

MANUSCRIPT REPORTS

PhD review report, English translation:
PROFESSOR STÉPHANE NATKIN

Report on the PhD thesis proposed by Mr. Remy Eynard for the degree of doctor of the
ENSAM ParisTech specialty Industrial Engineering, Design & Innovation

Author: Stéphane Natkin
Date 03/14/16

The thesis presented by Mr. Eynard lies in the field of psycho perceptive evaluation of human-machine interaction systems. More specifically it concerns the contribution to the user experience of verbal interaction in an immersive telepresence environment, of virtual reality type. The considered systems are defined as 3D Immersive Virtual Environments (3D-IVEs).

The thesis of 271 pages is compounds of an introduction, four chapters, a conclusion and four annexes. It is clear, well written and pleasant to read.

In the introduction Mr. Eynard start from the problem that is at the origin of his research:

“Do social interactions have an impact on user experience in virtual environments? “

The intuitive answer to this question is “probably yes”, because there is no reason to distinguish generally a classroom, a museum or a real agora from their virtual counterpart. This simple thought shows that the question is at the same time too broad and not written in the good way. Mr. Eynard therefore focuses his research on a specific and understudied type of interaction, verbal interaction. He therefore expresses in detailed way his research questions and objectives:

“Q1. Do vocal social interactions have an impact on user experience during the immersion of multiple users in a shared 3D-IVE?

- *Q.1.1: What are the measurable factors of user experience existing models?*
- *Q.1.2: is it possible to measure some of these factors objectively?*
- *Q.1.3: what are the components of vocal social interactions, induced stimulations and responses produced regarding to the interlocutor?*

Q. 2: Is the impact of social interactions highly subjected to the task nature, to the proposed activity?

- *O.1: Highlight levers related to vocal social interactions to setup to provide a good user experience in 3D IVEs. In order to do this, we will:*
- *O.2: Bring a better understanding of factors associated with vocal social interactions impacting user experience;*
- *O.3: Measure some user experience factors more objectively.”*

To address these issues and achieve his objectives Mr. Eynard needs an accurate and valid methodological framework. Much of the state of the art is devoted to this work:

- Social interaction under the eye of its verbal and nonverbal aspects,
- The study of social interactions in the context of virtual reality and a statement of fundamental concepts of this field of investigation.

- The user in virtual environment, in order to understand the links between interaction models and fundamental concepts of virtual reality.

Chapter 3 is based on this analysis to build the methodology used for the next step of the research. This one is based on user experience models successively proposed by Wu (Wanmin Wu , Ahsan Arefin , Raoul Rivas , Klara Nahrstedt , Renata Sheppard et Zhenyu Yang - 2009) and on an upgraded version by Pallot (Marc Pallot , Rémy Eynard , Benjamin Poussard , Olivier Christmann et Simon Richir - 2013). These models distinguish the Quality of Service (QoS) and Quality of (user) Experience (QoE) and in these objective and subjective frameworks analyzes factors that must be considered. Mr Eynard deduce from the study the types of measures that can be used to evaluate QoS and QoE factors.

Chapter 4 is the practical and experimental part of the thesis. Based on Minecraft, a video game having the characteristic of being at the boundary between game, toy, procedural storytelling and virtual experience field, Mr. Eynard built three experimental systems. He shows, like much research focused on interactivity, that it is an adapted tool to achieve his objectives.

Despite many experimental problems (technical among others), this work shows both the validity of the principle of the experiment and its implementation with respect to the objectives. Results open on the next experiments.

The objective of this second experiment is as follows:

“While retaining Minecraft for virtual environment, we decided to move from a collaborative task where both participants worked together on the same task, to a cooperative task in which one both participants would work each on a different part of the same building task asking for the success of each of them to accomplish the overall task”.

The environment of the new system takes into account problems encountered in the first evaluation. An iconic communication system (the emotional cubes) is also added.

“For this second experiment, the range of implemented measures consisted in subjective quantitative measures collected through a post experiment questionnaire, evolution of the one used in our first experiment. Of objective quantitative measures by observing performances with regard to the task to achieve, as well as by recording participants’ brain activity using EEG headset. Finally, subsequent to immersion sessions, a qualitative assessment by conducting focus groups.”

The statistical evaluation process is detailed together with the results of the experiments. The overall assessment shows the difficulties in using EEG headset. Mr Eynard attributes these difficulties to his lack of practice with these measurement systems, I am more skeptical in general about using bios metric sensors in emotional analysis. The overall analysis of the results, although conducted with a high rigor, shows the difficulty of this type of measurements.

“The main objective of our third experiment is to supplement the two previous quantitative experiments by obtaining qualitative results through focus groups. So, we changed our experimental protocol in order to let participants compare by themselves both experimental settings (with and without vocal communication) and both virtual environments (and tasks) previously used. We then defined three samples of participants. The first will live the experience in the first experiment environment (and will have two sessions, one in the context with voice and one without). The second sample will be immersed in the environment from the second experi-

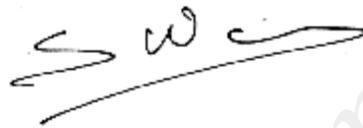
mentation and in the same way, will have two sessions, one for each context. Finally, the third sample will have four sessions, one for each virtual environment and in both cases, one for each context”.

The statistical work is carried out with the same precision, although the sample is lower. But what seems to me the most interesting in this context is the interest of “ethno-centric” approach to such problems.

Chapter 5 presents a summary of obtained results, summary that I would qualify of brilliant. This allows to conclude to provide answers, sometimes incomplete, but it is a research work, to raised questions.

I think that this thesis, in a very complex and inter disciplinary area, is exemplary in its methodological approach, in the inventiveness of the systems set up and in its experimental process. However, this point of view of a computer scientist should be reinforced by the opinion of a specialist in cognitive psychology.

For all these reasons I give a highly favorable recommendation for the defense of the thesis.



Stéphane Natkin, Professor at CNAM, head of the MIM team at CEDRIC,
director of the CNAM-Enjmin

Translated from French

MANUSCRIPT REPORTS

PhD review report, original version in French by:
PROFESSOR STÉPHANE NATKIN

Rapport sur la thèse proposée par Monsieur Remy Eynard pour obtenir le grade de docteur de Paris Tech ENSAM spécialité Génie Industriel, Conception Innovation

Auteur : Stéphane Natkin

Date 14/03/16

La thèse présentée par Monsieur Eynard se situe dans le domaine de l'évaluation psycho perceptive des dispositifs d'interaction homme-machine. De façon plus précise elle porte sur l'apport à l'expérience utilisateur de l'interaction verbale dans un environnement de télé présence immersif, de type réalité virtuelle. Les systèmes considérés sont définis comme des Environnements virtuels 3D temps réel immersifs (3D-IVEs).

La thèse de 271 pages est composée d'une introduction, quatre chapitres, une conclusion et quatre annexes. Elle est claire, bien rédigée et d'une lecture agréable.

Dans l'introduction Monsieur Eynard part du problème qui est à l'origine de sa recherche :

« Les interactions sociales ont elles un impact sur l'expérience utilisateur en environnements virtuels ? »

La réponse intuitive à cette question est « très probablement oui », car il n'existe pas de raison qui puisse distinguer de façon générale une classe, un musée ou une agora réels de leurs pendant virtuels. Ce raisonnement naïf montre que la question est à la fois trop vaste et mal posée. Monsieur Eynard concentre donc sa recherche sur un type d'interaction spécifique et peu traité, l'interaction verbale. Il formule donc de façon détaillée ses questions et objectifs de recherche :

« Q1 Les interactions sociales vocales ont-elles un impact sur l'expérience utilisateur lors de l'immersion de plusieurs utilisateurs dans un 3D-IVE partagé ?

- Q.1.1 : Quels sont les facteurs mesurables des modèles existants de l'expérience utilisateur ?*
- Q.1.2. est-il possible de mesurer certains de ces facteurs de manière objective ?*
- Q.1.3 : Quelles sont les composantes de l'interaction sociale vocale, les stimulations induites et les réponses produites vis-à-vis de l'interlocuteur ?*

Q.2 : L'impact des interactions sociales est il fortement soumis à la nature de la tâche, de l'activité proposée ?

— 0.1 : Mettre en exergue les leviers liés aux interactions sociales vocales à mettre en place pour offrir une expérience utilisateur satisfaisante dans les 3D-IVEs. Pour ce faire nous devons :

- 0.2 : Apporter une meilleure compréhension des facteurs liés aux interactions sociales vocales impactant l'expérience utilisateur ;*
- 0.3 : Mesurer certains facteurs de l'expérience utilisateur de manière plus objective. »*

Pour répondre à ces questions et atteindre ses objectifs Monsieur Eynard a besoin d'un cadre méthodologique précis et validé. La plus grande partie de l'état de l'art est consacrée à ce travail :

- L'interaction sociale sous ses aspects verbaux et non-verbaux,
- L'étude des interactions sociales dans le contexte de la réalité virtuelle ainsi qu'un exposé des concepts fondamentaux de ce champ d'investigation.
- l'utilisateur en environnement virtuel, afin de comprendre les liens entre des modèles d'interaction et les concepts fondamentaux de la réalité virtuelle

Le chapitre 3 s'appuie sur cette analyse pour construire la méthode utilisée dans la suite. Celle ci repose sur les modèles de l'expérience utilisateurs proposés successivement par Wu (Wanmin Wu , Ahsan Arefin , Raoul Rivas , Klara Nahrstedt , Renata Sheppard et Zhenyu Yang, 2009) et la version améliorée de Pallot (Marc Pallot , Rémy Eynard , Benjamin Poussard , Olivier Christmann et Simon Richir 2013). Ces modèles distinguent la Qualité de Services (QoS) et la Qualité de l'Expérience (utilisateur) (QoE) et dans ces cadres objectifs et subjectifs analysent les facteurs qui doivent être considérés. Monsieur Eynard en déduit les différents types de mesures qui peuvent être utilisés pour évaluer les facteurs de QoS et QoE.

Le chapitre 4 constitue la partie pratique et expérimentale du travail de thèse. S'appuyant sur Minecraft, jeu vidéo ayant pour caractéristique d'être à la limite entre le jeu, le jouet, la narration procédurale et le terrain d'expérience virtuelle, Monsieur Eynard construit trois dispositifs expérimentaux. Il montre, à l'instar de nombreux travaux de recherche portant sur l'interactivité, qu'il s'agit d'un outil adapté à ses objectifs.

Le chapitre présente ensuite les trois expériences

« La première expérimentation, nous proposons, grâce à la comparaison de deux contextes expérimentaux dont la seule différence réside dans la possibilité ou non de communiquer vocalement, de répondre à l'objectif suivant : observer, évaluer et enregistrer les éventuelles différences, variations entre ces deux contextes vis-à-vis des facteurs de l'expérience utilisateur que nous avons mis en exergue durant notre étude de la littérature, cela en utilisant les moyens de mesures proposés dans le chapitre méthodologie. »

Le dispositif expérimental est un environnement où les utilisateurs doivent atteindre certains objectifs (construction collaborative d'une statue virtuelle, puis la protéger...), avec ou sans communication verbale et sous la conduite d'un expérimentateur. Ils sont dotés d'un casque de RV et, selon la configuration, d'un casque et d'un micro. L'ensemble du dispositif est décrit en détail et les mesures et leurs évaluations le sont également.

Malgré les nombreux problèmes expérimentaux rencontrés (techniques entre autre), ce travail permet de montrer à la fois la validité du principe de l'expérience et de sa mise en œuvre par rapport aux objectifs visés. Les résultats ouvrent sur les expériences suivantes.

L'objectif de la seconde expérience est le suivant :

« Tout en conservant pour environnement virtuel Minecraft, nous avons décidé de passer d'une tâche collaborative où les deux participants travaillaient conjointement sur une même tâche, à une tâche coopérative où les deux participants travailleraient chacun sur une partie différente d'une même construction mais impliquant la réussite de chacun pour accomplir la tâche globale »

L'environnement du nouveau dispositif tient compte des problèmes rencontrés dans la première évaluation. Un dispositif de communication iconique (les cubes émotifs) est par ailleurs ajouté.

« Pour cette seconde expérimentation, la gamme de mesures mise en place était constituée de mesures quantitatives subjectives, recueillies grâce à un questionnaire post expérimentation, évolution de celui utilisé lors de notre première expérimentation. De mesures quantitatives objectives, par l'observation des performances à l'égard de la tâche à réaliser, ainsi que par l'enregistrement de l'activité cérébrale des participants par casque EEG. Enfin, postérieurement aux sessions d'immersion, d'une évaluation qualitative grâce à la conduite de groupe de discussion. »

Le processus d'évaluation statistique est détaillé ainsi que le résultat des expériences. Le bilan global montre les difficultés à utiliser l'EEG. Monsieur Eynard attribue cela à son manque de pratique de ces moyens de mesure, je suis plus sceptique de façon générale sur l'utilisation de capteurs bios métriques dans l'analyse de type émotionnelle. De façon générale l'analyse des résultats, bien que menée avec une très grande rigueur, montre la difficulté de ce type d'évaluation.

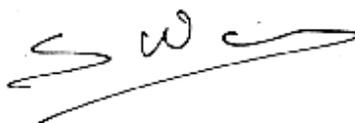
« L'objectif principal de notre troisième expérimentation est de compléter les deux expérimentations quantitatives précédentes par l'obtention de résultats qualitatifs au travers de groupes de discussions. Ainsi, nous avons modifié notre protocole expérimental de manière à ce que les participants soient en mesure de comparer eux-mêmes les deux contextes expérimentaux (avec et sans communication vocale) ainsi que les deux environnements virtuels (et tâches) précédemment utilisés. Nous avons alors défini trois échantillons de participants : le premier vivrait l'expérience dans l'environnement de la première expérimentation (et accomplirait deux sessions, l'une dans le contexte avec communication vocale puis sans. Le second échantillon serait immergé dans l'environnement de l'expérimentation 2 et de la même manière, ferait deux sessions, une pour chaque contexte. Pour finir, le troisième échantillon ferait lui quatre sessions, une pour chaque environnement virtuel et dans ces deux cas, pour chaque contexte. »

Le travail statistique est mené avec la même précision, bien que l'échantillon soit plus faible. Mais ce qui me semble le plus intéressant dans ce contexte, c'est l'intérêt d'une approche « ethno centrée » dans ce type de problèmes.

Le Chapitre 5 présente une synthèse, que je qualifierais de brillante, des résultats obtenus. Ce qui permet en conclusion d'apporter des réponses, parfois incomplètes, mais il s'agit d'un travail de recherche, aux questions posées

Je pense que cette thèse, dans un domaine complexe et très inter disciplinaire, est exemplaire dans son approche méthodologique, dans l'inventivité des dispositifs mis en place et le déroulé des expériences. Toutefois cet avis d'un informaticien doit être conforté par celui d'un spécialiste en psychologie cognitive.

Pour l'ensemble de ces raisons je donne un avis très favorable à la soutenance de cette thèse



Stéphane Natkin, Professeur du Cnam, responsable de l'équipe MIM au CEDRIC,
directeur du Cnam-Enjmin

MANUSCRIPT REPORTS

PhD review report, English translation:
PROFESSOR PIERRE CHEVAILLIER

Review of Mr. Rémy EYNARD's PhD thesis entitled *“Investigation of the impact of vocal social interaction on user experience in real-time 3D immersive environments”*.

The work presented by Mr. Rémy EYNARD is a contribution to the study of human behaviors in 3D immersive environments, and more especially regarding to their social interactions when performing a task. The thesis of Mr. Rémy EYNARD contains 205 numbered pages of main text, supplemented by 43 pages of annexes. It is divided into six chapters.

The first chapter of the thesis presents the motivations of the work and research questions that are articulated around the determinants of the user experience (UX) in the context of environments define as “real-time 3D immersive”; this denomination aggregates here online multi-player video games and potentially collaborative environments in virtual reality. The contribution of this thesis is focused on the impact of social relationships between users on the user experience and more specifically the impact of verbal communication. The main task is about identifying determinants and components of UX by highlighting what is depending on verbal interactions between users. The approach is based on the conceptual model of UX proposed by Wu et al. (2009) which connects components of the “quality of service” of the immersive system to the quality of the user experience. This model was extended by Pallot et al. (2013) in order to understand the relationship between UX and quality of experience; it constitutes the framework of the study presented in the thesis.

Chapter 2 constitutes the state of the art on which is built the study presented in the next chapter. The scope of this state of the art is wide. It first describes fairly superficial knowledge about social interactions between humans. Then it gets into issues typically addressed in virtual reality, namely the different facets of the concept of presence, with a focus on co-presence and social presence. The aim of the work is to link these concepts specific to the field of virtual reality and those that have developed around the concept of user experience, the latter having a very broad application spectrum. This ambition is absolutely rightful and relevant. The ambition of this state of the art brings Mr. Rémy EYNARD to deal with complex topics, especially regarding to social relations, which are each illustrated by numerous studies difficult to capture for a non-specialist and to faithfully transcribe in a few pages. This first section of the state of the art is certainly the most questionable because of several assertions that are not sufficiently supported by bibliographic references. The section about components of immersion and presence is more documented and convincing, even if here too, there are some undocumented assertions (e.g. “the more the users will experience fun, the more his presence (virtual) will increase”). The following section discusses the user experience. It presents in detail the reference framework of the proposed work here, the model of Wu et al. (2009), which address the issue of UX in the case of distributed interactive multimedia environments.

This model does the link between determinants of immersion (here called system Quality of Service) and the quality of the user experience. Then Mr. EYNARD describes a second model by Pallot et al. (2013) that relies on the one by Wu et al. This model differs in the UX roles of rational and experiential mental process. The model

identifies consequences of UX dimensions in terms of Quality of Experience (QoE) and identifies variables allowing its measurement (or definition). This model is partly based on the flow theory that some video game designers have taken to build their gameplay.

Mr. EYNARD concludes pertinently that the quality of the UX is multi-factorial and that factors are not independent. That quality of UX is inherently subjective, contextual and variable in time. Based on this state of the art, Mr. EYNARD hypothesizes about the potential role of verbal interactions in the quality of UX in collaborative immersive environments, depending on the type of task to perform.

Chapter 3 presents the methodology developed for the verification of hypotheses cited first in the introduction to the manuscript, and then justified by the study of the state of the art. The methodology is based on the combined use of subjective and objective methods, combining qualitative and quantitative analysis, which is very relevant, because of the complementary results that these methods can provide, and towards the subject studied. Here again the approach is ambitious and the proposal quite interesting; the methodological approach is very well summarized in table 3.2.

Chapter 4 presents the three experiments conducted by Mr. EYNARD that are adopting the methodology presented in Chapter 3. Most of the results are based on participants' answers to questionnaires whose development is presented in Chapter 3. This chapter begins by a very detailed description of the experimental system developed for the three experiments. For legitimate reasons, the choice was made to use a video game, Minecraft. This choice is relevant because it facilitates a potential reproduction of the empirical study and because activities that can be achieved in this kind of application have features that can be found in other immersive environments, including collaborative environments in virtual reality. However, compared to conventional applications of virtual reality, video games are very specific regarding to their modalities of interaction, avatars' representation and his aesthetic aspects, as well as its fundamentally playful dimension.

The first experiment sought to identify the impact of verbal communication between users on different components of the user experience. The same activity is offered to two groups of subjects, controlled condition is the ability to speak or not. In this first experiment, the task is collaborative in nature (approximate duration 25 minutes) and the user is equipped with a head-mounted display (Oculus Rift DK1). The analysis is focused on participants' answers to a post exposure questionnaire. Results are presented in great detailed way and a more summarized presentation would have in no doubt, greatly increased the reader's user experience. This experiment does not show any effect of verbal communication between participants on social presence. It highlights the known entanglement between the activity execution and cognitive and attentional processes employed by participants to coordinate their activities, including different forms of verbal communication. The function of these processes is in part to ensure mutual understanding between participants, that is essential for cooperation, using a variety of interpersonal communication vectors (see Tomasello, *The Ultra Social Animal*, European Journal of Social Psychology, 2014). Verbal communication has fostered the flow state (fun) and perceived (and effective) performance.

The second experiment was conducted to study the impact of the nature of the collective activity on the contribution of verbal communication on UX. Here participants performed a similar activity (but not identical) to the one of the first experiment, but cooperative (and not collaborative). The experiment had also aimed to assess the impact of emotion that the participant perceives from his partner. The protocol is therefore based on two controlled variables: the ability to communicate vocally and the symbolic expression of the emotional state of another. Participants were equipped with active stereoscopic glasses to replace the head-mounted displays used in the first experiment that had created discomfort and unease among many participants. The emotional state of participants was symbolized by a colored cube placed above their avatar and presenting a kind of emoticon. The emotion symbol displayed is selected based on physiological measurements taken on the user (heart rate and skin conductance level). The presentation of the experimental results follows exactly the same pattern as the

experiment 1, which considerably make the text heavier.

In the result analysis conducted Mr. EYNARD has considered as low the effect of the display of the emotional state, which is a logical conclusion: due to reliability issues regarding to the characterization of emotion (physiological sensors), to graphic representations and in the case of the condition with verbal communication, to the ability to convey the emotional state vocally. Overall, the possibility for participants to communicate verbally seems to have had less effect in this cooperative activity than in the first experiment.

The third experiment led by Mr. EYNARD had for objective to obtain information about the participants' feelings using focus groups. This subjective method promising for this type of analysis. Methodologically, this third experiment differs from the two previous ones: participants made the test for both conditions (with and without verbal communication). The protocol has three weaknesses: the low number of participants, the lack of counterbalance in the order of passage between the two conditions and the fact that pairs of participants knew their respective expertise on Minecraft. The first two points invalidate the statistical comparisons between conditions.

In chapter 5 of his manuscript, Mr. EYNARD puts into perspective results of these experiments. He concluded on the positive effect of verbal communication on the social presence. Regarding to the user engagement (flow), communication has no effect on perceived performance; it enhances the pleasure obtained from the experience (fun). He also found a minor effect of communication on the feeling of presence. Verbal communication has an impact on performance in a collaborative context and no effect in cooperative context. The chapter ends with figures and tables which are an excellent summary of the results of experiments.

In its general conclusion, in Chapter 6, Mr. EYNARD sums up his contribution by answering the research questions identified in Chapter 1. An advanced conclusion is that it is possible to measure all the components of experience users, which seems questionable, both on the operational and on the theoretical point of view. The analysis of the interdependence of factors has not been completely carried out and so it is also difficult to conclude definitively. Finally, we can question about the particularity of the context of the activity on the role of verbal communication: Play a building game in a video game environment by talking with her partner, is it different than playing this same building game in the real world? What could do that verbal communication as a specifically human tool and universal for cooperation, would play a different role than in other contexts? In these perspectives Mr. EYNARD mentions nonverbal components of communication, which raises the question of behavioral animation (at its wide meaning) of avatars for non-collocated systems; which is a relevant question.

In conclusion, Mr. Rémy EYNARD presents in his thesis a detailed study on the components of user experience in collaborative virtual environment (CVE) and an appropriate methodological approach. He has developed a significant expertise in the design of an experimental system for the evaluation of user experience. Part of his work is the design of an experimental system for studying behaviors of interacting users. CVEs are still not used a lot in practice, but it is likely that their use will continue to grow, in a similar logic than the current development of the teleconference. Also, is it essential to develop such analysis tools of users' activity.

After a careful reading of the manuscript, and for the reasons mentioned above, I give a favorable recommendation for the defense of the thesis of Mr. Rémy EYNARD, to obtain the degree of Doctor of the Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers in the specialty "Industrial Engineering - Design & Innovation".



Brest, April 7, 2016

Pierre CHEVALLIER, Professeur des Universités en informatique
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB),
Lab-STICC (UMR CNRS 6285), Brest, France

MANUSCRIPT REPORTS

PhD review report, original version in French by:

PROFESSOR PIERRE CHEVAILLIER



RÉVÉLATEUR D'INGÉNIEURS
DEPUIS 1961

Rapport sur le manuscrit de thèse de M. Rémy EYNARD, intitulé *“Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersifs”*.

Le travail présenté par M. Rémy EYNARD est une contribution à l'étude des comportements humains dans les environnements 3D immersifs, et plus particulièrement à leurs interactions sociales lors de la réalisation d'une tâche. Le mémoire de thèse de M. Rémy EYNARD comporte 205 pages numérotées de texte principal, complété par 43 pages d'annexes. Il est structuré en six chapitres.

Le premier chapitre du mémoire présente les motivations du travail et les questions de recherche qui s'articulent autour des déterminants de l'expérience utilisateur (UX) dans le cas des environnements dits « 3D temps-réels immersifs » ; cette dénomination regroupant ici les jeux vidéo en ligne multi-joueurs et, potentiellement, les environnements collaboratifs de réalité virtuelle. La contribution de cette thèse porte sur l'impact des relations sociales entre utilisateurs sur l'expérience utilisateur et plus précisément l'impact de la communication verbale. Il s'agit d'identifier les déterminants et les composantes de l'UX en mettant en exergue ce qui relève des interactions verbales entre utilisateurs. L'approche repose sur le modèle conceptuel de l'UX proposé par Wu *et al.* (2009) qui relie les composantes de la « qualité de service » du dispositif immersif à la qualité de l'expérience utilisateur. Ce modèle a été étendu par PALLOT *et al.* (2013) afin d'appréhender les relations entre UX et qualité de l'expérience ; il constitue le cadre de référence de l'étude présentée dans la thèse.

Le chapitre 2 constitue l'état de l'art sur lequel est bâtie l'étude présentée dans le chapitre suivant. Le champ couvert par cet état de l'art est vaste. Il traite tout d'abord de manière assez superficielle des connaissances sur les interactions sociales entre humains. Ensuite, il aborde les questions classiquement abordées en réalité virtuelle, à savoir les différentes facettes de la notion de présence, avec un focus sur la co-présence et la présence sociale. L'ambition du travail est de faire le lien entre ces notions spécifiques au domaine de la réalité virtuelle et celles qui sont développées autour de la notion d'expérience utilisateur, cette dernière ayant un spectre d'application très général. Cette ambition est tout à fait légitime et pertinente. L'ambition de cet état de l'art amène M. Rémy EYNARD à traiter de sujets complexes, notamment sur le sujet des relations sociales, qui font chacun l'objet de travaux très nombreux qu'il est difficile de s'appropriier par un non spécialiste et de retranscrire fidèlement en peu de pages. Cette première section de l'état de l'art est assurément la plus critiquable car plusieurs assertions ne sont pas suffisamment étayées par des références bibliographiques. La section sur les composantes de l'immersion et de la présence est plus documentée et convaincante, même si là aussi on y trouve quelques assertions non documentées (p. ex. « plus l'utilisateur éprouvera du plaisir, plus sa présence (virtuelle) augmentera »). La section suivante traite de l'expérience utilisateur. Elle présente de manière détaillée le cadre de référence du travail

proposé ici, le modèle de Wu *et al.* (2009) qui adresse la problématique de l'UX au cas des environnements multimédia interactifs distribués. Ce modèle fait le lien entre les déterminants de l'immersion (appelée ici qualité de service du dispositif) et la qualité de l'expérience utilisateur. Ensuite M. EYNARD présente le modèle de PALLOT *et al.* (2013) qui s'appuie sur celui de Wu *et al.* Ce modèle distingue dans l'UX les rôles des processus mentaux *rationnels* et *expérientiels*. Le modèle identifie les conséquences des dimensions de l'UX en termes de qualité de l'expérience et identifie les variables permettant de la mesurer (ou de la qualifier). Il repose en partie sur la théorie du *flow* que certains concepteurs de jeux vidéo ont repris pour la conception de leur gameplay.

M. EYNARD en conclut de manière pertinente que la qualité de l'UX est multi-factorielle et que les facteurs ne sont pas indépendants. Elle est par essence subjective, contextuelle et variable dans le temps. De cet état de l'art, M. EYNARD tire des hypothèses sur le rôle potentiel des interactions verbales dans la qualité de l'UX dans les environnements immersifs collaboratifs, en fonction du type de tâche à réaliser.

Le chapitre 3 présente la méthodologie développée pour la vérification des hypothèses formulées en introduction au manuscrit, et justifiée par l'étude de l'état de l'art. La méthodologie repose sur l'usage combiné de méthodes dites subjectives et objectives, combinant analyses qualitatives et quantitatives, ce qui est tout à fait pertinent, en raison de la complémentarité des résultats que ces méthodes peuvent fournir, et au regard de l'objet d'étude. Là aussi l'approche est ambitieuse et la proposition tout à fait intéressante ; elle est très bien résumée dans le tableau 3.2.

Le chapitre 4 présente les trois expérimentations conduites par M. EYNARD en adoptant la méthodologie présentée au chapitre 3. L'essentiel des résultats reposent sur les réponses des participants à des questionnaires dont l'élaboration est présentée au chapitre 3. Le présent chapitre commence par une description très détaillée du dispositif expérimental développé pour les trois expérimentations. Pour des raisons légitimes, le choix retenu est d'utiliser un jeu vidéo, *Minecraft*. Ce choix est pertinent car cela en fait une base reproductible et que les activités que l'on peut y réaliser ont des caractéristiques que l'on peut retrouver dans d'autres environnements immersifs, notamment les environnements collaboratifs de réalité virtuelle. Ceci dit, par rapport aux applications classiques de réalité virtuelle, le jeu vidéo est très spécifique dans ses modalités d'interaction, de représentation des avatars et dans ses choix esthétiques, de même que sa dimension fondamentalement ludique.

La première expérimentation cherche à identifier l'impact des communications verbales entre utilisateurs sur les différentes composantes de l'expérience utilisateur. La même activité est proposée à deux groupes de sujets, la condition contrôlée étant la possibilité de se parler ou non. Dans cette première expérimentation, la tâche est de nature collaborative (durée approximative 25 minutes) et l'utilisateur est équipé d'un visiocasque (*Oculus Rift DK1*). L'analyse porte sur les réponses des participants à un questionnaire post exposition. Les résultats sont présentés de manière très détaillée et une présentation plus synthétique aurait à n'en point douter, fortement augmenté l'expérience utilisateur du lecteur. Cette expérimentation ne fait pas apparaître d'effet de la communication verbale entre participants sur la présence sociale. Elle souligne l'intrication connue entre la réalisation de l'activité et les processus cognitifs et attentionnels mis en œuvre par les participants pour coordonner leur activité, dont différentes formes de communication verbale. La fonction de ces processus est en partie d'assurer l'intercompréhension entre participants, indispensable à la coopération, en ayant recours à divers vecteurs de communication inter-personnelle (voir TOMASELLO, *The Ultra Social Animal*, European Journal of Social Psychology, 2014). La communication verbale a favorisé le flow (amusement) et la performance perçue (et effective).

La seconde expérimentation a été conduite pour étudier l'impact de la nature de l'activité collective sur l'apport de la communication verbale à l'UX. Ici les participants ont réalisé une activité similaire (mais pas identique) à celle de la première expérimentation, mais de nature coopérative (et non collaborative). L'expérience avait aussi comme but d'évaluer l'impact de l'émotion que le participant perçoit chez son partenaire. Le protocole repose donc sur 2 variables contrôlées : la possibilité de communiquer oralement et l'expression symbolique de l'état émotionnel de l'autre. Les participants étaient équipés de lunettes stéréoscopiques actives en remplacement des visiocasques utilisés dans la première expérimentation qui avaient engendré inconfort et malaise chez de nombreux participants. L'état émotionnel des participants était symbolisé par un cube coloré placé au dessus de son avatar représentant une sorte d'émoticon. Le symbole de l'émotion affiché est sélectionné sur la base de mesures physiologiques prises sur l'utilisateur (fréquence cardiaque et niveau de conductance de la peau). La présentation de l'expérimentation et des résultats reprend exactement le même schéma que pour l'expérience 1, ce qui alourdit fortement le texte.

L'analyse des résultats conduit M. EYNARD à considérer comme faible l'effet de l'affichage de l'état émotionnel, ce qui constitue une conclusion logique : problème de fiabilité de la caractérisation de l'émotion (capteurs physiologiques), de représentation graphique et, dans le cas de la condition avec communication verbale, possibilité de véhiculer l'état émotionnel par la voix. Globalement, la possibilité offerte aux participants de communiquer verbalement semble avoir eu un effet moindre dans cette activité coopérative que lors de la première expérience.

La troisième expérience conduite par M. EYNARD avait pour but d'obtenir des informations sur le ressenti des participants en procédant à des groupes de discussions. Cette méthode subjective est en effet prometteuse pour ce type d'analyse. Sur le plan méthodologique, cette troisième expérience diffère des deux précédentes : les participants ont fait les passations pour les deux conditions (avec et sans communication verbale). Le protocole présente trois faiblesses : le faible nombre de participants, l'absence de contre-balancement de l'ordre de passage entre les deux conditions et le fait que les binômes de participants connaissaient leur expertise respective sur *Minecraft*. Les deux premiers points invalident les comparaisons statistiques entre les conditions.

Dans le chapitre 5 de son manuscrit, M. EYNARD met en perspective les résultats de ces différentes expérimentations. Il conclut sur l'effet positif de la communication verbale sur la présence sociale. Concernant l'engagement utilisateur (*flow*), la communication n'a pas d'effet sur la performance perçue ; elle améliore le plaisir tiré de l'expérience (amusement). Il conclut également à un effet mineur de la communication sur le sentiment de présence. La communication verbale a un effet sur la performance dans un cadre collaboratif et pas d'effet en contexte coopératif. Le chapitre se termine par des figures et tableaux qui constituent une excellente synthèse des résultats des expérimentations.

Dans sa conclusion générale, au chapitre 6, M. EYNARD résume sa contribution sous la forme de réponses aux questions de recherche identifiées dans le chapitre 1. Une des conclusions avancées est qu'il est possible de mesurer *tous* les facteurs déterminants de l'expérience utilisateur, ce qui paraît pour le moins discutable, à la fois sur la plan théorique qu'opérationnel. L'analyse de l'interdépendance entre les facteurs n'a pas été complètement menée et il est également difficile de conclure définitivement. Enfin, on peut s'interroger sur la particularité du contexte de l'activité sur le rôle des communications verbales : jouer à un jeu de construction dans un environnement de type jeu vidéo en parlant avec son partenaire, est-ce différent de jouer à ce même jeu de construction dans le monde réel ? Qu'est-ce qui pourrait faire que la communication verbale, en tant qu'outil spécifiquement humain et universel de coopération, y jouerait un rôle différent que dans les autres contextes ? Dans ces perspectives M. EYNARD mentionne les composantes non verbales de la communication, ce qui

soulève la question de l'animation comportementale (au sens large) des avatars pour les dispositifs non colocalisés ; ce qui est une question pertinente.

En conclusion, M. Rémy EYNARD présente dans sa thèse une étude approfondie sur les composantes de l'expérience utilisateur en environnement virtuel collaboratif (EVC) et une approche méthodologique adaptée. Il a développé une expertise appréciable dans la conception des dispositifs expérimentaux pour l'évaluation de l'expérience utilisateur. Une partie de son travail réside dans la conception d'un dispositif expérimental pour l'étude du comportement d'utilisateurs en interaction. Les EVC sont encore peu utilisés dans la pratique, mais on peut penser que leur usage ira en s'accroissant, dans une logique similaire au développement actuelle de la téléconférence. Aussi, est-il indispensable de développer de tels outils d'analyse de l'activité des utilisateurs.

Après une lecture approfondie du manuscrit, et pour les raisons mentionnées ci-dessus, je donne un avis favorable à la soutenance de la thèse de M. Rémy EYNARD, en vue de l'obtention du grade de docteur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, en spécialité « Génie industriel – Conception & Innovation ».



Brest, le 7 avril 2016
Pierre CHEVALLIER, Professeur des Universités en informatique
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB),
Lab-STICC (UMR CNRS 6285), Brest, France

DEFENSE REPORT

PhD defense report, English translation:

MR. THE JURY PRESIDENT SÉBASTIEN GEORGE

**DOCTORAL DEGREE
OF THE ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARTS ET METIERS**

**DEFENSE REPORT
(Decree of August 7, 2006)**

PhD thesis defended by: **Mr. EYNARD Rémy**
Specialty: Industrial Engineering
Date: April 29, 2016

Subject: **Investigation of the impact of vocal social interaction on user experience in 3D real-time immersive virtual environments.**

Mr. Rémy Eynard performed a remarkable presentation, very educational and offering a professional visual quality. He was able to report his work synthetically by highlighting the major contributions.

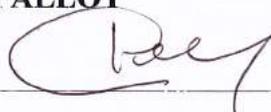
He showed his contribution to the evaluation of social interactions in the interdisciplinary field of virtual reality, including the establishment of a rigorous methodological approach. This important methodological contribution opens perspectives for further works in this area.

Mr. Rémy Eynard responded with determination and intelligence to the asked questions.

For all these reasons, the jury unanimously awarded him the degree of doctor of philosophy of the École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.

The École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers does not deliver distinctions.

Signatures of the jury members (Manuscript Reviewers and Examiners) - Underline the name of the jury president

Pierre CHEVAILLIER 	Olivier CHRISTMANN 	Sébastien GEORGE 
Guillaume MOREAU ABSENT	Stéphane NATKIN 	Marc PALLOT 
Simon RICHR 		

**DOCTORAL DEGREE
OF THE ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARTS ET METIERS**

OFFICIAL REPORT

April 29, 2016

We, jury members.

In execution of the decree of the 7 August 2006 concerning the Doctor of Philosophy degree, have done defend:

Mr. EYNARD Rémy

a thesis having for subject

**Investigation of the impact of vocal social interaction on user experience
in 3D real-time immersive virtual environments.**

and have declared him worthy of the title of:

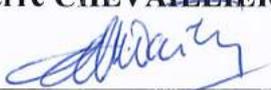
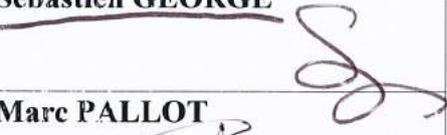
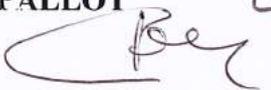
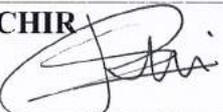
**DOCTOR OF THE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARTS ET METIERS**

Specialty: **Industrial Engineering**

The École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers does not deliver distinctions.

Bézier Award	Is the work unanimously suggested by jury members to be presented to the contest of the Pierre BEZIER thesis award*? (circle the correct answer) YES <input checked="" type="radio"/> NO
<i>It is reminded that this proposal should be accompanied by a brief report, distinct and complementary to the defense report prepared by the Jury President to support the decision.</i>	

Signatures of the jury members (Manuscript Reviewers and Examiners) - Underline the name of the jury president

Pierre CHEVAILLIER 	Olivier CHRISTMANN 	Sébastien GEORGE 
Guillaume MOREAU ABSENT	Stéphane NATKIN 	Marc PALLOT 
Simon RICHIR 		

* see article 3 of the award conditions regarding to the Pierre Bezier thesis award attached to the defense file.



Direction Générale

**ARTS
ET MÉTIERS**
ParisTech

151, boulevard de l'hôpital
75013 Paris
Tél. : + 33 (0)1 44 24 62 76
Fax : + 33 (0)1 44 24 63 26

**DOCTORAL DEGREE
OF THE ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARTS ET METIERS**

JURY OPINION ABOUT THE REPRODUCTION OF THE THESIS MANUSCRIPT

Date: April 29, 2016

First and last name of the thesis manuscript author:

Mr. EYNARD Rémy

Thesis manuscript title:

**Investigation of the impact of vocal social interaction on user experience
in 3D real-time immersive virtual environments.**

(circle selected answers)

Has the jury requested a change in the title of the thesis manuscript? If so, new title:	<input checked="" type="radio"/> No / <input type="radio"/> Yes
---	---

Reproduction of the defended thesis manuscript:

Thesis manuscript can be reproduced in the version reviewed by the jury?	<input checked="" type="radio"/> No / <input type="radio"/> Yes
Thesis manuscript can be reproduced with minor corrections suggested during the defense, under the control of the supervisor. <i>These corrections must be carried out and validated within 15 days after the defense of the PhD.</i>	No / <input checked="" type="radio"/> Yes
Thesis manuscript requiring major corrections to be made and to be validated by the member or members of the jury designated below: <i>These corrections must be carried out and validated within 2 months after the defense of the PhD.</i>	<input checked="" type="radio"/> No / <input type="radio"/> Yes
Confidential thesis that cannot be reproduced before (specify date): <i>(this provision must be specified at time of the submission of the application of defense and approved by the director of the doctoral school)</i>	<input checked="" type="radio"/> No / <input type="radio"/> Yes
Thesis that cannot be reproduced: reason	<input checked="" type="radio"/> No / <input type="radio"/> Yes

Sebastien GEORGE

The Jury President



DEFENSE REPORT

PhD defense report, original version in French by:

MR. THE JURY PRESIDENT SÉBASTIEN GEORGE



Direction Générale

ARTS
ET MÉTIERS
ParisTech

151, boulevard de l'hôpital

75013 Paris

Tél. : + 33 (0)1 44 24 62 76

Fax : + 33 (0)1 44 24 63 26

DIPLOME DE DOCTORAT
DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS

RAPPORT DE SOUTENANCE

(Arrêté du 07 août 2006)

Thèse soutenue par : **Monsieur EYNARD Rémy**

Spécialité : Génie Industriel

Date : 29 avril 2016

Sujet : Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersif
Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersif

Monsieur Rémy Eynard a effectué une présentation remarquable, très pédagogique et d'une qualité visuelle professionnelle. Il a su restituer son travail de façon synthétique en mettant en avant les contributions majeures.

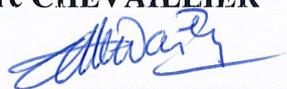
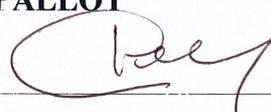
Il a montré son apport à l'évaluation des interactions dans le domaine interdisciplinaire de la réalité virtuelle, notamment par la mise en place d'une approche méthodologique rigoureuse. Cet apport méthodologique important ouvre des perspectives pour la poursuite de travaux dans ce domaine.

Monsieur Rémy Eynard a répondu avec détermination et intelligence aux questions qui lui ont été posées.

Pour toutes ces raisons, le jury unanimement lui décerne le grade de docteur de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.

L'École nationale supérieure d'arts et métiers ne délivre pas de mention.

Signatures des membres du jury (Rapporteurs et Examineurs) - Souligner le nom du Président du jury

Pierre CHEVAILLIER 	Olivier CHRISTMANN 	Sébastien GEORGE 
Guillaume MOREAU ABSENT	Stéphane NATKIN 	Marc PALLOT 
Simon RICHR 		



Direction Générale

**ARTS
ET MÉTIERS**
ParisTech

151, boulevard de l'hôpital

75013 Paris

Tél. : + 33 (0)1 44 24 62 76

Fax : + 33 (0)1 44 24 63 26

**DIPLOME DE DOCTORAT
DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS**

PROCES-VERBAL

29 avril 2016

Nous, membres du jury,

En exécution de l'arrêté du 07 août 2006 relatif au diplôme de Doctorat, avons fait soutenir à :

Monsieur EYNARD Rémy

une thèse ayant pour sujet

Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersif Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersif

et l'avons déclaré digne du titre de :

**DOCTEUR
DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS**

Spécialité : Génie Industriel

L'Ecole nationale supérieure d'arts et métiers n'attribue pas de mention.

Prix Bézier	Le travail est-il proposé à l'unanimité des membres du jury pour pouvoir être présenté au concours du prix de thèse Pierre BEZIER* ? (entourer la réponse correcte) OUI NON
<i>Il est rappelé que cette proposition doit être accompagnée d'un rapport succinct, distinct et complémentaire du rapport de soutenance, établi par le Président de Jury, pour étayer la décision</i>	

Signatures des membres du jury (Rapporteurs et Examineurs) - Souligner le nom du Président du jury

Pierre CHEVAILLIER 	Olivier CHRISTMANN 	Sébastien GEORGE
Guillaume MOREAU ABSENT	Stéphane NATKIN 	Marc PALLOT
Simon RICHIR 		

* cf. article 3 des conditions d'attribution du prix de thèse Pierre Bézier jointes au dossier de soutenance.



Direction Générale

**ARTS
ET MÉTIERS**
ParisTech

151, boulevard de l'hôpital

75013 Paris

Tél. : + 33 (0)1 44 24 62 76

Fax : + 33 (0)1 44 24 63 26

**DIPLOME DE DOCTORAT
DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS**

AVIS DU JURY SUR LA REPRODUCTION DE LA THÈSE SOUTENUE

Date : 29 avril 2016

Nom et prénom de l'auteur de la thèse :

Monsieur EYNARD Rémy

Titre de la thèse :

Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersif
Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersif

(Entourer les réponses sélectionnées)

Le jury a-t-il demandé une modification dans le titre de la thèse Si oui, nouveau titre :	<input checked="" type="radio"/> Non / <input type="radio"/> Oui
--	--

Reproduction de la thèse soutenue :

Thèse pouvant être reproduite en l'état	<input checked="" type="radio"/> Non / <input type="radio"/> Oui
Thèse pouvant être reproduite moyennant des corrections mineures suggérées pendant la soutenance, sous le contrôle du directeur de thèse <i>Ces corrections devront impérativement être effectuées et validées dans les 15 jours suivant la soutenance de la thèse</i>	Non / <input checked="" type="radio"/> Oui
Thèse nécessitant des corrections importantes à réaliser et à faire valider par le ou les membres du jury désignés ci-dessous : <i>Ces corrections devront impérativement être effectuées et validées dans les 2 mois suivant la soutenance de la thèse</i>	<input checked="" type="radio"/> Non / <input type="radio"/> Oui
Thèse confidentielle ne pouvant être reproduite avant (<i>préciser la date</i>) : <i>(cette disposition doit avoir été précisée au moment du dépôt de la demande de soutenance et validée par le directeur de l'école doctorale)</i>	<input checked="" type="radio"/> Non / <input type="radio"/> Oui
Thèse ne pouvant être reproduite : motif	<input checked="" type="radio"/> Non / <input type="radio"/> Oui

Sébastien GEORGE

Le Président du Jury



SIRET : 197 534 720 00010 • APE : 8542 Z