
Vers un Modèle de l'Expérience Utilisateur en Environnement Virtuel Immersif : une Analyse de la Littérature

Katy Tcha-Tokey

Arts et Métiers Paristech,
LAMPA, 2 bd du Ronceray,
49000 ANGERS, France
katy.tcha-tokey@ensam.eu

Emilie Loup-Escande

Université de Picardie Jules Verne,
CRP-CPO (EA 7273),
Chemin du Thil,
80000 AMIENS, France
emilie.loup-escande@u-picardie.fr

Olivier Christmann

Arts et Métiers Paristech,
LAMPA, 2 bd du Ronceray,
49000 ANGERS, France
olivier.christmann@ensam.eu

Gaëlle Canac

Arts et Métiers Paristech,
LAMPA, 2 bd du Ronceray,
49000 ANGERS, France
gaelle.canac@ensam.eu

Fabien Farin

Arts et Métiers Paristech,
LAMPA, 2 bd du Ronceray,
49000 ANGERS, France
fabien.farin@ensam.eu

Simon Richir

Arts et Métiers Paristech,
LAMPA, 2 bd du Ronceray,
49000 ANGERS, France
simon.richir@ensam.eu

Résumé

L'expérience utilisateur fait aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches dans la communauté IHM au travers de la proposition de plusieurs modèles. En parallèle, de nouvelles Interactions Homme-Environnement Virtuel Immersif (IHEVI) ne cessent d'émerger. Toutefois, la question de la mesure de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif reste peu traitée dans la littérature. Ces constats nous ont amenés à proposer un modèle holistique de l'expérience utilisateur dans un environnement virtuel immersif, en nous basant sur non seulement les composants constitutifs des modèles préconisés dans la littérature en réalité virtuelle, mais aussi sur les métriques et les méthodes utilisés pour les évaluer.

Mots clés

Expérience utilisateur, Réalité virtuelle, Interaction Homme-Environnement Virtuel Immersif

Mot clés de la classification ACM

H.1.2. User/Machine Systems-Human Factors; I.3.7. Three-Dimensional Graphics and Realism - Virtual Reality

Introduction

D'après Bowman et McMahan [1], les technologies de réalité virtuelle visent à remplacer les informations

sensorielles du monde réel par des stimuli synthétiques (e.g., vision 3D d'image, son spatialisé, retour de force ou tactile, ...). Ainsi, « la finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une ou plusieurs personne(s) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel » [4]. Deux types d'environnements virtuels existent : les environnements non immersifs et ceux dits immersifs. Ces derniers utilisent des interfaces comportementales exploitant la motricité ou les perceptions propres à l'homme, caractéristiques de son comportement dans le monde réel [4], en entrée (e.g., gants de données) et en sortie (e.g., Cave Automatic Virtual Environment, des lunettes stéréoscopiques, son 3D spatialisé). Ces interfaces ont l'ambition de favoriser une bonne expérience utilisateur ou *User eXperience* (UX). Pour autant, la question de la mesure de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif reste peu traitée dans la littérature. De plus, les modèles de l'expérience utilisateur proposés dans la littérature restent partiels aussi bien dans les composants qu'ils sollicitent que dans les méthodes et les métriques qui permettent d'évaluer chacun d'eux. En définitive, ces modèles ne sont que partiellement adaptés aux IHEVI. L'objectif de notre article est, par conséquent, de proposer un modèle holistique de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif. Pour avancer dans cette problématique, nous proposons une revue de la littérature sur les modèles de l'expérience utilisateur en réalité virtuelle afin de « bâtir » un premier modèle holistique de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif.

Expérience Utilisateur et Réalité Virtuelle

Eléments de Définitions de l'Expérience Utilisateur

D'après la norme ISO 9241-210, l'expérience utilisateur se définit comme « les perceptions et les réponses résultantes de l'utilisation d'un produit, un système ou un service ». Hassenzahl [5] propose une définition plus précise en décomposant l'expérience utilisateur selon plusieurs critères : la qualité hédonique (*hedonic quality*) et la qualité ergonomique (*ergonomic quality*) qui simultanément emmènent l'utilisateur à poser un jugement d'attractivité (*appealingness*), ce jugement déterminant par la suite ses comportements (*behavioural consequences*) et émotions (*emotional consequences*). A ces dimensions émotionnelles et cognitives, Wu et al. ajoutent la qualité de service considérée comme « un ensemble de facteurs de vivacité (*vividness*), d'interactivité (*interactivity*) et de cohérence (*consistency*) de l'environnement, impactant l'expérience utilisateur » [11].

Modèle de l'Expérience Utilisateur fondé sur le Flow

Le *flow* (i.e., état psychologique de sentiment de contrôle, entre le stress et l'ennui [3]) est un composant permettant d'évaluer le degré de divertissement de l'utilisateur. Un premier modèle proposé par Cheng, Chieng M-H et Chieng W-H [2] conçu dans le cadre d'un environnement virtuel interactif pour le divertissement se base sur le *flow*. Ce modèle, notamment fondé sur des travaux ultérieurs, suggère que :

- La dimension **flow** est influencée par l'interactivité (*interactivity*), les compétences (*skill*), l'attention portée (*focused attention*) et la téléprésence (*telepresence*) comme en témoignent plusieurs études.

- La **vivacité** (*vividness*) et l'**interactivité** sont également liées puisqu'un haut degré de vivacité correspond à un haut degré d'interactivité.
- La **téléprésence** est un composant influençant le *flow* et est impactée par la vivacité, l'implication (*involvement*) et l'attention.
- L'**interactivité** et l'**implication** influencent les compétences et l'enjeu perçu.
- L'**attention** est impactée par l'interactivité.
- Le *flow* influence l'**obligation morale** (*loyalty*) et l'**affectivité positive** (*positive affect*).

Ce modèle a été éprouvé à travers un questionnaire créé par les auteurs comportant 34 items répartis entre le *flow*, l'interactivité, la vivacité, les compétences, l'enjeu, l'implication, l'obligation morale, l'affectivité positive, l'attention et la téléprésence.

Modèle de l'Expérience Utilisateur inspiré des modèles de l'Acceptabilité

Un deuxième modèle, conçu dans le cadre d'un environnement virtuel d'apprentissage, se fonde sur les théories de l'acceptation des technologies. Ce modèle est composé de neuf composants [10] :

- Le composant **immersion** (*immersion*) est étroitement lié aux notions de **présence** (*presence*) et de **flow**.
- Le *flow*, l'immersion et la présence perçue par les utilisateurs seraient des déterminants de la **confirmation** (*confirmation*), affectant la **satisfaction** (*satisfaction*).
- L'**utilité** (*perceived usefulness*) perçue et la **facilité d'utilisation** perçue (*perceived ease of use*)

sont des indicateurs de l'**utilisabilité** de l'environnement virtuel.

- L'utilisabilité perçue et la **satisfaction** sont corrélées.
- La satisfaction détermine principalement l'**intention** (*intention*) d'utilisation de la technologie.
- Les **expériences précédentes** (*previous experience*) de l'utilisateur sur la technologie évaluée sont des facteurs facilitants dans la mesure où ils influencent l'intention d'adopter la technologie « *continuance intention* » de l'utilisateur.

Ce modèle a été éprouvé à travers un questionnaire créé par les auteurs constitué de 30 items répartis entre l'intention d'utilisation, l'utilité perçue, la facilité d'utilisation perçue, l'immersion, le *flow*, la présence, l'intention d'adopter et la confirmation.

Modèle de l'Expérience Utilisateur influencé par les caractéristiques de l'Environnement Virtuel

Le modèle de Lin et Parker [6], conçu dans le cadre d'un environnement virtuel interactif pour le divertissement, vise à déterminer les caractéristiques de l'environnement virtuel (champ de vision, disparité stéréoscopique, fréquence d'image, niveau d'interactivité, repères visuels pour la prédiction du mouvement et avatar-guide virtuel) conduisant à un niveau optimal d'expérience utilisateur. Cette dernière est mesurée par la présence (*presence*), l'appréciation (*enjoyment*) et le « mal du simulateur » (*simulator sickness*). Selon ce modèle :

- La **présence** (*presence*) et l'**appréciation** (*enjoyment*) d'une part, et l'appréciation et le « mal du simulateur » d'autre part, seraient corrélés.

- L'**engagement** (*engagement*) et l'**immersion** (*immersion*) contribueraient au sentiment de présence. De plus, il semblerait qu'un champ de vision (FOV : *field of view*) large (i.e., 180°), la présence d'une stéréoscopie, la fréquence basse d'image (i.e., 0,03 Hz) et un mode d'interactivité actif soient des facteurs qui influencent positivement la présence.
- La **satisfaction** (*satisfaction*) et le **plaisir** (*pleasure*) contribueraient à l'appréciation. Celle-ci serait également améliorée par les éléments de l'environnement virtuel suivants : la fréquence basse d'image (i.e., 0,03 Hz), un mode d'interactivité actif et les interventions visuelles (e.g., feedback visuel du parcours pour anticiper les virages, avatar-guide virtuel) visant à soulager le « mal du simulateur ».

Ce modèle a été éprouvé à travers deux questionnaires : le « Revisited Simulator Sickness Questionnaire » (RSSQ), le questionnaire d'appréciation, d'engagement et d'immersion comportant 15 items répartis entre la présence, l'engagement et l'immersion d'une part, et sur l'appréciation, la satisfaction et le plaisir d'autre part.

Modèle Holistique de l'Expérience Utilisateur en Environnement Virtuel Immersif

Fondements du modèle

Les trois modèles précédents s'appuient sur un unique domaine d'application (divertissement ou apprentissage). Les modèles 1 et 3 ne proposent pas de facteurs d'influence liés à l'utilisateur. Quant au modèle 2 il ne propose pas de facteurs d'influence liés à l'environnement. En revanche, le modèle holistique (Figure 1) que nous proposons se base sur une

combinaison de composants clés provenant du domaine du divertissement et de l'apprentissage, il prend en compte les facteurs d'influence liés à l'environnement et à l'utilisateur. Notre modèle se veut multi-domaine et par conséquent holistique.

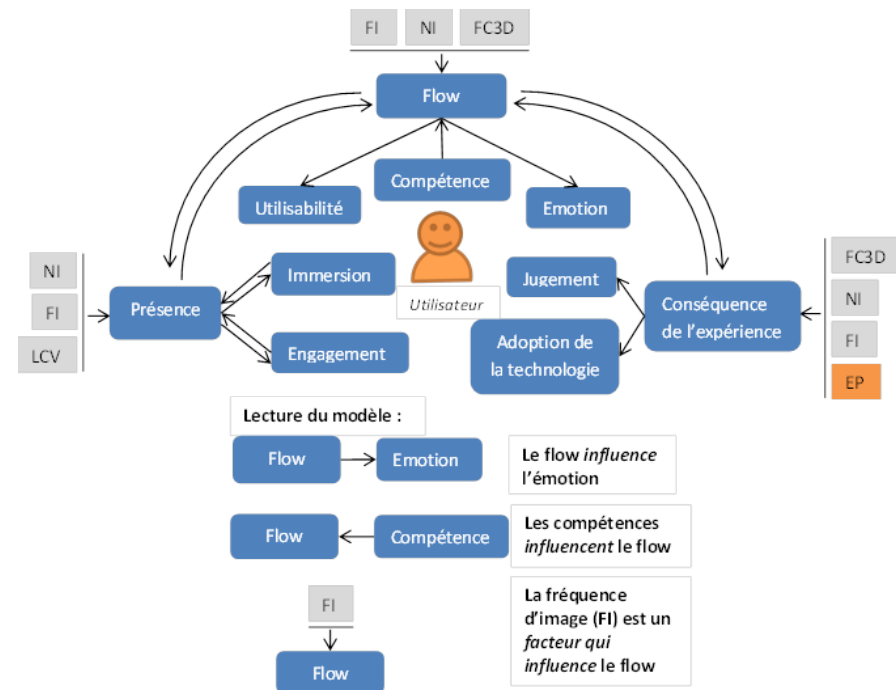


Figure 1. Modèle holistique de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif Légende : FC3D : Feedback du Contenu 3D ; FI : Fréquence d'images ; LCV : Largeur du Champ de Vision ; NI : Niveau d'Interactivité ; EP : Expérience Précédente

Nous proposons un modèle de l'expérience utilisateur constitué par trois composants principaux, la présence, le *flow* et les conséquences de l'expérience, lesquels sont la cause ou la conséquence de composants

secondaires. Les composants principaux et secondaires sont corrélés entre eux d'après la littérature. Nous proposons une description de ces liens ci-après :

- La **présence**, le **flow** (e.g., appréciation, plaisir, satisfaction, ...) et les **conséquences de l'expérience** (e.g., stress, cybersickness,...) sont fondamentalement liés [6]. La présence et le flow sont corrélés [10], comme le sont le *flow* et les conséquences de l'expérience [2].
- L'**immersion** et l'**engagement** permettent à l'utilisateur d'expérimenter un sentiment de présence [6].
- Les **compétences** déterminent le *flow* [2] qui en retour influence l'**utilisabilité** [10] et les **émotions** [2].
- Les **conséquences de l'expérience** influencent le **jugement** et l'**adoption de la technologie** [8].
- La **largeur du champ visuel**, la **fréquence d'image**, le **niveau d'interactivité** sont des variables de l'environnement qui influencent la présence [6].
- La fréquence d'image, le niveau d'interactivité et les **feedback du contenu 3D** (i.e. repères visuels) quant à eux influencent le *flow* [6].
- Les **expériences précédentes** de l'utilisateur (i.e., le facteur influent de l'utilisateur), la fréquence d'image, le niveau d'interactivité et les feedback du contenu 3D influencent les conséquences de l'expérience utilisateur [6, 10].

Implémentation du modèle

L'application de ce modèle dans le cadre de l'évaluation de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif nécessiterait la mise en place d'un

questionnaire constitué d'items sur la présence, l'engagement et l'immersion, les compétences, le *flow*, les émotions et l'utilisabilité, l'intention d'utilisation et d'adoption, le jugement et le degré de « mal du simulateur » perçu. En complément d'un tel questionnaire, il serait pertinent d'utiliser des systèmes de capture de signaux physiologiques (e.g., ABE, AUBADE, Multisense, ...) pour mesurer l'expérience utilisateur de manière plus objective. En effet, ces systèmes fournissent des capteurs physiologiques pour identifier les expressions faciales [9], mesurer la conductivité de la peau, la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire. En outre, des outils comme les interfaces cerveau-ordinateur passives (i.e., passive BCI) [7] pourraient servir à mesurer l'activité Electro-EncéphaloGraphique (EEG). D'autre part, les composants de l'expérience utilisateur liés au temps, à la fréquence ou à la performance (e.g., utilisabilité, compétences, adoption de la technologie) peuvent bénéficier de mesures objectives telles que la mesure du temps de réponse, du temps d'utilisation, du temps d'apprentissage, la fréquence d'utilisation, du nombre d'erreurs, nécessitant une observation directe et rigoureuse en laboratoire. La validation de notre modèle demanderait une comparaison expérimentale dans laquelle seul un facteur varierait (e.g., LCV) tous les autres facteurs étant égaux par ailleurs. Etant donné que nous avons identifié 5 facteurs (i.e., LCV, FI, NI, FC3D, EP), il s'agirait donc de conduire 6 comparaisons expérimentales (en incluant une expérience témoin), afin de mesurer l'effet de chacun d'eux sur les différents composants subjectifs et objectifs de l'expérience utilisateur. Ces comparaisons expérimentales nécessiteraient le développement informatique d'un environnement virtuel immersif spécifique. Ce choix sera déterminé par les modèles sur

lesquels nous nous sommes fondés. Ces derniers focalisant leurs travaux sur le divertissement ou l'apprentissage, nous nous orienterons dans la suite de nos travaux sur un environnement ludo-éducatif permettant d'enseigner à son utilisateur par l'intermédiaire de jeux.

Conclusion

L'expérience utilisateur et les environnements virtuels immersifs font chacun l'objet de nombreuses recherches. Toutefois, la question de la mesure de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif reste peu traitée dans la littérature. La conception d'environnements immersifs favorisant une bonne expérience utilisateur est pourtant un défi auquel notre modèle holistique pourrait répondre au travers du cadre théorique et méthodologique fourni. Si notre modèle se veut multidimensionnel, il reste fondé sur des travaux conduits dans les domaines du divertissement et de l'apprentissage. Ce dernier point suggèrera l'implémentation d'un environnement immersif de type ludo-éducatif afin de le valider et de l'éprouver.

Remerciements

Merci à Laval Agglomération et au Conseil Départemental de la Mayenne qui financent la thèse dans laquelle cette recherche s'inscrit.

Références

- [1] Bowman D. A. & McMahan R. P. Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer* 40, 36–43 (2007).
- [2] Cheng L.-K., Chieng M.-H. & Chieng W.-H. Measuring virtual experience in a three-dimensional virtual reality interactive simulator environment: a

structural equation modeling approach. *Virtual Reality* 18, 173–188 (2014).

- [3] Csikszentmihalyi M. The psychology of optimal experience. Harpers and Row, New York (1990)
- [4] Fuchs P., Arnaldi B. & Tisseau J. La réalité virtuelle et ses applications. In P. Fuchs & G. Moreau. *Le traité de la réalité virtuelle. Volume 1 : fondements et interfaces comportementales*. Presse de l'Ecole des Mines de Paris, pp. 3-52, (2003).
- [5] Hassenzahl M. The Effect of Perceived Hedonic Quality on Product Appealingness. *International Journal of Human-Computer Interaction* 13, 481–499 (2001).
- [6] Lin J. J. & Parker D. E. User Experience Modeling and Enhancement for Virtual Environments That Employ Wide-Field Displays. In *Digital Human Modeling*, 423–33. Springer (2007).
- [7] Loup-Escande, E. & Lécuyer A. Towards a user-centred methodological framework for the design and evaluation of applications combining brain-computer interfaces and virtual environments: contributions of ergonomics. Research Report INRIA. RR-8505 (2014).
- [8] Mahlke S. User Experience of Interaction with Technical Systems. Theories, Methods, Empirical Results, and Their Application to the Design of Interactive Systems. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag (2008).
- [9] Mahlke S., Minge M. Emotions and EMG Measures of Facial Muscles in Interactive Contexts. *Cognition and Emotion* 6 : 169–200 (2006).
- [10] Shina D.H., Biocci F. & Chooc H. Exploring the user experience of three-dimensional virtual learning environments. *Behaviour & Information Technology* 32, 203–214 (2013).
- [11] Wu W. et al. Quality of Experience in Distributed Interactive Multimedia Environments: Toward a Theoretical Framework. in *Proc. ACM '09*. ACM, New York, NY, USA, 481-490 (2009).