



**HAL**  
open science

## Interactions naturelles en réalité virtuelle : impact sur la charge cognitive

Thomas Galais, Rémy Alonso, Alexandra Delmas

### ► To cite this version:

Thomas Galais, Rémy Alonso, Alexandra Delmas. Interactions naturelles en réalité virtuelle : impact sur la charge cognitive. 31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM 2019), Dec 2019, Grenoble, France. pp.3:1-9, 10.1145/3366551.3370342 . hal-02388849

**HAL Id: hal-02388849**

**<https://hal.science/hal-02388849v1>**

Submitted on 2 Dec 2019

**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.

---

# Interactions naturelles en réalité virtuelle : impact sur la charge cognitive

Natural Interaction in Virtual Reality: Impact on the Cognitive Load

**Thomas Galais**

onepoint  
Sud-ouest, France  
t.galais@groupeonepoint.com

**Rémy Alonso**

onepoint  
r.alonso@groupeonepoint.com

**Alexandra Delmas**

onepoint  
a.delmas@groupeonepoint.com

**ABSTRACT**

*Many of the virtual reality (VR) interaction devices available to the general public rely on the use of controllers. However, these ones generate some usability constraints. Current availability of new gestural devices provides a more “natural” way to interact in VR, i.e. minimizing cognitive load. However, this last one is rarely taken into account in the literature on VR design and evaluation. In order to fill this gap, we propose to evaluate, within a comparative study, the respective impact of 2 interaction paradigms on the cognitive load and performance of two different user populations (experienced vs. novice): gestural interaction using Leap Motion® (test group) and more traditional interaction using gamepad controllers (control group). Initial results indicate significantly higher cognitive load and significantly lower performance during gestural interaction with the Leap Motion® than during interaction with the*

---

Permission to make digital or hard copies of part or all 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(s).

*IHM '19 Adjunct, December 10–13, 2019, Grenoble, France*

© 2019 Copyright held by the owner/author(s).

ACM ISBN 978-1-4503-7027-1/19/12.

<https://doi.org/10.1145/3366551.3370342>

*controllers. These results highlight technical limitations related to Leap Motion® and the need to improve technically these devices to obtain a robust technology*

## **RÉSUMÉ**

Une grande partie des dispositifs d'interaction en réalité virtuelle (VR) accessibles au grand public repose sur l'usage des contrôleurs. Or, ces derniers génèrent certaines contraintes d'utilisabilité. La récente disponibilité de dispositifs d'interaction gestuelle permet de créer des interactions plus « naturelles », i.e. minimisant la charge cognitive. Or cette dernière est peu prise en compte dans la littérature en conception/évaluation VR. Afin de pallier ce manque, nous proposons d'évaluer au sein d'une étude comparative, l'impact respectif de 2 paradigmes d'interaction sur la charge cognitive et les performances de deux populations d'utilisateurs différentes (expérimentée vs. novice) : les interactions gestuelles à l'aide du Leap Motion® (groupe test) et les interactions plus classiques à l'aide de contrôleurs de mouvement de type gamepad (groupe contrôle). Les premiers résultats indiquent une charge cognitive significativement plus élevée et des performances significativement moindres lors de l'interaction gestuelle avec le Leap Motion® que lors de l'interaction avec les contrôleurs et ce, pour les 2 types de population. Ces résultats mettent en évidence les limites techniques liées au Leap Motion® ainsi que la nécessité d'améliorer techniquement ces dispositifs avant de pouvoir aboutir à une technologie robuste.

## **CCS CONCEPTS**

Human-centered computing → HCI theory, concepts and models; Virtual reality; Interaction techniques; Cognitive load.

## **KEYWORDS**

Cognitive load; natural interactions; natural user interface; gestural interaction; in-air gestures; virtual reality; human-computer Interaction

## **MOTS-CLÉS**

Charge cognitive; interactions naturelles; interactions gestuelles; interfaces utilisateur naturelles; réalité virtuelle; interactions homme-machine

## **INTRODUCTION**

### **Contexte**

Depuis sa création, la réalité virtuelle (VR) est employée dans des domaines divers et variés tels que le divertissement, le marketing [2], l'aide à la conception, l'éducation [11], la formation et la

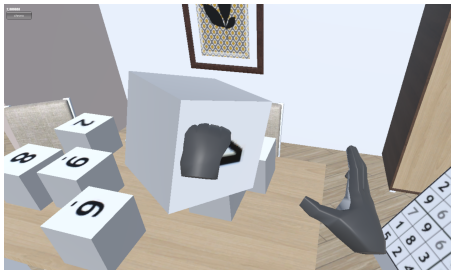
santé [4, 9, 18]. Les dispositifs de réalité virtuelle disponibles sur le marché tels que l'Oculus Rift® ou l'HTC Vive® requièrent l'usage de contrôleurs. Cependant, ces derniers posent certaines contraintes d'utilisabilité [21] : 1) ils imposent à un utilisateur la manière de les tenir; 2) ils nécessitent une phase d'apprentissage d'une liste de commandes plus ou moins complexes; 3) ils reprennent les anciens paradigmes de l'informatique conçus pour des interfaces en 2 dimensions (pointeur de souris). La mise sur le marché de dispositifs de suivi du mouvement des mains tels que le Kinect®, l'Intel Real Sense®, ou encore le Leap Motion®, a permis d'ouvrir de nouvelles perspectives concernant les interactions homme-machine en VR [10]. En effet, ce type d'interaction offre des moyens plus « naturels » et attractifs pour interagir [22, 26] et peut être considéré comme une nouvelle classe d'interface utilisateur naturelle (NUI, Natural User Interface) [3, 27]. Les NUI stipulent que toute interaction « naturelle » doit s'appuyer, tirer pleinement parti, faire levier sur les connaissances à priori d'un individu, et être adaptées au contexte d'usage. De plus, elles doivent en particulier minimiser la charge cognitive [3, 27]. L'évaluation de la charge cognitive permet de passer d'une conception traditionnellement centrée sur la technologie à une conception centrée sur l'humain [19]. Cependant, cette charge cognitive est peu prise en compte lors de la conception et de l'évaluation de dispositif d'interaction « naturelle » en VR. Nous présentons ainsi dans cette étude une approche centrée sur la charge cognitive pour la conception d'interactions « naturelles » en réalité virtuelle.

### **Etat de l'art**

De nombreuses études ont confronté les interactions gestuelles aux dispositifs d'interaction plus conventionnels. Ainsi, dans le cadre de la sélection et manipulation d'objets virtuels, Caggianese et ses collaborateurs ont récemment comparé le Leap Motion® (i.e. dispositif de motion tracking des mains permettant l'interaction gestuelle) aux contrôleurs de l'HTC Vive [6]. Les résultats de cette étude ont mis en évidence que l'usage d'un contrôleur permettait de meilleures performances avec une difficulté perçue plus faible et un temps de complétion des tâches plus court que les interactions gestuelles. Ce dernier trait s'est confirmé également dans le cadre de la conception de gestuelles pour la navigation en VR en termes de mesures objectives [7, 29], mais pas en termes de mesures subjectives. En effet, si la première étude a montré que les interactions gestuelles demandaient considérablement plus d'efforts que les contrôleurs [7], la seconde a mis en évidence que les gestuelles de navigation étaient plus naturelles, moins fatigantes et plus faciles à apprendre pour les utilisateurs [29]. En conclusion, les interactions gestuelles en VR sont objectivement moins performantes que les interactions avec des contrôleurs. En revanche, concernant l'aspect subjectif de l'interaction, le constat est plus mitigé et nécessite de plus amples investigations. Par ailleurs, un aspect essentiel des interfaces utilisateur naturelles n'est pas évalué dans ces études : la charge cognitive.



**FIGURE 1:** Casque HTC Vive® surmonté d'un Leap Motion® assurant l'interaction avec les mains.



**FIGURE 2:** Illustration de l'environnement virtuel et de la tâche à accomplir.

### La charge cognitive

La sollicitation des ressources cognitives lors de la réalisation d'une tâche a été conceptualisée avec la notion de charge cognitive [24]. Cette dernière est définie comme le rapport entre la demande de la tâche et les ressources disponibles [8]. Il existe 3 types de mesure de charge cognitive [20] : 1) les mesures de performance représentant les scores de réussite lors de la réalisation de la tâche; 2) les mesures physiologiques [13] tel que le suivi de l'activité cardiaque (ECG), de l'activité cérébrale (EEG), de la réponse électrodermale de la peau, de la température du nez et du front [1] ainsi que le suivi du mouvement des yeux et de la dilation des pupilles (eye-tracking) [12, 28]; 3) les mesures subjectives reposant sur des questionnaires d'auto-évaluation de la charge cognitive tel que le SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) [23], le Workload Profile [25], et le NASA TLX (Nasa Task Load Index) [14]. Dans cette étude nous avons couplé les mesures objectives de performances à des auto-évaluations subjectives réalisées avec le NASA TLX.

### EVALUATION EXPERIMENTALE

#### Objectifs

Nous proposons d'évaluer l'impact respectif de 2 systèmes d'interaction en VR sur la charge cognitive des utilisateurs, un système de suivi du mouvement des mains et des contrôleurs de mouvement de type gamepad, et ce lors d'une tâche de sélection et de manipulation d'objets virtuels. Cette étude sera menée sur deux profils d'utilisateurs : les experts, utilisateurs considérés comme expérimentés avec l'usage des contrôleurs, et les novices, utilisateurs considérés comme non familiers vis-à-vis de leur usage.

#### Hypothèse

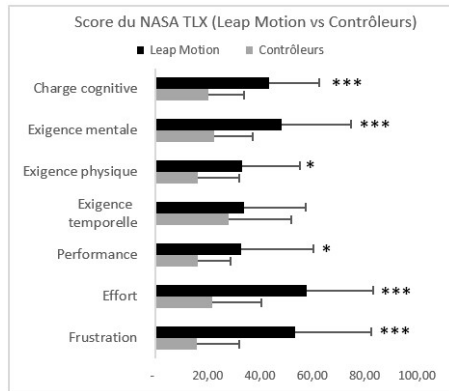
Comparé aux contrôleurs, les interactions gestuelles permises par un système de suivi du mouvement des mains réduit la charge cognitive, évaluée avec le NASA TLX, des utilisateurs novices, mais détériore les performances des 2 types d'utilisateurs (novices et experts).

#### Participants

Afin de déterminer le profil des utilisateurs (« novice » ou « expert »), ces derniers ont renseigné un questionnaire de profilage évaluant sur une échelle de 1 à 5 : 1) leur niveau de confiance et d'expérience dans le jeu vidéo et la réalité virtuelle; 2) leur fréquence d'utilisation; 3) le type de support utilisé lorsqu'ils jouaient (console, PC, casque VR); 4) le type de contrôleur utilisé lorsqu'ils jouaient (joystick, manette de jeu, contrôleur de mouvement, clavier souris, etc.). Au total, 19 participants ont été recrutés : 11 « experts » et 8 « novices ».

	Contrôleurs	Leap Motion	p-value
Temps d'exécution (secondes)	63.37 (36.56)	209.47 (120.99)	< 0.0001
Nombre d'erreurs de détection	0.63 (1.12)	8.68 (5.60)	< 0.0001
Nombre d'erreurs de l'utilisateur	1.47 (1.68)	2.47 (1.95)	> 0.05

**FIGURE 3: Moyennes et écart types des performances objectives mesurées pour les groupes Contrôleurs et Leap Motion, participants novices et experts confondus.**



**FIGURE 4: Résultats de la charge cognitive auto-évaluée à l'aide du NASA TLX pour les groupes Leap Motion et Contrôleurs, participants novices et experts confondus.**

### Matériel

Le matériel utilisé se compose d'un casque HTC Vive® muni de ses contrôleurs, et sur lequel a été fixé un Leap Motion® (Figure 1). Il s'agit d'un dispositif de reconnaissance du mouvement des mains. L'environnement de développement Unity en version 2018.3.14 a été utilisé pour l'implémentation de l'environnement virtuel.

### Plan expérimental

*Conditions.* L'ensemble des utilisateurs ("novices" ou "experts") a réalisé la tâche avec le Leap Motion® (groupe test) et avec les contrôleurs (groupe contrôle). Leur ordre de passation a été randomisé. Le plan expérimental utilisé pour cette étude est un plan mixte inter-intra. Nous étudions 2 variables indépendantes à 2 modalités : 1) Le paradigme d'interaction (interactions gestuelles dans l'air vs. contrôleurs de mouvement de type gamepad), 2) L'expertise de l'utilisateur (novices vs. experts).

*Tâche expérimentale.* Nous avons développé une tâche de manipulation de cubes. L'objectif est le suivant : l'utilisateur doit replacer 9 cubes virtuels, respectivement numérotés de 1 à 9, au bon endroit et dans la bonne position en se référant à une grille de chiffres lui étant présentée (Figure 2). Afin d'accomplir la tâche, aucun apprentissage de gestuelles n'est nécessaire, l'utilisateur peut saisir les cubes de la manière souhaitée grâce au moteur d'interaction physique. L'intérêt est qu'aucun apprentissage de commande gestuelle spécifique n'est requis pour interagir avec les objets virtuels, permettant ainsi d'avoir une interaction réellement « naturelle » et d'outrepasser les problématiques liées aux interfaces utilisateur naturelles [17].

*Mesures utilisées. Mesures objectives :* Nous avons choisi de mesurer le temps de réalisation de la tâche [5], le nombre d'erreurs de détection du système et le nombre d'erreurs de l'utilisateur.

*Mesures subjectives :* Nous avons choisi de mesurer la charge cognitive, auto-évaluée grâce au questionnaire conçu et validé en 1988 par Hart et Staverland [14] : le NASA TLX. Il divise la charge cognitive induite par une tâche ou par l'utilisation d'un système en 6 sous-aspects : exigence mentale, exigence physique, exigence temporelle, performance, effort et frustration. Lors du port du casque de VR, un conflit sensoriel peut apparaître engendrant nausées et vertiges. Ce phénomène porte le terme de cybersickness. Nous l'avons mesuré en utilisant le SSQ [15].

*Procédure.* L'expérimentateur a expliqué aux participants la procédure entière en présentant le système, les modalités d'interactions et la tâche à accomplir. L'expérimentation a débuté par une explication de la procédure entière à chaque participant, présentant le système, les modalités d'interactions et la tâche à accomplir. Un questionnaire de profilage a ensuite été renseigné par chaque participant (décrit dans la section "Participants") avant de prendre le temps de se familiariser avec les modalités d'interactions associées à la tâche. Les participants ont ensuite réalisé les tâches (une avec le Leap

Motion®, une avec les contrôleurs). A la fin de chacune d'entre elles, ils ont renseigné le NASA TLX et le SSQ.

*Analyses statistiques.* Les analyses statistiques ont été élaborées en utilisant le logiciel R. Les tests de Kolmogorov-Smirnov réalisés sur l'ensemble des distributions de données indiquent que les données suivent une loi normale. Des analyses de variance (ANOVA) à 2 facteurs ont donc été mises en place.

## RESULTATS

### Mesures objectives

Comme illustré en Figure 3, l'interaction avec le Leap Motion® est significativement plus lente ( $F_{1,34} = 24.145$ ;  $p < 0.0001$ ), et engendre significativement plus d'erreurs de détection ( $F_{1,34} = 36.094$ ;  $p < 0.0001$ ), que l'interaction avec les contrôleurs de l'HTC Vive®, et ce, chez les experts comme chez les novices. En revanche, aucune différence significative entre le Leap Motion® et les contrôleurs n'est observée concernant les erreurs de l'utilisateur ( $F_{1,34} = 2.878$ ;  $p = 0.0989$ ). Aucune différence significative n'est également observée entre les utilisateurs experts et les utilisateurs novices pour l'ensemble de ces mesures objectives.

### Mesures subjectives

Les résultats présentés en Figure 4 démontrent que la charge cognitive globale évaluée lors de l'interaction gestuelle est significativement supérieure à celle évaluée lors de l'interaction avec les contrôleurs, et ce, chez les novices et les experts ( $F_{1,34} = 17.448$ ;  $p < 0.001$ ). Dans le détail, les valeurs du NASA TLX sont significativement supérieures lors de l'interaction avec le Leap Motion® pour : l'exigence mentale ( $F_{1,34} = 15.052$ ;  $p < 0.001$ ), l'exigence physique ( $F_{1,34} = 7.144$ ;  $p < 0.05$ ), la performance ( $F_{1,34} = 5.434$ ;  $p < 0.05$ ), l'effort ( $F_{1,34} = 24.802$ ;  $p < 0.0001$ ) et la frustration ( $F_{1,34} = 23.130$ ;  $p < 0.0001$ ), mais pas pour l'exigence temporelle ( $F_{1,34} = 0.667$ ;  $p = 0.4197$ ). Aucune différence significative de score de charge cognitive n'est observée entre les novices et les experts ( $F_{1,34} = 0.192$ ;  $p = 0.664$ ). Enfin, les scores relevés au SSQ ont montré qu'aucun cybersickness n'a été relevé par les participants.

## DISCUSSION/CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons donc exploré la possibilité d'interagir en réalité virtuelle à l'aide de gestuelles de la main, en évaluant leur impact sur la charge cognitive et sur les performances. Les résultats préliminaires indiquent que la charge cognitive est significativement plus élevée, et Les performances significativement moindres, lors de l'interaction gestuelle avec le Leap Motion® que lors de l'interaction avec les contrôleurs. Ces résultats ont été obtenus pour les 2 types de population (experts et novices). Si ces résultats étaient attendus pour les utilisateurs experts, habitués à l'usage des contrôleurs, ils sont en revanche inverse à notre hypothèse de départ pour les utilisateurs novices

non-habitués à leur usage. Ces résultats mettent ainsi en évidence que les interactions gestuelles permises par le Leap Motion® ne peuvent pas être considérées comme naturelles. Si la littérature mettait déjà en évidence une mauvaise performance des interactions gestuelles par rapport aux contrôleurs [6, 7, 29], ils nous apparaissent néanmoins essentiel d'étudier leur impact sur la charge cognitive, aspect rarement pris en compte lors de la conception d'interaction en VR. Cela nous a permis d'identifier d'une part, les limites du dispositif, et d'autre part, les pistes d'amélioration pour la suite de ces travaux. Tout d'abord, contrairement aux contrôleurs, le Leap Motion® ne dispose pas de tracking continu des mains : dès lors que les mains sortent du champ de vision du dispositif, le tracking des mains s'interrompt. De plus, à l'inverse des contrôleurs, le Leap Motion® ne dispose d'aucun retour sensoriel haptique (perception tactilo-kinesthésique). Par ailleurs, les résultats indiquent que le Leap Motion® engendre de nombreuses erreurs de détection (même s'il reste le plus précis des dispositifs testés), augmentant la frustration des participants, composante du NASA TLX. Cependant, ce manque de robustesse n'est pas tant lié à la détection des mains (le mouvement des mains étant retranscrits de manière précise) qu'à la gestion de la physique d'interaction entre les mains et les objets virtuels (erreur de détection de collision, physique des objets aberrante). Pour la suite de ces travaux, nous envisageons donc de repenser l'interaction avec le Leap Motion® en le combinant avec des objets physiques réels, tangibles, disposant d'un homologue virtuel dans l'environnement VR. En effet il a été montré que manipuler de tels objets en réalité virtuelle permettait d'assurer des performances semblables aux performances du monde réel lors d'une tâche cognitive de manipulation de cubes [16]. Cette solution permettrait ainsi d'apporter au système un retour haptique et de résoudre le problème de gestion de la physique d'interaction.

## RÉFÉRENCES

- [1] Yomna Abdelrahman, Eduardo Velloso, Tilman Dingler, Albrecht Schmidt, and Frank Vetere. 2017. Cognitive Heat : Exploring the Usage of Thermal Imaging to Unobtrusively Estimate Cognitive Load. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* 1, 3 (Sept. 2017), 1–20. <https://doi.org/10.1145/3130898>
- [2] Stuart Barnes. 2016. Understanding Virtual Reality in Marketing : Nature, Implications and Potential. *SSRN Journal* (2016). <https://doi.org/10.2139/ssrn.2909100>
- [3] Joshua Blake. 2011. *Natural User Interfaces in. NET : WPF 4, Surface 2, and Kinect*. Manning.
- [4] Stéphane Bouchard, Geneviève Robillard, Isabelle Giroux, Christian Jacques, Claudie Loranger, Manon St-Pierre, Maxime Chrétien, and Annie Goulet. 2017. Using Virtual Reality in the Treatment of Gambling Disorder : The Development of a New Tool for Cognitive Behavior Therapy. *Frontiers in Psychiatry* 8 (Feb. 2017). <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2017.00027>
- [5] D.A. Bowman, D. Koller, and L.F. Hodges. 1997. Travel in immersive virtual environments : an evaluation of viewpoint motion control techniques. In *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*. IEEE Comput. Soc. Press, Albuquerque, NM, USA, 45–52,. <https://doi.org/10.1109/VRAIS.1997.583043>
- [6] Giuseppe Caggianese, Luigi Gallo, and Pietro Neroni. 2018. The Vive Controllers vs. Leap Motion for Interactions in Virtual Environments : A Comparative Evaluation. In *Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services*, Giuseppe De Pietro, Luigi Gallo, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain, and Ljubo Vlacic (Eds.). Vol. 98. Springer International Publishing,



- Cham, 24–33. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92231-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92231-7_3)
- [7] Jorge C. S. Cardoso. 2016. Gesture-Based Locomotion in Immersive VR Worlds with the Leap Motion Controller : Comparison with gamepad and gaze-directed locomotion. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.1226.1366>
- [8] Julien Cegarra and Aline Chevalier. 2008. The use of Tholos software for combining measures of mental workload : Toward theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods* 40, 4 (Nov. 2008), 988–1000. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.4.988>
- [9] Glen M. Doniger, Michal Schnaider Beerli, Alex Bahar-Fuchs, Amihai Gottlieb, Anastasia Tkachov, Hagar Kenan, Abigail Livny, Yotam Bahat, Hadar Sharon, Oran Ben-Gal, Maya Cohen, Gabi Zeilig, and Meir Plotnik. 2018. Virtual reality-based cognitive-motor training for middle-aged adults at high Alzheimer’s disease risk : A randomized controlled trial. *Alzheimer’s & Dementia : Translational Research & Clinical Interventions* 4 (2018), 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.trci.2018.02.005>
- [10] Orlando Erazo and José A. Pino. 2018. Predicting user performance time for hand gesture interfaces. *International Journal of Industrial Ergonomics* 65 (May 2018), 122–138. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.07.010>
- [11] Laura Freina and Michela Ott. 2015. A literature review on immersive virtual reality in education : state of the art and perspectives. *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education* 1 (2015), 133. <https://doi.org/10.1007/BF00398472>
- [12] Lex Fridman, Bryan Reimer, Bruce Mehler, and William T. Freeman. 2018. Cognitive Load Estimation in the Wild. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*. ACM Press, Montreal QC, Canada, 1–9. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174226>
- [13] Eija Haapalainen, SeungJun Kim, Jodi F. Forlizzi, and Anind K. Dey. 2010. Psycho-physiological measures for assessing cognitive load. In *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing - Ubicomp '10*. ACM Press, Copenhagen, Denmark, 301. <https://doi.org/10.1145/1864349.1864395>
- [14] Sandra G. Hart and Lowell E. Staveland. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of Empirical and Theoretical Research. In *Advances in Psychology*. Vol. 52. Elsevier, 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- [15] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, and Michael G. Lilienthal. 1993. Simulator Sickness Questionnaire : An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology* 3, 3 (July 1993), 203–220. [https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3)
- [16] Benjamin Lok, Samir Naik, Mary Whitton, and Frederick P. Brooks. 2003. Effects of Handling Real Objects and Self-Avatar Fidelity on Cognitive Task Performance and Sense of Presence in Virtual Environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 12, 6 (Dec. 2003), 615–628. <https://doi.org/10.1162/105474603322955914>
- [17] Alessio Malizia and Andrea Bellucci. 2012. The artificiality of natural user interfaces. *Commun. ACM* 55, 3 (March 2012), 36. <https://doi.org/10.1145/2093548.2093563>
- [18] Jessica L. Maples-Keller, Carly Yasinski, Nicole Manjin, and Barbara Olasov Rothbaum. 2017. Virtual Reality-Enhanced Extinction of Phobias and Post-Traumatic Stress. *Neurotherapeutics* 14, 3 (July 2017), 554–563. <https://doi.org/10.1007/s13311-017-0534-y>
- [19] Sharon Oviatt. 2006. Human-Centered Design Meets Cognitive Load Theory : Designing Interfaces that Help People Think. (2006).
- [20] Oskar Palinko, Andrew L. Kun, Alexander Shyrovkov, and Peter Heeman. 2010. Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications - ETRA '10*. ACM Press, Austin, Texas, 141. <https://doi.org/10.1145/1743666.1743701>
- [21] Ken Pfeuffer, Benedikt Mayer, Diako Mardanbegi, and Hans Gellersen. 2017. Gaze + pinch interaction in virtual reality. In *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction - SUI '17*. ACM Press, Brighton, United Kingdom, 99–108. <https://doi.org/10.1145/3131277.3132180>

- [22] Siddharth S. Rautaray and Anupam Agrawal. 2012. Vision based hand gesture recognition for human computer interaction : a survey. *Artificial Intelligence Review* 43, 1 (2012), 1–54. <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9356-9>
- [23] Garry Reid and Thomas Nygren. 1988. The subjective workload assessment technique : A scaling procedure for measuring mental workload. 52 (1988), 185–118.
- [24] John Sweller. 1988. Cognitive Load During Problem Solving : Effects on Learning. *Cognitive Science* 12, 2 (April 1988), 257–285. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)
- [25] Pamela S. Tsang and Velma L. Velazquez. 1996. Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics* 39, 3 (March 1996), 358–381. <https://doi.org/10.1080/00140139608964470>
- [26] Radu Daniel Vatavu and Christophe Chaillou. 2005. On natural gestures for interacting in virtual environments. *Advances in Electrical and Computer Engineering* (2005), 9.
- [27] Daniel Wigdor and Dennis Wixon. 2011. *Brave NUI world : designing natural user interfaces for touch and gesture*. Morgan Kaufmann, Burlington, Mass.
- [28] Johannes Zagermann, Ulrike Pfeil, and Harald Reiterer. 2016. Measuring Cognitive Load using Eye Tracking Technology in Visual Computing. In *Proceedings of the Beyond Time and Errors on Novel Evaluation Methods for Visualization - BELIV '16*. ACM Press, Baltimore, MD, USA, 78–85. <https://doi.org/10.1145/2993901.2993908>
- [29] Fan Zhang, Shaowei Chu, Ruifang Pan, Naye Ji, and Lian Xi. 2017. Double hand-gesture interaction for walk-through in VR environment. In *2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*. IEEE, Wuhan, China, 539–544. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2017.7960051>