# Navigation main libre dans une reconstitution urbaine 3D : application à la valorisation de plans reliefs

Gilles Halin, Pascal Humbert, Vincent Bettenfeld

▶ **To cite this version:**

Gilles Halin, Pascal Humbert, Vincent Bettenfeld. Navigation main libre dans une reconstitution urbaine 3D : application à la valorisation de plans reliefs. 27ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine., Oct 2015, Toulouse, France. pp.w6, 10.1145/2820619.2825007 . hal-01219071

**HAL Id: hal-01219071**
**https://hal.science/hal-01219071**

Submitted on 23 Oct 2015

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

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

# Navigation main libre dans une reconstitution urbaine 3D : application à la valorisation de plans reliefs

**Gilles Halin**
Université de Lorraine
MAP-CRAI (UMR 3495)
2, rue Bastien Lepage
54 000, Nancy, France
halin@crai.archi.fr

**Vincent Bettenfeld**
Université de Lorraine
54 000, Nancy, France
vincent.bettenfeld@gmail.com

**Pascal Humbert**
ENSA de Nancy
MAP-CRAI (UMR 3495)
2, rue Bastien Lepage
54 000, Nancy, France
humbert@crai.archi.fr

© 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/10.1145/2820619.2825007

## Résumé
Cet article décrit une interface de navigation par survol dans une reconstitution urbaine numérique en 3D de plan relief. Cette navigation s'effectue en utilisant la métaphore de l'avion mimé à partir d'une main libre de tout dispositif physique, et dont l'acquisition de sa position et de son orientation se font à partir d'un périphérique de repérage et de suivi 3D. Ce mode de navigation a été mis en place dans le cadre d'une valorisation grand public du plan relief de la ville de Verdun en Meuse, France (maquette à l'échelle 1/600$^{e}$). Deux évaluations ergonomiques ont été menées afin d'évaluer ce type d'interface, d'en révéler ses défauts, et d'en gommer certains. Des perspectives de solutions sont abordées concernant les défauts restants.

## Mots clés choisis par les auteurs
Interaction gestuelle ; Leap Motion; Navigation ; 3D ; Échelle urbaine.

## Mot clés de la classification ACM
H.5.2. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): User Interface.

## Introduction
La valorisation du patrimoine architectural et urbain auprès du grand public par l'exploitation des modélisations numériques de celui-ci constitue un réel challenge pour les acteurs de ce domaine (conservateurs, archéologues, historiens, architectes, etc). La mise à disposition d'un mode de navigation à

**Figure 1.** Survol du plan relief 3D de la ville de Verdun par la métaphore de l'avion (ici sur un écran standard).

**Figure 2.** La table principale du plan relief de Toul (2.23m x 2.13m) et un détail montrant la cathédrale d'une dizaine de centimètres.

un public comme celui d'un musée, nécessite une appropriation rapide, afin que l'exploitation du modèle 3D soit la plus pertinente et la plus attrayante possible. Or, le mode de navigation dans un modèle 3D d'un espace bâti, diffère selon son échelle. Dans un bâtiment, une navigation en vue subjective est bien adaptée, alors qu'à l'échelle urbaine, comme les plans reliefs, une navigation par survol offrant une vue d'ensemble est plus adéquate [1].

Avec l'émergence actuelle des dispositifs de repérage 3D à tarifs abordables (Kinect, Leap Motion, …) il devient envisageable de proposer au grand public de nouvelles interfaces gestuelles de navigation dans des villes virtuelles en 3D, sans que les mains n'aient à tenir un quelconque périphérique. L'objectif de cet article est de présenter une navigation main libre adaptée à la valorisation du patrimoine particulier de la collection des Plans reliefs [2] (cf. figure 1).

## Navigation et valorisation

De plus en plus souvent, le besoin de naviguer dans des environnements 3D reconstitués se pose. Ceci est dû à l'amélioration des matériels informatiques qui permettent l'affichage 3D temps réel d'environnements 3D de plus en plus complexes et réalistes, et à l'accroissement de la facilité de mettre à disposition des modèles 3D (ex. WebGL pour la 3D dans les pages Web). Ainsi, même si Google Earth a permis de banaliser, il y a quelques années, la navigation 3D, il reste une partie de la population qui n'a pas l'habitude des environnements numériques en 3D et qui est de plus en plus souvent confrontée à cette situation.

Une problématique est de mettre à disposition de visiteurs, des bornes interactives dans des lieux publics, pour visualiser et naviguer facilement dans des reconstitutions numériques 3D de plans reliefs [3]. La collection des Plans reliefs comprend une centaine de maquettes (cf. figure 2) réalisées généralement au 1/600$^{e}$ et représentant les places fortifiées des frontières du territoire français du XVII$^{e}$ au XIX$^{e}$ siècle. Or, faute de place adaptée, elles ne sont qu'une fraction aujourd'hui à être exposées. La création de modèles 3D virtuels de plans reliefs est une réponse aux enjeux de préservation et de valorisation d'un patrimoine riche, mais méconnu [4].

Si plupart des modèles 3D numériques des plans reliefs ont été obtenus par des scans 3D (ex. plan relief 3D de Prague [5]), celui de Verdun a été réalisé par une méthode semi automatique à partir des cahiers de développement [6] (rassemblements de relevés topographiques, de croquis, et de milliers de mesures réalisées sur le terrain par des topographes au XVII$^{e}$ siècle). Cela parce que sa maquette réelle n'est pas accessible (stockée dans une réserve), et que son coût pour l'en faire sortir s'élève à plusieurs dizaines de milliers d'euros.

La navigation par survol au sein d'une reconstitution numérique 3D d'un plan relief se justifie par le fait que l'échelle de ces plans reliefs et leur taille (53m$^{2}$ pour Verdun) ne leur permet d'être vu que depuis une position située au dessus. Et aussi par le fait que les plans reliefs sont des maquettes de villes dont l'objectif était d'offrir au roi une vision globale des défenses des villes [4], et ne présentent pas de vue très détaillée ni très précise des bâtiments. De ce fait, leur parcours d'un point de vue pédestre est inadapté. Or la navigation par survol d'un modèle 3D d'environnement urbain reste problématique [7], surtout pour des

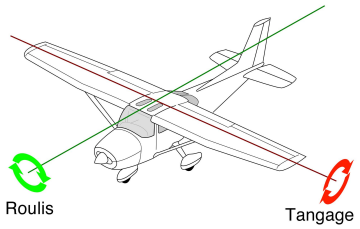


**Figure 3.** Axe de roulis (en vert) et et tangage (en rouge).

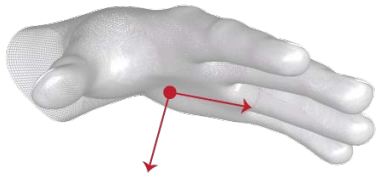

**Figure 4.** Les vecteurs de direction et normal à la main (source de l'image: documentation SDK Leap motion)

utilisateurs occasionnels. En effet, la souris a été conçue dans l'optique de parcourir un espace 2D, et s'adapte mal à une navigation 3D intuitive [8], sans parler du risque de désorientation spatiale [9]. Afin de palier ces manques, de nombreuses interfaces de navigation 3D ont également recours au clavier (en sus de la souris) comme dans Jankowski et al. [8]. Ou encore, elles remplacent la souris par d'autres périphériques comme la spacemouse, le flystick, etc. Ces derniers nécessitent d'être manipulés par l'utilisateur pour naviguer, ont un coût élevé, et posent des problèmes d'hygiène par leur passage de main en main. Ces aspects induisent souvent des difficultés d'utilisation, surtout pour des utilisateurs occasionnels comme peuvent l'être de nombreuses personnes visitant un musée.

## Interface de navigation par survol

La notion de survol est naturellement associée à la notion d'avion. Nous sommes partis du constat que si on demande à quiconque de mimer un avion avec sa main, pratiquement tout le monde effectue un mouvement de roulis pour simuler un virage, et un mouvement de tangage pour simuler une montée ou une descente (cf. figure 3).

Partant de cette constatation de gestuelle naturelle nommée "métaphore de l'avion" dans [10], nous avons décidé d'expérimenter celle-ci dans le cadre du survol de plans reliefs 3D numériques, mis à disposition du public à l'aide de bornes. Nous avons choisi de tester cette métaphore de navigation sur le plan relief de la ville de Verdun. Le modèle virtuel de ce plan relief a été implémenté dans Unity 3D (moteur 3D temps réel dédié à l'origine au jeu vidéo [11]) qui se prête bien à la visualisation et à la navigation dans des modèles 3D urbains [12] comme les plans reliefs.

La nécessité d'avoir un périphérique de repérage et de suivi 3D a donc été envisagée afin de pouvoir détecter cette gestuelle naturelle. De surcroit, il était nécessaire qu'il puisse être ajouté à des bornes tactiles existantes à moindre coût. Parmi les périphériques de repérage et de suivi 3D, la Kinect a été rejetée car son SDK ne distinguait que l'ouverture/fermeture de la main. L'usage d'une caméra pour le repérage et le suivi a également été rejeté pour les nombreuses contraintes que ce système impose (ex. coût élevé, encombrement illumination invariante, fond invariant, etc) [13].

Ainsi, l'usage du boitier Leap Motion [14] s'est rapidement imposé :

- de par son coût très abordable : 90 $ US;
- sa taille réduite : 8 x 3 x 1,2 cm (L x l x h);
- ses capacités de détection, notamment son aptitude à reconnaitre une main et ses doigts et leur orientation respective, et sa précision de mesure (0.01 mm selon la société Leap);
- l'absence d'illumination particulière (fonctionne dans la pénombre grâce à ses leds infrarouges [15]);
- et le fait qu'il est multi-plateformes (OS X, Windows, Linux).

## Réalisation

Ce petit boitier, couplé à l'ordinateur d'une borne tactile, nous a permis à l'aide de son SDK pour Unity 3D d'implémenter la métaphore de l'avion. Le boitier renvoie périodiquement l'orientation de la main détectée sous la forme d'un couple de vecteurs : le

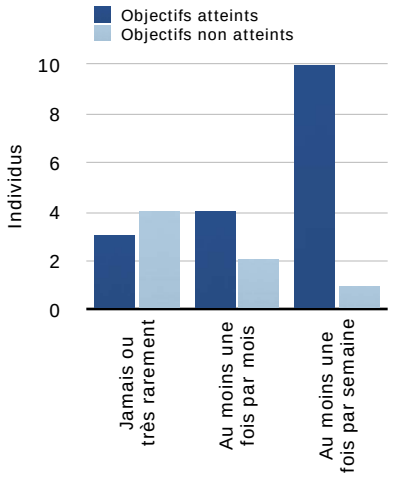


**Figure 5.** Réussite en fonction de la fréquence de confrontation à un environnement 3D

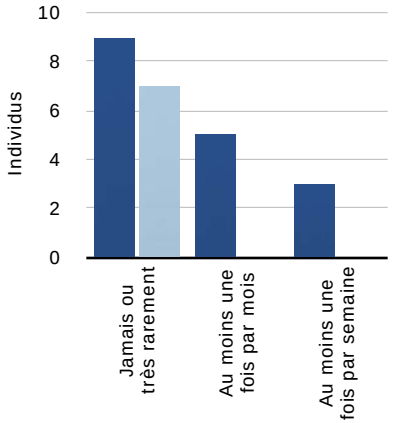


**Figure 6.** Réussite en fonction de la fréquence de confrontation à une interface 3D

premier indiquant la direction de la main, et le second, une normale à la main (cf. figure 4). L'implémentation de la navigation se fait de manière triviale, grâce au SDK qui permet de calculer, à partir de ce couple de vecteurs, les angles de tangage et de roulis.

Au final l'avion virtuel de la métaphore se comporte de la manière suivante :

- un roulis de la main fait virer celui-ci ;
- un tangage de la main fait lever ou baisser le nez de l'appareil;

L'écran joue alors le rôle de la fenêtre du cockpit de l'avion sur le monde extérieur. Comme la métaphore de l'avion ne requiert pas de translation de la main pour simuler le déplacement [16], nous avons fait le choix d'un déplacement continu de l'avion, dès la détection par le boitier d'une main ouverte. Le caractère ouvert de la main se fait en regardant le nombre de doigts visibles (c.à.d. déployés) renvoyé par le SDK. De manière réciproque, la sortie de la main de la zone de détection, ou sa fermeture, entraine l'arrêt de tout déplacement.

Ce choix permet de garder une gestuelle simple, où l'utilisateur n'a pas à se soucier de contrôler la vitesse. Il fournit également une meilleur expérience utilisateur selon Nabiyouni [16]. De plus, afin d'éviter que l'utilisateur n'entre en collision avec les bâtiments, ou encore perde l'avion virtuel dans la stratosphère, des niveaux de navigation minimum et maximum ont été choisis afin de borner les altitudes de navigation. Le boitier a été positionné de sorte que la main ne vienne pas obstruer l'écran pendant la phase de survol, afin de conserver une vue complète de l'affichage. De plus, pour limiter une éventuelle fatigue, le boitier est positionné de sorte que l'utilisateur puisse amener sa main au dessus sans avoir le bras tendu [17]. L'écran tactile de la borne reste utilisé pour désigner un objet et obtenir des informations sur ce dernier.

## Évaluation ergonomique

Notre objectif est de proposer une interaction perçue comme facile d'apprentissage, pratique, amusante et produisant le minimum d'erreur et de fatigue. Ces variables renvoient directement aux attributs composant l'utilisabilité comme définie par Scapin et Bastien [18]. Les attributs sont mesurés grâce à une échelle de Lickert à cinq degrés. Notre hypothèse était que la métaphore de l'avion rendrait la gestuelle facile à apprendre, pratique et amusante. En revanche, nous avons envisagé une fatigue des utilisateurs due à la gestuelle.

Le dispositif étant destiné à un usage public, notre but était de le concevoir tel que son temps d'utilisation moyen (passé à maîtriser la gestuelle et à explorer la maquette) soit inférieur à cinq minutes. Nous avons mesuré le temps mis par des sujets à atteindre différents objectifs pour être sûr que ce but soit atteint.

Nous nous sommes placés dans une démarche itérative, en alternant expériences et corrections du système. Le système testé était constitué d'une table interactive ainsi que du boîtier Leap Motion situé à hauteur de main. L'expérience s'est déroulée en trois temps : d'abord présentation de l'expérience et remplissage d'un questionnaire destiné au profilage, puis prise en main du dispositif et réalisation de trois taches de difficulté croissante, et enfin remplissage d'un questionnaire recueillant les avis sur l'expérience

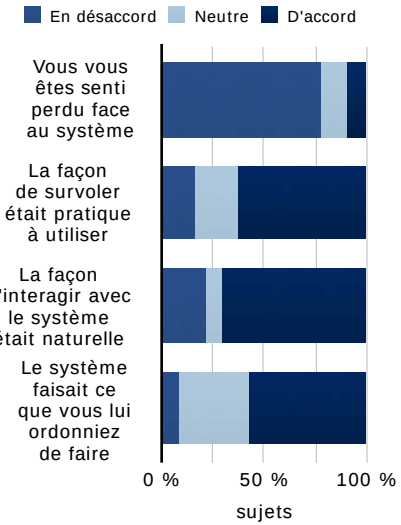


**Figure 7.** Première expérience

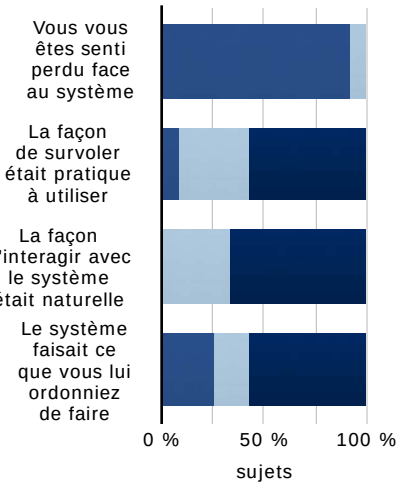


**Figure 8.** Seconde expérience

utilisateur et les suggestions d'amélioration du dispositif.

## Résultats des expériences

*Première expérience*

24 sujets volontaires de 11 à 51 ans ont passé cette expérience. Elle a duré en moyenne 90 secondes avec de fortes variations entre les sujets (écart-type de 53 secondes). 37,5% des sujets tentent de tourner par abduction et adduction du poignet (changement de l'orientation horizontale du poignet respectivement vers soi et vers l'extérieur). 70% des sujets réussissent à atteindre les 3 objectifs, et 30% abandonnent avant. Les sujets n'arrivant pas à atteindre leurs objectifs sont des sujets n'ayant pas ou peu d'expérience avec les environnements représentés en 3D et les interfaces opérant par la reconnaissance de gestuelle (cf. figures 5 & 6; l'expertise influe sur la performance [19]). Parmi les items renseignés sur l'expérience ressentie, l'affirmation avec laquelle les utilisateurs sont le moins d'accord était « le système faisait ce que vous lui ordonniez de faire » (cf. figure 7). Nous avons alors visé à réduire ce décalage entre gestuelle effectuée et réponse du système.

*Seconde expérience*

Pour la version suivante du logiciel, la rotation horizontale de la vue peut se faire par abduction/ adduction en supplément de la supination/pronation (inclinaison de l'avant-bras pour mimer l'inclinaison des ailes d'avion). Les utilisateurs faisaient instinctivement ce geste lors de la précédente expérience. Une seconde expérience similaire à la première a été menée avec la nouvelle version du logiciel et 12 autres utilisateurs âgés de 15 à 59 ans.

La durée moyenne est semblable (86 secondes au lieu de 90) mais 50% des utilisateurs continuent à naviguer dans le plan-relief après avoir terminé les tâches, ce qui n'est arrivé que chez 4% des sujets au cours de la première expérience. Dans cette passation, 91% des sujets utilisent l'abduction/adduction pour orienter leur vue, ce qui confirme que ce type d'interaction est perçu comme plus naturel pour accomplir ce type de tâche. De plus, tous les sujets arrivent à remplir tous leurs objectifs, qu'ils soient familiers ou non avec les environnements ou interfaces 3D, contrairement à la première expérience. 25% des utilisateurs sont toujours en désaccord ou neutres avec l'affirmation « le système faisait ce que vous lui ordonniez de faire » (cf. figure 8). 50% des sujets demandent à reculer lors de cette deuxième passation, 25% souhaitent changer le niveau de zoom et 8% demandent à changer l'orientation sur place.

## Conclusion et perspectives

Les résultats de l'évaluation ergonomique montrent que le dispositif remplit déjà les buts d'utilisabilité chez les utilisateurs habitués aux interfaces gestuelles, et les travaux futurs viseront à ce que ces buts soient atteints chez les utilisateurs non habitués. La deuxième version s'est révélée plus satisfaisante en matière de performance des utilisateurs tout comme de ressenti.

Grâce aux deux expérimentations menées, nous avons mis en valeur les fonctionnalités manquantes qui seraient utiles à la tâche mais incompatibles avec cette métaphore. Le recul, le zoom et le changement d'orientation à l'arrêt sont les fonctions à ajouter en premier d'après les testeurs. Les nouvelles fonctions peuvent être implémentées en détectant la position de la main par rapport au Leap Motion, en supplément de

l'orientation qui est pour l'instant notre mode d'interaction principal. L'ajout de ces fonctionnalités nécessitera potentiellement de remplacer la métaphore de l'avion. Si le système s'avère autant ou plus satisfaisant que ceux existants, nous aurons trouvé un mode d'interaction privilégié pour l'exploration de modèles à l'échelle urbaine.

## Références


1. Richardson A. E., Montello D. R., Hegarty M. Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments. *Memory & Cognition*, Volume 27, Issue 4, pp 741-750, (1999).

2. Musée des Plan Reliefs. http://www.museedesplansreliefs.culture.fr

3. Humbert P., Chevrier C. and Bur D. Use of real time 3D engine for the visualization of town scale model dating from the 19th century. *23me International CIPA Symposium* (2011).

4. Jacquot K. Numérisation et restitution virtuelle des maquettes de la collection de Louis XIV. Le cas des fortifications bastionnées. *Thèse de l'Université de Lorraine* (2014).

5. http://www.langweil.cz/project.php

6. Chevrier C. Semiautomatic Parametric Modelling of the Buildings on Town Scale Models. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, Volume 7 Issue 4, (2015).

7. Hagedorn B., Döllner, J. Sketch-Based Navigation in 3D Virtual Environments. *8th International Symposium, Smart Graphics*, Rennes, France, (2008).

8. Jankowski J.and Hachet M. A Survey of Interaction Techniques for Interactive 3D Environments. *Eurographics 2013* - STAR, Girona, Spain, (2013).

9. Bowman D. A., Koller D. and Hodges L. F. Travel in Immersive Virtual Environments: An Evaluation of Viewpoint Motion Control Techniques. *Virtual Reality Annual Internation Symposium (VRAIS)*, Albuquerque, NM, (1997).

10. Ware C. and Osborne S. Exploration and Virtual Camera Control in Virtual Three Dimensional Environments. *Proceeding I3D '90 Proceedings of the 1990 symposium on Interactive 3D graphics*, (1990), 175-183.

11. http://unity3d.com

12. Indraprastha A. and Shinozaki M. The Investigation on Using Unity3D Game Engine in Urban Design Study. *ITB Journal of Information and Communication Technology*, Vol. 3, N° 1, (2009), 1-18.

13. Fogelton Bc. A. Real-time Hand Tracking using Flocks of Features. *Proceedings of CESCG 2011*, Viničné, (2011).

14. Leap Motion. https://www.leapmotion.com

15. Guna J., Jakus G., Pogačnik M., Tomažič S. and Sodnik J. An Analysis of the Precision and Reliability of the Leap Motion Sensor and Its Suitability for Static and Dynamic Tracking. *Sensors*, vol. 14, 2014.

16. Nabiyouni M., Laha, B. and Bowman D. A. Poster: Designing Effective Travel Techniques with Bare-hand Interaction. *2014 IEEE Symposium on 3D User Interface*, (2014).

17. Bach C., Scapin D. L. Critères ergonomiques pour les Interactions Homme- Environnements Virtuels : définitions, justifications et exemples. *Research Report RR-5531*, (2005).

18. Bastien J. M. C., & Scapin D. L. . Évaluation des systèmes d'information et Critères Ergonomiques. *Systèmes d'information et interactions homme-machine. Environnement évolués et évaluation de l'IHM*. C. Kolski (Ed.), Interaction homme-machine pour les SI (Vol. 2, pp. 53-79). Paris : Hermes. (2001).

19. Nielsen, J. Usability Engineering. *Academic Press, Boston*, ISBN 0- 12-518405-0 (hardcover), 0-12-518406-9 (softcover), (1993).