaison entre les modes de transport déclarés et les modes de transport mesurés



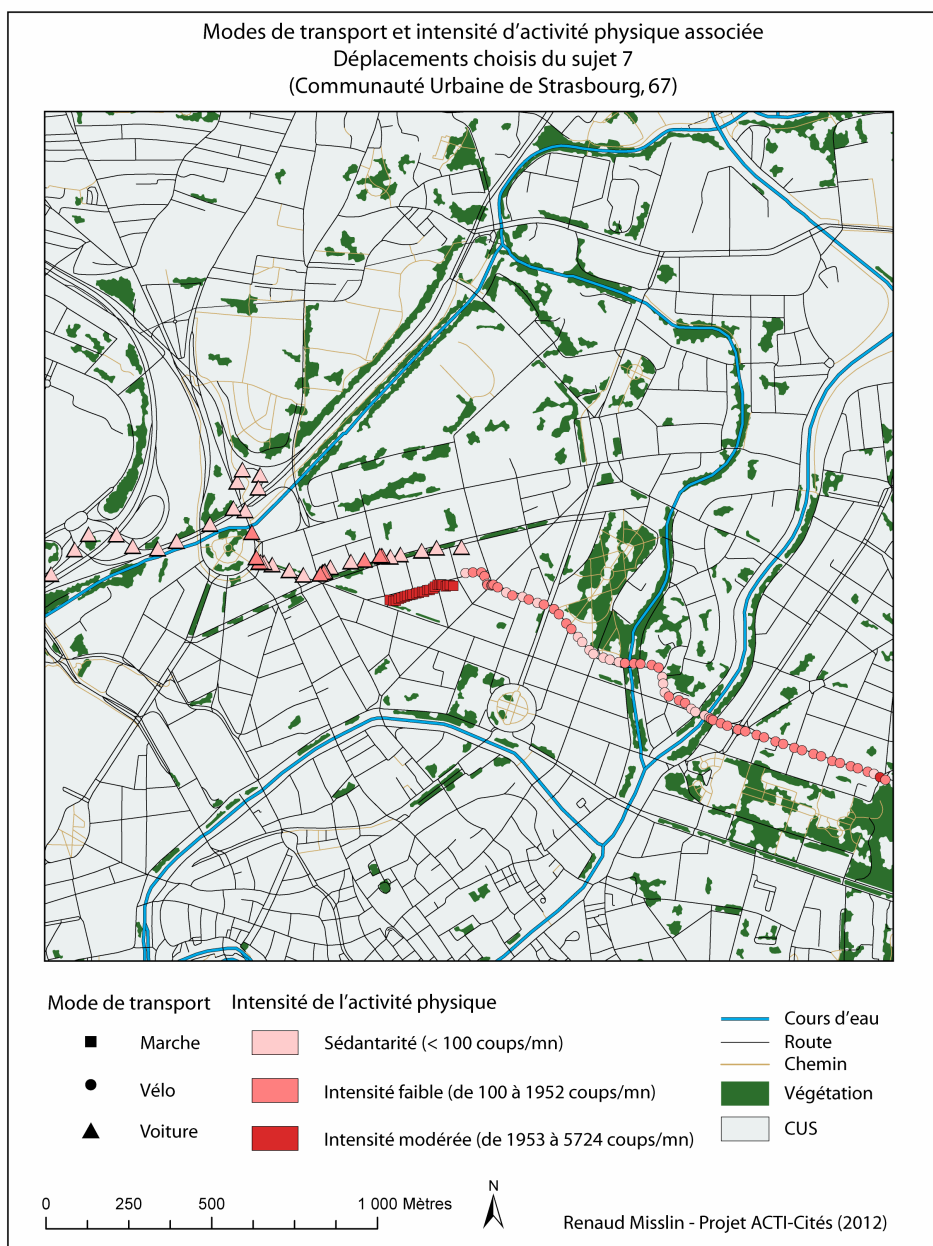
#### 4.1.3. Exemples de résultats cartographiques (moyens de transport utilisés et intensité de l'activité physique)

Les **cartes 13** et **14** présentent des exemples de mesures couplées de GPS et d'accéléromètre. Sur des déplacements assez longs, la trace GPS apparaît généralement de façon correcte. Il est possible de déterminer le parcours du sujet avec une précision de quelques mètres. Les données d'accélérométrie associées à ces mesures de localisation sont elles aussi très précises.

Cependant, cette précision diffère selon les modes de transport: si les mesures sont très stables pour la marche et la course à pied, elles le sont moins pour le vélo et la voiture.

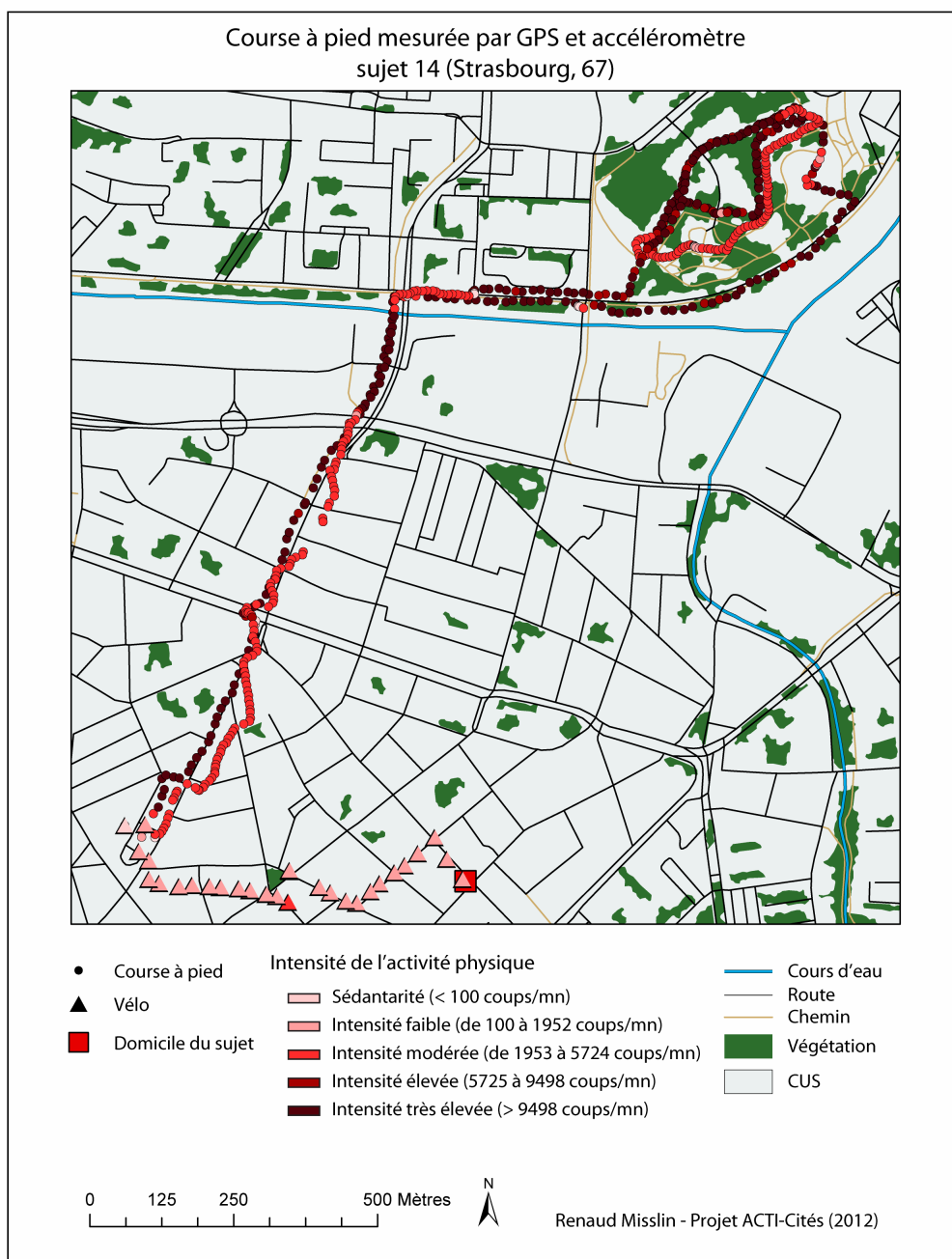
La **carte 13** présente le cas évoqué de la mauvaise mesure des activités réalisées à vélo. On peut remarquer sur cette carte qu'une partie des points du déplacement effectué à vélo (figurés ronds) est représentée comme étant une activité sédentaire (figurés rose très clair).

**Carte 13:** Mode de transport et intensité d'activité physique associé (exemples de déplacements)



La carte 14 représente les mesures effectuées lors d'un « footing ». Celui-ci a été mesuré avec une précision très satisfaisante. Il est par exemple possible de repérer les endroits où la personne a dû ralentir son rythme de course pour attendre aux passages piétons. Ces points se situent au niveau des croisements entre l'itinéraire de la personne et les axes de circulation les plus importants. Ceci nous confirme que dans une optique d'étude de l'impact des aménagements sur la pratique d'activité physique, le seuil de 5 secondes permet une analyse fine et précise.

**Carte 14:** Exemple d'activité de type « course à pied » mesurée par GPS et accéléromètre



## **4.2. L'analyse des données issues de relevés multi-capteurs à partir d'un SIG : qu'est-il possible de faire ?**

### **4.2.1. Pourquoi ces informations ?**

#### **A. Localiser les lieux de pratique : couche IGN (rues, chemins)**

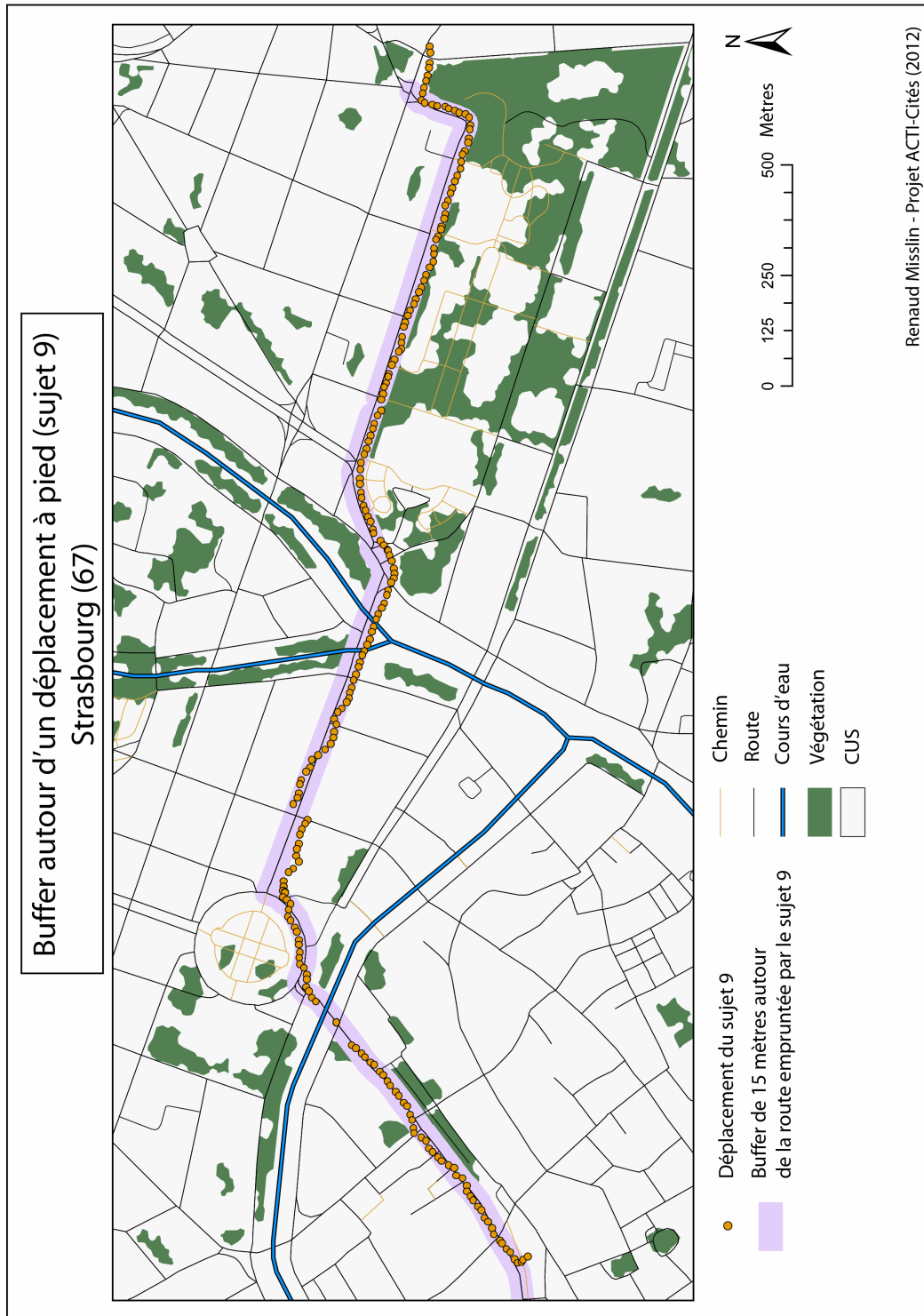
Les informations de l'IGN dont nous bénéficions servent en premier lieu à vérifier la localisation des points GPS et à identifier les problèmes pouvant faire obstacle à l'analyse (voir 2.2.3). Une fois les données nettoyées, ces informations géographiques servent à localiser les lieux de pratique de l'activité physique dans le cadre des déplacements.

À partir de la superposition des couches d'information IGN et des relevés multi-capteurs, nous pourrions savoir dans quel quartier, dans quelle rue, à quel carrefour, etc... a été réalisé le déplacement à pied ou à vélo. Cela permettra d'établir une géographie des lieux pratiqués et non pratiqués aux déplacements actifs. Par exemple, tous les points identifiés comme étant à pied ou à vélo et localisés sur un tronçon de rue (depuis un carrefour jusqu'au suivant) pourraient être associés à ce dernier. D'après les résultats qui découleront de cette manipulation, il sera possible d'identifier les lieux de pratique et de non pratique de l'activité physique dans le cadre des transports actifs.

À première vue, la principale difficulté de cette étape d'analyse sera d'associer un point GPS/accéléromètre (qui lui-même est composé de plusieurs informations) à une rue. Sous Arcgis, ceci peut se faire en utilisant les outils de proximité ou en créant des buffers autour des routes. La **carte 15** représente un déplacement pédestre superposé à un buffer dessiné autour de la route empruntée par le sujet. Les points contenus dans ces buffers seront pris en compte. Les autres ne seront pas retenus pour l'analyse. Cela pose la question de l'utilisation des informations mesurées en centre-ville. En effet, nous avons pu constater à partir de l'étude pilote réalisée à Strasbourg, que les coordonnées des points mesurés dans les rues étroites du centre-ville sont souvent décalées par rapport aux rues et aux routes de la base de données IGN.



Carte 15: Déplacement pédestre et buffer de 15 mètres entourant la route empruntée



La localisation des lieux de pratique d'activité physique ne permet pas d'avancer d'hypothèses sur le « pourquoi » de cette pratique. Des hypothèses peuvent être construites en comparant le niveau d'activité physique pratiquée en un lieu et les caractéristiques propres à ce lieu.

## **B. Caractériser les lieux de pratique**

Dans le SIG, il est possible de mettre en relation un point GPS avec une route à laquelle on aura associé des caractéristiques. Il est également possible de mettre ce point GPS en relation avec d'autres informations géographiques. Ces informations peuvent soit apparaître comme « variables » d'un tronçon de route déjà cartographié, soit être directement cartographiées.

Ci-dessous sont présentés quelques exemples des informations qui pourraient impacter la pratique ou la non pratique de l'activité physique dans les déplacements :

### **a) Les infrastructures**

- Type de route (autoroute, rue, boulevard, chemin...), largeur de la route, nombre de voies de circulation, trottoirs (surélevés ou non, séparés de la route ou non ...), taille du trottoir par rapport à la chaussée ;
- Présence de piste cyclable (taille et type (site propre, dans un couloir de bus, sur un trottoir...)).

### **b) Les zones protégées et les limites de vitesse**

- Les passages piétons (avec ou sans feu tricolore) ;
- Les limites de vitesse, zones 30, zones de rencontre ;
- Aires piétonnes, parcs ;
- végétation, cours d'eau.

### **c) Les équipements urbains**

- Les transports en commun et les aménagements qui leur sont liés (type de transport en commun, arrêt, périodicité de la desserte...).

### **d) Le paysage et les éléments « naturels »**

- Végétation (arbres, fleurs) ;
- Cours d'eau ;
- Le bâti : type de bâti (immeubles, maison, commerce...), densité.

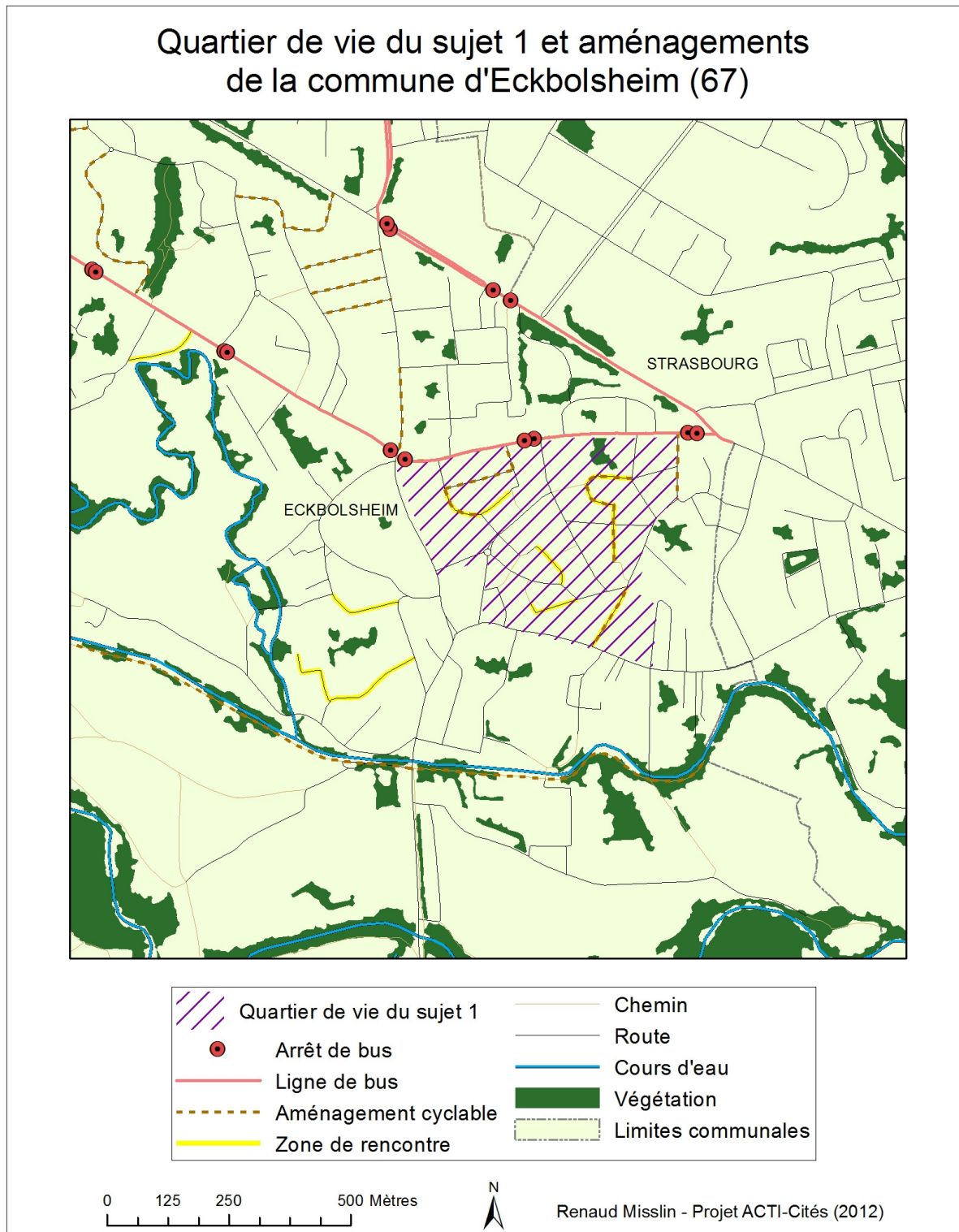
## **C. Le quartier de vie (ou espace d'activité)**

Le quartier de vie d'un sujet est l'espace qu'il pratique dans sa vie quotidienne. Dans notre étude-pilote, nous avons limité ce quartier à l'espace de vie du sujet autour de son domicile. Comme nous l'avons expliqué dans la partie 2.1.2, les limites de ce quartier de vie devraient nous permettre de comprendre comment le sujet appréhende son environnement physique direct.

Dans de nombreuses études de géographie de la santé, il a été observé que les caractéristiques de l'espace d'activité ("activity space") d'un individu peuvent influencer sur son comportement alimentaire et son niveau de pratique d'activité physique (Zenk, Schulz et al. 2011).

L'outil développé dans le cadre de l'étude-pilote permet à chaque individu de définir les limites de son espace d'activité. Ces limites pourront être superposées aux informations contenues dans une base SIG répertoriant les aménagements destinés aux transports actifs ainsi que les autres caractéristiques de la zone étudiée (**carte 16**). Dans le SIG, il sera ensuite possible de quantifier les aménagements présents dans l'espace d'activité du sujet. L'étape suivante consiste à évaluer la corrélation pouvant exister entre un type aménagement et le niveau de pratique d'activité physique dans les déplacements des individus disposant de cet aménagement dans leur espace d'activité.

**Carte 16:** Quartier de vie du sujet 1 et aménagements urbains sur la commune d'Eckbolsheim



#### 4.2.2. Proposition d'analyse statistique utilisant les différentes données collectées

La méthode développée sur la base des relevés multi-capteurs dans le cadre de cette étude-pilote devrait permettre d'évaluer et de comprendre les liens entre environnement physique et transports actifs en milieu urbain. L'évaluation de ces liens pourrait être réalisée à l'aide d'une méthode statistique. Celle-ci viserait à estimer les associations significatives pouvant exister entre le niveau d'intensité d'activité physique, le mode de transport et des variables environnementales.

##### A. Quelles variables ?

Les variables environnementales pouvant influencer les modes de transports actifs ou le choix d'un mode de transport pour un déplacement peuvent être divisées en deux classes : celles qui concernent l'environnement urbain et celles qui sont liées aux conditions environnementales dans lesquelles ont été effectuées le déplacement. Cette liste n'est pas exhaustive et tous les éléments présents ne sont pas forcément pertinents. Il est nécessaire de réaliser une analyse statistique préliminaire (régression multiple par exemple) permettant d'éliminer les éléments inutiles.

##### ⇒ Concernant l'environnement urbain :

- **Aménagements destinés aux transports actifs (voir 2.2.3)** : cette base de données est à créer ou à récupérer auprès de la mairie ou de la communauté urbaine de la zone dans laquelle l'étude est menée ;
- **Réseau** (voir 1.2.1 a.) : sa forme générale, la taille de ses mailles, sa connectivité, la taille et la continuité de ses trottoirs (s'il y en a), son état et son entretien, le volume et la vitesse du trafic, la distance entre les intersections, etc... ;
- **Bâti** : peut être défini pour chaque point en réalisant une jointure avec le MOS (Mode d'occupation du sol de l'Ile-de-France ou un autre atlas d'occupation du sol pour une autre région). Une jointure peut également être réalisée entre les points et une carte du bâti établie à l'aide d'images satellites ;
- **Cours d'eau, végétation** : données base IGN ;
- **Type de zone (résidentielle, commerciale)** : comme pour le bâti, une jointure entre les points et le MOS peut être réalisée à l'aide d'Arcgis.

⇒ **Concernant le déplacement et les conditions dans lequel il a été effectué :**

- **Distance totale parcourue** : calculée sur Arcgis d'après les données relevées par le récepteur GPS ;
- **Le mode de transport** : calculé par PALMS. Il faut prendre en compte le fait que PALMS ne différencie pas les véhicules motorisés (voiture, tramway, moto ...). Cette différenciation peut être réalisée grâce à une manipulation sous Arcgis ;
- **Vitesse de déplacement** : Le récepteur GPS attribue une valeur de vitesse à chaque point lorsque les données sont mesurées. Cette valeur de vitesse est lissée par PALMS. Chaque point dispose donc d'une valeur de vitesse lissée ;
- **Météo** : Ces données sont à récupérer. Ceci est possible sur le site suivant : [www.meteorologic.net](http://www.meteorologic.net) ;
- **Accompagnement** : cette donnée est déclarée par le sujet dans le carnet d'activité.

## **B. Quelle échelle d'analyse ?**

Le traitement des données issues des relevés multi-capteurs a permis de conserver un point toutes les 5 secondes. Chacun de ces points fait partie d'un déplacement et plusieurs variables leurs ont été associées (coordonnées géographiques, vitesse, niveau d'intensité d'activité physique...).

L'analyse statistique des données peut donc être réalisée à l'échelle du point. Dans ce cas-là, il faudrait définir autour de chaque point une zone dont les caractéristiques lui seraient attribuées. Dans son étude combinant mesures de localisation et d'accélérométrie et analyse SIG, Rodriguez *et al.* utilisent des buffers circulaires de 50 mètres (Rodriguez, Cho et al. 2011). L'analyse à l'échelle du point pourrait permettre d'évaluer l'influence ponctuelle d'un aménagement sur la pratique d'activité physique. Il serait par exemple possible d'évaluer la corrélation existante entre la présence d'une piste cyclable en site propre et la pratique du vélo, de la marche ou encore des transports motorisés. Afin de gagner en précision et en finesse d'analyse, il faudrait pouvoir combiner les données de plusieurs sujets ayant emprunté des bouts d'itinéraires similaires durant la période d'étude.

Cette méthode d'analyse présente un biais qui peut être important selon la question de recherche posée. Prenons l'exemple d'un sujet hypothétique habitant dans une zone qui n'est reliée à sa zone de travail que par une autoroute malgré le fait que les deux zones soient proches. Les deux zones, elles, sont très bien équipées en aménagements favorisant l'utilisation du vélo. Il y a de grandes chances pour que le sujet choisisse de se rendre à son travail en voiture ou en transport en commun, bien que s'il avait pu, il s'y serait rendu à vélo. Les points mesurés comme des déplacements en voiture à l'intérieur des zones de domicile et de travail feront baisser le niveau de corrélation entre les aménagements spécifiques aux transports actifs et la pratique de l'activité physique. Or, le vrai problème d'aménagement ne se situe pas dans ces zones. Au final, c'est ce manque de lien entre les deux zones qui ferait baisser « injustement » la corrélation entre activité physique et aménagements spécifiques dans les deux zones. Dans cette méthode d'analyse effectuée à l'échelle du point, le déplacement dans sa globalité n'est pas pris en compte. Or, celui-ci peut avoir des caractéristiques non identifiables lors d'une analyse réalisée point par point.

Une analyse complémentaire réalisée à l'échelle du déplacement dans son intégralité pourrait pallier ce problème. Comme cela a été fait pour les points, il faudrait pour chaque déplacement, une zone dans laquelle seraient calculées les différentes variables (dont la connectivité du réseau). Le niveau d'activité physique serait calculé pour le déplacement dans son intégralité (soit en moyenne, soit en additionnant les différentes valeurs). Cette méthode d'analyse réalisée à l'échelle du déplacement serait moins fine mais éliminerait en partie les biais du type de ceux que nous avons identifiés dans la première méthode (l'impossibilité d'analyser les caractéristiques globales du déplacement comme la connectivité d'un réseau de cyclable).

Ces biais ne seraient pas pour autant complètement éliminés. Il se peut par exemple qu'un sujet habite dans une zone très peu équipée en aménagements spécifiques aux transports actifs. On pourrait donc réaliser une analyse statistique qui comparerait la pratique d'activité dans les déplacements et les caractéristiques d'une zone située autour du domicile (ou autour du lieu de travail ou d'étude ou encore autour de lieux commerciaux si l'on étudie l'activité physique dans les déplacements liés aux courses). Il est possible d'appliquer cette méthode en utilisant le quartier de vie comme surface de référence.

Dans ce type d'analyse, on admet que le sujet dispose d'un panel de possibilités et que toutes lui sont accessibles. En réalité, il se pourrait que malgré le fait qu'un sujet habite dans une

zone très bien équipée en pistes cyclables, il ne les utilise pas pour des raisons d'ordre physique (handicap), financier ou psychologique (peur de faire du vélo). Les corrélations qui sont mises en évidence (positives ou négatives) ne prouvent pas que deux éléments soient liés par un lien de causalité (Goldberg 1991).

Par ailleurs, les relations entre une variable environnementale et la pratique d'activité physique peuvent être lues dans les deux sens. Prenons l'exemple d'un individu utilisant fréquemment le vélo pour se déplacer et habitant dans un quartier où le nombre d'aménagements spécifiques aux transports actifs est important. Il est possible que cet individu se déplace à vélo parce que, dans son quartier, le nombre d'aménagements qui lui sont destinés est important. La relation peut également se lire dans l'autre sens : c'est parce qu'il voulait pouvoir se déplacer facilement à vélo que l'individu a décidé de s'installer dans ce quartier.

### **C. Quelle méthode ?**

Une méthode de traitement statistique consisterait à réaliser une analyse des correspondances multiples (ACM). Celle-ci permettrait de dégager les structures principales et sous-jacentes qui peuvent exister dans la base de données que nous avons à partir des variables citées précédemment. Cette analyse permettrait également de déterminer des groupes d'individus ou de variables ayant des comportements similaires.

L'analyse en elle-même consisterait à évaluer les relations pouvant exister entre la pratique d'activité physique dans le cadre des déplacements et les nombreuses variables environnementales que nous avons décrit précédemment. Il pourrait également être intéressant d'évaluer les relations pouvant exister entre les modes de transport utilisés par un individu et son environnement physique.

À partir de cette méthode, nous pourrions par exemple identifier des corrélations entre des groupes d'aménagements (groupe des aménagements cyclables par exemple) et des comportements spécifiques en terme de pratique des transports actifs dans les déplacements.



### 4.3. Limites et perspectives d'évolution de la méthode développée

#### 4.3.1. Limites : l'étude et les sujets

##### A. Les questionnaires d'activité

###### - Les taux de participation

**Document 27:** Taux de réponse au questionnaire

<b>Taux de réponse aux questionnaires (14 sujets)</b>			
<b>En %</b>	<b>Première semaine (mardi et samedi)</b>	<b>Deuxième semaine (semaine complète)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Rempli</b>	86	86	86
<b>Non rempli</b>	14	14	14

Sur les deux semaines d'étude, deux sujets n'ont pas rempli le carnet d'activité web (un par semaine). Sur les 12 sujets ayant correctement participé à l'étude, deux ont positionné le bouton de sélection de le GPS sur 10 HZ en début de semaine. Les GPS portés par ces sujets n'ont donc pas pu enregistrer les données sur l'ensemble de la semaine (saturation plus rapide de la mémoire de stockage).

Sur les 14 sujets, 10 ont à la fois rempli correctement le carnet d'activité web et porté les appareils sans problèmes. Nous disposons donc de 10 bases de données complètes. Il est probable que si nous n'avions pas dû exclure 4 sujets (GPS à 10Hz, absence du carnet d'activité web) des analyses, celles-ci auraient été plus précises. Cependant, ces problèmes rencontrés et les données manquantes qui en découlent ont aussi permis de mettre en évidence plusieurs limites de notre étude. Celle-ci nous permettra d'adapter le protocole d'étude.

###### - Des questions spécifiques à analyser

Pour différentes raisons, une partie des réponses dont nous disposons suite au remplissage des carnets d'activité n'a pas encore été exploitée:

La question portant sur le niveau d'activité physique ressenti fait partie de ces questions qui n'ont pas été traitées dans notre travail. La question était la suivante : « Selon-vous, quel était le niveau d'intensité physique de ce déplacement ? ». En effet, prenons l'exemple d'un sujet habitant à 5 kilomètres d'une boulangerie. Si celui-ci se rend à cette boulangerie en courant, le niveau d'activité physique mesuré et le niveau d'activité physique déclaré seront tous deux très élevés. Ce même sujet peut avoir une autre boulangerie située à 20 mètres de chez lui. S'il choisit d'y aller en courant, le niveau d'activité physique mesuré sera très élevé. En revanche,

il y a des chances pour que le sujet déclare un niveau d'activité physique ressenti faible puisqu'il n'a couru que sur une vingtaine de mètres. L'activité physique mesurée pour un déplacement est une moyenne de l'activité physique mesurée pour chaque point, sans prendre en compte la durée de l'effort. Le niveau d'activité physique ressenti est déclaré pour la globalité du déplacement et prendre en compte la durée de l'effort et donc, la fatigue. Cette information pourrait être exploitée pour pondérer l'intensité mesurée en fonction de l'effort ressenti par le sujet (peut influencer la motivation, le choix des modes de transport).

## B. Comment l'étude a-t-elle été reçue ?

À la fin de l'étude, un entretien de débriefing a été mené auprès des sujets. Il s'agissait d'un entretien directif, enregistré grâce à un dictaphone ou retranscrit sur papier. La réponse à la question « *comment l'étude a-t-elle été reçue ?* » découle de l'analyse de ces entretiens. Le **document 28** résume les résultats des questions de débriefing. Sur les quatorze sujets strasbourgeois, 13 ont pu être interrogés.

### Document 28: Résumé des entretiens de débriefing (13 sujets)

<b>Participer à l'étude dans les mêmes conditions</b>	
Oui	6
Non	7
<b>La contrainte la plus forte</b>	
aucune contrainte	2
Carnet	2
Bruit du GPS	1
Dictaphone	8
<b>Total des sujets interrogés</b>	<b>13</b>

Pour des questions de simplicité et de commodité, les sujets ont été choisis parmi les connaissances des différentes personnes chargées de l'étude. Nous leur avons donc demandé s'ils auraient accepté de participer à l'étude dans les mêmes conditions s'ils avaient été contactés par une personne qu'ils ne connaissaient pas. À cette question, plus de la moitié des sujets ont répondu qu'ils n'auraient pas accepté. Parmi ces sujets, certains ont expliqué avoir accepté de participer à l'étude afin d'aider la personne chargée de l'étude. D'autres ont expliqué qu'ils n'auraient pas souhaité qu'une personne inconnue puisse suivre leurs déplacements.

Parmi les sujets ayant pu être interrogés, seuls deux ont trouvé que l'enquête n'était pas du tout contraignante. Deux autres ont estimé que le remplissage des carnets était l'étape la plus contraignante (remplissage qui comprend le report des horaires sur papier ainsi que le remplissage du carnet d'activité web). Une personne a reporté que la contrainte la plus forte était le bruit que le GPS émet lorsqu'il réussit à se connecter. Face à ce problème de "bruit", nous avons décidé de désactiver les "bips" d'alerte pour les sujets lors de la deuxième semaine d'étude.

Les réticences d'une partie des sujets à participer à une enquête du même type et le haut niveau de contrainte de certaines parties de l'étude amènent à se poser plusieurs questions :

- Une rétribution financière modeste rendrait-elle l'enquête plus attractive dans le cas où elle serait proposée à des personnes inconnues du chargé d'étude ? Certaines études du même type que la notre ont, en effet, rétribué les participants à hauteur de 30€ (Nguyen-Luong 2012). Selon nous, cette somme serait suffisante pour motiver les gens à participer à l'enquête et à y participer correctement.
- Les parties de l'enquête étant déclarées comme les plus contraignantes peuvent-elles être supprimées ? Le dictaphone a été déclaré comme étant l'élément le plus contraignant de l'enquête. Afin de réduire les contraintes liées au recueil des données, il pourrait être intéressant d'analyser les résultats issus de ces appareils et de discuter leur réelle utilité dans une étude plus large.

### **C. Le protocole de l'étude est-il compréhensible pour l'ensemble des sujets ?**

#### **a. Le manuel d'utilisation et les explications données aux sujets :**

D'après les réactions des participants lors des entretiens de briefing et de débriefing, tous avaient bien compris comment procéder pour réaliser correctement les différentes étapes de l'enquête. Ils avaient également compris comment se servir des différents appareils et comment remplir le carnet d'activité web. Cependant, la durée des explications a largement différée selon les individus. Certains, habitués à manipuler des appareils électroniques et internet, n'ont eu qu'à parcourir le manuel d'utilisation pour comprendre comment allait se dérouler l'enquête et comment fonctionnaient les appareils et le site internet. D'autres ont demandé à ce que le fonctionnement du carnet d'activité web leur soit expliqué plus en détail.

À l'avenir, le manuel d'utilisation pourrait être agrémenté de captures d'écran du site web expliquant où cliquer pour réaliser quelle action. Dans le cas où une personne ne saurait pas se servir d'internet, il pourrait être intéressant qu'elle puisse choisir de ne reporter les informations que sur papier. Celles-ci pourront être retranscrites sur internet par le chargé d'étude. Ceci implique que le questionnaire d'inscription ainsi que le dessin du quartier de vie soient également disponibles en version papier.

**b. L'exécution des consignes :**

Malgré le fait que les sujets aient déclaré avoir bien compris en quoi consistait l'étude et comment elle allait fonctionner, des problèmes lors du recueil de données sont apparus:

Nous avons pu remarquer que certaines catégories de personnes, en particulier les personnes âgées, sont susceptibles de sélectionner la position « 10 Hz » du GPS par mégarde. Ce problème a mené à un non enregistrement de données sur une partie de la semaine d'étude pour deux participants. À terme, il faudrait pouvoir empêcher la sélection de cette position. Ceci peut être réalisé à l'extérieur du boîtier en rallongeant le butoir. Cependant, cette option ne met pas à l'abri des soucis techniques. Une solution soignée à ce problème pourrait être réalisée en modifiant l'électronique du récepteur. En ouvrant le boîtier, il est probable que l'on puisse forcer électroniquement la position "1 Hz". De cette façon, les sujets n'auraient pas à se préoccuper de sélectionner la bonne position.

Malgré le fait qu'ils aient bien compris comment allait se dérouler l'étude, certains sujets ont déclaré ne pas avoir trouvé le temps pour retranscrire les informations de leur carnet d'activité sur le site internet. Il pourrait également être intéressant pour ces sujets de pouvoir choisir une version de l'enquête entièrement réalisée sur papier. Le fait de proposer cette solution aux sujets allongerait cependant le temps de mise en place de la base des données par le chargé d'étude.

### **4.3.2. Les limites dues aux appareils et aux logiciels utilisés**

#### **A. Erreurs et imprécisions des mesures GPS :**

Les relevés des récepteurs GPS sont parfois imprécis ou incorrects ce qui rend difficile l'analyse des données. Les principales limites identifiées durant l'étude pilote sont les suivantes :

1. Points de départ et d'arrivée mal positionnés;
2. Points de déplacements qui ne sont pas superposables aux rues;
3. Déplacements courts non enregistrés;
4. Déplacements en zone de bâti dense imprécis ou incorrects.

Certaines études suggèrent de compléter les bases de données avec les informations issues des bornes WIFI géolocalisées (Oliver, Badland et al. 2010). Les zones urbaines denses sont souvent correctement équipées en réseaux WIFI privés et publics. Il existe des bases de données recensant la position d'une partie de ces bornes. En suivant le même principe que la géolocalisation par satellite, certains récepteurs GPS sont capables de calculer leur position grâce aux signaux émis par plusieurs bornes WIFI dont la position est connue.

Cependant, si la géolocalisation par WIFI est possible en théorie, elle est pour l'instant impossible à mettre en pratique de façon correcte. Les bases de données recensant la position des bornes sont encore peu diffusées (ou peu fiables). Par ailleurs, cela implique que les récepteurs GPS aient les capacités de traiter des signaux WIFI, ce qui n'est souvent pas le cas.

#### **B. Identifier et mesurer les déplacements à vélo**

Dans notre étude-pilote, les accéléromètres étaient portés à la taille. Or, à vélo, les mouvements les plus physiques sont réalisés avec les jambes, la taille ne bougeant que faiblement. L'activité physique réalisée à vélo est donc assez mal évaluée (voir **carte 14**, 4.1.3). Ceci pose un problème majeur dans le cadre d'une étude portant sur les transports actifs. Il pourrait être intéressant de mesurer les biais dus à l'utilisation d'accéléromètres portés à la taille en effectuant des relevés conjoints à l'aide d'un cardio-fréquencemètre. S'il s'avère que les biais sont importants, il faudra réfléchir à ajouter des cardio-fréquencemètres à l'étude. Si cet ajout de matériel permettrait de mieux évaluer les déplacements à vélo, cela

implique en parallèle une augmentation des contraintes pour le sujet (volontaire). Il sera donc nécessaire d'évaluer plus en détail l'apport d'une technologie de ce type dans notre étude en rapport avec la perte éventuelle de sujet (pour des raisons de contraintes).

### **C. L'utilisation de PALMS :**

Lors du traitement des données sous PALMS, il est possible de fixer des constantes utilisées par le logiciel dans les algorithmes de traitement. Cependant, l'accès à ces derniers est impossible. De plus, le logiciel n'étant disponible uniquement en ligne, cette étape du traitement des données nécessite une connexion internet avec un débit important. D'après des échanges que nous avons pu avoir avec les développeurs du logiciel, ceux-ci n'ont pas prévu de créer une version "bureau" de PALMS.

#### **4.3.3. Amélioration du protocole de recherche**

##### **A. Vérifier les mesures d'accélérométrie avant de commencer le traitement des données :**

Les ceintures sont composées de deux appareils : le GPS et l'accéléromètre. L'accéléromètre enregistre des données en continue. Le GPS, lui, nécessite plusieurs interventions du sujet pour pouvoir enregistrer (rechargement quotidien, position on/off). Il pourrait être utilisé de vérifier les données d'accélérométrie avant de commencer le traitement des données sous PALMS. Si les données d'accélérométrie ne sont pas complètes cela signifie que la ceinture n'a pas été portée correctement pendant toute la durée de l'étude. En fonction des premiers critères de validité fixés pour l'inclusion des sujets, il est inutile de réaliser le traitement des données identifiées comme non valide sous PALMS.

##### **B. Utiliser l'accélérométrie pour mesurer les modes de transport :**

Nous avons observé que certains modes de transport étaient mal identifiés par PALMS lors du traitement des données par l'algorithme proposé : le vélo par exemple est confondu avec la voiture. Une solution à ce problème serait de vérifier que le niveau d'activité physique mesuré en moyenne sur un déplacement correspond bien au niveau d'activité physique nécessaire par l'utilisation du moyen de transport correspondant. Cependant, lors du traitement des données

de l'étude-pilote, il n'était pas possible d'utiliser des données d'accélérométrie pour calculer le mode de transport. Par ailleurs, depuis le 15 août 2012, PALMS propose cette technique de calcul dans son nouveau protocole de traitement (version R4). Cependant, celle-ci reste à évaluer.

### **C. Peut-on se passer du carnet d'activité web et de la déclaration papier?**

Lors de la comparaison des données mesurées et des données déclarées, nous avons constaté que les deux types de résultats étaient très similaires (aussi bien au niveau des horaires que des modes de transport). De plus, ce carnet fait partie des contraintes importantes citées par les sujets. En pratique, il serait possible de mener une étude sans utiliser de carnets de bord. Cependant ceci impliquerait d'une part que les données GPS ne pourront pas être correctement vérifiées (elles peuvent l'être partiellement grâce aux données d'accélérométrie) et d'autre part, ces données sont essentielles si un des objectifs de l'étude est de recueillir des données concernant les motivations ou les choix des sujets.

Le site web et l'inscription qui lui est liée, pourrait être complété pour permettre au sujet de déclarer d'éventuels problèmes ou de faire des remarques (par exemple : "*j'ai enlevé ma ceinture pour faire du sport*") tout au long de la période de recueil des données voir de l'étude.

### **D. Automatisation totale du processus de traitement :**

La durée importante du processus de traitement des données est due au fait que, dans le cadre de notre étude-pilote, celui-ci a été réalisé de manière individuelle pour chaque sujet. De plus, il est divisé en plusieurs étapes (récupération des données, chargement et traitement dans PALMS, nettoyage automatisé et manuel, couplage des données mesurée et déclarée). Ce processus pourrait être largement simplifié en étant réalisé en une fois grâce à un logiciel spécifique qu'il reste à développer.

## CONCLUSION

Le travail de recherche méthodologique proposé dans ce mémoire a permis, au travers d'une étude pilote, de tester et d'analyser la combinaison de différents capteurs (de localisation et de mouvements). L'analyse des premiers résultats montre que, si elles ne sont pas parfaites, ces techniques permettent de répondre à certaines questions de recherche spécifique. 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. Afin de gagner en efficacité et en précision, et pour pouvoir être proposé à une plus large échelle, des propositions d'évolution et des perspectives d'analyses sont aussi proposés dans ce travail.

Une partie de ces évolutions nécessaires sont d'ordre méthodologique. Les imprécisions de la mesure d'activité physique à vélo ou l'importante masse des contraintes que l'enquête représente pour les sujets font parties de ces limites qui devront être évaluées. Les solutions adoptées dépendront en grande partie des questions de recherche associées.

Une autre partie des limites qui doivent être améliorées est d'ordre technologique et concerne notamment l'inaptitude des récepteurs GPS à mesurer les déplacements de très courte distance. Bien qu'elle soit selon nous possible aujourd'hui, il est probable qu'une analyse plus fine et plus précise de ces déplacements puisse être réalisée dans les années à venir, en fonction des progrès technologiques dans le domaine du positionnement par satellite.

L'application à plus grande échelle du protocole développé devrait rendre possible l'évaluation des relations pouvant exister entre l'environnement physique et la pratique d'activité physique. À terme, et en fonction des résultats des analyses, il sera possible de proposer des pistes d'aménagement et de réaménagement de l'espace urbain adapté à chaque situation urbaine dans le but de favoriser la pratique de l'activité physique.

Cependant, même si des associations sont établies, le lien de causalité restera à confirmer. La description du processus par lequel une caractéristique de l'environnement physique ou une combinaison de caractéristiques peut entraîner un comportement reste complexe à réaliser. Les processus en question n'admettent probablement pas de cause et d'effet uniques. Les relations environnementales conduisant à la mise en place d'un processus ne sont pas toutes d'ordre physique : les conditions sociales et psychologiques du sujet font également partie de l'environnement dans lequel ce processus a lieu. Au final, appréhender ce système complexe dans sa globalité reste un enjeu majeur pour le monde de l'urbain et de la santé publique.



## TABLE DES FIGURES

Document 1 : Campagne de promotion de l'activité physique .....	11
Document 2 : Echelle d'adhérence urbaine (Amar, 1993).....	12
Document 3 : Lakeport, Californie, USA (photo Google Earth).....	15
Document 4: Strasbourg, quartier de Hautepierre (photo Google Earth).....	16
Document 5: Différents exemples de types de piste cyclable de zone urbaine (CUS, 67) .....	16
Document 6: Projets d'aménagements cyclables à Montpellier (2007).....	20
Document 7: Projet d'aménagement lié au tram (Strasbourg, 67) .....	22
Document 8: Accéléromètre Actigraph GT3X+.....	26
Document 9: Exemple de carnet de bord utilisé dans le cadre de l'enquête ménages-déplacements de la région de Tahoe (Californie) en 2005 .....	27
Document 10: Schéma du processus de calcul des coordonnées géographiques d'un sujet à l'aide du Global Positioning System (GPS).....	28
Document 11: Comparaison entre une méthode de détection des modes de transport via les données GPS et les modes de transport reportés par les sujets dans leur carnet de bord (Wolf, Guensler et al. 2001; Chung and Shalaby 2005).....	31
Document 12: Synthèse de lecture d'articles portant sur la combinaison d'accéléromètres et de récepteurs GPS .....	34
Document 13: Comment porter l'accéléromètre et le GPS ? .....	38
Document 14: Exemple de schéma de déplacement sur une journée.....	40
Document 15: Exemple de limites de quartier de vie représentées à l'aide de l'application web (quartier de la Krutenau, Strasbourg, 2012) .....	42
Document 16: Processus de merging des données d'accélérométrie des données GPS avec PALMS .....	44
Document 17: Architecture allemande, rue Schwendi, Strasbourg (67) (photo wikipedia).....	60
Document 18: tableau comparatif des déplacements mesurés et déclarés sur une journée (sujet 3).....	67
Document 19: Nombre de points total recueillis (n=12 sujets).....	70
Document 20: Nombre de points recueillis par tranches horaires (de une heure) .....	71
Document 21: Données d'accélérométrie manquantes pour les 14 sujets (en %)......	72
Document 22: Descriptif des points mesurés par l'accéléromètre (sujet 8).....	73
Document 23: de temps entre les déplacements mesurés et déclarés selon la semaine d'étude (n=12 sujets).....	73
Document 24: Répartition des différences horaire (%) entre les déplacements mesurés et déclarés durant les deux semaines de mesure (n=12 sujets) .....	74
Document 25: Différence de temps entre les déplacements mesurés et déclarés pour les deux semaines d'étude (réalisé sur 274 horaires de départ ou d'arrivée) .....	75
Document 26: Résultats de la comparaison entre les modes de transport déclarés et les modes de transport mesurés.....	77
Document 27: Taux de réponse au questionnaire.....	89
Document 28: Résumé des entretiens de débriefing .....	90
Carte 1 : Part de la marche à pied dans les déplacements de moins d'un kilomètre dans la CUS (ADEUS, 2011) .....	14
Carte 2: Transports en commun et aménagements piétonniers et cyclables à Eckbolsheim (67) .....	52
Carte 3: Exemple de répartition des points GPS non nettoyés autour du domicile en fonction	

du type d'habitat.....	53
Carte 4: Exemples de points GPS non nettoyés autour d'un lieu de travail.....	54
Carte 5: Exemple de déplacements mal mesurés par le récepteur GPS.....	55
Carte 6: Répartition des points GPS avant et après nettoyage automatique.....	56
Carte 7: Répartition des points GPS avant et après nettoyage automatique (fond de carte image satellite Google Earth).....	57
Carte 8: Imprécisions de mesures au départ et à l'arrivée des déplacements.....	59
Carte 9: Points de déplacement aux alentours du domicile du sujet 12.....	61
Carte 10: Zone de bâti dense et relevés GPS au centre-ville de Strasbourg.....	62
Carte 11: Répartition des points GPS après nettoyage manuel et automatique.....	64
Carte 12: Journée de mesure d'un sujet (mardi 14/04/2012).....	69
Carte 13: Mode de transport et intensité d'activité physique associé (exemples de déplacements).....	78
Carte 14: Exemple de course à pied mesurée par GPS et accéléromètre.....	79
Carte 15: Déplacement pédestre du sujet 9 et buffer de 15 mètres entourant la route empruntée.....	81
Carte 16: Quartier de vie du sujet 1 et aménagements urbains sur la commune d'Eckbolsheim.....	84

## BIBLIOGRAPHIE

- ADEME (2010). "Schéma directeur vélo, programmes d'action (PDU de Brest)."
- ADEUS (2011). "Exploiter le potentiel cyclable dans le Bas-Rhin." Les notes de l'ADEUS **34**.
- ADEUS (2011). "La marche, Nouvel enjeu des politiques urbaines ?" Les notes de l'ADEUS **47**.
- Almanza, E., M. Jerrett, et al. (2012). "A study of community design, greenness, and physical activity in children using satellite, GPS and accelerometer data." Health and Place **18**(1): 46-54.
- Amar, G. (1993). "Pour une écologie urbaine des transports." Les annales de la recherche urbaine n°**59-60**: p 140-141.
- APUR (2010). "Schéma d'orientation pour le développement du vélo (2010-2020)."
- Badland, H., G. Schofield, et al. (2008). "Travel behavior and objectively measured urban design variables: Associations for adults traveling to work." Health and Place **14**: 85-95.
- Bentley, R., D. Jolley, et al. (2010). "Local environments as determinants of walking in Melbourne, Australia." Social Science and Medicine **70**(11): 1806- 1815.
- Bigot, J. (2010). Enquête ménage déplacements 2009 : premiers résultats. Conférence de presse (15 janvier 2010). Strasbourg, Observatoire départemental des déplacements du Bas-Rhin.
- Bohte, W. and K. Maat (2009). "Deriving and validating trip purposes and travel modes for multi-day GPS-based travel surveys: A large-scale application in the Netherlands." Transportation Research Part C **17**: 285-297.
- Bricka, S., S. Sen, et al. (2012). "An analysis of factors influencing differences in survey-reported and GPS-recorded trips." Transportation Research Part C **21**: 67-68.
- Briggs, D., K. Hoogh, et al. (2008). "Effects of travel mode on exposures to particulate air pollution." Environment International **34**: 12-22.
- Brownson, R., C. Hoehner, et al. (2009). "Measuring the built environment for physical activity, state of science." American Journal of Preventive Medicine **36**(4S): S99-S123.
- CDC (1996). Physical activity and health: A report of the surgeon general, US Department of Health and Human Services, Centers of Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion.
- Chapon, P.-M. and e. al. (2011). "Analyse des territoires de vie et de la mobilité de personnes âgées au moyen de traceurs GPS." Annales de géographie **679**(3): 320-333.
- Chung, E.-H. and A. Shalaby (2005). "A trip reconstruction tool for GPS-based personal travel surveys." Transportation Planning and Technology **28**(5): 381-401.
- Claudon, O. (2012). Des vélos sur ordonnances. DNA. Strasbourg.
- CUS, RR&A, et al. (2012). "Le plan piéton, une ville en marche, intégré dans le "code de la rue"." Communauté Urbaine de Strasbourg.
- Dunn, A., B. Marcus, et al. (1999). "Comparison of lifestyle and structured interventions to increase physical activity and cardiorespiratory fitness." Journal of the American Medical Association **281**(4): 327-334.
- Elvik, R. (2009). "The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport." Accident Analysis and Prevention **41**(4): 849-855.
- Evrard, E. (2005). Strasbourg, capitale du vélo volé. Libération. **8 avril**.
- Freedson, P., E. Melanson, et al. (1998). "Calibration of the computer science and applications, Inc. accelerometer." Medicine Science Sports and Exercice **30**(5): 777-781.

- Goldberg, M. (1991). L'épidémiologie sans peine.
- Iacono, M., K. Krizek, et al. (2010). "Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution." Journal of Transport Geography **18**(1): 133-140.
- Inbakaran, C. and A. Kroen (2011). "Travel surveys - Review of international survey method." Australian Transport Research Forum.
- INCa (2012). Activité physique et cancers. Fiches repères, Institut National du Cancer.
- Katzmarzyk, P., N. Gledhill, et al. (2000). "The economic burden of physical inactivity in Canada." Canadian Medical Association Journal **163**(11).
- Kerr, J., S. Duncan, et al. (2011). "Using Global Positioning Systems in health research: A practical approach to data collection and processing." American Journal of Preventive Medicine **41**(5): 532-540.
- Krenn, P., S. Titze, et al. (2011). "Use of Global Positioning Systems to study physical activity and the environment." American Journal of Preventive Medicine **41**(5): 508-515.
- Lachapelle, U. and R. Noland (2012). "Does the commute mode affect the frequency of walking behavior? The public transit link." Transport Policy **21**: 26-36.
- Le Monde (2012). "Les Franciliens, les plus grands marcheurs de France." Le Monde.
- Le Parisien "Capitale de la marche." Le Parisien.
- Maddison, R. and C. Mhurchu (2009). "Global positioning system: a new opportunity in physical activity measurement." International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity **6**: 73.
- Mavoa, S., M. Oliver, et al. (2011). "Linking GPS and travel diary data using sequence alignment in a study of children's independent mobility." International Journal of Health Geographics **10**: 64.
- McCormack, G., M. Rock, et al. (2010). "Characteristics of urban parks associated with park use and physical activity: A review of qualitative research." Health and Place **16**: 712-726.
- Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement (2010). Les émissions de gaz à effet de serre des transports. C. d. a. D. durable.
- Morency, C., M. Trépanier, et al. (2011). "Walking to transit: An unexpected source of physical activity." Transport Policy **18**: 800-806.
- 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 Ile-de-France." IAU Rapport final.
- Oliver, M., H. Badland, et al. (2010). "Combining GPS, GIS, and accelerometry: Methodological issues in the assessment of location and intensity of travel behaviors." Journal of physical activity **7**: 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.
- OMS (2010). Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé, Organisation mondiale de la santé.
- Oppert, J.-M. (2011). Sédentarité, inactivité physique et obésité. Médecine et chirurgie de l'obésité. Lavoisier: 799.
- Oppert, J.-M., C. Simon, et al. (2005). Activité physique et santé, arguments scientifiques, pistes pratiques, Société Française de Nutrition.
- Pierrera, S., E. Valck, et al. (2010). "Nocturnal road traffic noise: A review on its assessment and consequences on sleep and health." Environment International **36**(5): 492.
- Pikora, T., B. Giles-Corti, et al. (2003). "Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling." Social Science and Medicine **56**:

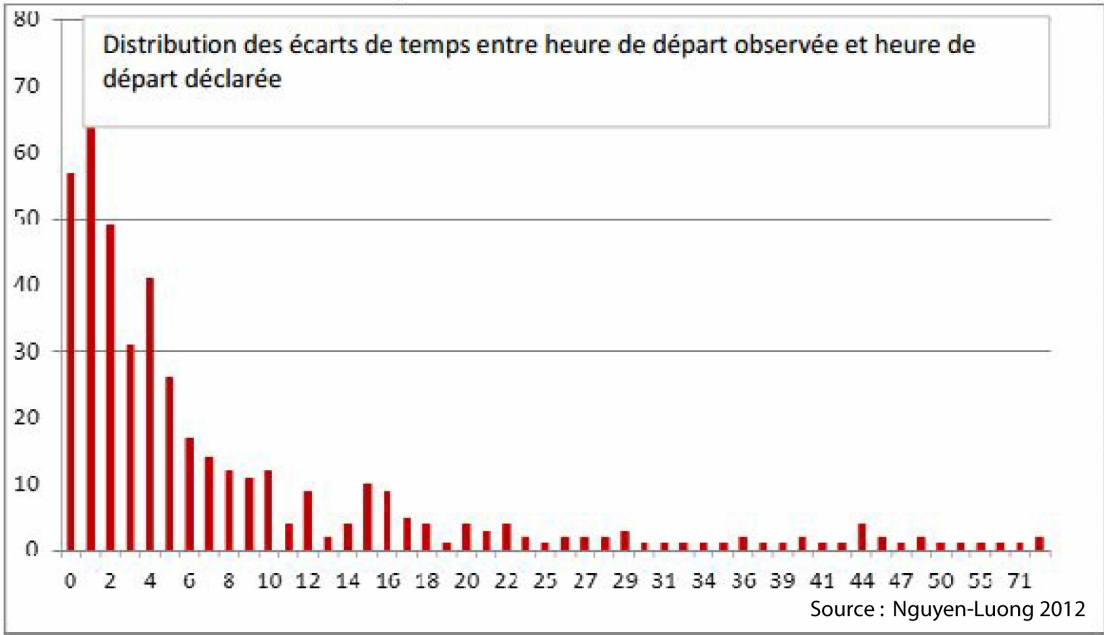
1693 - 1703.

- Piombini, A. (2006). Modélisation des choix d'itinéraires pédestres en milieu urbain, approche géographique et paysagère. Thèse de géographie, Université de Franche-Comté: 306.
- Pucher, J., J. Dill, et al. (2009). "Infrastructures, programs, and policies to increase bicycling: An international review." Preventive Medicine **50**: 106-125.
- Reynolds, C., M. Winters, et al. (2010). Transport actif en région urbaine : avantage et risques pour la santé, Centre de collaboration nationale en santé environnementale.
- Rodriguez, D., A. Brown, et al. (2005). "Portable global positioning units to complement accelerometry-based physical activity monitors." Medecine Science Sports and Exercice **37**(11 suppl.): S572 -S580.
- Rodriguez, D., G.-H. Cho, et al. (2011). "Out and about: Association of the built environment with physical activity behaviors of adolescent females." Health and Place **18**: 55-62.
- Saelens, B., F. Sallis, et al. (2003). "Environmental Correlates of walking and cycling : Findings from transportation, Urban Design, and Planning literatures." Annals of Behavioural Medicine **25**(2): 80-91.
- Shafizadeh, K. and D. Niemeier (1997). "Bicycle journey-to-work, travel behavior characteristics and spatial attributes." Transportation Research Record: Journal of the transportation Research Board **1578**: 84-90.
- Stopher, P. (2008). "The travel surbey toolkit: Where to from here?" 8<sup>th</sup> International Conference on Travel Survey Methods (Annecy).
- Stopher, P., E. Clifford, et al. (2008). "Deducing mode and purpose from GPS data." Institute of Transport and logistics Studies.
- Stopher, P., C. Fitzgerald, et al. (2007). "Assessing the accuracy of the Sydney Household travel survey with GPS." Transportation **34**: 723-741.
- Stopher, P. and S. Greaves (2007). "Household travel surveys: Where are we going?" Transportation Research Part A **41**: 367-381.
- Stopher, P. and L. Shen (2011). "In-depth comparison of Global Positioning System and diary records." Transportation Research Record: Journal of the transportation Research Board **2246**: 32-37.
- Vandenbulcke, G., C. Dujardin, et al. (2011). "Cycle commuting in Belgium: Spatial determinants and 're-cycling' strategies." Transportation Research Part A **45**: 118-137.
- Vargo, J., B. Stone, et al. (2011). "Google walkability: A new tool for local planning and public health research ?" Journal of physical activity & Health **In press**.
- Villanueva, K., B. Giles-Corti, et al. (2008). "Achieving 10,000 steps: A comparison of public transport users and drivers in a University setting." Preventive Medicine **47**: 338-341.
- Wolf, J. (2000). Using GPS data loggers to replace travel diaries in the collection of travel data. Civil Engineering, Georgia Institute of Technology. **Doctor of phylosophy in civil engineering**: 239.
- Wolf, J., R. Guensler, et al. (2001). "Elimination og the travel diary: An experiment to derive trip purpose from GPS travel data." Transportation Research Board 80<sup>th</sup> Annual meeting.
- Zenk, S., A. Schulz, et al. (2011). "Activity space environment and dietyry and physical activity behaviors: A pilot study." Health and Place **17**: 1150-1161.

## TABLE DES SIGLES

ADEUS.....	Agence de développement et d'urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise
CUS .....	Communauté Urbaine de Strasbourg
EMD .....	Enquête Ménages Déplacements
GPS .....	Global Positioning System
INCa .....	Institut National du Cancer
OMS .....	Organisation Mondiale de la Santé
PALMS .....	Physical Activity and Measurement System
PDU .....	Plan de Développement Urbain
TER .....	Train Express Régional
SIG .....	Système d'Information Géographique

**Annexe 1** : Distribution des écarts de temps entre heure de départ observée et heure de départ déclarée (22 enquêtés, étude IAU, 2012)



## Annexe 2 : Guide de l'étude-pilote distribué aux sujets

### **Note d'information pour une étude pilote « mobilités actives et santé » (Projet de recherche ACTI-Cités)**

De nombreuses études ont montré qu'il existe des relations étroites entre l'activité physique et la santé. Une pratique régulière d'activité physique est associée à une diminution du risque d'apparition de pathologies chroniques (certains cancers, obésité...). Des études ont aussi démontré que la pratique d'activité physique et plus particulièrement la pratique des activités réalisées dans le cadre des transports : la marche et le vélo (mobilités actives) serait liée aux caractéristiques des environnements de vie.

L'étude à laquelle vous allez participer est une étude pilote qui vise à mieux comprendre les relations entre mobilités actives et environnements de vie.

Dans le cadre de cette étude visant à préciser les relations entre l'activité physique, la santé et l'environnement de vie, il nous faut connaître le plus précisément possible :

- 1) la durée et l'intensité des activités physiques, notamment celles réalisées dans le cadre des transports (marche et vélo) ;
- 2) les lieux où sont pratiquées ces activités.

Cette étude est réalisée dans le but de mettre en place un protocole de recherche. Nous souhaitons élaborer une méthode de recueil de données concernant l'activité physique dans les déplacements. Cette construction passe par une phase de test appelée « étude-pilote ». La méthode que nous mettrons en place pourra ensuite être appliquée à une population plus nombreuse.

Les résultats de cette étude permettront aux décideurs politiques de prendre en compte dans les projets d'aménagement urbain les facteurs favorisant la pratique d'activité physique au cours des déplacements.

Vous êtes invité à participer au recueil des données en portant durant 7 jours un kit de recueil composé d'un accéléromètre et d'un récepteur GPS. L'accéléromètre est un appareil qui se porte à la ceinture et qui enregistre les accélérations du corps. Celles-ci sont ensuite converties en valeur d'activité physique (intensité, durée) et en dépense énergétique (calories). Le récepteur GPS est un boîtier équipé d'un bouton on/off qui enregistre les coordonnées géographiques des lieux visités par son porteur. Il se porte également à la ceinture.

Vous devrez également enregistrer des informations concernant vos déplacements à l'aide d'un dictaphone durant deux demi-journées. La liste des informations à enregistrer sur le dictaphone est disponible à la page 6.

En plus de porter un récepteur GPS et un accéléromètre, vous êtes invité à remplir un « carnet d'activité web » pour deux jours de l'étude. L'adresse de ce carnet est la suivante : <http://www.ctic.fr/acticite>

Ceci ne devrait pas prendre plus de 15 minutes par soir. Les données recueillies à l'aide de ces carnets seront comparées aux mesures GPS pour évaluer la précision du recueil via le récepteur GPS.

En résumé, vous êtes invité à :

- porter un récepteur GPS et un accéléromètre à la ceinture durant 7 jours
- remplir un carnet d'activité web chaque soir pour deux jours de l'étude
- enregistrer des informations sur un dictaphone pendant deux demi-journées

La durée totale de votre participation à l'étude sera donc de 7 jours. **L'étude aura lieu du 23 au 29 avril.**

Les données recueillies seront anonymisées. Toute information vous concernant recueillie sur le site



dédié, sera traitée de façon confidentielle. Les résultats de cette étude ne seront utilisés qu'à des fins scientifiques. Seuls les responsables de l'étude pourront avoir accès à ces données. A l'exception de ces personnes qui traiteront les informations dans le plus strict respect du secret médical, votre anonymat sera préservé.

Vous pourrez, si vous le souhaitez, avoir accès aux résultats globaux de l'étude.

Vous pouvez décider en cours d'étude d'arrêter votre participation, à cette partie de l'étude sans avoir à vous justifier, sans encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice de ce fait.

Nous vous remercions par avance de l'attention que vous porterez à cette étude et à l'intérêt qu'elle représente pour la santé de tous.

**Jean-Michel Oppert, médecin hospitalier**

**Coordinateur du projet ACTI-Cité**

**UREN INSERM U557/INRA U1125/CNAM/Université Paris 13, CNRH Ile-de-France,  
Université de Bobigny Paris 6, Nutrition Pitié-Salêtrière/UPMC-Paris 6, CNRH Ile-de-France,  
France**

## **Formulaire de consentement pour la déclaration des mobilités actives**

J'accepte librement et volontairement de participer à l'étude pilote concernant les mobilités actives et les outils dédiés à cet effet (GPS, accéléromètre, dictaphone et carnet d'activités).

Le site <http://www.serveur-hc.com/pilote-mobilité> me permettra, à l'aide d'une interface sécurisée, de déclarer les lieux d'activités, les motivations du mode de transports et des itinéraires réalisées pendant \_\_\_ jours.

Dans le cadre des activités physiques et des mobilités me concernant, j'accepte :

- de porter à la ceinture un kit de recueil de données composé d'un accéléromètre et d'un récepteur GPS durant 7 jours consécutifs.
- 2) d'enregistrer sur un dictaphone des informations concernant mes déplacements pendant deux demi-journées
- 3) de compléter, sur le site web consacré à cet effet, le carnet d'activité web pour 2 jours de l'étude.

Les coordinateurs de l'étude s'engagent à ce que tous les relevés (activité physique et mobilités) me concernant transmis directement par moi-même soient anonymisés (par effacement des données nominatives et attribution d'un numéro identifiant) pour leur exploitation et leur conservation.

Les objectifs et modalités de ces déclarations m'ont été clairement expliqués dans la note d'information et afin d'éclairer ma décision, j'ai bien lu et compris les informations y figurant.

J'accepte que les données d'activité physique et de mobilités me concernant, recueillies à l'occasion de cette recherche, puissent faire l'objet d'un traitement automatisé par les organismes de la recherche. Le droit d'accès et de rectification prévu par la loi « informatique et liberté » (loi du 6 janvier 1978 modifiée le 1er juillet 1994, article 40-4) s'exerce à tout moment auprès des responsables de la recherche.

Les données recueillies demeureront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation que par les personnes dûment mandatées par le promoteur de la recherche et éventuellement par des représentants des autorités administratives de santé, toutes soumises au secret professionnel (article 40-3 de la même loi).

J'ai bien compris que ma participation à l'étude est volontaire et je suis libre d'accepter ou de refuser de participer.

Mon consentement ne décharge en rien les investigateurs de l'ensemble de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Je suis parfaitement conscient(e) que je peux retirer à tout moment mon consentement à cette recherche et cela quelles que soient mes raisons et sans supporter aucune responsabilité. Je peux décider en cours d'étude d'arrêter ma participation sans avoir à m'en justifier, ni n'encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice de ce fait.

Aucune indemnité n'est prévue pour ma participation à cette étude et je ne tirerai aucun éventuel avantage financier de ma participation à cette recherche, cependant ma collaboration me permettra de contribuer au progrès scientifique.

**Nom, Prénom :**

**Date :**

**Signature :**

## Le KIT mobilité

Le Kit mobilité est composé :

- D'un questionnaire d'identification
- D'un récepteur GPS
- D'un accéléromètre
- D'un carnet d'activité web
- D'un dictaphone

### Sommaire :

1. Questionnaire d'identification .....	p. 5
2. Le récepteur GPS : son utilisation .....	p. 6
3. Comment utiliser l'accéléromètre .....	p. 12
4. Comment remplir le carnet d'activité web .....	p. 13
5. Le dictaphone : son utilisation .....	p. 14
6. Les étapes de votre participation à l'enquête mobilité/santé .....	p. 17

### **A EVITER ABSOLUMENT**

Certaines situations dégradent la réception du signal GPS ou sont susceptibles d'endommager les appareils.

Il faut absolument éviter de :

- ♣ mettre le récepteur GPS ou l'accéléromètre dans un sac ou dans tout autre contenant (toujours porter les appareils à la ceinture)
- ♣ mettre les appareils en contact avec de l'eau

## 1) Questionnaire d'identification

Pour pouvoir participer à l'enquête, vous devez vous inscrire sur le site suivant :

**[http://...](#)**

Lors de cette inscription, il vous sera demandé de remplir un questionnaire d'identification.

Vous devrez nous renseigner sur :

- Nom et prénom
- email
- Un mot de passe de votre choix
- Sexe
- Âge
- Taille
- Adresse de votre domicile
- Adresse de votre lieu de travail ou d'étude
- Quelles sont selon vous les limites de votre quartier de vie ? Des explications complémentaires pour cette question seront disponibles lors de votre inscription.

## 2) Le récepteurs GPS : son utilisation

- **Allumer/éteindre**

Vous devrez allumer votre GPS le matin (**position 1Hz**), juste après vous être habillé. Dans la mesure du possible, il faudrait que le GPS soit allumé au moins 15mn avant que vous quittiez votre domicile. Le soir, vous éteignez votre GPS au moment du coucher (position off).

L'autonomie de la batterie d'un GPS étant d'une journée, vous devez **IMPERATIVEMENT le recharger tous les soirs**. Vous pouvez le mettre à charger pour la nuit avant de vous coucher.

Au cours de la journée, vous avez la possibilité d'éteindre et de rallumer vos appareils (accéléromètres et GPS) à l'aide du bouton off/on quand vous le souhaitez.

## Allumer et éteindre le GPS



1. Position "OFF":  
Lorsque le bouton est dans cette position, le GPS est **éteint.**



2. Position "1Hz":  
Lorsque le bouton est dans cette position, le GPS est **allumé.**



3. Position "10Hz":  
Lorsque le bouton est dans cette position, le GPS est allumé mais n'enregistre pas correctement.

**Ne jamais utiliser cette position !**

Attention à ne pas activer cette position lorsque vous glissez le GPS dans sa pochette.

- **Comment porter le GPS ?**

La manière de porter les appareils a été étudiée pour que les mesures soient les plus exactes et les plus précises possibles. Vous porterez donc le GPS à la hanche à l'aide de la **ceinture fournie** en respectant les modèles suivants (photos ci-dessous). Vous pourrez porter cet appareil sous les habits si vous le souhaitez. Le GPS doit être porté du côté gauche et l'accéléromètre du côté droit.

Le boîtier GPS est glissé dans un étui attention lorsque vous le fixez ou lorsque vous le transportez à ne pas le faire glisser de cet étui. En replaçant le GPS dans son étui, faites attention à ne pas faire glisser le bouton latéral sur la position « 10Hz ».



**ATTENTION :**

- **Le GPS se porte toujours du côté GAUCHE**
- **L'accéléromètre se porte toujours du côté DROIT**

## Les témoins lumineux du boîtier GPS



- **Les différentes fonctions du GPS**

- Lorsque le bouton latéral est sur la position « OFF », le GPS ne fait pas de bruit et aucun témoin lumineux n'est allumé.
- Lorsque vous glissez le bouton latéral du GPS sur la position « 1 Hz » (position « allumé »), vous devez entendre **1 bip** et voir **le témoin orange et le témoin bleu s'allumer**.
- Le GPS peut commencer à enregistrer des données, **le témoin orange se met à clignoter** et vous entendrez **2 bips sonores**.
- Si le témoin lumineux habituellement orange, passe au rouge (flash ou continue), vous devez prévenir la personne en charge de l'étude. Ce témoin rouge signifie que la carte mémoire est presque pleine.
- Le mode « veille » sera activé lorsque le GPS reste immobile durant une longue période : vous entendrez alors un bip long suivi d'un bip court. Le GPS se remettra automatiquement en activité lorsque vous vous déplacerez à nouveau.



- **Comment charger le GPS ?**



### Comment charger le GPS ?

Le GPS doit être rechargé tout les soirs. Vous pouvez le mettre à charger lorsque vous retirez la ceinture portant les appareils.

Témoin lumineux indiquant que le GPS est en charge (voir les explications concernant les différents témoins lumineux).

Ce témoin lumineux s'éteint lorsque le GPS est complètement chargé.

Le bouton latéral du GPS doit être en position "OFF" pendant le chargement.

- **Comment recharger le GPS ?**

L'autonomie de la batterie d'un GPS étant d'une journée, vous devez **IMPERATIVEMENT le recharger tous les soirs**. Vous pouvez le mettre à charger pour la nuit avant de vous coucher.

Au cours de la journée, vous avez la possibilité d'éteindre et de rallumer vos appareils (accéléromètres et GPS) à l'aide du bouton off/on quand vous le souhaitez.

**Rechargez le GPS en le branchant au courant secteur.** Un câble d'alimentation vous est fourni avec l'appareil.

- Si la batterie de l'appareil est faible, le témoin batterie s'allume et devient rouge.

- Lorsque le GPS est branché pour être rechargé, **le témoin lumineux de la batterie passe au vert**. Celui s'éteint lorsque la batterie est totalement rechargée

- Autres significations des bips et/ou flash :
  - Témoin bleu allumé = bluetooth éteint : vous n'avez pas en vous en soucier.
  - 3 bips courts : Ces bips sont émis si vous appuyez sur le bouton central. **Évitez d'appuyer sur ce bouton (celui-ci active l'enregistrement de données inutiles).**

**ATTENTION : Le GPS se porte toujours du côté GAUCHE et L'accéléromètre se porte toujours du côté DROIT.**

### 3) Comment utiliser l'accéléromètre ?

L'accéléromètre se porte toujours du côté **droit**. Vous n'aurez pas besoin de l'allumer ni de l'éteindre. Vous n'aurez pas non plus besoin de le recharger au cours de l'étude. Le témoin lumineux clignotant indique que l'appareil enregistre des données.



#### 4) Comment remplir le carnet d'activité papier ?

Un carnet aide-mémoire papier vous est distribué. Il vous permettra de noter la date, les horaires exacts, les lieux, les modes de transport, les personnes qui vous ont accompagné et l'intensité physique de votre trajet afin de pouvoir retranscrire ces informations de manière précise dans le carnet d'activité web.

- **Quelle est la différence entre un trajet et un déplacement ?**

**Toutes mobilités à pieds, à vélo (ou rollers/trottinette), en voiture et en transport en commun sont considérés comme des déplacements à déclarer dans le carnet d'activités web (et à enregistrer grâce au dictaphone).**

Lorsque vous vous rendez de chez vous jusqu'à votre lieu de travail, vous effectuez un « déplacement ». Celui-ci peut parfois être découpé en plusieurs « trajets », selon les modes de transport utilisés.

Par exemple : domicile → arrêt de bus 1, arrêt de bus 1 → arrêt de bus 2, arrêt de bus 2 → arrêt de tram 1, arrêt de tram 1 → arrêt de tram 2, arrêt de tram 2 → lieu de travail.

Dans certains cas, le lieu de départ est le même que le lieu d'arrivée, par exemple dans le cas d'une promenade.

Les déplacements effectués d'une pièce à l'autre dans un même bâtiment ne sont pas à déclarer dans le carnet d'activité.

- **Comment remplir le carnet d'activité papier ?**

Vous aurez à remplir les cases ci-dessous pour chaque déplacement :

Date	Heure de départ	Heure d'arrivée	Lieu de départ	Lieu d'arrivée	Mode de transport	Avec qui ?	Intensité de l'activité *

\* Indiquez l'intensité physique de votre déplacement sur une échelle de 1 à 3

1 = faible

2 = moyenne

3 = forte

## 5) Comment remplir le carnet d'activité web ?

Le carnet d'activité est disponible à l'adresse suivante via un site web sécurisé :

**http://...**

Les informations collectées grâce au carnet d'activité web seront comparées aux données mesurées par le GPS et l'accéléromètre. Cette comparaison nous permettra de valider la méthode de collecte de données que nous utiliserons à grande échelle dans une enquête ultérieure.

**Il est donc essentiel de les remplir le plus convenablement possible.**

- **Comment et quand le remplir ?**

Votre carnet d'activité web a pour objectif de répertorier toutes les activités que vous réaliserez au cours des deux journées durant lesquelles vous devrez remplir ce carnet (mardi et samedi). Dans ce carnet vous devez reporter vos activités, vos déplacements, vos modes de transport et vos choix d'itinéraires. La date de ces deux jours vous sera transmise lors de votre entretien personnel.

Nous vous conseillons de remplir le carnet d'activité chaque soir, lorsque vous prévoyez de ne plus effectuer de déplacement. Cependant l'application web, vous permet de vous connecter et de remplir le carnet d'activité au fur et à mesure de la journée.

- **Quelle est la différence entre un trajet et un déplacement ?**

Lorsque vous vous rendez de chez vous jusqu'à votre lieu de travail, vous effectuez un « déplacement ». Celui-ci peut parfois être découpé en plusieurs « trajets », selon les modes de transport utilisés.

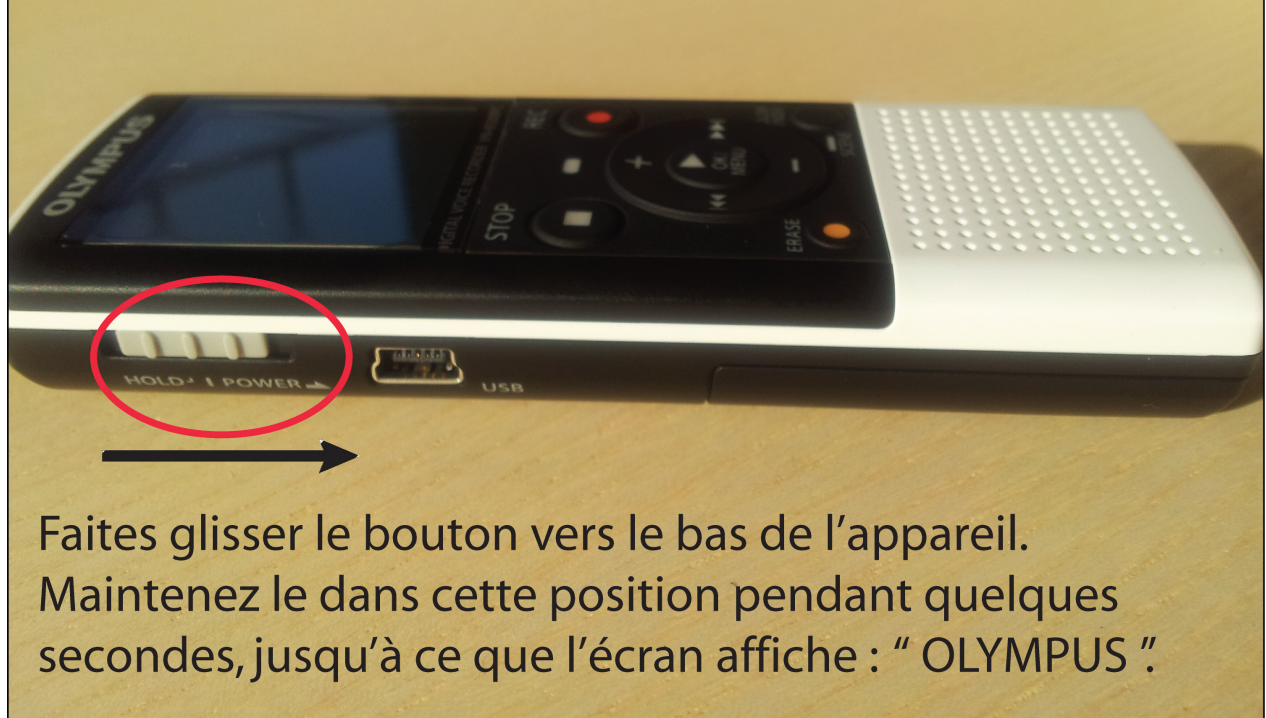
Par exemple : domicile → arrêt de bus 1, arrêt de bus 1 → arrêt de bus 2, arrêt de bus 2 → arrêt de tram 1, arrêt de tram 1 → arrêt de tram 2, arrêt de tram 2 → lieu de travail.

Dans certains cas, le lieu de départ est le même que le lieu d'arrivée (dans le cas d'une balade par exemple).

## 6) Le dictaphone : son utilisation

- Allumer/ éteindre :

Pour allumer ou éteindre le dictaphone :



- **Comment enregistrer ?**



- **Quelles sont les informations à enregistrer ?**

Les informations doivent être enregistrées pour chaque **déplacement** en respectant si possible l'ordre suivant :

- Heure de départ
- Heure d'arrivée
- Qui vous a accompagné ?
- Pourquoi avez-vous choisi cet itinéraire ?
- Quel mode de transport avez-vous utilisé ?
- Pourquoi avez-vous choisi ce mode de transport ?
- Vos impressions d'ensemble au cours de votre déplacement : sur les modes de transport utilisés, sur les éléments plaisants et déplaisants ou sur toute autre information qui vous paraît importante à signaler.

## 7) Les étapes de votre participation à l'enquête mobilité/santé

Avril	Lundi 23	Mardi 24	Mercredi 25	Jeudi 26	Vendredi 27	Samedi 28	Dimanche 29
<b>Je porte</b>	GPS Accéléromètre	GPS Accéléromètre	GPS Accéléromètre	GPS Accéléromètre	GPS Accéléromètre	GPS Accéléromètre	GPS Accéléromètre

### Je rempli :

Matin		Carnet d'activité papier Dictaphone				Carnet d'activité papier	
Après- midi		Carnet d'activité papier				Carnet d'activité papier Dictaphone	
Soir		Carnet d'activité web				Carnet d'activité web	