



**HAL**  
open science

## GPS piéton : quels points de repères pour faciliter la navigation ?

Sylvain Fleury, Justine Nicol, Eric Jamet, Ludivine Gueho

► **To cite this version:**

Sylvain Fleury, Justine Nicol, Eric Jamet, Ludivine Gueho. GPS piéton : quels points de repères pour faciliter la navigation ?. ERGO'IA 2018, Oct 2018, Bidart, France. hal-01882608

**HAL Id: hal-01882608**

**<https://hal.science/hal-01882608>**

Submitted on 27 Sep 2018

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

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

# GPS piéton : quels points de repères pour faciliter la navigation ?

Sylvain Fleury  
LP3C  
Université Rennes 2  
France  
sylvain.fleury@univ-rennes2.fr

Justine Nicol  
Loustic-MSHB  
Université Rennes 2  
France  
justine.nicol@univ-rennes2.fr

Eric Jamet  
LP3C  
Université Rennes 2  
France  
eric.jamet@univ-rennes2.fr

Ludivine Guého  
Loustic-MSHB  
Université Rennes 2  
France  
ludivine.gueho@univ-rennes2.fr

## RESUME

L'orientation à partir d'une carte est une activité complexe sur le plan cognitif. La réussite ou la performance à une tâche d'orientation dépend notamment des caractéristiques de la carte utilisée (e.g. [5-6]). L'objectif de la présente étude était d'identifier, grâce à l'enregistrement des mouvements oculaires, les effets sur la navigation de l'ajout des bâtiments en 2D ou en 3D sur des cartes, et de mettre en lien ces effets avec les capacités de mémoire de travail des individus. Ainsi, 64 participants devaient réaliser des parcours sur Google StreetView en s'aidant d'une carte statique 1) sans bâtiment, 2) avec des bâtiments en 2D, ou 3) avec des bâtiments en 3D. Les résultats indiquent que la carte en 3D est la plus efficace pour les participants dont les capacités de traitement visuospatiales sont élevées, mais constitue une gêne pour les participants dotés de faibles capacités visuospatiales. Ces résultats conduisent à préconiser aux concepteurs de dispositifs d'aide à la navigation de prendre en compte la variabilité des profils cognitifs des utilisateurs en proposant des systèmes adaptatifs paramétrables.

## MOTS CLES

Orientation spatiale, navigation piéton, mémoire de travail, conception de cartes

## ABSTRACT

The orientation from a map is a cognitively complex activity. The success or performance of an orientation task particularly depends on the characteristics of the map used (e.g. [5-6]). The purpose of the present study was to identify, through eye movement

recording, the effects on navigation of adding 2D or 3D buildings to maps, and to link these effects with working memory capabilities of individuals. Thus, 64 participants had to make Google StreetView routes using a static map 1) without any building, 2) with 2D buildings, or 3) with 3D buildings. The results indicate that the 3D map is most effective for participants with high visuospatial processing capabilities, but is an inconvenience for participants with low visuospatial capabilities. These results lead to recommend to designers of pedestrian GPS to take into account the variability of users' cognitive profiles by offering configurable devices.

## 1. INTRODUCTION

La navigation à l'aide d'une carte est une tâche complexe sur le plan cognitif. Dans le cas des piétons comme des automobilistes, un GPS est supposé faciliter la navigation en offrant une carte interactive spécifiant notamment la localisation de l'utilisateur et le chemin à suivre pour arriver à la destination demandée. Cette aide peut toutefois être contrebalancée par une trop petite taille d'écran ou par un manque d'habitude des utilisateurs qui rend dans certains cas le GPS moins efficace qu'une simple carte statique [1]. La facilité de la navigation avec un GPS dépend donc des caractéristiques du matériel, de celles des utilisateurs, mais elle dépend aussi des choix de designs concernant les cartes utilisées. Un certain nombre d'études ont été conduites sur la manière dont les utilisateurs traitent mentalement les cartes, et aussi sur les caractéristiques que devraient avoir les cartes pour être efficaces dans une situation de navigation.

L'auto-localisation est une étape cruciale de l'orientation. Durant cette étape, l'individu doit mettre en lien des caractéristiques visuelles de l'environnement, des points de repères, avec les symboles de la carte. La qualité de cette mise en lien est un facteur important de la réussite de l'auto-localisation [2]. La co-référenciation des informations de la carte et de l'environnement repose à la fois sur le fonctionnement mnésique des utilisateurs et sur leurs stratégies d'exploration visuelle. La manière dont l'utilisateur explore une carte, et plus précisément les points de repères qu'il choisit de mémoriser, a un impact sur la

---

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author.

Copyright is held by the owner/author.

ERGO'IA, 3 - 5 Octobre, 2018, Bidart, France.

qualité de la représentation mentale qu'il pourra en faire. Dans deux études successives, Ooms, De Maeyer et Fack [3] ont demandé à des participants novices ou experts (diplômés en géographie ou en géomatique) de mémoriser des cartes pendant que leurs mouvements oculaires étaient enregistrés. Les experts rappellent significativement plus d'éléments que les novices, ce qui suggère une stratégie cognitive plus pertinente. En effet, les auteurs constatent que les experts ont tendance à focaliser leur attention sur les éléments les plus structurants (par exemple les cours d'eau), et à moins se laisser distraire par des éléments plus secondaires par rapport aux novices [3]. Cette explication en termes de distraction par des éléments secondaires est corroborée par les résultats de Cöltekin, Francelet, Richter, Thoresen & Fabrikant [5]. Dans cette étude, les participants devaient mémoriser un chemin sur une carte schématique simple (carte routière), ou sur une carte réaliste (carte satellite). Les participants confrontés à la carte routière ont mieux mémorisé le chemin que ceux confrontés à la carte satellite. De plus, la mémorisation avec la carte satellite prend plus de temps qu'avec la carte routière. Les auteurs concluent que la carte réaliste contient de nombreux détails qui augmentent la charge cognitive de l'utilisateur sans pour autant constituer des points de repères pertinents [5]. Néanmoins, les effets positifs ou négatifs de l'utilisation de cartes en 3D dépendent du type de tâche réalisée. Dans une expérience sur la navigation piéton, Liao, Dong, Peng et Liu [6] ont testé les différences de performances entre une carte 2D schématique et une carte 3D réaliste sur trois sous-tâches : l'auto-localisation, l'acquisition de connaissances spatiales (mémorisation de trajets) et la prise de décision aux intersections. À l'aide d'enregistrements des mouvements oculaires, les auteurs montrent que les participants dans la condition 3D ont une exploration visuelle plus large débouchant sur un temps de réponse plus élevé que les participants de la condition 2D pour la tâche d'acquisition de connaissances spatiales. En revanche, les participants de la condition 3D font une recherche visuelle plus efficace, conduisant à une meilleure performance de navigation aux points de décisions complexes. Les auteurs font l'hypothèse que la faible acquisition de connaissances spatiales avec la 3D serait due à la surcharge d'informations et à l'obstruction visuelle de certaines zones. Toutefois, la version 3D étant plus proche de la réalité, la co-référenciation de la carte et de l'environnement serait facilitée, ce qui contribuerait à de meilleures décisions aux intersections complexes [6]. La variabilité des résultats des études concernant les traitements cognitifs des cartes en fonction de leurs caractéristiques graphiques laisse penser que les différences interindividuelles pourraient entrer en jeu. La composante spatiale de la mémoire de travail est décrite comme un système actif d'autorépétition permettant de stocker des séquences de mouvements et de manipuler des images mentales [7]. De plus, Baddeley [8] précise que le calepin visuo-spatial sert non seulement au traitement et au maintien des informations visuospatiales, mais il permet également d'intégrer les informations visuelles avec les informations spatiales. Prendre en compte cette composante dynamique de la mémoire de travail, vraisemblablement mobilisée dans une tâche de navigation avec

un plan, pourrait permettre de mieux comprendre les effets des différents formats de cartes sur les performances.

L'objectif de la présente étude était d'analyser les effets des capacités de mémoire de travail sur la navigation avec carte, et d'identifier les liens entre ces capacités et le degré de réalisme des cartes utilisées. Les hypothèses étaient les suivantes : 1) une carte satellite en 3D comporte plus de détails qu'une carte routière classique. Elle va constituer une aide (réduction de la durée de la tâche) pour les participants dotés d'un empan visuospatial élevé, mais une gêne pour les participants dotés d'un empan visuospatial faible. 2) la lecture des noms des rues est une stratégie qui permet de trouver son chemin sans avoir besoin d'utiliser des repères visuels. Les noms des rues sont donc plus fixés par les participants en difficulté (les empan visuospatiaux faibles avec la carte satellite).

## 2. METHODE

### 2.1. Participants

Au total, 64 participants ont pris part à l'expérimentation, dont 26 femmes et 38 hommes. Le plus jeune avait 18 ans et la plus âgée avait 74 ans, pour un âge moyen de 33 ans et 2 mois, et un écart-type de 9 ans et 7 mois. Ils étaient recrutés suite à leur inscription sur une base de testeurs volontaires, et recevaient une gratification sous la forme de bons d'achats de 15€.

### 2.2. Matériel et procédure

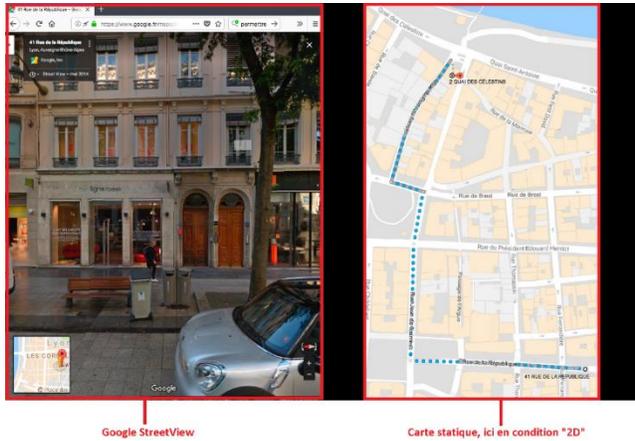
Durant l'expérimentation, les participants devaient réaliser sur Google StreetView un parcours qui leur était indiqué sur une carte statique affichée à l'écran. Chaque participant réalisait cette tâche dans une des 3 conditions expérimentales suivantes correspondant à différents formats de cartes : 1) la carte sans bâtiment, 2) la carte avec les bâtiments en 2 dimensions et 3) la carte avec les bâtiments en 3 dimensions (voir Fig. 1).



**Fig. 1. Versions différentes d'une même carte en fonction des conditions expérimentales**

L'écran devant lequel se trouvaient les participants était séparé en 2 (voir Fig. 2). Sur la partie gauche se trouvait l'interface de

Google StreetView<sup>1</sup> avec laquelle les participants devaient naviguer. Sur la partie droite était affichée la carte statique montrant le trajet que les participants devaient réaliser. Selon la condition expérimentale, le format de la carte affichée variait.



**Fig. 2. Capture d'écran du contenu visible par un participant dans la condition "2D"**

Les mouvements oculaires des participants étaient enregistrés durant l'ensemble de la tâche à l'aide d'un oculomètre Tobii X60. Le diamètre pupillaire était enregistré pendant la tâche comme indice de la charge mentale des participants [9]. Enfin, les participants passaient une version numérique de l'épreuve des blocs de Corsi afin de mesurer leur empan visuospatial [10].

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Diamètre pupillaire

L'ensemble des analyses statistiques ont été réalisés avec le logiciel R version 3.4.1, à l'aide de la librairie « car ». Un test de Levene a révélé que les variances des diamètres pupillaires étaient comparables dans les 3 conditions expérimentales,  $F(2, 181) = 0,028, p = 0,972$ . Afin d'évaluer les effets des scores d'empan et de la condition expérimentale sur le diamètre pupillaire, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée (Cf. Tableau 1). Dans ce cadre, les scores d'empan visuospatial ont été recodés en variables binomiales sur la base d'une séparation à la médiane.

**Tableau 1. Résultats de l'ANOVA à mesures répétées sur le diamètre pupillaire**

|  | Sum of | df | Mean | F | P value |
|--|--------|----|------|---|---------|
|--|--------|----|------|---|---------|

<sup>1</sup> Sur cette interface, une petite fenêtre apparaît en bas à gauche. Elle a pour fonction de permettre aux utilisateurs de se repérer pendant le trajet. Cette fonctionnalité spécifique n'étant pas pertinente dans le cadre de la présente expérience, elle a été cachée pendant les passations.

|                                | squares |   | square | value |          |
|--------------------------------|---------|---|--------|-------|----------|
| Condition                      | 0,14    | 2 | 0,069  | 8,717 | <0,001** |
| Empan visuospatial             | <0,01   | 1 | <0,001 | 0,025 | 0,874    |
| Condition x empan visuospatial | 0,01    | 2 | 0,007  | 0,845 | 0,432    |

\*p < 0,05 ; \*\*p < 0,001

On constate la présence d'un effet significatif de la condition expérimentale sur le diamètre pupillaire. En effet, la moyenne du diamètre pupillaire dans la condition 3D est la plus élevée ( $M = 3,57$  ;  $ET = 0,49$ ), suivis de la condition « sans bâtiment » ( $M = 3,52$  ;  $ET = 0,52$ ), puis 2D ( $M = 3,51$  ;  $ET = 0,52$ ).

#### 3.2. Allers et retours visuels

Un test de Levene a révélé que les variances des nombres d'allers et retours visuels étaient comparables dans les 3 conditions expérimentales,  $F(2, 181) = 0,369, p = 0,692$ . Afin d'évaluer les effets des scores d'empan et de la condition expérimentale sur les allers et retours visuels, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée (Cf. Tableau 2).

**Tableau 2. Résultats de l'ANOVA à mesures répétées sur le nombre d'allers et retours visuels entre la carte et la zone de navigation**

|                                | Sum of squares | df | Mean square | F value | P value |
|--------------------------------|----------------|----|-------------|---------|---------|
| Condition                      | 8799           | 2  | 4399        | 2,180   | 0,118   |
| Empan visuospatial             | 353            | 1  | 353         | 0,175   | 0,677   |
| Condition x empan visuospatial | 4728           | 2  | 2364        | 1,172   | 0,314   |

\*p < 0,05 ; \*\*p < 0,001

Concernant le nombre d'allers et retours visuels, aucune différence significative n'apparaît entre la condition sans bâtiment ( $M = 92,93$  ;  $ET = 55,87$ ), 2D ( $M = 103,37$  ;  $ET = 55,52$ ) et 3D ( $M = 83,12$  ;  $ET = 52,98$ ).

#### 3.3. Explorations visuelles des zones

Concernant l'analyse des fixations oculaires, cinq variables ont été traitées. Les deux premières variables correspondent à la durée cumulée des fixations sur la carte statique (1) ou sur l'interface de Google StreetView (2). Les trois variables suivantes renvoient à la durée cumulée des fixations sur ces zones spécifiques de la carte statique : les rues (3), le parcours que doit réaliser le participant (4), les zones en dehors des rues (5). Un test de Levene a montré que pour ces 5 variables, les variances étaient comparables dans les 3 conditions expérimentales ( $p > 0,100$ ).

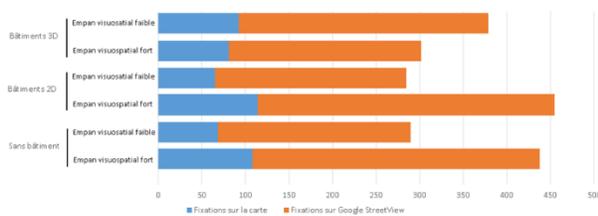
Le Tableau 3 regroupe l'ensemble des résultats des ANOVA à mesures répétées sur les temps de fixation des différentes zones. De plus, concernant leurs fixations de la carte, ils fixent moins longtemps les zones hors-rues et le parcours, mais passent autant de temps à fixer les autres rues.

**Tableau 3. Résultats des ANOVA à mesures répétées sur les temps de fixation des différentes zones**

|  | Sum of squares | df | Mean square | F value | P value  |
|--|----------------|----|-------------|---------|----------|
| <b>Fixations sur la carte</b>                      |                |    |             |         |          |
| Condition  | 3694           | 2  | 1847        | 0,519   | 0,597    |
| Empan visuospatial                                 | 12762          | 1  | 12762       | 3,583   | 0,061    |
| Condition x empan visuospatial                     | 26139          | 2  | 13069       | 3,669   | 0,029*   |
| <b>Fixations sur l'interface Google StreetView</b> |                |    |             |         |          |
| Condition  | 67837          | 2  | 33918       | 0,935   | 0,395    |
| Empan visuospatial                                 | 37146          | 1  | 37146       | 1,024   | 0,314    |
| Condition x empan visuospatial                     | 225427         | 2  | 112714      | 3,108   | 0,048*   |
| <b>Fixations sur les rues</b>                      |                |    |             |         |          |
| Condition  | 1303           | 2  | 651,4       | 2,831   | 0,063    |
| Empan visuospatial                                 | 92             | 1  | 92,4        | 0,401   | 0,528    |
| Condition x empan visuospatial                     | 1778           | 2  | 889,1       | 3,864   | 0,024*   |
| <b>Fixations sur le parcours</b>                   |                |    |             |         |          |
| Condition  | 2582           | 2  | 1290,9      | 10,737  | <0,001** |
| Empan visuospatial                                 | 601            | 1  | 600,6       | 4,996   | 0,027*   |
| Condition x empan visuospatial                     | 311            | 2  | 155,7       | 1,295   | 0,278    |
| <b>Fixations sur les zones hors-rues</b>           |                |    |             |         |          |
| Condition  | 1065           | 2  | 532         | 0,523   | 0,594    |
| Empan visuospatial                                 | 452            | 1  | 452         | 0,444   | 0,506    |
| Condition x empan visuospatial                     | 5133           | 2  | 2567        | 2,519   | 0,085    |

\*p < 0,05 ; \*\*p < 0,001

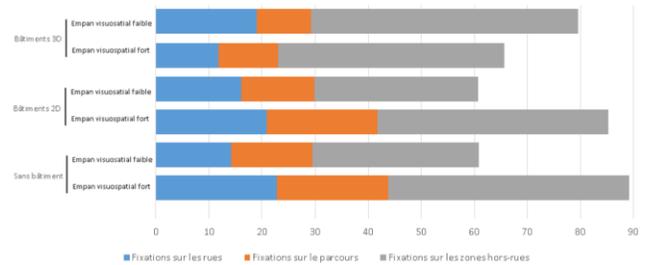
Concernant les temps cumulés des fixations sur la carte et sur la zone de navigation, l'interaction entre les conditions expérimentales et l'empan visuospatial est statistiquement significatif. L'ajout des bâtiments en 3D a tendance à améliorer la performance des participants dont l'empan visuospatial est élevé (diminution des durées de fixation à la fois sur la carte et sur l'espace de navigation) alors que cela tend plutôt à diminuer les performances des participants dont l'empan visuospatial est faible (augmentation des fixations sur les deux zones ; Cf. Fig. 3).



**Fig. 3. Durées moyennes des fixations cumulées sur la carte et sur Google StreetView en fonction de la condition expérimentale et de l'empan visuospatial**

Les temps cumulés moyens de fixation des différentes zones de la carte sont présentés sur la Fig. 4. On constate que les participants à l'empan fort ont tendance à passer plus de temps à regarder le parcours par rapport aux participants à l'empan faible.

De plus, le temps passé à regarder le parcours est en moyenne inférieur avec les bâtiments en 3D que dans les autres conditions. Par ailleurs, les participants à l'empan faible passent plus de temps que les forts à regarder les rues dans la condition « 3D », mais cette différence est inversée dans les deux autres conditions.



**Fig. 4. Durées moyennes des fixations cumulées sur la carte et sur les différentes zones de la carte en fonction de la condition expérimentale et de l'empan visuospatial**

#### 4. DISCUSSION

La présente étude avait pour objectif d'identifier les effets sur la navigation de l'ajout des bâtiments en 2D ou en 3D sur des cartes, et de mettre en lien ces effets avec les capacités de mémoire de travail des individus. La première hypothèse était que l'ajout des bâtiments en 3D allait constituer une aide pour les participants dotés de capacités visuospatiales élevées, mais une gêne pour les participants dotés de faibles capacités visuospatiales. Le pattern de résultats obtenu concernant la durée de la tâche va clairement dans le sens de cette hypothèse. Cöltekin et al. [5] concluaient que la carte réaliste contenait plus d'informations que les autres cartes et qu'en cela, elle provoquait une charge cognitive plus importante. Liao et al. [6] ont montré que la carte 3D nécessitait un traitement plus long, mais pouvait être plus efficace pour certaines tâches. Dans les deux recherches mentionnées ici, les capacités de traitement visuospatiales des participants n'étaient pas prises en compte. La présente étude apporte en cela un complément d'information : la carte 3D nécessite effectivement plus de ressources cognitives pour être traitée et contient des informations plus riches. Elle est donc plus efficace pour les participants dont les bonnes capacités visuospatiales permettent de faire face à la forte demande de ressources cognitives, mais elle devient moins efficace pour les participants plus faibles en termes de capacités de traitement.

La seconde hypothèse était que la lecture des noms des rues constitue une stratégie spécifique de navigation, permettant d'être moins dépendant des repères visuels pour s'orienter. Cette stratégie devait donc être plus utilisée par les participants placés face à une carte complexe à traiter pour eux. Ainsi, l'hypothèse était que les participants à l'empan visuospatial faible allaient plus fixer les rues dans la condition 3D que dans les autres conditions. Cette hypothèse est corroborée par les résultats. On trouve bien une tendance pour les empan faibles à plus fixer les rues avec les bâtiments en 3D, alors que cette tendance n'apparaît pas pour les participants dont l'empan visuospatial est élevé. L'utilisation des

noms des rues semble donc apparaître comme une stratégie de compensation des difficultés face à une carte jugée complexe à traiter. On constate aussi que les participants dotés d'un empan visuospatial élevé ont en moyenne passé plus de temps à fixer le parcours par rapport aux participants à l'empan visuospatial faible. A l'instar des participants experts de Ooms et al. [3] qui restaient plus focalisés que les novices sur les éléments structurants des plans à mémoriser, les participants aux fortes capacités visuospatiales semblent plus focalisés sur les parties importantes et moins se laisser distraire par les éléments périphériques de la carte.

Une limite importante de cette étude doit être soulignée : le caractère artificiel de la situation évaluée rend incertaines les généralisations qui peuvent être faites concernant les situations réelles. Il convient donc de réaliser des études complémentaires en situation écologique. Par ailleurs, des situations de double tâche avec par exemple une tâche concurrente de suppression phonologique permettraient de mieux comprendre les rôles des composantes verbales et visuospatiales de la mémoire de travail dans l'orientation.

## 5. CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude permettent de déboucher sur des préconisations ergonomiques pour les concepteurs de systèmes de navigation. Tout d'abord, un format de carte qui serait optimal pour l'ensemble des utilisateurs semble ne pas exister. L'ajout d'éléments sur la carte et l'augmentation du réalisme tendent à créer un outils plus riche potentiellement plus efficace, mais aussi plus lourd à traiter sur le plan cognitif. Ainsi, le niveau de détail devrait idéalement être adapté aux ressources cognitives des utilisateurs. Une solution pour prendre en compte la variabilité des profils sur ce point est de laisser aux utilisateurs la possibilité de paramétrer le niveau de détails qu'ils souhaitent sur la carte.

Par ailleurs, les noms de rues semblent constituer un indice d'orientation alternatif pour des participants en difficulté. Il est donc important de les faire apparaître sur la carte, et en l'occurrence de faire apparaître systématiquement les noms de toutes les rues qui vont couper le trajet de l'utilisateur, puisque ce sont ces rues qu'ils vont chercher à co-référencer.

Enfin, dans une démarche de conception centrée utilisateur, considérer les participants aux tests comme un ensemble homogène peut conduire dans certains cas des conclusions inexacts. Ici, la navigation à l'aide d'un plan est une tâche complexe, mobilisant des ressources mentales importantes. Dans ce contexte, les variations de capacités cognitives individuelles peuvent modifier, voire ici inverser les résultats selon les profils considérés. Il est donc important, dans la conception de technologies dont l'usage nécessite un effort mental important, de prendre en compte les capacités cognitives mobilisées afin de les mettre en perspective avec les observations réalisées.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions la Banque Publique d'Investissement pour le financement de cette étude dans le cadre du projet FUI HappyHand2.

## REFERENCES

- [1] T. Ishikawa, H. Fujiwara, O. Imai, and A. Okabe. 2008. Wayfinding with a GPS-based mobile navigation system: A comparison with maps and direct experience. *Journal of Environmental Psychology*, 28, 1, 74-82.
- [2] P. Kiefer, I. Giannopoulos, and M. Raudal. 2014. Where am I? Investigating map matching during self-localization with mobile eye tracking in an urban environment. *Transactions in GIS*, 18, 5, 660-686.
- [3] K. Ooms, P. De Maeyer, and V. Fack. 2014. Study of the attentive behavior of novice and expert map users using eye tracking. *Cartography and Geographic Information Science*, 41, 1, 37-54.
- [4] K. Ooms, P. De Maeyer, and V. Fack. 2015. Listen to the map user: cognition, memory, and expertise. *The Cartographic Journal*, 52, 1, 3-19.
- [5] A. Cöltekin, R. Francelet, K. F. Richter, J. Thoresen, and S. I. Fabrikant. 2017. The effect of visual realism, spatial abilities, and competition on performance in map-based route learning in men. *Cartography and Geographic Information Science*, 1-15.
- [6] H. Liao, W. Dong, C. Peng, and H. Liu. 2016. Exploring differences of visual attention in pedestrian navigation when using 2D maps and 3D geo-browsers. *Cartography and Geographic Information Science*, 44, 6, 474-490.
- [7] S. Frenkel, and B. Bourdin. 2009. Verbal, visual, and spatio-sequential short-term memory: assessment of the storage capacities of children and teenagers with down's syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 53, 2, 152-160.
- [8] A. D. Baddeley. 2002. Is working memory still working?. *European psychologist*, 7, 2, 85.
- [9] F. Paas, J. E. Tuovinen, H. Tabbers, and P. W. Van Gerven. 2003. Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational psychologist*, 38, 1, 63-71.
- [10] D. Jones, P. Farrand, G. Stuart, and N. Morris. 1995. Functional Equivalence of Verbal and Spatial Information in Serial Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 4, 1008-1018.