

---

# Exploration d'environnement virtuel sur tablette : comparaison entre des modalités tactiles et tangibles

**Adrien ARNAUD**

LIMSI-CNRS  
Bat 508, Rue John Von  
NEUMANN  
91400 Orsay  
adrien.arnaud@limsi.fr

**Jean-Baptiste CORREGE**

LIMSI-CNRS  
Bat 508, Rue John Von  
NEUMANN  
91400 Orsay  
correge@limsi.fr

**Céline CLAVEL**

LIMSI-CNRS  
Bat 508, Rue John Von  
NEUMANN  
91400 Orsay  
celine.clavel@limsi.fr

**Michèle GOUIFFES**

LIMSI-CNRS  
Bat 508, Rue John Von  
NEUMANN  
91400 Orsay  
michele.gouiffes@limsi.fr

**Mehdi AMMI**

LIMSI-CNRS  
Bat 508, Rue John Von  
NEUMANN  
91400 Orsay  
ammi@limsi.fr

## Résumé

Le présent article propose un protocole expérimental visant à évaluer, dans un contexte strictement comparable, les modalités d'interaction tactile et tangible pour l'exploration d'environnement virtuel sur tablette. Nous proposons quatre modalités : l'interaction tactile avec des sticks, l'interaction tactile classique, l'interaction tangible à l'échelle 1 :2,5 et l'interaction tangible à une échelle de 5. Nous faisons l'hypothèse que la modalité tangible permettra aux utilisateurs de se construire une meilleure représentation spatiale de l'environnement virtuel, avec toutefois des différences selon l'échelle utilisée. En outre, on s'intéresse à l'évaluation subjective (utilisabilité, acceptation) de ces différentes modalités d'interaction.

## Mots-clés

Systèmes mobiles, Navigation 3D, Tactile, Tangible

## ACM Classification Keywords

I.3.6 [Computer Graphics]: Methodology and Techniques – Interaction techniques.

## General Terms

Design, Experimentation, Human Factors

© ACM, 2015. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution. The definitive version was published in Actes de la 27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1145/2820619.2825020>

## Introduction

Les dispositifs mobiles (tablettes et smartphones, notamment) sont aujourd'hui omniprésents, et le tactile tend à s'imposer comme une modalité incontournable pour de plus en plus d'applications (PC desktop, jeux vidéo, contrôle aérien...). Nous développons, en partenariat avec un industriel, un projet dont l'objectif est de produire une application permettant, après avoir modélisé une maquette de logement en 3D, de parcourir et d'éditer le modèle sur un dispositif mobile de type tablette. Pour cette application, il nous semble crucial de déterminer quelle modalité d'interaction est la plus adaptée pour les différents outils proposés. La modalité tangible, notamment, tend à se développer et pourrait être particulièrement adaptée à l'exploration d'un environnement virtuel (EV).

L'exploration de la maquette est une tâche importante dans ce type d'application car elle permet à l'utilisateur de découvrir le logement et d'apprécier ses dimensions. Bowman et al. [2] définissent cette tâche comme le fait de parcourir librement un environnement sans objectif explicite pour obtenir des informations sur les objets qu'il contient et leur localisation.

Dans cette optique, nous proposons un protocole expérimental visant à évaluer différentes modalités d'interaction pour la navigation dans un EV sur une tablette. En particulier, nous étudierons les bénéfices d'interactions tangibles, utilisant les mouvements physiques de la tablette, par rapport à des techniques d'interaction tactiles classiques pour une tâche de navigation 3D.

## Travaux connexes

En 2004, Bowman [2] propose de classer les méthodes d'interaction dans les EV en quatre grandes classes : les méthodes de navigation, de sélection, de manipulation et de contrôle d'application. Dans cet article nous nous focaliserons sur les techniques de navigation. Des nombreuses études sur le sujet, il en ressort que le choix de la technique de navigation dépend notamment du dispositif utilisé [2].

Ainsi, des dispositifs comme le Head Mounted Display (HMD), ou de type Surround Screen Display (SSD), comme les environnements CAVE [2], offrent un affichage stéréoscopique et peuvent utiliser la vision périphérique de l'utilisateur, ils ajoutent des perceptions sensorielles en plus et se montrent plus immersifs. Plusieurs études [10, 8] ont comparé des techniques de navigation avec HMD dans un EV. Suma et al. [8] utilisent le HMD pour rendre compte de l'EV et comparent trois techniques de navigation. Dans une première condition, les déplacements réels de l'utilisateur sont utilisés pour permettre la navigation dans l'EV. Dans les deux autres conditions, ce sont les directions données par la tête ou les mains qui sont utilisées pour permettre la navigation dans l'EV. Les auteurs montrent que les participants qui ont utilisé la technique de la marche réelle placent plus d'éléments correctement sur le plan et obtiennent un meilleur temps de complétion de tâche ainsi qu'un nombre de collisions moindre. Les résultats suggèrent que la technique de la marche réelle soutient une exploration plus efficace de l'EV comparée aux autres techniques.

Les dispositifs décrits ci-dessus sont considérés comme immersifs, cependant ils restent à la fois coûteux et intrusifs nécessitant un appareillage conséquent : port à minima de lunettes dans le cadre de l'utilisation d'un

HMD, ou de toute une série de capteurs dans le cadre de l'utilisation d'un dispositif de type SSD. Nous souhaiterions nous intéresser à la navigation dans des EV 3D qui ne sont pas nécessairement immersifs mais qui peuvent être supportés par des dispositifs grand public et non intrusifs. Ainsi, les tablettes tactiles sont des supports qui se sont démocratisés et qui permettent d'interagir avec un EV.

La modalité tactile est de plus en plus omniprésente dans le domaine des Technologies de l'Information et de la Communication et est la modalité la plus classiquement utilisée lorsqu'il s'agit d'interagir sur smartphone ou tablette. Nous nous intéressons ici à son utilisation dans le cadre de l'exploration d'environnements 3D. Parmi les nombreuses techniques de navigation proposées dans la littérature, deux d'entre elles sont prédominantes : la première technique reproduit les contrôles de jeux vidéo avec deux « sticks » permettant de contrôler les déplacements physiques dans la scène pour le premier et l'orientation de la caméra pour le second. La seconde technique correspond à ce qui se fait de façon classique sur les périphériques tactiles [6].

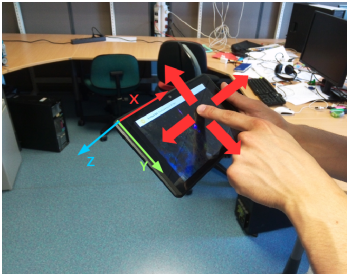
Cependant, afin de pouvoir manipuler simultanément les six degrés de liberté nécessaires au contrôle du point de vue durant la navigation, on est obligé d'utiliser des interactions de type multi-touch. Or sur des écrans de petite taille, le multi-touch induit rapidement des problèmes d'occultation. Utiliser les capacités de localisation spatiale d'une tablette ou d'un smartphone peut permettre à un utilisateur d'interagir dans un EV sans ces problèmes. Le dispositif mobile agit alors comme une interface tangible. Ishii et Ullmer [9] définissent une interface tangible comme une interface donnant une forme physique à une information numérique en utilisant des

artefacts physiques comme représentations et contrôles des données.

Sharlin et al. [7] définissent trois heuristiques spatiales que doit vérifier une interface tangible :

- Mapping spatial : congruence entre les actions effectuées sur le dispositif tangible et l'action virtuelle effectuée ;
- Unification des entrées/sorties : de la même manière que dans le monde réel, il faut éviter de faire de trop grandes distinctions entre les entrées et les sorties, ces distinctions peuvent être évitées avec un dispositif tangible car l'état de l'objet est directement connu de l'utilisateur qui le tient en main ;
- Support de l'activité par essai-erreur : une interface tangible peut permettre de corriger efficacement des erreurs, sans devoir annuler une séquence de manipulations effectuées après cette erreur.

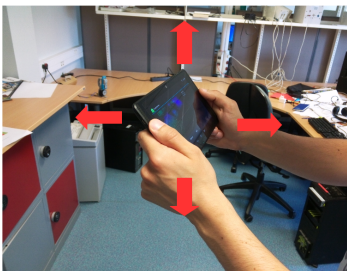
L'utilisation des seuls mouvements d'une tablette ou d'un smartphone pour naviguer dans un EV vérifie pleinement ces heuristiques spatiales. En utilisant ce dispositif comme élément tangible de navigation, on regroupe les entrées et les sorties sur ce même dispositif. En utilisant les translations et les rotations du dispositif mobile pour naviguer en 3D, on garantit un mapping spatial optimal entre les actions physiques de l'utilisateur et les actions dans l'EV. Enfin, le support d'actions par essai-erreur est également bien supporté : quelle que soit la position de l'utilisateur dans un EV, l'utilisateur peut revenir facilement à une position précédente car il sait où se situe ce point dans l'espace. Utiliser une tablette ou un smartphone comme outil tangible de navigation pourrait donc se montrer plus efficace pour une tâche de navigation 3D.



**Figure 1** – Modalité tactile classique



**Figure 2** – Modalité tactile sticks (Capture de Home Design 3D)



**Figure 3** – Modalité tangible

Des études sur l'utilisation des mouvements d'une tablette ou d'un smartphone ont déjà été menées, utilisant l'orientation physique d'une tablette pour effectuer une rotation dans l'environnement 3D [4]. Il a notamment été montré que l'utilisation d'une tablette comme outil tangible permettrait de parcourir plus de distance pour l'exploration et que cette méthode de navigation est plus appréciée que le tactile par les utilisateurs. Cependant, dans cette étude, seulement quatre degrés de liberté étaient utilisables (trois degrés de rotation et un degré de translation).

### Objectifs de l'étude

Nous proposons une étude centrée utilisateur portant sur l'utilisation d'une tablette ou d'un smartphone comme instrument tangible de navigation pour des tâches d'exploration, et aimerions étudier l'efficacité de cette modalité en termes de représentation spatiale de l'EV pour l'utilisateur. D'après nos études, l'utilisation de déplacements physiques pour des tâches de navigation dans des milieux immersifs comme le HMD est bénéfique pour ces aspects, et semble prometteuse sur des dispositifs mobiles. Nous avançons donc les hypothèses suivantes :

- **H1** : la modalité tangible devrait permettre aux utilisateurs de se construire une meilleure représentation mentale de l'EV parce qu'elle place par définition l'utilisateur au centre du référentiel, à l'inverse de la modalité tactile qui place l'interface au centre ;
- **H2** : la modalité tangible devrait permettre une navigation moins saccadée dans l'environnement virtuel car elle sera liée à la fluidité des mouvements de l'utilisateur ;
- **H3** : la modalité tangible devrait permettre aux utilisateurs d'explorer plus librement la scène et les inciter à la parcourir davantage car elle permet des

déplacements plus souples et naturels ;

- **H4** : la modalité tangible devrait se montrer plus utilisable qu'une modalité tactile car plus naturelle.

A cela, il nous semble pertinent d'ajouter des mesures subjectives concernant l'acceptation de ces modalités. Ces mesures d'acceptation enrichissent l'évaluation des interactions et permettent, dans le contexte du projet dans lequel s'intègre cette étude, de formuler des recommandations par rapport à l'intégration ou non de ces interactions dans une application.

### Protocole

#### *Participants et Design*

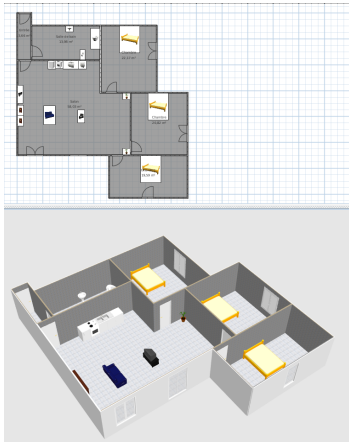
Nous envisageons de recruter au moins 30 participants tout venant.

Le design est intra-participants. Tous les participants seront confrontés une fois à chaque modalité, l'ordre de présentation des différentes modalités sera aléatoire. Notre variable indépendante est la modalité d'interaction avec l'EV. Nous avons plusieurs variables dépendantes visant à évaluer différents aspects de l'interaction.

#### *Conditions et Logique*

Pour cette étude nous comparerons les quatre conditions suivantes :

- Tactile classique (1) : les déplacements se font via les contrôles classiquement utilisés. Avec un seul doigt, l'utilisateur déplace le point de vue, mais laisse la position de la caméra fixe. Avec deux doigts, une variation de la distance entre les doigts entraîne un déplacement selon z, et un déplacement du point central entre les deux doigts entraîne également un déplacement du point de vue.
- Tactile sticks (2) : les déplacements se font via des



**Figure 4** – Exemple de scène à explorer



**Figure 5** – Tablette Google Tango

contrôles plus proches du jeu vidéo, un stick contrôle les déplacements selon z, et un stick contrôle la rotation du point de vue.

- Tangible 1 :2,5 (3) : les déplacements se font en utilisant l'interface comme fenêtre donnant sur l'EV, qui est reproduit à l'échelle 1 :2,5
- Tangible 1 :5 (3) : les déplacements se font en utilisant l'interface comme fenêtre donnant sur l'EV, qui est reproduit à l'échelle 1 :5

Nous aurons en outre une condition dédiée à l'entraînement des sujets et qui se déroulera sur ordinateur, les déplacements se faisant via le clavier et la souris. Cette tâche d'entraînement permettra de soumettre une première fois les utilisateurs à la marche à suivre, afin d'éviter un effet d'apprentissage durant la passation de l'expérience en elle-même.

#### *Mesures et Hypothèses opérationnelles*

Nous nous intéresserons à la fidélité des plans 2D réalisés par les participants. Pour cela, nous nous baserons sur plusieurs critères [1] :

- Fidélité : Deux évaluateurs extérieurs notent le plan sur une échelle de 1 à 3 selon qu'ils estiment que le plan 2D reproduit leur servirait à se repérer dans l'EV ou non
- Identification des classes d'éléments : N classes d'éléments identifiables (e.g. murs, fenêtres, portes), le score attribué correspond au nombre de classes d'éléments identifiées
- Positionnement relatif des objets : l'évaluation porte sur le positionnement des objets sur le plan 2D les uns par rapport aux autres, et non leur positionnement absolu

Cette mesure correspond à H1. On s'attend à ce que, dans la condition d'interaction tangible, la représentation mentale des participants soit meilleure et ce, pour

l'ensemble des critères énoncés.

Nous mesurons ensuite le cheminement des participants lors de la tâche d'exploration. Pour cela, nous enregistrons les différentes positions, vitesses, et orientations des participants dans la scène. Ces différentes mesures correspondent à H2 et H3. Nous nous attendons d'une part à ce que dans la condition tangible, plus souple, les cheminements soient moins saccadés (H2) et, d'autre part, à ce que les participants fassent davantage d'essais erreurs et donc explorent davantage la scène dans la condition tangible (H3). Enfin, nous présenterons aux participants deux questionnaires. Le premier est un questionnaire SUS (System Usability Scale [3]), pour mesurer l'utilisabilité cette mesure correspond à H4. On s'attend à ce que les participants évaluent la modalité tangible comme étant plus utilisable que la modalité tactile. Le deuxième est un questionnaire d'acceptation [5].

#### *Matériel et Procédure*

Nous emploierons 5 scènes à explorer différentes (4). Ces scènes seront développées dans le cadre de cette étude. Chaque scène représentera un appartement comprenant un séjour, deux chambres et une salle de bain. Chaque pièce communiquera avec le séjour. Nous mettrons une fenêtre dans chaque chambre, et une fenêtre dans le séjour. Le plan 2D restitué devra prendre en compte les murs, les portes et les fenêtres. Nous compterons donc le nombre de pièces, portes et fenêtres identifiés, ce qui fait 13 classes d'éléments différents à identifier. La première scène est dédiée à la tâche d'entraînement. Afin de lisser toute différence possible entre les scènes, elles seront associées chacune à une modalité d'interaction aléatoire pour chaque participant.

Les modalités d'interaction testées seront implémentées dans une application développée sur une tablette Google

Tango (5), fonctionnant sous Android 4.4 et proposant une fonction de motion tracking. Cette fonction permet de remonter à la position et aux rotations de la tablette par rapport à un repère d'origine. Une même version de l'application sera développée sur PC, pour servir à la tâche d'entraînement.

Le protocole expérimental se déroulera sous forme d'un test utilisateur. Les participants seront d'abord accueillis et se verront expliquer le principe de l'étude. On leur présentera ensuite l'interface avec pour consigne de l'explorer librement pendant une durée limitée à 5 minutes afin de pouvoir produire un plan 2D de la scène explorée. Une fois la phase d'exploration terminée (sur décision de l'utilisateur ou lorsque le temps est écoulé), les participants dessineront le plan en 2D et rempliront les différents questionnaires. Ce même processus sera répété pour chacune des 4 modalités d'interaction évaluées.

### Remerciements

Cette étude est financée par RPE (Rénovation Plaisir Energie).

### Références

- [1] Billinghamurst, M., and Weghorst, S. The use of sketch maps to measure cognitive maps of virtual environments. Dans *Virtual Reality Annual International Symposium, 1995. Proceedings.*, IEEE (1995), 40–47.
- [2] Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola Jr, J. J., and Poupyrev, I. *3D user interfaces : theory and practice*. Addison-Wesley, 2004.
- [3] Brooke, J. Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry* 189, 194 (1996), 4–7.
- [4] Guénat, F., Christophe, J., Gaffary, Y., Girard, A., and Ammi, M. Tangible windows for a free exploration of wide 3d virtual environment. Dans *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '13*, ACM (New York, NY, USA, 2013), 115–118.
- [5] Ibanescu, G. Facteurs d'acceptation et d'utilisation des technologies d'information : une étude empirique sur l'usage du logiciel "rational suite" par les employés d'une grande compagnie de services informatiques.
- [6] Ingram, A., Wang, X., and Ribarsky, W. Towards the establishment of a framework for intuitive multi-touch interaction design. Dans *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, ACM (2012), 66–73.
- [7] Sharlin, E., Watson, B., Kitamura, Y., Kishino, F., and Itoh, Y. On tangible user interfaces, humans and spatiality. *Personal and Ubiquitous Computing* 8, 5 (2004), 338–346.
- [8] Suma, E., Babu, S., Hodges, L. F., et al. Comparison of travel techniques in a complex, multi-level 3d environment. Dans *3D User Interfaces, 2007. 3DUI'07. IEEE Symposium on*, IEEE (2007).
- [9] Ullmer, B., and Ishii, H. Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM systems journal* 39, 3.4 (2000), 915–931.
- [10] Zambaka, C., Lok, B. C., Babu, S. V., Ulinski, A. C., Hodges, L. F., et al. Comparison of path visualizations and cognitive measures relative to travel technique in a virtual environment. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on* 11, 6 (2005), 694–705.