



HAL
open science

Livrable 1.3.4 du projet UnitedVR : état de l'art sur la présence, l'immersion, la co-présence et l'incarnation en jeu vidéo et réalité mixte

Tifanie Bouchara Bouchara, Yujiro Okuya

► To cite this version:

Tifanie Bouchara Bouchara, Yujiro Okuya. Livrable 1.3.4 du projet UnitedVR : état de l'art sur la présence, l'immersion, la co-présence et l'incarnation en jeu vidéo et réalité mixte. [Interne] Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM); CEDRIC laboratory. 2020. hal-03158860

HAL Id: hal-03158860

<https://hal.science/hal-03158860v1>

Submitted on 13 Mar 2021

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.



L1.3.4

Etat de l'art sur la présence,
l'immersion, la co-présence et
l'incarnation en jeu vidéo et réalité
mixte

le **cnam**
cedric

| | |
|-------------|----------------------------------|
| Livrable | 1.3.4 |
| Version | 1.0 |
| Date | 30/09/2020 |
| Responsable | CNAM-CEDRIC |
| Auteurs | Tifanie Bouchara et Yujiro Okuya |
| Pages | 108 |

| | |
|---|----------------|
| L1.3.4_UnitedVR | |
| Date : 30/09/2020 | Page 1 sur 108 |
| Sauf autorisation écrite, toute reproduction ou utilisation à des fins différentes de celles pour lesquelles il a été créé est strictement interdite. | |

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 1 |
| 1 Présence | 1 |
| 1.1 Définitions | 1 |
| 1.1.1 Illusion de non-médiation | 1 |
| 1.1.2 Sensation d'être là | 1 |
| 1.1.3 Modèles, dimensions de la présence et termes liés | 2 |
| 1.2 Méthodes d'évaluation de la sensation de présence | 2 |
| 1.2.1 Mesures subjectives | 2 |
| 1.2.2 Mesures objectives | 9 |
| 1.2.3 Validité des tests et fiabilité des mesures | 13 |
| 1.3 Facteurs d'influence | 14 |
| 1.3.1 Facteurs liés au système et modes de restitution | 14 |
| 1.3.2 Facteurs liés au contenu et aux émotions | 16 |
| 1.3.3 Facteurs internes liés aux joueurs-utilisateurs | 17 |
| 1.3.4 Facteurs externes : accueil des participants et introduction avant l'expérience de jeu | 18 |
| 1.3.5 Priorité des facteurs d'influence | 19 |
| 2 Immersion | 22 |
| 2.1 Définitions de l'immersion | 22 |
| 2.2 Mesures de l'immersion | 24 |
| 2.2.1 Mesures subjectives de l'immersion | 24 |
| 2.2.2 Mesures objectives spécifiques à l'immersion | 24 |
| 2.3 Facteurs d'influence | 26 |
| 3 Présence sociale et co-présence | 27 |
| 3.1 Définition(s) | 27 |
| 3.1.1 Présence sociale | 27 |
| 3.2 Mesures de la co-présence | 30 |
| 3.2.1 Evaluations subjectives | 30 |
| 3.2.2 Evaluations objectives | 32 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.3 | Facteurs d'influence de la sensation de co-présence | 34 |
| 3.3.1 | Effet de la tendance à l'immersion et autres traits de caractères sur la co-présence | 34 |
| 3.3.2 | Incarnation simulée ou réels des autres avatars | 35 |
| 3.3.3 | Effet de l'apparence et du comportement des avatars sur la co-présence | 35 |
| 3.3.4 | Impact de la communication sur la co-présence | 36 |
| 4 | Présence de soi et incarnation | 37 |
| 4.1 | Définitions | 37 |
| 4.2 | Mesures de l'incarnation | 37 |
| 4.2.1 | Mesures subjectives spécifiques à l'incarnation | 37 |
| 4.2.2 | Mesures objectives spécifiques à l'incarnation | 38 |
| 4.2.3 | Limites des mesures de l'incarnation : il faut susciter le sentiment d'incarnation | 39 |
| 4.3 | Facteurs d'influence | 40 |
| 4.3.1 | Facteurs liés à la synchronicité visuo-motrice de l'animation | 41 |
| 4.3.2 | Facteurs liés à la représentation visuelle du corps | 42 |
| 4.3.3 | Rôle de l'audio et de la perception multisensorielle dans la sensation d'incarnation | 45 |
| 4.3.4 | Influence rétroactive de l'incarnation sur le comportement | 46 |
| A | Modèle de questionnaires de présence en français | 48 |
| A.1 | Questionnaire extraite de [Bouvier, 2009] | 48 |
| B | Modèles de questionnaires de co-présence et présence sociale | 58 |
| B.1 | Annexe - questionnaire de Co-présence de [Slater et al., 2000] | 59 |
| B.2 | Annexe - Questionnaire de Co-présence de [Bailenson et al., 2005] | 61 |
| B.3 | Annexe - Questionnaire de Co-présence de [Basdogan et al., 2000] | 62 |
| B.4 | Annexe - Questionnaire de Co-présence de [Nowak and Biocca, 2003] | 63 |
| B.5 | Annexe - Questionnaire de Présence Sociale de [Kreijns et al., 2007] | 65 |
| B.6 | Annexe - Questionnaire de Présence Sociale from [Biocca et al., 2001] | 66 |
| B.7 | Annexe - Social Presence Gaming Questionnaire (SPGQ) de [de Kort et al., 2007] | 68 |
| B.8 | Annexe - Competitive and Cooperative Presence in Gaming Questionnaire (CC-PIG) from [Riva et al., 2014] | 69 |
| C | Modèles de questionnaires de l'incarnation | 71 |
| C.1 | Annexe - questionnaire du sentiment d'incarnation par [Botvinick and Cohen, 1998] | 72 |
| C.2 | Annexe - Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ) par [Roth and Latoschik, 2020] | 72 |
| D | Modèles de questionnaires sur les traits de personnalité | 74 |
| D.1 | Annexe - Immersive Tendency Questionnaire (ITQ) de [Witmer and Singer, 1998] | 75 |
| D.2 | Annexe - UCLA Loneliness Scale de [Russell et al., 1978] | 77 |
| D.3 | Annexe - Tâche d' 'Inclusion' of the Other in the Self (IOS) [Aron et al., 1992] | 78 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| D.4 | Annexe - Big Five Inventory questionnaire (BFI) de [John et al., 1999] | 79 |
| E | Modèles de questionnaires de l'expérience de jeu | 81 |
| E.1 | Annexe - Game Experience Questionnaire de [Poels et al., 2007] | 82 |
| E.2 | Annexe - Game Player Experience of Need Satisfaction (PENS) de [Ryan et al., 2006] | 86 |
| E.3 | Annexe - Gameful Experience Scale (GAMEX) de [Eppmann et al., 2018] | 87 |
| E.4 | Annexe - Game Engagement Questionnaire (GEQ) de [Brockmyer et al., 2009] . . | 88 |

Introduction

Le projet UnitedVR a pour but de promouvoir et de développer des jeux vidéos multi-joueurs multi-sites en réalité virtuelle. Au sein de ce projet, notre objectif est d'optimiser l'**expérience de jeu** (UX pour User eXperience) et le plaisir ressenti par les joueurs lors d'une partie avec de tels jeux VR. Ainsi, ce rapport vise d'une part à déterminer les dimensions majeures de l'expérience de jeu en VR auxquelles il faudra prendre soin pour favoriser l'UX, et d'autre part, à proposer des méthodes d'évaluation de chacune de ces dimensions puis de l'UX globale afin d'évaluer, au final, les jeux mis en place dans le cadre du projet. Pour cela nous nous concentrerons sur des dimensions déjà bien établies comme favorisant à la fois l'UX de systèmes VR (qu'il s'agisse de jeux ou non), et l'expérience de jeu (qu'il s'agisse de jeux VR ou non).

C'est le cas notamment de la présence et de l'immersion. En effet, une des principales raisons pour jouer à des jeux vidéos est le plaisir d'être immergé dans un autre univers. Des concepts tels que la *présence spatiale* ou le *flow*, permettent alors de décrire le **degré d'immersion** ressentie dans cet univers virtuel, et représentent donc des facteurs importants dans la mesure de l'**expérience de jeu**. Au coeur des mesures de l'UX en VR [Tcha-Tokey et al., 2016a], ces dimensions sont également pleinement prises en compte dans des modèles et questionnaires de l'expérience de jeu tels que le PENS (Player Experience of Need Satisfaction [Ryan et al., 2006]), le GEQ (Game Experience Questionnaire [IJsselsteijn et al., 2013]) ou encore le PXI (Player eXperience Inventory [Abeele et al., 2020]), corrélés avec l'expérience globale de jeu d'après l'étude de [Johnson et al., 2018]. La présence et l'immersion (respectivement chapitre 1 et chapitre 2) sont par ailleurs des facteurs essentiels à l'évaluation de l'UX dans les expériences VR en général [Tcha-Tokey et al., 2016b].

De même, le projet UnitedVR vise le jeu à plusieurs ; où chacun est représenté par un avatar virtuel qu'il contrôle. Nous nous intéresserons donc également aux sensations connexes à celles de présence, à savoir la sensation de **présence sociale**, encore appelée co-présence (chapitre 3) qui concerne la sensation de partager l'univers avec les autres joueurs, et à celle de **présence de soi** (*self-presence*) qui fait référence à la sensation d'**incarner** son avatar (chapitre 4).

Pour chacune de ces notions, les facteurs d'influence et les différentes possibilités de mesures seront présentées puis étudiées dans le contexte du projet UnitedVR.

Index terms — réalité virtuelle, jeux vidéos, UX, présence, immersion, co-présence, incarnation, mesures subjectives, mesures objectives, facteurs d'influence

1- Présence

1.1 Définitions

La **présence** n'est pas encore définie de façon unanime au sein de la communauté scientifique et plusieurs définitions sont utilisées en fonction des études. Dans tous les cas, la présence est définie comme un **état psychologique** au même titre que l'état de *flow* avec lequel il est parfois confondu. On parle également parfois de **sentiment de présence**. Comme tout sentiment, la présence est donc par nature une expérience subjective, vécue consciemment et dépendante de facteurs internes et externes à l'utilisateur.

Pour des revues de littérature concernant les définitions de la présence et les concepts associés, on pourra se référer à [Skarbez et al., 2017, Khenak, 2020].

1.1.1 Illusion de non-médiation

La présence est parfois définie comme « l'illusion perceptive de non-médiation » [Lombard, 2015]. Ou, pour reprendre, l'état psychologique dans lequel des objets virtuels (authentiques ou artificiels) sont interprétés comme de vrais objets à la fois d'un point de vue sensoriel et cognitif [Lee, 2006]. Autrement dit un participant fait l'expérience de la présence, lorsqu'il ne parvient pas à percevoir ou à reconnaître que l'environnement lui est présenté par le biais d'un type de média (par exemple, la télévision, les HMD).

1.1.2 Sensation d'être là

La définition la plus courante du sentiment de présence est le « **sentiment d'être là** », dans un endroit ou un environnement (c'est-à-dire un environnement virtuel) même lorsque l'on est physiquement situé dans un autre [Witmer and Singer, 1998]. Cette définition reprend alors la définition du concept de **téléprésence** [Draper et al., 1998]. Pour certains cette définition s'apparente à une seule des dimensions de la présence [IJsselsteijn et al., 2000], à savoir la **présence spatiale**. Ce sentiment de présence spatiale apparaît quand la perception de l'utilisateur ne lui permet plus ou pas totalement de distinguer si l'environnement est réel ou généré par un système de simulation de réalité virtuelle. Dans cette vision de la présence en plusieurs dimensions, il convient de distinguer la présence spatiale de la **présence sociale** et de la **présence de soi** [Khenak, 2020].

La **présence sociale** est définie comme la capacité d'un médium à faire en sorte que les utilisateurs perçoivent la présence des autres [Fulk et al., 1987], ou pour reformuler, cela fait référence au degré selon lequel un utilisateur évalue une sensation de présence humaine et de sociabilité possible pendant qu'il interagit avec le médium. La **présence de soi** fait référence à la « sensation que son corps fasse parti de cet environnement » et à la conscience qu'à l'utilisateur de son identité dans l'environnement virtuel.

Le présent chapitre s’attarde sur la présence au sens de présence spatiale, tandis que la présence sociale et la **co-présence** seront abordées au cours d’un chapitre dédié (cf chapitre 3). La présence de soi, liée au concept d’**incarnation**, sera présentée au chapitre 4.

1.1.3 Modèles, dimensions de la présence et termes liés

Du fait que la définition de la présence n’est pas standardisée, de nombreux termes y sont rattachés apportant ainsi des légères distinctions dans les dimensions ou composantes de la présence, voire des colorations différentes de cette dernière. Plusieurs modèles de la présence ont ainsi émergés.

Par exemple, pour Mel Slater [Slater, 2009], la présence peut être séparée en deux éléments principaux :

- l’illusion de lieu (*place illusion*) qui décrit la sensation d’être dans un endroit spécifique (« sensation d’être là ») et qui correspond à la présence spatiale ;
- et l’illusion de crédibilité de l’expérience (*plausibility illusion*) qui décrit la crédibilité du système à restituer un scénario que l’utilisateur perçoit comme ayant vraiment lieu.

Dans une vision préalable de la présence, Slater and Wilbur [Slater and Wilbur, 1997] distinguait le contexte de l’immersion : le contexte indique à quel point le contexte du jeu et la narration du scénario virtuel sont convaincants pour l’utilisateur, tandis que l’immersion fait ainsi référence aux aspects techniques pour fournir suffisamment d’informations sensorielles au système perceptif de l’utilisateur (par exemple une bonne imagerie stéréoscopique en haute résolution et une fréquence d’images appropriée).

Pour [Ryan et al., 2006], il convient de séparer la présence physique (sentiment d’être là), de la présence émotionnelle (sentiment que les événements du jeu ont une charge émotionnelle réelle) et de la présence narrative (sentiment d’investissement et d’engagement personnel).

1.2 Méthodes d’évaluation de la sensation de présence

L’absence d’une définition unique acceptée par l’ensemble de la communauté et la nature subjective des définitions de la présence entraînent des difficultés à quantifier la présence d’un participant dans un univers virtuel. Les premières mesures de présence étudiées étaient des questionnaires post-immersion. Ceux-ci posaient directement à l’utilisateur des questions sur leur ressenti de la présence ou des facteurs liés à la présence. Dans un effort pour créer des mesures plus objectives, des méthodes physiologiques et comportementales (liées aux performances ou non) ont été introduites. Différentes revues de littérature référencent ces trois types de mesures [INSKO, 2003, Laarni et al., 2015], la plus récente étant celle de Simone Grassini et Karin Laumann en 2020 [Grassini and Laumann, 2020]. Le reste de cette section présente ces trois types de mesures de la présence ou de ses composantes, en s’attardant plus spécifiquement sur les exemples liés au jeu vidéo, et introduit des conseils sur les mesures à utiliser dans le cadre du projet UnitedVR et des jeux en VR de manière générale.

1.2.1 Mesures subjectives

Les mesures subjectives sont généralement basées sur l’auto-évaluation, c’est-à-dire que les participants sont invités, sous différentes formes, à faire part de leur ressentis. Cela peut-être des questionnaires dits *post-hoc* administrés après l’exposition à la RV ; des notes d’auto-évaluation sollicitées pendant l’exposition VR ; des commentaires libres verbaux ou écrits de l’expérience qualitative de présence ; ou des paradigmes d’estimation / d’appariement de l’ampleur psychophy-

sique. Malgré certaines limites décrites plus tard dans cette section, l’approche la plus courante reste de mesurer la présence via des questionnaires.

Les approches subjectives présentent de nombreux avantages car elles sont peu coûteuses et ne requièrent pas d’instruments de mesure spécifiques comme pour les mesures physiologiques décrites ensuite ; elles sont faciles à administrer et ne demandent pas une préparation antérieure des participants ; enfin, elles sont compatibles avec tout type d’équipement VR ou d’environnement virtuel. Enfin, elles peuvent être utilisées pour évaluer l’expérience de jeux dans des jeux vidéo qui ne seraient pas en VR.

Mesures via des questionnaires

Au départ, les questionnaires étaient typiquement des questionnaires papier-crayon que les participants remplissaient juste après l’expérience de VR. Depuis quelques années, certains questionnaires sont intégrés directement dans l’expérience VR [Schwind et al., 2019].

Divers questionnaires ont vu le jour, proposant différentes façons de poser les questions ou variant dans le type de questions posées et le sujet des questions. Une partie des questionnaires évalue la présence selon plusieurs composantes (par exemple présence spatiale, immersion, attention, présence sociale...). Les questions sont généralement posées sous forme d’échelle de Likert. Ainsi, on propose une série d’affirmations au participant de l’étude. Chaque item prend la forme d’une affirmation à noter sur une échelle entre « cela me correspond totalement » à « cela ne me correspond pas du tout » (Exemple : « *J’ai apprécié me sentir plonger dans l’environnement virtuel* → *d’accord 1 2 3 4 5 pas d’accord* »). Il est recommandé (par Likert lui même) qu’un même concept soit évalué par plusieurs items. La fiabilité du questionnaire, en termes de cohérence interne du test, est alors mesurée par le critère alpha de Cronbach pour vérifier la corrélation entre les différents items [Cronbach, 1951]. Parfois certaines questions sont formulées sous forme d’échelle sémantique différentielle : on oppose deux adjectifs à chaque extrémité d’une échelle au lieu de demander l’accord de la personne comme dans les questions sous style Likert (Exemple : « *En voyant le clown arrivait je me suis sentie* → *triste 1 2 3 4 5 joyeuse* »).

Quelles questions poser ?

La question des critères d’évaluation dans un questionnaire a animé la communauté scientifique depuis de nombreuses années. C’est une question centrale qui permet à la fois d’évaluer l’expérience de présence ou de VR en tant que telles, mais qui aide aussi à définir ce qu’est la présence et les nombreux critères (aussi appelés facteurs ou dimensions dans la littérature) dont elle dépend.

Plusieurs questionnaires ont été proposés dans la littérature. En 2004, [van Baren and IJsselsteijn, 2004] répertoriait déjà 28 questionnaires. Il est possible de n’extraire de ces questionnaires que certains éléments et de combiner plusieurs questionnaires ou parties de plusieurs questionnaires. Rosakranse dénombrait, en 2014, 5 questionnaires canoniques devenus des standards à partir desquels sont formés les autres questionnaires. Ces questionnaires sont le questionnaire **SUS** (Slater, Usoh et Steed) [Slater et al., 1994], le questionnaire **PQ** [Witmer and Singer, 1998], l’**IPQ** (Igroup Presence Questionnaire) [Schubert and Regenbrecht, 2001], l’**ITC-SOPI** (ITC-Sense of Presence Inventory) [Lessiter et al., 2001] et le **TPI** (Temple Presence Inventory) [Lombard et al., 2011]. La revue de littérature [Hein et al., 2018] a également permis de montrer que, sur 41 études de présence analysées, 93% reposait sur seulement 8 questionnaires (les 5 précédents + le **MEC-SPQ** [Vorderer et al., 2004]) et que le questionnaire le plus utilisé est le PQ [Witmer and Singer, 1998].

Ces questionnaires diffèrent par la définition de la présence évaluée, les dimensions supposées d’influence et leurs définitions, le nombre de questions posées, la forme (différentiel sémantique

ou likert) et éventuellement le score calculé au final. Ces questionnaires sont donc plus ou moins sensibles aux différences de présence, plus ou moins fiables (leur fiabilité est toujours avérée), et surtout plus courants que d'autres. Il est également à noter qu'à cause des différences de conception de ces questionnaires, les résultats de deux études n'utilisant pas le même questionnaire sont plus difficiles à comparer [Nilsson et al., 2016].

Nous remarquerons qu'il arrive régulièrement que différentes mesures de présence, c'est-à-dire différents items issus de différents questionnaires soient combinés pour aborder les éléments qui semblent les plus pertinents à chaque cas d'usage. De même il arrive que les questions liées purement à l'immersion et la présence soient combinées à d'autres critères d'évaluation selon le sujet de l'étude. Généralement cela concerne l'expérience de jeu globale (PENS [Rigby and Ryan, 2007] ou GEQ [Jsselsteijn et al., 2013]) mais des fois, il peut s'agir d'évaluer d'autres critères moins courant. Par exemple, l'étude de [Liszio et al., 2017a], qui cherche à déterminer comment la présence d'autres joueurs (ou PNJ) influence l'expérience de jeu globale, mesure aussi la sensation de solitude et la cohésion d'équipe. Dans un autre exemple [Krekhov et al., 2017], des questionnaires concernant directement le design du contrôleur sont administrés. Enfin il est très courant que des questions « maison » soient ajoutées pour aborder des critères spécifiques de l'étude qui n'auraient pas été évaluées par les questions courantes des tests traditionnels. Par exemple dans [Krekhov et al., 2017], trois items ont été ajoutées pour questionner la sensation d'authenticité du questionnaire.

Quels sont les questionnaires standards ?

Ce paragraphe présente une courte description des questionnaires les plus connus ou les plus récents. Les questions et leur tournure sont présentées en annexe quand cela est rendu possible.

Questionnaire de Slater, Utoh et Steed (SUS), 1994

Ce questionnaire est le premier questionnaire à évaluer la sensation de présence au sens de présence spatiale (« sentiment d'être là »). Réalisé par Slater, Utoh et Steed en 1994 [Slater et al., 1994], il est composé de 3 questions sur échelle sémantique différentielle notée de 1 à 7. Le score de présence obtenu correspond alors au nombre de questions ayant obtenues la note de 6 ou 7. Les questions concernent :

- le sentiment d' »avoir effectivement été là » dans l'environnement virtuel ;
- à quel point il y a eu des moments où l'expérience du monde généré par ordinateur est devenue la réalité dominante pour les utilisateurs, de sorte qu'ils ont oublié le monde extérieur ;
- dans quelle mesure les utilisateurs se souviennent du monde généré par ordinateur comme « quelque chose qu'ils avaient vu » ou « comme un endroit qu'ils avaient visité plus tôt ».

La validité de ce questionnaire est reconnue mais il n'est pas très sensible. Par exemple dans [Nunez and Blake, 2003], le SUS ne permettait pas d'établir une différence de sensation de présence entre 2 conditions de résolution d'images, là où un autre questionnaire (le Presence Questionnaire décrit dans le paragraphe suivant) y parvenait.

A noter, que l'acronyme SUS peut vouloir dire autre chose en UX, puisque c'est aussi le nom donné au questionnaire d'utilisabilité **System-Usability Scale (SUS)** [Brooke, 1996] dont les questions sont parfois posées en complément des questions sur la présence dans les questionnaires d'UX plus généraux (exemple GUESS [Phan et al., 2016]).

Presence Questionnaire (PQ), 1998

Le Presence Questionnaire (PQ) a été proposé en 1998 [Witmer and Singer, 1998] sur la base de travaux théoriques antérieurs de Sheridan [Sheridan, 1992]. Ce dernier avait ainsi déterminé

trois grandes catégories de facteurs sous-jacents de présence : informations sensorielles, contrôle des capteurs, contrôle moteur. Le PQ est ainsi un questionnaire à 32 éléments, fondés sur trois sous-échelles : implication / contrôle (*possibility to act*), naturel (*realism*) et qualité de l'interface (*quality of interface*). Les réponses se font via des échelles de Likert à 7 niveaux. Bien qu'il ait été critiqué pour une définition trop subjective des facteurs évalués et le faible nombre d'éléments mesurant réellement la présence [Slater, 1999, Schubert and Regenbrecht, 2001], le PQ est actuellement le questionnaire le plus usité et le plus cité sur Google Scholar par exemple. Une version franco-qubécoise de ce questionnaire a été proposée (Questionnaire sur l'État de Présence (QÉP) [Robillard et al., 2002].

Igroup Presence Questionnaire (IPQ), 2001

Le Igroup Presence Questionnaire (IPQ) est un des questionnaires les plus fiables selon la littérature. Conçu par Shubert et al [Schubert and Regenbrecht, 2001] il a en effet été testé au travers de 2 études, regroupant ainsi plus de 500 participants. D'abord créé en allemand, il a été ensuite validé en anglais et hollandais. Ce questionnaire est souvent mentionné comme complet car il est constitué de questions récupérées dans de précédents questionnaires, à savoir le Presence Questionnaire [Witmer and Singer, 1998] et le SUS [Slater et al., 1994]. Il est constitué de 14 questions qui abordent trois dimensions de la présence : la présence spatiale, l'implication (l'attention dédiée à l'environnement virtuel et l'engagement ressenti) et le jugement du réalisme de l'environnement virtuel. De plus, dans une version mise à jour, une question supplémentaire sur la présence générale et ne faisant donc pas partie des 3 dimensions précédentes a été ajoutée. Ce questionnaire est parfois critiqué [Bouvier, 2009] pour la tournure trop directe de ces questions qui oblige les participants à interpréter du vocabulaire complexe comme par exemples : « *J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir sur un quelconque mécanisme à l'extérieur de celui-ci.* » ou « *Je ne me suis pas senti présent dans l'espace virtuel* » .

ITC-Sense of Presence Inventory, 2001

L'ITC-SoPI (ITC-Sense of Presence Inventory) [Lessiter et al., 2001] contient 44 items pour évaluer la présence selon 4 sous-échelles :

- Présence physique : indique « une sensation d'être physiquement dans l'environnement médiatisé avec la sensation de pouvoir interagir et contrôler en partie cet environnement » ;
- Engagement : inclut l'intérêt de l'utilisateur pour le contenu, son investissement personnel dans l'expérience et finalement le plaisir global ressenti par l'expérience médiatisée.
- Validité écologique : évalue la crédibilité et le réalisme du contenu ainsi que le caractère naturel de l'environnement.
- Effets négatifs : fait références aux effets désagrables qui pourraient être induits par l'expérience de VR (nausées, désorientations, fatigues...).

Ce test a par exemple été utilisé dans l'étude de [Brade et al., 2017], pour comparer présence, utilisabilité et expérience utilisateur en conditions réelles et simulées dans une CAVE. Il a donc été administré en parallèle de questionnaires propres à l'UX et l'utilisabilité.

Le **Questionnaire sur les Tendances Immersives (ITQ)**, publié par [Witmer and Singer, 1998] est en fait une modification du PQ qui intègre, en plus, des questions pour mesurer le trait de caractère personnel de l'utilisateur/joueur lui-même sur son appétence à l'immersion. En effet, il a été montré que ce trait en particulier pouvait biaiser les résultats au PQ car chaque individu est susceptible de se laisser immerger d'une façon différente d'un autre. L'ITQ permet ainsi d'établir un niveau de référence par individu. Ce questionnaire a été traduit en français

canadien (Questionnaire sur la Propension à l’Immersion (QPI)) [Robillard et al., 2002]¹.

Le **MEC Spatial Presence Questionnaire (MEC-SPQ)** [Vorderer et al., 2004] a été utilisé pour mesurer, dans l’étude [Nacke and Lindley, 2008], la sensation de présence dans un first person shooter (FPS). Le Pictorial Presence SAM pour self-assessment-manikins) de [Weibel et al., 2015] en est un dérivé du MEC-SPQ réalisé en remplaçant les valeurs des échelles textuelles de Likert par des échelles de pictogrammes de mannequins expressifs (Figure 1.1). Ce type de représentation ne semble pas avoir d’intérêt particulier dans le cadre du projet UnitedVR mais pourrait être intéressante si notre projet visait des joueurs souffrant de handicap comme des troubles du spectre autistique.

D’autres questionnaires existent, comme le **Spatial Presence Experience Scale (SPES)** proposé en 2015 par Hartmann et ses collègues [Hartmann et al., 2015]. Il se compose alors de huit éléments mesurant deux dimensions : auto-localisation (par exemple, « je me sentais comme si j’étais réellement là dans l’environnement de la présentation ») et les actions possibles (par exemple, « j’avais l’impression que je pourrais être actif dans l’environnement de la présentation »).

Le questionnaire **Spatial Presence for Immersive Environment (SP-IE)** [Khenak et al., 2019] a été développé très récemment puis validé sur des systèmes immersifs de type HMD nouvelle génération². Il repose sur les questionnaires les plus utilisés précédemment (à savoir les questionnaires ITC-SOPI, PQ et IPQ) et peut donc être vue comme une mise à jour des études anciennes (1994-2016) sur l’évaluation de la présence avec des systèmes VR aux propriétés beaucoup plus limitées. Créer pour mettre en avant les sous-échelles les plus pertinentes pour distinguer entre les environnements distants (filmés par une caméra/un micro) et virtuels (simulés en 3D) (*remote vs virtual situations*) il évalue surtout le sentiment de présence spatiale. Cependant les 20 questions du SPIE sont réparties sur 7 catégories qui ne concernent pas que cette présence spatiale :

1. Sentiment de présence spatiale (4 items).
2. L’affordance de l’environnement (4 items).
3. L’amusement du participant (3 items)
4. Le degré de réalité attribué à l’environnement (3 items).
5. L’attention accordée à l’activité (2 items).
6. Le mal des systèmes ou cybersickness (2 items).
7. La présence sociale (des avatars) (2 items optionnels, selon qu’il y ait d’autres avatars dans l’univers virtuel ou non)

En plus de ces questions de type likert à 7 niveaux, les participants ont la possibilité d’ajouter des commentaires libres en fin de questionnaires. Il est à noter, de façon intéressante pour le projet UnitedVR que ce questionnaire a été créé puis testé en français et peut donc être directement applicable dans le cadre du projet, sans traduction préalable.

Aussi, il est à noter que ce questionnaire s’accompagne de recommandation pour les futurs expérimentateurs. Ainsi il est ouvertement conseillé que les participants répondent de manière spontanée et qu’ils ne passent pas trop de temps sur chaque questions. A titre indicatif, le remplissage du questionnaire devrait prendre moins de 10 minutes.

1. disponible à l’adresse : <http://w3.uqo.ca/cyberpsy/index.php/documents-utiles/>

2. Le SPIE est disponible à l’url <https://perso.limsi.fr/wiki/lib/exe/fetch.php/khenak/spie.khenak.2019.pdf>

Enfin, la question du type d'échelle pour chaque critère a également déjà été abordée, par exemple en comparant des échelles textuelles et des échelles à pictogrammes comme l'échelle SAM (pour self-assessment-manikins, Figure 1.1) basée sur des dessins de mannequins expressifs [Wissmath et al., 2009, Weibel et al., 2015]. Cette question serait d'autant plus importante si notre projet visait des joueurs souffrant de handicap comme des troubles du spectre autistique. Dans le cas de UnitedVR une échelle de Likert standard est suffisante.

En résumé, quelles sont les limites de ces questionnaires ?

Le problème majeur ne concerne pas seulement les questionnaires mais la forte dépendance des mesures à la définition de la présence que l'on a choisie. D'après l'étude de [Alexandrovsky et al., 2020], 14 des 67 expérimentateurs interrogés confirment des limites générales quant aux mesures via questionnaires. Notamment certains questionnaires, comme le questionnaire PQ, contiennent des éléments (question ou item) trop ambigus.

Ensuite, les questionnaires, qu'ils soient intégrés à la VR ou sous format papier, qu'ils s'agissent de questions fermées type likert (exemple « avez-vous eu l'impression d'être plongé dans l'environnement ») ou plus ouverte sous forme de commentaires libres, peuvent être administrés pendant ou après l'expérience (*mid- et post-experience measures*) [Lazar et al., 2017]. Cependant ces deux possibilités introduisent toutes deux des biais. En effet, lorsque l'évaluation se fait au cours de l'expérience, on peut supposer que c'est bien le ressenti de présence de l'instant présent t (ou de façon similaire de flow, d'immersion, d'incarnation, de co-présence) qui est mesurée, tandis que si l'évaluation se fait après l'expérience (*post-hoc questionnaire*) ce n'est plus que la mesure du souvenir de l'expérience qui perdure. Mesurer le ressenti a posteriori introduit donc un biais puisque les souvenirs peuvent différer légèrement (inconsistance) ou être incomplets par rapport à l'expérience VR vraiment vécue. En revanche, interrompre l'expérience de jeu pour évaluer le ressenti de présence risque d'introduire une rupture d'illusion, et donc de perturber le ressenti immersif et de présence pour la suite de l'expérience. Au final, il est plutôt recommandé d'administrer les questionnaires à la fin de l'expérience de jeu pour que le joueur vive pleinement l'expérience, quitte à ce que la mesure ne soit pas complètement celle de la présence vécue, mais seulement sa mémoire.

D'autres limites sont soulevées dans la littérature, notamment :

- la rupture d'illusion (break-in-presence (BIP)) et d'immersion engendrée par le passage d'un test pendant ou juste après l'expérience VR. Cela nuit, de manière générale, sur l'expérience globale. Cette nuisance est accrue si l'on doit en plus changer de média (papier crayon) pour répondre au questionnaire. Cela est dû en partie parce qu'il faut retirer le casque HMD et se réorienter dans le monde réel avant de pouvoir répondre au questionnaire. En conséquence il y a possible rupture d'illusion et de présence alors que c'est précisément ce phénomène que l'on cherche à mesurer.
- la fiabilité du questionnaire dépend (a) de la certitude que tout le monde comprend le questionnaire de la même façon et (b) de celle que tous les items concernent bien le même concept. Or ces deux aspects ne sont pas nécessairement observés au vu de la complexité de la définition de la présence.
- la langue d'origine des questionnaires standards n'est pas toujours celle des participants. Par exemple les questionnaires de PQ et d'ITQ sont à l'origine en anglais, tandis que l'IPQ est originellement en allemand et n'a été traduit en anglais puis hollandais que après. On peut noter d'ailleurs que la version anglaise de l'IPQ contient des tournures de questions issues d'autres questionnaires rédigés initialement en anglais par d'autres chercheurs. Pour le projet UnitedVR, il faudra donc les traduire dans la langue des joueurs/participants. Or

une traduction naïve ne peut pas être suffisante car l'acte de traduction introduit une part d'interprétation. Ainsi, le sens des questions originales peut se perdre dans le processus de traduction. La question s'est déjà posée pour des participants portugais [Vasconcelos-Raposo et al., 2020] et allemands pour lesquels [Frommel et al., 2015] utilise une version allemande du PS proposée dans la thèse germanique [Heers, 2005]. En outre, valider des versions d'autres langues permet de manière générale de toucher une population plus large et à termes de vérifier qu'il n'y a pas d'effet de la culture sur le ressenti de présence. La démarche pour obtenir sémantiquement un questionnaire en portugais valide est décrite dans [Vasconcelos-Raposo et al., 2020]. Nous pensons réutiliser cette approche pour dresser nos questionnaires en français si cela s'avère nécessaire. Toutefois, on note que le SPIE de Nawel Khenak est de base en français.

Comment intégrer ces questionnaires à l'expérience pour ne pas rompre l'UX ?

Le problème des questionnaires c'est que si on les administre à la fin de l'expérience seulement on peut obtenir des résultats biaisés puisque cela ne mesure plus l'expérience du moment mais une expérience murie par les événements suivants. Au contraire, si l'on décide d'interrompre le participant/joueur dans son expérience de jeu pour lui poser des questions, alors on nuit à l'expérience de jeu puisqu'on rompt l'illusion d'immersion et de présence dans laquelle se plaçait le joueur.

[Frommel et al., 2015] a ainsi proposé d'intégrer le questionnaire directement au sein du jeu, pour rester dans le contexte de l'expérience vécue par le joueur. Pour cela ils ont proposés d'utiliser les critères de design habituel pour les composantes du jeu, c'est-à-dire tels que présentés par [Witmer and Singer, 1998] : 1) le facteur de réalisme et de continuité de scène, c'est-à-dire que les questionnaires sont intégrés l'univers du jeu ou en cohérence avec le jeu ; 2) les facteurs de contrôles, c'est-à-dire qu'on doit pouvoir répondre au questionnaire d'une façon naturelle et fluide. Il faut donc bien identifier comment placer ces questionnaires (échelles, sliders, QCM...) directement en VR avec des contrôleurs VR. Ces travaux montrent que des questionnaires intégrés peuvent conduire à une présence plus élevée [Frommel et al., 2015].

On parle alors de questionnaire intégré ou « *In-VR Questionnaire* » en anglais. L'article [Alexandrovsky et al., 2020] liste et analyse 15 études qui ont fait passer des questionnaires in-VR (par exemple celles de [Putze et al., 2020, Schwind et al., 2019]) et comparer ces tests avec des questionnaires papiers. Leurs interviews de 67 experts, dont 29 avaient déjà utilisés des questionnaires in-VR, ont confirmé l'intérêt de cette méthode (satisfaction moyenne = 2.97 > 2.5 sur une échelle de likert entre 0 et 5). Les questions qui se posent alors pour des questionnaires intégrés in-VR concernent surtout les modalités d'interaction (par exemple en termes de pointage vs trackpad) et d'ancrage (egocentré ou world-centered).

Autres méthodes qualitatives

Comme souligné par [Bouvier, 2009, p. 165], il est également possible de recueillir le retour des participants via des méthodes moins formelles que les questionnaires. Ainsi on pourra interviewer le participant, ou organiser une discussion avec plusieurs participants en même temps. Enfin on peut demander au participant de décrire son expérience. Ces méthodes permettent de recueillir des résultats plus complets, plus détaillés et plus éclairés qu'un questionnaire. Notamment ils permettent d'explicitier les facteurs d'influence. Toutefois l'analyse des données est plus complexe compte tenu de la quantité et du type de données collectées. Ces méthodes sont donc beaucoup moins courantes dans la littérature académique. Elles sont cependant assez usitées en *play test* dans le milieu du jeu vidéo et peuvent être administrées de façon complémentaire à un questionnaire.

D'autres méthodes ont également été proposées pour mieux comprendre l'évolution continue de présence tout au long de l'expérience. Par exemple [Wiederhold et al., 2003] a proposé d'utiliser un protocole de réflexion à haute voix (think aloud protocol), mais exiger des participants qu'ils signalent en permanence leur sentiment de présence nuit à l'expérience de présence puisqu'il induit, par définition, des ruptures de présence à chaque signalement. [Mai et al., 2019] a également proposé une nouvelle méthode d'auto-évaluation permettant de reporter sur un graphique son souvenir de son ressenti de présence à chaque instant et sur l'ensemble de la durée de l'expérience (Fig. 1.2).

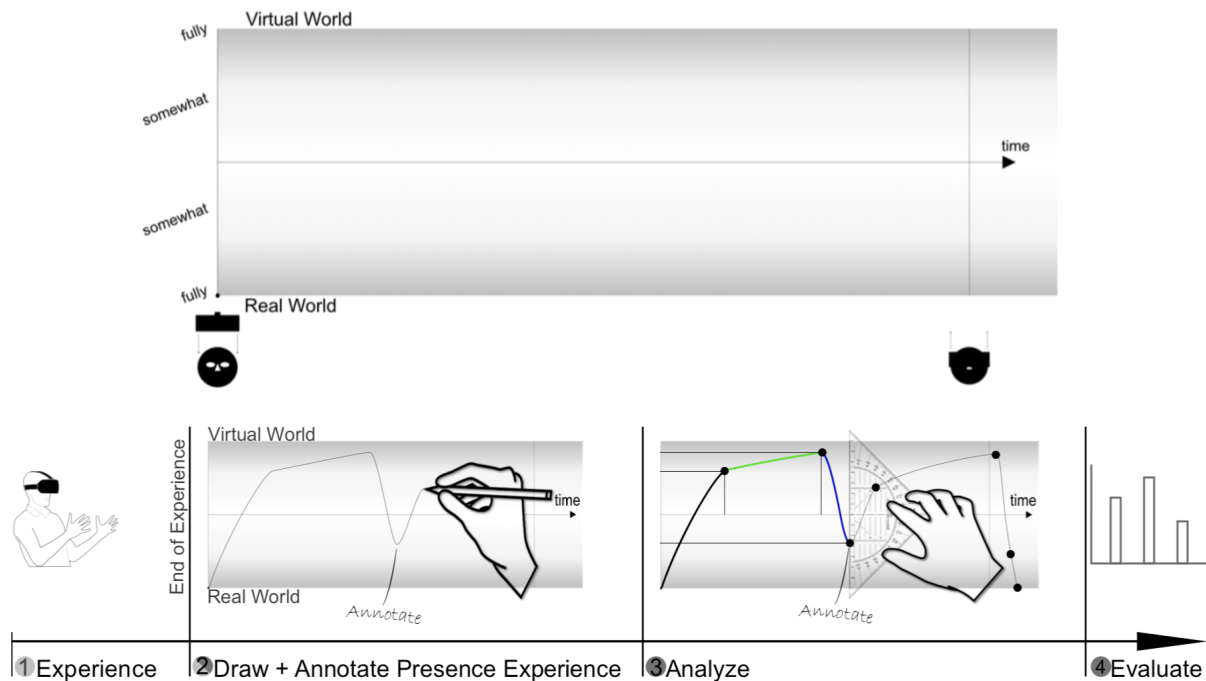


FIGURE 1.2 – En haut : graphique à remplir par le participant dans la proposition de *Drawing-Presence* [Mai et al., 2019] permettant de collecter des informations sur les variations temporelles de son expérience de présence après une expérience avec casque HMD. L'icône de gauche indique le moment où l'utilisateur a mis le HMD, l'icône de droite le moment où l'utilisateur a pris le HMD. Une définition du terme présence (au choix parmi celles disponibles) doit être donnée au participant. En bas : schématisation du protocole générale et des résultats attendus avec ce type de méthode.

1.2.2 Mesures objectives

Puisque l'une des définitions de la présence concerne la sensation de non médiation [Lombard and Ditton, 1997], alors il est aussi possible d'évaluer le niveau de présence par des mesures objectives comportementales ou biophysiques (*affective computing*). En effet, plus la présence ressentie est élevée plus le joueur ou l'utilisateur du système VR agit de façon réaliste et ressent les émotions dans l'environnement virtuel comme s'il se trouvait dans un environnement réel.

Pour valider ces mesures, il n'est malheureusement pas souvent possible de comparer l'expérience VR avec son équivalent réel (impossible par exemple de comparer l'expérience VR d'un univers de FPS sur le thème zombie ou viking), les mesures objectives sont ainsi validées en comparant leurs résultats avec les scores de présence obtenus par questionnaires.

Mesures comportementales

Suivant la logique que plus le sentiment de présence est élevé, plus le comportement du participant est réaliste, des études ont proposé d'analyser les changements de posture dans l'environnement virtuel.

Par exemple, Freeman et al. [Freeman et al., 2000] ont mesuré les réactions posturales de participants en train de regarder une séquence vidéo (monoscopique ou stéréoscopique) filmée depuis le capot d'une voiture et leur permettant de parcourir, à la première personne, une piste de rallye. Si ils n'avaient pas trouvé à l'époque de corrélation entre les changements de posture et la sensation de présence évaluée, c'est peut être car la sensation de présence était moindre qu'avec les systèmes immersifs qui nous concernent (vidéo 2D vs VR avec casque HMD), ou bien parce que la sensation de présence n'était évaluée alors qu'avec une seule question. Toujours est-il qu'au contraire, dans une étude en CAVE avec lunettes stéréoscopiques et locomotion réelle, [Lepecq et al., 2009] ont bien observé des changements dans l'ajustement postural (mouvement du corps) de participants marchant entre deux murs virtuels plus au moins éloignés l'un de l'autre 1.3. Les participants faisaient alors effectivement pivoter leur corps de manière similaire entre cette situation virtuelle et son équivalent réel, c'est à dire que la rotation du corps dépendait de l'étroitesse du passage entre les deux murs et de la largeur des épaules du participant. Ces résultats étaient cohérents avec les observations faites préalablement en environnement réel [Warren et al., 1987].

Attention toutefois à cette mesure comportementale puisque les comportements des utilisateurs n'est pas tout à fait similaire en réalité virtuelle et en réalité concernant la perception des distances (les distances sont surestimées par rapport à la réalité) donc des collisions avec d'autres individus. En effet, reprenant la même expérience que [Lepecq et al., 2009] sur l'observation de la démarche et de la rotation des épaules lors du passage entre 2 obstacles, [Hackney et al., 2020] montre qu'en situation réelle, la rotation des épaules change selon le type d'obstacle, c'est-à-dire si il s'agit d'obstacles constitués par des objets inanimés vs si il s'agit du passage entre deux personnes. Au contraire, il y a la même rotation des épaules en situation virtuelle peu importe le type d'obstacle. Ainsi le respect des distances perçues, en particulier dans le cas d'une éventuelle collision, est déformée en VR. En revanche la raison de cette surestimation n'est pas claire et peut-être est-ce due à un manque de présence perçue.

Enfin, concernant les mesures comportementales, il est à noter que pour pouvoir observer ces changements posturaux lors de l'expérience, il faut toutefois que l'expérience amène l'utilisateur à bouger ou du moins à réagir de façon mesurable. Cela conduit parfois les expérimentateurs à introduire des éléments ou des tâches supplémentaires qui finalement n'existerait pas dans la réalité.

Mesures de performances

L'étude de [Rodriguez et al., 2019] sur l'UX dans un jeu sérieux sur le néolithique (*Draga Game*) compare les mesures obtenues par des questionnaires avec les mesures effectuées à partir des performances dans le jeu (nombre de téléportation, nombre de saisie (et reprise) des objets, nombre de lancés des objets et changements d'orientation par rotation de la tête). Malheureusement, la fiabilité du questionnaire subjectif utilisé n'ayant pas été vérifiée, les résultats de cette étude sont malheureusement peu fiables.

Mesures biophysiques

Une récente revue de littérature [Grassini and Laumann, 2020] s'est intéressée plus particulièrement aux mesures biophysiques permettant de mesurer directement les modifications sur le

corps du joueur-utilisateur réel, qui sont souvent lié à ses émotions.

Activité électrodermale

Plusieurs études ont exploré l'utilisation de l'activité électrodermale (EDA pour *ElectroDermal Activity*), également connue sous le nom la réponse galvanique cutanée (GSR pour *galvanic skin response*) ou conductance cutanée (SC *skin conductance*). Il s'agit de l'activité électrique biologique enregistrée à la surface de la peau qui reflète l'activité des glandes de la sudation et du système nerveux et permet donc une mesure de réponse émotionnelle et cognitive, on parle d'éveil (*arousal*, [Boucsein, 2012]).

L'utilisation de l'EDA est très documentée en *affective computing* et est souvent associé à des mesures sur les émotions, le stress, l'excitation, l'engagement, la frustration entre autres facteurs (voir par exemple [Kurniawan et al., 2013]).

Pour analyser la réponse galvanique de la peau (*galvanic skin response* ou *skin conductance*) il est possible de détecter les pics d'excitation par algorithme [Müller et al., 2017] après avoir calibré le système sur la réponse électrodermale au repos pour chaque participant. L'existence de tels pics indiqueraient que le participant a ressenti une émotion accrue. Toutefois expliquer ou comprendre complètement ces variations n'est pas encore possible. On sait en revanche que la réponse cutanée est en retard sur l'expérience d'excitation de 3 à 5 secondes [Terkildsen and Makransky, 2019], c'est-à-dire qu'elle s'observe sur le signal d'EDA mesuré 3 à 5 secondes après l'évènement déclencheur.

Cette approche biophysique présente de nombreux avantages puisqu'elle permet un suivi temps réel de la présence et que les capteurs d'EDA sont très peu coûteux, peu invasifs et le système de captation facile à calibrer. En revanche, cette approche ne peut être utilisée pour mesurer la présence dans le cas du projet UnitedVR. D'abord parce que les études ayant cherché à montrer un lien entre l'EDA et la sensation de présence n'ont pas toujours montré de corrélation entre ces deux concepts. En effet, la présence serait en corrélation positive avec l'EDA d'après [Slater et al., 2006, Baumgartner et al., 2006, Kim et al., 2012, Terkildsen and Makransky, 2019], mais pas d'après [Meehan et al., 2002] ni [Lee et al., 2017] (cela pourrait s'expliquer par la façon dont on analyse l'EDA : les pics / minima de l'activité électrodermale seraient de bons prédicteurs du sens de présence, tandis que l'amplitude du signal d'EDA en lui-même ne serait pas suffisamment associé à la présence). Ensuite car, même si l'on part du principe qu'une présence plus élevée va augmenter les ressentis physiologiques, l'excitation et les émotions ressenties mesurables par EDA sont très dépendantes du contenu de l'expérience immersive (exemple des jeux d'horreur qui peuvent amener à plus de stress). L'EDA ne semble donc pas optimale comme mesure de la présence en elle-même, mais peut en revanche être une bonne mesure de l'expérience utilisateur en jeu vidéo dans un sens plus large que juste le critère de présence [Akan and Berkman, 2020].

Ceci dit, les données d'EDA sont sensibles aux mouvements (en particulier de la partie du corps où les capteurs sont fixés) et à toutes ces activités qui peuvent moduler l'activité des glandes sudoripares. En outre, la comparaison entre données issues de sessions de jeux différentes ou de lieux différents est rendue compliquée puisque l'EDA peut être modulée de manière significative par des facteurs externes (souvent non contrôlés), comme la température ambiante ou l'humidité de l'environnement [Boucsein, 2012].

Activité cérébrale

L'activité cérébrale est en général mesurée par électroencéphalogramme (EEG). Les EEG ont été utilisés notamment comme mesure de l'engagement dans des jeux *casuals* et les réseaux

sociaux [Castellar et al., 2016, Shestyuk et al., 2019]. Une récente étude de [Tjon et al., 2019] a montré que l'activité cérébrale diminuait en regardant un film 360° et que cette diminution est corrélée avec l'augmentation de la sensation de présence.

Des tentatives ont également été menées pour utiliser les mesures de doppler transcranien comme mesure de présence [Brogni et al., 2003].

Comme pour l'activité électrodermale, les EEG sont malgré tout très sensibles au mouvement et ne sont donc pas appropriée pour mesurer l'expérience utilisateur dans le cadre du projet UnitedVR. De plus, comme rappelé par Nawel Khenak dans sa thèse, « il a été démontré que les équipements nécessaires à l'enregistrement des réponses physiologiques, tels que l'électroencéphalographie (EEG) pour mesurer l'activité du cerveau, peuvent être en soi une cause de rupture de la présence pendant l'expérience [Brogni et al., 2003] ».

Activité cardiaque

Des états émotionnels spécifiques peuvent induire des changements de la dynamique cardiovasculaire (Marín-Morales et al., 2019), qui peut être mesurée à l'aide d'appareils d'électrocardiogramme (ECG). La variabilité de la fréquence cardiaque (VRC) a été utilisée comme indicateur de présence et de plaisir (Greenfeld et al., 2019 ; Jonathan et al., 2013 ; Meehan et al., 2002 ; Wood et al., 2007).

Quelles sont les limites des mesures comportementales ou biophysiques ?

Les mesures physiologiques ont l'avantage de pouvoir être mesurée pendant l'expérience VR de façon synchrone et continue, permettant d'une part de ne pas mesurer le souvenir du ressenti de présence mais bien le ressenti en lui-même et, d'autre part, d'identifier dans l'environnement VR ou jeu ce qui a pu déclencher un changement de présence. Malheureusement obtenir des informations sur la présence à partir de mesures biophysiques présentent d'autres inconvénients majeurs. Si l'on souhaite utiliser des mesures par biofeedbacks alors il faut nécessairement du matériel supplémentaire, parfois coûteux, qui peut se trouver intrusif et perturber la mesure en introduisant des ruptures de présence. L'ajout de matériel peut également nécessiter du temps supplémentaire pour que les joueurs s'y adaptent ou l'acceptent. La durée d'expérimentation ajoutée peut alors conduire à de la fatigue et ainsi biaiser la sensation de présence (ruptures d'illusion plus fréquentes notamment). Cela est d'autant plus problématique que ces mesures nécessitent des phases d'apprentissage pour l'algorithme, c'est-à-dire une calibration en amont de l'expérience afin d'établir un référentiel pour chaque participant, ce qui allonge encore la durée d'évaluation pour les participants. Ensuite, il faut dans tous les cas accéder à ces données, c'est-à-dire qu'il faut que cette capture de données ait été prévue dès la conception et le développement du jeu, ce qui n'est pas toujours le cas dans les jeux grands publics. Sinon il faut mettre en place des outils supplémentaires pour observer le comportement des joueurs directement durant leur parties (par exemple des caméras). Enfin, une fois ces données récoltées, il faut encore en faire l'analyse par combinaison et croisements de valeurs. Obtenir l'état émotionnel du joueur est alors compliqué et peut dépendre des joueurs. Enfin de nombreux facteurs affectent les données récoltées : l'engagement des participants dans la tâche, le stress apparent causé par les périodes de questionnaire, et surtout et plus problématique pour le projet UnitedVR, les artefacts liés à l'activité physique et au mouvement [Gandy et al., 2010].

1.2.3 Validité des tests et fiabilité des mesures

Bien qu'intégrer dans le chapitre sur la présence, cette section s'applique à tout concept puisqu'il s'agit d'évaluer la qualité d'une mesure à estimer un concept.

Pour être considérée comme bonne, une mesure de présence doit adhérer à plusieurs critères : fiabilité, validité, sensibilité, robustesse, non-intrusion et commodité [van Baren and IJsselsteijn, 2004, IJsselsteijn and Riva, 2003].

La **fiabilité** (*reliability*) décrit la capacité de la mesure à être cohérente et stable dans le temps : les résultats doivent être comparables s'ils sont administrés dans des conditions comparables. La fiabilité peut concerner :

- la concordance inter-observateurs, c'est-à-dire le degré de consensus entre les différents participants au test ;
- la fiabilité test-retest qui désigne la stabilité de la mesure dans le temps et qui se mesure comme la corrélation entre les scores recueillis à différentes occasions ;
- les formes parallèles, c'est à dire la cohérence entre des mesures similaires, par exemple quand plusieurs questionnaires parallèles abordent le même concept ;
- la fiabilité de la cohérence interne, qui mesure le degré selon lequel les éléments d'une mesure (par exemple d'un questionnaire) correspondent bien au même trait ou caractéristique sous-jacent. La manière la plus connue de mesure de cette cohérence interne est de calculer le coefficient alpha (aussi appelé alpha de Cronbach [Cronbach, 1951]), c'est-à-dire la corrélation moyenne des items relatifs au concept évalué. Le coefficient alpha dépend de la variance qui dépend elle-même du nombre d'items utilisé pour calculer la mesure de présence. Ainsi les questionnaires ayant plus d'items apparaissent comme plus fiables (redondances des questions) mais ils sont aussi plus longs à remplir pour les participants.

Idéalement, la fiabilité devrait être évaluée de plusieurs manières pour conclure sur une méthode de mesure donnée. Toutefois, cela n'est souvent pas possible. La cohérence interne est alors la forme de fiabilité la plus largement utilisée, car elle peut être évaluée à l'aide d'une seule mesure, à une occasion, dans une population donnée. Certaines études mentionnent les valeurs de fiabilité de chaque questionnaire utilisé, dans leur étude ou dans les travaux sur lesquels eux-même se reposent [Weibel and Wissmath, 2011].

La **validité** désigne la capacité d'une mesure à aborder le concept envisagé. Plusieurs approches de la validité sont possibles, notamment :

- la validité apparente mesure le degré selon lequel la mesure semble aborder le concept visé. C'est une mesure basée sur le jugement subjectif de plusieurs experts. Cette méthode a par exemple été utilisée dans l'élaboration du questionnaire GUESS de l'UX en jeu vidéo [Phan et al., 2016] où plusieurs experts ont eu à relire les items du questionnaire.
- la validité du contenu est assurée en comparant, lors de la construction de la mesure, la mesure elle-même avec le domaine. Il s'agit de s'assurer que la mesure est compatible avec les théories et s'adresse à tous dimensions pertinentes du concept mesuré. C'est ce qui est fait ici au travers de cet état de l'art dont le but est d'établir quelle serait la mesure la plus valide pour attester des sensations de présence et d'UX en général.
- la validité relative est assurée en comparant la mesure à une autre mesure ou critère. Si les deux mesures sont sensées mesurer la même chose, alors il doit y avoir corrélation entre les deux mesures (validité convergente).

Alors que les validités apparente et du contenu sont assurées par le processus de construction, on établit le plus souvent la validité d'une mesure par comparaison (validité relative).

La **sensibilité** décrit la résolution avec laquelle différents niveaux de présence peuvent être discriminés les uns des autres. Si différents contenus, plateformes ou autres médias (par exemple dans le cadre de UnitedVR, cela pourrait être différents niveaux de jeux, différentes conditions de game play, différents niveaux de lags entre 2 salles, etc...) doivent être comparés et conduire à des niveaux de présence différents, la mesure de présence doit refléter ces différences.

En plus de ces trois grandes propriétés, une mesure de présence pour être correcte doit également être : **robuste**, c'est-à-dire qu'elle doit pouvoir être utilisée dans d'autres contextes que celui pour lequel elle a été créée (par exemple d'autre types de jeux, de plateformes, de contenus sensoriels, de contextes d'usages...); **non-intrusive**, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas interférer avec la sensation de présence qu'elle cherche à mesurer; et **pratique à mettre en place**, c'est-à-dire facile à administrer, peu coûteuse et portable.

Conclusions sur les mesures de présence dans le cadre du projet UnitedVR

Pour conclure, comme le montrent les revues de littérature [Grassini and Laumann, 2020, Hein et al., 2018], les questionnaires de mesures de présence sont fiables (bien que très variés). Les études à venir devraient se concentrer sur la mise en place de normes concernant ces questionnaires. Au vu de la longueur et de la liste des questionnaires, nous prévoyons de mesurer la présence avec le SP-IE [Khenak et al., 2019] et d'ajouter des questions issues d'autres questionnaires pour évaluer en plus l'expérience de jeu ainsi que la présence sociale et l'incarnation.

Aucune mesure physiologique n'a actuellement recueilli suffisamment de preuves pour être considérée comme « suffisamment bonne » pour être utilisée seule de manière fiable, sans que l'utilisateur ne donne son évaluation subjective de l'expérience. De plus, aucune ne semble pouvoir être directement appliquée dans le cadre du projet UnitedVR puisqu'elles ne sont utilisables qu'en situation statique.

1.3 Facteurs d'influence

Après avoir vu comment mesurer l'expérience de jeu et la sensation de présence dans divers contextes d'expérience immersive, il est possible d'analyser quelles sont les caractéristiques qui vont influencer la sensation de présence et sur lesquelles, dans le cadre du projet UnitedVR nous pourrions agir pour tendre vers un sentiment de présence élevé et donc optimiser l'expérience des joueurs.

On distingue cinq grandes catégories de facteurs, liées (1) au matériel et au système (*display factor*), (2) au contenu du jeu et aux scénarii de l'expérience immersive et comprenant les facteurs émotionnels, (3) aux utilisateurs-joueurs eux-mêmes (*internal factors*), (4) au contexte extérieur et enfin (5) à la présence d'autres personnages avec lesquels interagir (*social factors*), point qui sera abordé dans le chapitre 3.

Parmi ces facteurs, nombre d'entre eux vont induire un niveau de présence plus élevé, d'autres au contraire, vus comme négatifs, sont responsables de ruptures de présence (*break of illusion*) comme la cybersickness (cf paragraphe 1.3.1, section suivante) ou la conscience que l'environnement est simulé [Weech et al., 2019].

1.3.1 Facteurs liés au système et modes de restitution

Influence du système de médiation et d'immersion

De manière général, les études prouvent qu'un système plus immersif (cf chapitre 2), c'est-à-dire qui fait appel à plus de modalités sensorielles, augmente la sensation de présence [Cummings and

[Bailenson, 2015, Servotte et al., 2020] par rapport à un système moins sophistiqué. Par exemple, [Ijsselsteijn et al., 2001] et [Ling et al., 2013] ont montré que les rendus visuels stéréoscopiques améliorent la sensation de présence et l'utilisation de casque HMD renforce l'immersion et la présence par rapport à un moniteur d'ordinateur [Alessandra Gorini, 2011], voire même par rapport à une CAVE [Borrego et al., 2016]. Dans le cadre du projet UnitedVR, ce paramètre n'a d'influence que sur le choix du matériel que l'on souhaite de toute façon avec les meilleurs rendu stéréoscopique, résolution et taux de rafraîchissement possible.

Contrôle et locomotion

De même les systèmes de navigation dans l'espace virtuel (téléportation, locomotion naturelle...) ont une influence certaine sur la présence. [Borrego et al., 2016] rapportent que la navigation par marche naturelle dans un environnement virtuel augmente le niveau de présence ressentie (d'après des questionnaires SUS et PQ) par rapport à celui d'un contrôleur portatif pour naviguer. Cela est cohérent avec une précédente étude de [Schuemie et al., 2005].

Les résultats d'une étude de [Brade et al., 2017], comparant jeu réel en réalité augmentée (type géocaching) et simulation en environnement virtuel avec une CAVE, ont montré que tous les facteurs de présence étaient significativement corrélés avec l'utilisabilité du système, et qu'une grande partie de ces facteurs de présence étaient en plus corrélés aux facteurs de l'expérience utilisateur. D'ailleurs [Weech et al., 2019] rapporte également un ensemble d'études montrant de la même manière (mais hors contexte navigation), que les contrôles plus intuitifs et plus naturels favorisent toujours la présence et diminuent les effets négatifs de la VR.

Influence du point de vue

Bien que ce critère ne soit pas modifiable dans le projet UnitedVR puisque nous serons nécessairement à la première personne, d'autres études ont montré qu'effectivement dans les jeux non immersifs, la vue à la première personne avait un impact positif sur les sentiments de présence et d'immersion des joueurs. C'est le cas des études de Kallinen et al. [2007] et de Denisova et Cairns [2015] respectivement basées sur les titres *Morrowind* et *Skyrim* des jeux de rôle *Elder Scrolls*. Attention cependant, bien que cela ne nous concerne pas dans UnitedVR, dans ces jeux non immersifs, l'usage du point de vue à la troisième personne facilitait la navigation dans l'environnement virtuel comparé à une vue à la 1ère personne.

Cybersickness et autres effets négatifs

La *cybersickness* et les effets négatifs induits par la VR (*VR induced symptoms and effects* VRISE) sont des symptômes entre autres de nausées, étourdissements, désorientation et fatigue [Rebenitsch and Owen, 2016]. La cybersickness est un type de *motion sickness* (ou mal des transports) dont les effets sont dues à l'usage d'un environnement virtuel. Elle peut être définie comme une réponse physiologique naturelle à des stimuli inhabituels, pouvant résulter d'une asynchronie entre les informations visuelles, vestibulaires et proprioceptives. Comme ils gâchent l'expérience de VR de manière générale, ils sont susceptibles d'induire des ruptures de présence et ont donc été, dès les premiers travaux sur la présence, pris en compte dans la plupart des questionnaires de présence et d'UX en VR (exemple : IVEQ [Tcha-Tokey et al., 2016a]). De récentes études [Weech et al., 2019, Servotte et al., 2020] confirment que la présence et la cybersickness sont inversement corrélés. Ainsi les facteurs susceptibles d'améliorer la présence cités précédemment sont ceux qui sont susceptibles de diminuer la cybersickness et réciproquement. Par exemple, la cybersickness visuelle seule peut être diminuée par l'ajout des autres modalités sensorielles sonores

et haptiques [Sawada et al., 2020]. Cela permettrait en effet de diminuer les incohérences sensorimotrices. De même, renforcer l’affordance des contrôles permettrait de diminuer la cybersickness et d’augmenter la présence [Venkatakrishnan et al., 2020]. Aussi, bien que le lien entre le genre et l’expérience de jeu ne soit pas encore clair, les hommes et les joueurs avérés ressentent moins la cybersickness mais plus la présence [Weech et al., 2019].

Dans des contextes de thérapies ou la question de la cybersickness est encore plus importante que dans un contexte de jeu, l’étude de [Kourtesis et al., 2019] a confirmé qu’une immersion plus profonde, une meilleure qualité des graphismes et du son, et des instructions et des invites de jeu plus utiles ont diminué l’intensité des effets négatifs. Cette étude visait par ailleurs à déterminer si la durée de jeu ou d’exposition à la VR peut influencer sur les effets négatifs dus à la VR. Les résultats leur ont permis de conclure que ni l’âge des participants ni leur expérience passée en jeu vidéo n’a d’influence sur la durée limite des séances avant d’observer les effets négatifs. En revanche, la qualité de l’application VR en elle-même le modifie légèrement. Nous retiendrons que la durée des sessions maximum retenue évaluée dans [Kourtesis et al., 2019] se situe donc entre 55 et 70 minutes, temps largement au dessus des séances de jeux prévues dans le cadre du projet UnitedVR.

La mesure de la cybersickness passe entre autre par le Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) [Kennedy et al., 1993] par 16 effets négatifs (16 items de Likert) répartis en trois gros effets négatifs : nausée, gêne visuelle, et problèmes d’orientation. [Bimberg et al., 2020] propose quelques ajustements notamment rappelle qu’il serait plus intéressant de faire passer le test SSQ avant ET après l’expérience, en particulier pour les études où un même participant doit remplir le questionnaire de SSQ plusieurs fois. Enfin, comme souligné par [Bimberg et al., 2020], le SSQ a pour but d’évaluer la cybersickness en tant que telle. Si il s’agit de mesurer plutôt les effets négatifs et leur influence sur d’autres critères d’études comme la présence ou l’expérience de jeu, alors il faut mieux intégrer seulement quelques questions (parfois même une seule) dans le questionnaire général. D’autres questionnaires sont aussi disponibles, comme le *Fast Motion Sickness Scale* [Keshavarz and Hecht, 2011] ou le Positive and Negative Affect Schedule PANAS [Watson et al., 1988].

1.3.2 Facteurs liés au contenu et aux émotions

Impact du scénario et de la narration

La **narration du jeu** est un facteur important de présence. Un récit ou jeu dont la narration est enrichie serait associé à un sentiment de présence plus accru dans l’univers virtuel [Weech, 2020]. D’après la même étude, cela serait, en plus, plus marqué pour les joueurs qui jouent plus souvent.

Cela avait déjà été démontré dans des jeux non VR. Par exemple, Schneider *et al.* [Edward F. Schneider, 2004] avaient manipulé le scénario dans quatre *first person shooter* (*Doom 2*, *Quake 2*, *Half-Life*, *Outlaws*), deux avec des scénarios et deux sans, mesurant ainsi l’effet d’un manque d’histoire sur la pression et la peur.

Enfin, la narration du jeu peut avoir une influence même si elle intervient avant l’expérience VR. Ainsi l’étude de [Troxler et al., 2018] a permis de montrer que les joueurs étaient plus engagés et mieux préparés au jeu de tir sur zombies en VR lorsqu’on leur présentait en amont une courte histoire sur le jeu. La présence ressentie des joueurs était également augmentée mais pas de façon significative. De même dans [Park et al., 2010], les joueurs regardaient 5 minutes de vidéo retraçant l’histoire du personnage principal avant de jouer. L’étude avait alors démontré que cette vidéo avait permis d’augmenter la présence ressentie durant le jeu.

Rôle de l'audio dans la sensation de présence

Nordahl et al. présentent une revue de littérature [Nordahl and Nilsson, 2014] des recherches effectuées dans le domaine de la présence et de la VR avec un accent particulier sur l'audio.

C'est surtout sur l'immersion (cf chapitre 2 au travers des études de [Podkosova et al., 2016], et sur la présence de soi et l'incarnation (chapitre 4) au travers notamment des études de Stefania Serafin [Serafin, 2004, Serafin et al., 2010, Serafin et al., 2018] et d'Ana Tajadura-Jimenez [Tajadura-Jimenez et al., 2015, Tajadura-Jimenez et al., 2017a, Tajadura-Jimenez et al., 2017b, Tajadura-Jimenez et al., 2019] que le rôle de l'audio a été étudié. Cependant des études précoces comme [Davis et al., 1999] avaient déjà montré qu'ajouter du son pour soutenir la modalité visuelle augmentait le sentiment de présence.

Ajouter des sons de pas synchrones, cohérents avec la surface au sol virtuelle et adaptés en fonction de la démarche et des mouvements plus ou moins discrets, augmente la sensation d'incarnation ainsi que la sensation de présence au sens large [Hoppe et al., 2019]³.

Comme le montrent Podkosova et al. [Podkosova et al., 2016], spatialiser le son de façon réaliste en incluant des réflexions et une réverbération, améliore l'immersion et la sensation de présence.

1.3.3 Facteurs internes liés aux joueurs-utilisateurs

Les facteurs internes, propres à chaque joueur, ont une influence sur le sentiment de présence. Ces facteurs internes sont liés à la manière dont le sujet perçoit et interprète le scénario proposé en VR en fonction de ses propres caractéristiques personnelles (capacités cognitives, motrices, sensorielles) et de son expérience passée avec les environnements médiatisés.

Personnalité

D'après les études de [Sacau et al., 2005] et [Weibel et al., 2010a], les individus qui expriment fortement des traits de personnalité d'ouverture, de neuroticisme⁴, d'absorption et d'extraversion ont tendance à signaler des niveaux de présence plus élevés. Toutefois, [Weech et al., 2019] rappelle que la raison de cette différence n'est pas claire : il est possible que les différences de résultat entre les types de personnalité indiquent un biais au niveau de l'interprétation des questions-réponses lors de l'auto-évaluation, plutôt que de refléter des différences dans le ressenti de la présence en elle-même. [Lachlan and Krcmar, 2011] a montré qu'en plus

Le trait de personnalité le plus connu, et le plus pris en considération aussi dans l'évaluation, est la tendance à l'immersion développée dès les premiers questionnaires de présence (*Immersive tendencies questionnaire* (ITQ) [Witmer and Singer, 1998]). Il s'agit de la capacité naturelle du joueur à se projeter dans un univers virtuel. Ce n'est pas un trait propre à la VR ni au jeu vidéo puisqu'il a un impact aussi sur le sentiment de présence dans l'univers d'une histoire lue.

Familiarité avec les médias, la VR, l'informatique et le jeu vidéo

Une étude sur l'effet de l'habituation au jeu [Gamito et al., 2010], a montré qu'après 12 semaines d'entraînement sur un FPS en 3D (*Call of Duty - Modern Warfare*), les joueurs se sentaient plus présents dans le jeu testé (*Counter-strike*). Cela augmentait aussi leur plaisir. Autrement dit, on peut supposer que les clients qui joueront à UnitedVR seront de plus en plus présents dans les

3. Une présentation de l'étude de [Hoppe et al., 2019] est disponible à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=f_axV2ZFJkc

4. terme utilisé en psychologie pour décrire la tendance persistante d'un individu à ressentir des émotions négatives

univers qu'on leur propose.

[Rosa et al., 2016] ont proposé une étude pour identifier, si en plus des facteurs internes cités précédemment, il était possible de déterminer un « profil de joueur-utilisateur idéal » pour qui l'expérience de présence serait optimisée (et inversement la cybersickness diminuée). Ils déduisent de leur étude que les « joueurs sur PC », en comparaison aux « joueurs console » et aux non-joueurs, profitent mieux de l'expérience de VR : ils ressentent des niveaux de présence plus élevés et moins d'effets négatifs. L'influence de l'expérience de jeu passée est cohérente avec les études préalables montrant qu'une plus grande habitude de jeu vidéo conduit à moins d'effets négatifs induits par la VR [Gamito et al., 2010, Weech, 2020]. Cela justifie d'ailleurs que des questionnaires pour évaluer la présence, comme le *ITC Sense of Presence Inventory* (ITC-SOPI) [Lessiter et al., 2001], contiennent des questions sur l'expérience passée en jeux vidéos.

[Lachlan and Krcmar, 2011] a montré que si les traits de caractère, l'habitude de l'environnement testé, et l'expérience de jeu ou VR en général, ont une influence sur la présence ressentie, cela dépend aussi de la durée de l'expérience de jeu. Ainsi les traits de personnalités auraient d'autant plus d'influence pour des périodes de jeu plus longues.

Influence de l'alcool

Une étude de Lorenz et al [Lorenz et al., 2018], au sein d'un projet de réhabilitation médicale, a cherché à évaluer l'influence de la consommation légère et préalable d'alcool (éthanol) sur le ressenti de présence et l'UX générale. Il a été constaté qu'une faible consommation d'alcool influençait faiblement la présence et l'expérience utilisateur. En revanche, les corrélations entre la présence et l'expérience utilisateur ont été fortement influencées par cette consommation. Les auteurs en ont conclu que cette consommation légère d'alcool peut altérer les fonctions cognitives et perceptives liées aux liens entre présence et expérience utilisateur.

Motivation du joueur

D'après Przybylski et al, un des principaux facteurs de présence dans les jeux vidéos seraient la capacité du jeu à répondre à la motivation des joueurs et à leur donner l'illusion de compétence et d'autonomie [Przybylski et al., 2010, Ryan et al., 2006]. Cela augmenterait l'immersion et la notion d'engagement comme sous-échelle de la présence. Réciproquement, dans une expérimentation non-immersive ayant pour but de montrer qu'un contenu virtuel peut influencer les motivations des individus en les poussant tantôt vers des objectifs plus personnels tantôt plus collectifs, il a été montré que l'amélioration de la sensation de présence amplifie la modification des motivations par le contenu.

Le lien entre motivations du joueur et sensation de présence (voire UX) ressentie n'est pas clair mais il peut influencer le joueur dans ses actes au cours du jeu et devrait ainsi être questionné en amont de partie lors des phases de tests intermédiaires.

1.3.4 Facteurs externes : accueil des participants et introduction avant l'expérience de jeu

La plupart des facteurs sur lesquels le consortium du projet UnitedVR pourra agir sont clairement liés au contenu du jeu (comme la restitution sensorielle, la représentation des corps, les mécaniques de jeux, la narration, etc.), toutefois on notera dès maintenant l'**influence de l'amorce** (aussi appelée *prebriefing* dans [Servotte et al., 2020]), c'est-à-dire la façon dont la VR est introduite aux joueurs, en particulier aux joueurs novices, lors de la première expérience. En effet, dans les retours recueillis auprès des utilisateurs d'un outil de formation médicale en

VR, [Servotte et al., 2020] relève qu'un des axes d'amélioration est l'amorce qui se doit d'être claire et concise pour créer le récit nécessaire et mieux orienter les utilisateurs. Ce prebriefing améliore entre autre l'immersion dans l'univers. Comme nous l'avons vu aussi pour la narration avec les études de [Park et al., 2010, Troxler et al., 2018], présenter un film court introduisant l'histoire ou le personnage a une influence sur la présence en jeu qu'il s'agisse de jeu VR ou non.

Ainsi, le consortium UnitedVR n'a pas la main sur tous les facteurs dont va dépendre la sensation de présence et à fortiori l'UX des joueurs. L'influence de l'accueil des nouveaux joueurs par les gestionnaires de salle eux-mêmes devra donc être prise en compte, voire être mesurée pour un suivi à long terme de la satisfaction des utilisateurs.

1.3.5 Priorité des facteurs d'influence

Plusieurs études ont cherché à montrer quels sont les facteurs qui ont le plus grand impact sur la sensation de présence, autrement dit ceux qui doivent être gérés en priorité. Ces études adoptent une **démarche psychophysique** dans laquelle les participants se voient d'abord présenter une scène optimale en termes de présence et de plausibilité (illusion que les événements perçus dans l'environnement peuvent se produire réellement), puis se voient présenter une scène sous optimale dans laquelle on a modifié plusieurs facteurs en parallèle (comme la représentation de l'avatar, la cohérence sensori-motrice, la perspective, les reflets, etc...) pour restreindre la sensation de présence. Chacun de ces facteurs est alors ajustable entre plusieurs niveaux : parfois deux comme la perspective première vs troisième personne, parfois plusieurs comme la fidélité ou réalisme de l'avatar allant de « absent » à « très réaliste et corps entier » en passant par « abstrait tête main », « abstrait corps entier », « tête main réaliste » par exemple. Les participants sont alors libres de manipuler chacun des paramètres dans l'ordre de leur choix, jusqu'à ce qu'ils obtiennent une sensation de présence équivalente à celle de la scène de départ.

Cette approche a été utilisée par exemple dans [Slater et al., 2010a] pour comparer notamment les paramètres « cohérence des canaux sensori-moteurs », « fidélité de la représentation de l'avatar » et « réalisme visuel de la scène » (cf Figure 1.4). Les résultats de cette étude ont alors montré que la cohérence des canaux sensori-moteurs et la fidélité de représentation de l'avatar étaient des facteurs qui semblaient plus prioritaires que le réalisme visuel de l'environnement pour induire le sentiment de présence.

Cette approche a également été utilisée dans les travaux d'Azevedo pour comparer la contribution de chaque modalité sensorielle (visuelle, auditive, haptique et olfactive) sur la présence [Azevedo et al., 2014]. Ils concluent que le couplage audio-haptique (du vent et du son spatialisé notamment, le vent arrivant en tête) est plus important que le couplage traditionnel audio-visuel. L'effet de l'audio peut aussi ne pas être immédiatement remarqué mais parfois conscientisé qu'une fois la question posée.

Cette méthode psychophysique a également été reprise dans l'étude de [Bergstrom et al., 2017] pour comparer l'influence de 4 paramètres : – le comportement des avatars (selon leur regard ou non envers le participant), – la spatialisation du son (mono, stéréo ou ambisonic virtuel), – l'auralisation utilisée (avec réflexions acoustiques d'une salle adaptée, d'une salle trop grande ou sans réflexion acoustique du tout) – la présence ou non de sons d'environnement semblant venir de l'extérieur de la pièce par les fenêtres. Leur expérience a montré que l'environnement et le regard des musiciens virtuels étaient les facteurs qui influençaient le plus le degré de plausibilité donc la présence.

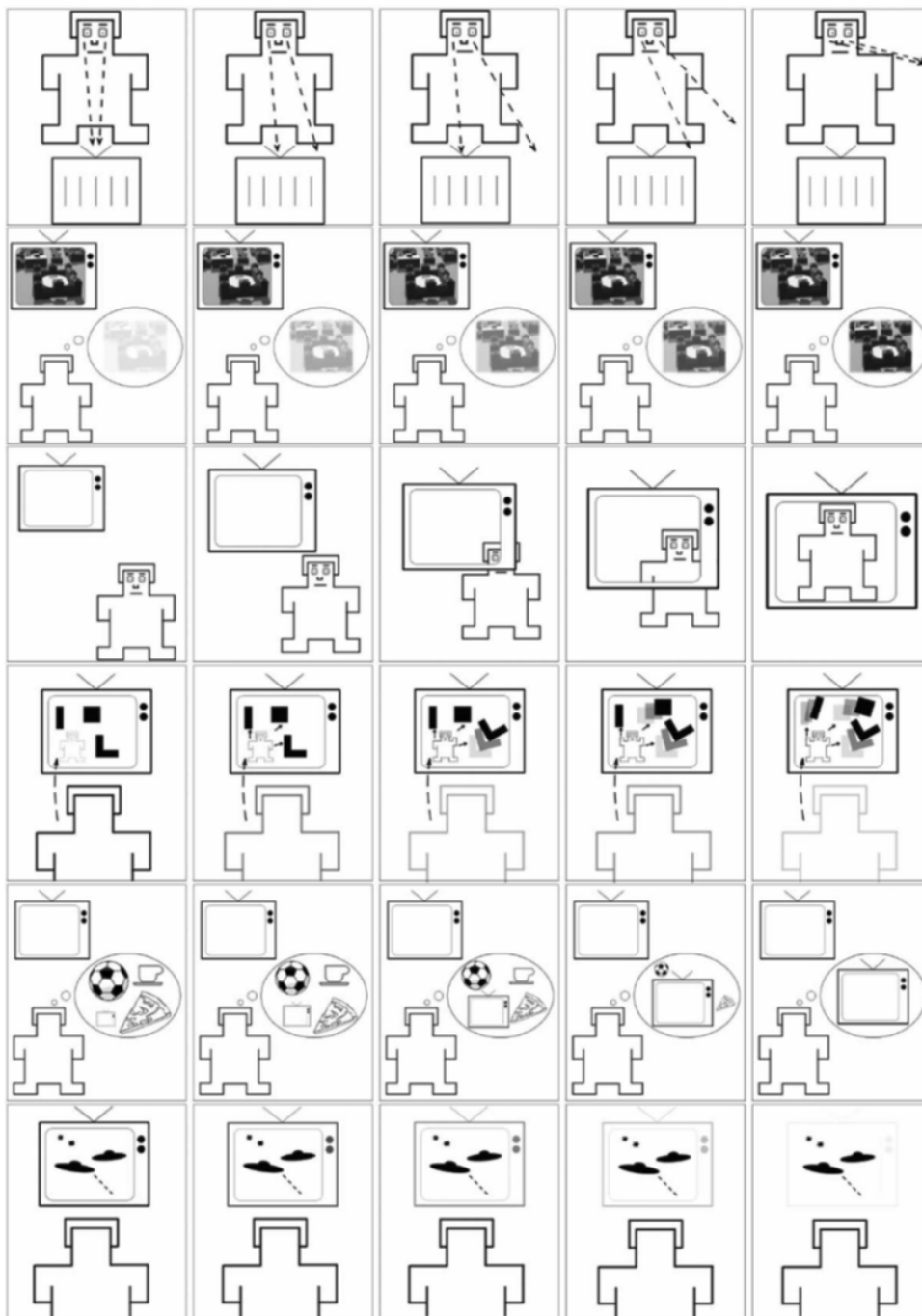


FIGURE 1.1 – Extrait de [Weibel et al., 2015] Représentation des pictogrammes proposés pour évaluer la présence. Chaque ligne représente un critère d'évaluation : de haut en bas l'allocation attentionnelle, le modèle de situation spatiale, l'impression d'y être soi-même (*self-location*), la sensation de pouvoir agir, l'engagement cognitif, et la suspension d'incrédulité qui indique à quel point le participant pense avoir mis son scepticisme suffisamment de côté pour accepter la scène comme étant plausible (*suspension of disbelief*).

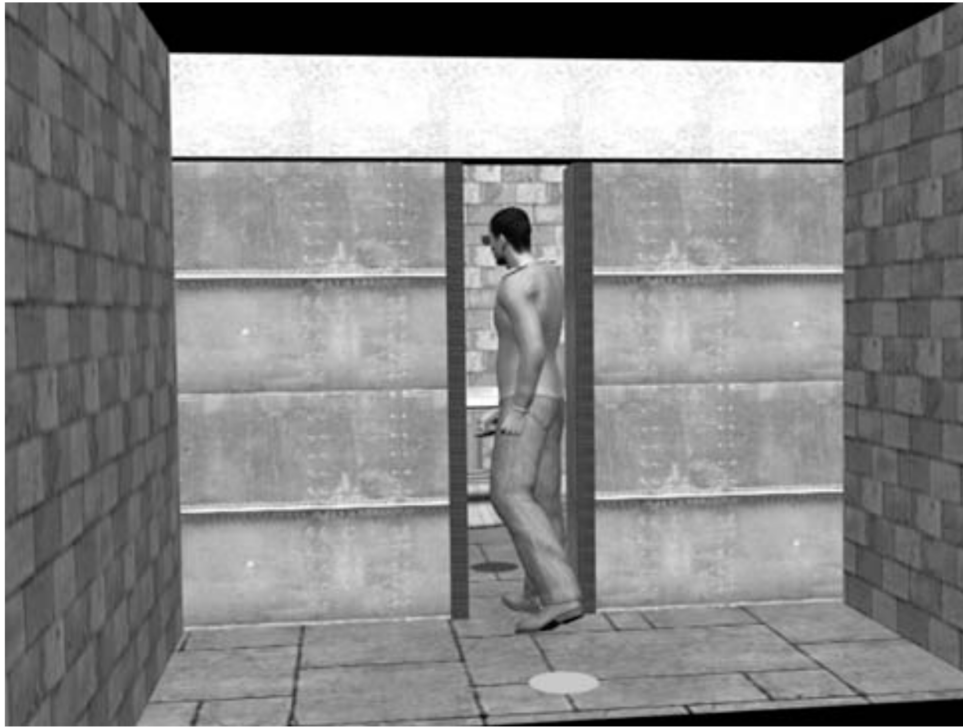


FIGURE 1.3 – Schématisation d'un participant marchant entre deux murs. Extrait de [Lepecq et al., 2009]

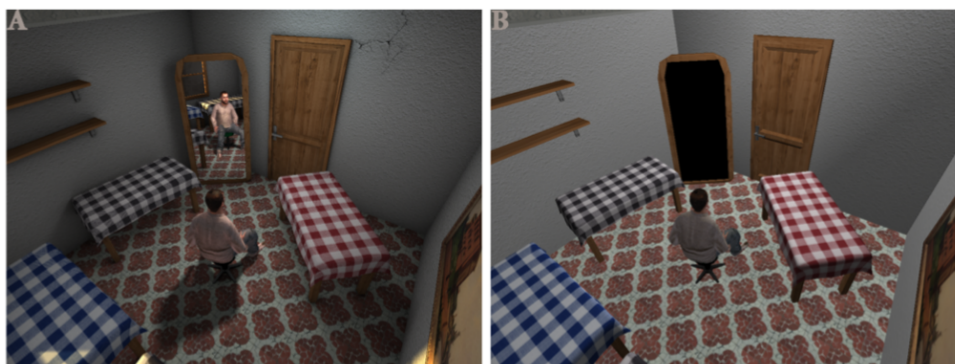


FIGURE 1.4 – Deux versions : (A) optimisées avec rendu d'ombrage dynamique et reflets et (B) version réduite sans ombres ni reflets, pour l'étude psychophysique de [Slater et al., 2010a] sur la priorité des facteurs d'influence de la présence.

2- Immersion

Le terme « *immersion* » est tout aussi complexe à définir que le terme présence, d'autant qu'il est lui aussi parfois confondu, voire considéré comme interchangeable, avec les termes : *présence*, *engagement*, *implication (involvement)*, *flow*, *transportation*, *enveloppement* ou *englobement*. Il n'y a pas de consensus concernant la terminologie associée et ce terme d'immersion est alors utilisé pour décrire des expériences diverses. Évidemment nous verrons section 2.2, que tout comme pour la mesure de la présence, la mesure de l'immersion est parfois biaisée par le fait que les méthodes de mesures employées ne correspondent finalement pas tout à fait aux concepts qu'elles cherchaient à évaluer.

Ce chapitre repose sur les très récentes revues de littérature [Agrawal et al., 2019] et [Szabó and Gilányi, 2020].

2.1 Définitions de l'immersion

Au travers de la littérature, le terme **immersion** a été défini selon différentes approches à savoir, d'une part, pour décrire l'**état mental** du joueur, on parle alors plutôt d'**immersion cognitive** ou narrative, et d'autre part pour définir la caractéristique immersive d'un système technologique qui génère alors plus une forme d'**immersion sensorielle**.

[Agrawal et al., 2019] propose d'intégrer tous ces aspects sous une même définition :

Immersion is a phenomenon experienced by an individual when they are in a state of deep mental involvement in which their cognitive processes (with or without sensory stimulation) cause a shift in their attentional state such that one may experience disassociation from the awareness of the physical world.

Cette définition se rapproche de celle de Farnsworth sur le site d'IMotion (<https://imotions.com/blog/science-video-games/>). De manière générale, l'immersion peut se définir comme le sentiment d'absorption dans un jeu ou environnement virtuel¹. A partir de cette définition, on peut donc considérer que l'immersion se manifeste par une attention accrue portée au jeu, ou encore la suppression des stimuli externes : plus un individu se sent immergé, absorbé dans le jeu, et moins il perçoit et reste conscient du monde réel.

Nous noterons que cette sensation n'est pas propre à la réalité virtuelle. C'est un concept qui a été étudié pour les jeux vidéos (VR ou non), le cinéma, la musique, la littérature et que l'on utilise parfois lorsque l'on parle de rêves éveillés.

Aussi, l'immersion est avant tout un état mental. Cela suggère que la stimulation sensorielle n'est pas requise pour vivre l'immersion (par exemple, la rêverie peut être une expérience immersive). Aussi, il est important de considérer toutes les modalités sensorielles pour déterminer l'immersion, car le joueur continue de recevoir des données de tous ses sens alors que les stimuli peuvent

1. Cette définition rend bien évidemment flou la différence entre *flow* et immersion

être générés par l'environnement réel et non par l'expérience immersive qui lui est proposée. L'immersion en soit ne dépend donc pas intrinsèquement du système de stimulation qui lui est présentée mais en dépend.

Pour certains, l'immersion dépend de deux concepts ici complémentaires :

- d'une part, le **potentiel immersif d'un système** ou d'un contenu. Contrairement aux idées reçues comme quoi augmenter le nombre de canaux sensoriels augmenterait l'immersion, le potentiel immersif tient compte des limites perceptuelles humaines et considère donc uniquement la capacité du système à engendrer de l'immersion chez le joueur/utilisateur.
- d'autre part, l'immersion dépend de l'état mental dans lequel se situe le joueur/utilisateur lui-même au moment de l'expérience immersive et dépend donc de la **tendance à l'immersion** du joueur-utilisateur. On peut considérer que cette tendance est fixe sur la durée de l'expérience proposée relativement courte dans le temps.

Selon d'autres auteurs, l'immersion pourrait se diviser en 3, voire même jusqu'en 6 catégories : sensori-motrice, cognitive, émotionnelle, spatiale, psychologique, sensorielle. (cf wikipedia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Immersion_\(réalité_virtuelle\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Immersion_(réalité_virtuelle)) et [Björk and Holopainen, 2005, Chap. 9]).

Distinction entre immersion, présence et engagement

Bien que la « *présence* » et l' « *immersion* » soient souvent utilisées de manière interchangeable et vues ensemble [McMahan, 2003], elles soulignent différents aspects de l'expérience dans un environnement virtuel ou médiatisé. Depuis que Jonathan Steuer a inventé le terme « *téléprésence* » en 1992, « la (télé) présence » a fait l'objet de recherches par de nombreux chercheurs de différents domaines, notamment la psychologie, l'informatique, ainsi que la communication. La « (télé) présence » est définie comme « la mesure dans laquelle on se sent présent dans l'environnement médiatisé ». [Steuer, 1992, p.76].

En comparaison, « l'immersion est un état psychologique caractérisé par le fait de se percevoir comme étant enveloppé par, inclus dans, et interagissant avec un environnement qui fournit un flux continu de stimuli et d'expériences », ou « le degré auquel un individu se sent absorbé par ou absorbé par dans une expérience particulière. » [Witmer and Singer, 1998, p.227]. Cette définition s'inspire de la définition originale et littérale de l'immersion physique « d'être immergé dans l'eau ». La signification métaphorique dérivée reprend donc cette idée d'expérience subjective et psychologique d'être entouré par un autre environnement. Selon [Slater, 1999], il est essentiel de séparer présence et immersion car il serait selon lui logique de consacrer le terme d'immersion à la qualité d'un système (en gros le nombre de canaux sensoriels que celui-ci peut stimuler) plutôt qu'à la notion d'état psychologique. Nous conserverons pourtant le terme immersion pour parler de l'état mental des joueurs-utilisateurs dans le reste de ce document.

Un autre concept est lié à celui de présence, c'est le concept de l'**engagement** (*involvement*). Par définition, « l'engagement est un état psychologique vécu en conséquence de la concentration de son énergie et de son attention sur un ensemble cohérent de stimuli ou d'activités et d'événements significativement liés ». Par conséquent, l'engagement suppose une action de l'individu qui place son attention sur la tâche dans l'environnement virtuel. Il s'agit ici de distinguer la forme (la présence spatiale et l'immersion sensorielle) du contenu (la tâche donc l'engagement). Pour [Burns and Fairclough, 2015], le degré d'engagement dans un jeu vidéo se mesure par l'immersion sensorielle d'une part (au sens des effets de la technologie d'immersion employée comme pour [Slater, 1999]) qu'il faut distinguer de l'**immersion opérationnelle**, encore appelée *challenge immersion* qui

est due aux efforts que demande la tâche.

2.2 Mesures de l'immersion

La mesure de l'immersion rencontre des difficultés similaires à celles de la mesure de la présence : il n'y a pas de consensus sur la définition de l'immersion ni sur les dimensions qui la composent. Les méthodes d'estimation du ressenti de l'immersion qui sont décrites ci-après souffrent alors des mêmes avantages et limites que les mesures de présence spatiale explicitées au chapitre précédent.

2.2.1 Mesures subjectives de l'immersion

Compte tenu du très fort lien entre présence et immersion, les questionnaires de présence incluent très généralement des questions plus spécifiques à l'immersion. Nous ne détaillerons pas ici ces questionnaires (ITQ, MEC-SPQ, ITC-SOPI) déjà présentés au chapitre précédent 1.

Les questionnaires mesurant l'expérience de jeu intègrent souvent des questions sur l'immersion. Par exemple le GEQ (Game Experience Questionnaire, Annexe E.1 [Poels et al., 2007]) contient 6 items sur l'immersion sensorielle et imaginative. La version courte de ce questionnaire, l'iGEQ [Poels et al., 2007] Annexe E.1.2) conserve 2 de ces items. Le PENS [Ryan et al., 2006] Annexe contient 9 items mesurant simultanément présence/immersion/engagement.

En plus des questionnaires sur la présence, il est également possible de mesurer l'immersion par des items issus de questionnaires sur l'engagement qu'il soit dû à la tâche [Brockmyer et al., 2009] ou à la narration dans le jeu [de Graaf et al., 2009]. Les questions peuvent alors concerner la perte de notion du temps ("*I lose track of time*", "*I play longer than I meant to*"), l'incapacité de percevoir les stimuli réels à cause de l'absorption dans le jeu ("*If someone talks to me, I don't hear them*") ou encore l'envie de continuer à jouer ("*I feel like I just can't stop playing*").

Enfin, des efforts ont été fait pour développer un questionnaire spécifique pour mesurer l'immersion dans les films (le **Film-IEQ** pour *Immersive Experience Questionnaire for Film and TV*) [Rigby et al., 2019] qui repose sur quatre composantes (1) captivation, (2) dissociation du monde réel, (3) compréhension et (4) transportation. La composante compréhension était ici confirmée car leur étude a montré que si l'on regarde un film sur un petit écran de smartphone, il est plus difficile de comprendre le film ce qui impacte négativement la sensation d'immersion.

2.2.2 Mesures objectives spécifiques à l'immersion

Quelques mesures physiologiques, comportementales et de performances de l'immersion ont également été proposées.

Mesures physiologiques de l'immersion

D'après Jennett et al. [Jennett et al., 2008], l'immersion peut être évaluée objectivement par **suivi oculaire** : un nombre réduit de fixations indique ainsi une immersion accrue. Cela suggère que plus un participant se sent immergé, plus il regarde le jeu sans changer son regard de direction. Toutefois, le lien entre suivi oculaire et mesure de l'immersion n'est pas très claire et nécessite des études plus approfondies.

Une autre étude, sur l'expérience du joueur dans les jeux de tirs à la première personne (FPS) appliqués sur 3 jeux commerciaux (*Prey*, *Doom 3* et *Bioshock*), a permis de mettre en avant que la **fréquence cardiaque** est corrélée négativement avec l'immersion, ce qui signifie

qu'une fréquence cardiaque plus basse indique une augmentation de la sensation d'immersion pendant le jeu [Drachen and Nacke, 2010]. Les auteurs de cette étude ont aussi comparé l'**activité électrodermale** avec les états mentaux décrits par le questionnaire de l'expérience de jeu iGEQ [IJs, 2008]. Toutefois aucune étude, même pas celle-ci, n'a encore permis de montrer de lien clair entre cette mesure électrodermale, faisant référence pour mesurer l'état émotionnel du joueur, et les mesures de l'immersion ou de présence.

L'électroencéphalographie a également déjà été testée dans une étude sur la présence, le flow et l'immersion [Michailidis et al., 2018]. Il semblerait ainsi que le flow et l'immersion partagent des mécanismes neuronaux différents de ceux activés par la présence.

Aucune de ces études n'a encore prouvées que des mesures physiologiques étaient de bons estimateurs de l'immersion. De plus, ces méthodes bien que souvent peu intrusives, restent soumises au limitation de calibration préalable et d'usage statique qui les rendent inutilisables dans le cadre du projet UnitedVR.

Mesures comportementales et de performance de l'immersion

Plusieurs études se sont basées sur l'assomption que l'une des principales caractéristiques de l'immersion est qu'une fois immergé dans le jeu ou l'univers virtuel, le joueur perd la conscience du monde réel non médiatisé. Le **temps de réaction aux tâches secondaires** (STRT) pourrait alors être utilisé pour mesurer l'attention sur le monde réel. L'hypothèse est en effet que si les ressources cognitives sont principalement affectées à l'expérience médiatisée/ l'univers virtuel, alors moins d'attention serait disponible pour d'autres tâches dans l'univers réel. Cela se traduirait par des temps de réaction plus long pour effectuer ces tâches secondaires. Bien que Klimmt2005 ait rapporté une faible corrélation, négative, entre les mesures attentionnelles et les réponses STRT, l'étude [Bracken et al., 2014] montre quand même que ce type de mesure peut renseigner sur au moins quelques sous dimensions de la présence et de l'immersion sensorielle. Comme autre mesure de l'immersion, [Burns and Fairclough, 2015] proposent une **mesure attentionnelle** fondée sur la perception des sons extérieurs aux jeux. Il s'agit en fait de combiner une mesure de potentiel évoqué² avec l'usage de stimuli sonore en parallèle de la tâche de jeu. L'hypothèse est que plus la tâche est prenante donc immersive moins l'utilisateur ne pourra réagir aux sons qui sont diffusés à l'extérieur du jeu. Effectivement lorsque la tâche devenait très complexe, les potentiels évoqués étaient moins importants confirmant que l'utilisateur percevait moins les stimuli externes.

Malheureusement ces méthodes nous obligeraient à équiper nos participants de matériel supplémentaire, ou à leur diffuser des stimuli externes qui nécessairement nuiraient à l'expérience de jeu, soit encore à demander à nos participants / beta-testeurs de réaliser des tâches dans l'univers réel tout en jouant dans l'univers virtuel, condition limitant l'effet de présence et biaisant l'immersion elle-même.

Une autre hypothèse est que **l'immersion perturbe la perception du temps** qui passe. [Brown and Cairns, 2004] ont ainsi proposé d'utiliser cette dimension comme mesure de l'immersion. Là encore il reste encore à déterminer vraiment quel est le lien entre immersion et perception des durées écoulées.

2. Un potentiel évoqué désigne la « modification du potentiel électrique produite par le système nerveux en réponse à une stimulation externe d'après » wikipedia

2.3 Facteurs d'influence

Le premier facteur est bien évidemment le **nombre et le réalisme des canaux sensoriels** stimulés : plus le système est proche de la perception humaine, c'est-à-dire plus il y a de correspondances entre les différentes informations multimodales générés par le système (par exemple, visuelles, auditives ou tactiles), plus le potentiel immersif est élevé. Ainsi, les systèmes dont la résolution ou la taille d'écran visuelle [Rigby et al., 2019] engendrent une meilleure immersion, tout comme ceux qui ont une surface tactile plus grande. Effet de la taille de l'écran tactile [Thompson et al., 2012], et ceux qui permettent aux joueurs-utilisateurs de ressentir physiquement les choses par des retours haptiques ou l'utilisation d'accessoires. C'est le cas par exemple de l'étude [Schulz et al., 2019] qui propose d'utiliser des accessoires pour simuler de l'escalade en VR et qui montre que l'anxiété, le réalisme et donc la sensation de hauteur en VR. Dans l'étude [Reinhardt and Hurtienne, 2018], les joueurs pouvaient jouer à un jeu de tennis avec ou sans raquette tangible. Leur étude montre que l'accessoire tangible renforce le flow (donc l'immersion au sens d'engagement) tout autant que la perception que l'interaction est naturelle.

La méta-review de [Cummings and Bailenson, 2015] montre également qu'augmenter l'immersion sensorielle par la technologie augmente la présence. Les facteurs d'influence purement technologiques n'ont en revanche pas la même priorité d'influence. Ainsi le suivi des mouvements des utilisateurs, l'utilisation de visuels stéréoscopiques et des champs de vision/ des écrans plus larges ont beaucoup plus d'impact que les améliorations apportées à la plupart des autres fonctionnalités du système immersif, en particulier plus que la qualité du contenu visuel et auditif.

Le second facteur c'est les **traits de personnalité du joueur-utilisateur** [Weibel and Wissmath, 2011]. L'**Immersive Tendency Questionnaire, ITQ** [Witmer and Singer, 1998] permet alors de mesurer la tendance d'un joueur/utilisateur à plus ressentir les émotions et donc à être plus immergé lors de l'utilisation des médias et des rêves en état d'éveil. Cette mesure est reprise par exemple dans [Gasselseder, 2014] pour mesurer l'effet de la musique sur l'immersion.

L'influence de la capacité des utilisateurs à se créer une image mentale sur la présence et le plaisir en général varie en fonction du type de média utilisé. Par exemple ceux qui ont une grande facilité à s'imaginer l'univers ont une présence plus grande si le média utilisé est en fait du texte (livre), tandis que seul le plaisir peut être évalué comme supérieur par les gens avec de moins grandes facilités de projection mentale quand ils regardent un film [Weibel and Wissmath, 2011].

De même que pour la présence, l'expérience passée du joueur et l'immersion sont liées et influencent l'UX générale. Ainsi si le joueur est novice ou si il est âgé, l'immersion devra être renforcée [Örtqvist and Liljedahl, 2010].

3- Présence sociale et co-présence

3.1 Définition(s)

Le terme de **co-présence** a été introduit par le sociologue Erving Goffman dans les années 1960 [Goffman, 1959]. Il fait référence au lien psychologique que l'on peut ressentir envers et avec une autre personne. Ce lien s'établit lorsque les gens perçoivent activement les autres et sentent qu'en retour les autres les perçoivent activement [Nowak and Biocca, 2003]. Ainsi pour Biocca et al. la définition de la co-présence frôle celle de conscience mutuelle (*mutual awareness*) [Biocca et al., 2003]. La sensation de co-présence peut se produire même dans une communication en face à face et non médiatisée par ordinateur, au contraire de la sensation de *présence* si on la définit comme une illusion de non-médiation [Lombard and Ditton, 1997]. Par exemple, parler au téléphone avec quelqu'un peut induire un fort sentiment d'« être avec » cette personne mais pas d'être au même endroit qu'elle [Slater et al., 2000].

En d'autres termes, par rapport à la définition traditionnelle de la présence au sens de présence spatiale « *sentiment d'être là* », la co-présence peut souvent être conceptualisée comme le « *sentiment d'être ensemble* » [Ijsselsteijn et al., 2001] et se concentre sur le sentiment de connexion entre des personnes, que la connexion soit médiatisée ou non.

Bien que la définition de co-présence semble claire, il reste une ambiguïté puisque certains chercheurs l'assimilent à un autre concept, celui de **présence sociale**, sensation d'« être avec eux », au même endroit. Ces sentiments de co-présence et présence sociale constituent donc en eux même la priorité à atteindre des dispositifs de communication à distance, et a fortiori de jeux multi-site comme proposé dans le projet UnitedVR.

3.1.1 Présence sociale

Le terme de présence sociale, explicitée dans la revue de littérature [Oh et al., 2018], est issu des théories de la psychologie sociale introduite dans les années 1970 par Short et ses collègues. Il permet de définir la capacité d'un système de communication à transmettre des indices sociaux. Initialement défini comme « le degré de saillance de l'autre personne dans l'interaction et de la saillance résultante des relations interpersonnelles » [Short et al., 1976], ce concept peut donc s'appliquer à la fois aux interactions médiatisées et à celles qui ne le sont pas (de la même manière que la co-présence). La définition de la présence spatiale a ensuite été revisitée par Biocca et ses collègues [Biocca, 1997] pour correspondre plus aux interactions à travers un média : ainsi elle fait référence au « sentiment d'être ensemble avec une autre personne réelle » (*sense of being with another through a medium*).

Étant donné que les concepts de co-présence et de présence sociale ciblent tous deux la communication et l'interaction interpersonnelles et qu'ils se ressemblent, la clarification de ces définitions a été intensément discutée dans la littérature académique. Une manière de distinguer la co-présence de la présence sociale est que si la présence sociale est liée à la qualité du médium

et à la perception que les utilisateurs ont du médium, la co-présence concerne plutôt l'interaction psychologique des individus [Bulu, 2012]. En ce sens, le concept de co-présence repose sur une forme de conscience sensorielle élémentaire des autres, ce qui peut être considérée comme l'une des conditions préalables à la présence sociale [Tamborini and Skalski, 2006].

Premier modèle de la co-présence : un prérequis de la présence sociale

Pour Biocca et ses collègues, la présence sociale peut se diviser en trois dimensions [Biocca et al., 2001] : le niveau le plus bas de présence sociale est caractérisé par un sentiment de co-présence et des attributs minimaux de l'autre (catégorisation de base de l'identité, intentions et attention de l'autre), tandis que le niveau supérieur de présence sociale perçue nécessiterait en plus une implication psychologique et un engagement comportemental (Fig. 3.1).

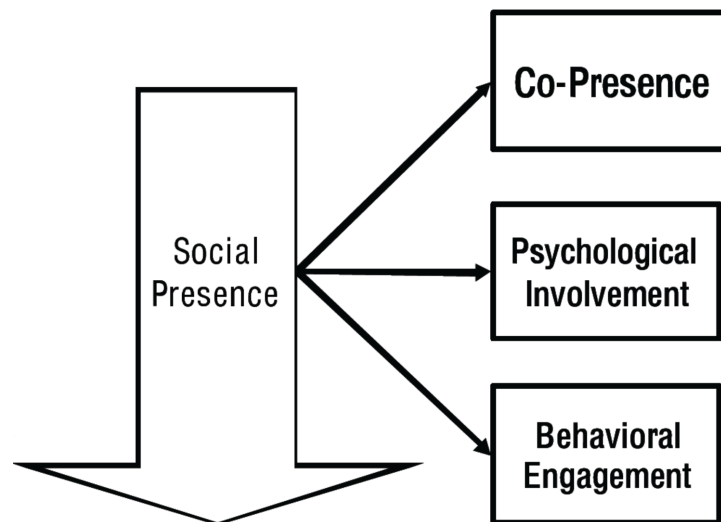


FIGURE 3.1 – Les trois dimensions sous-jacentes de la présence sociale selon Biocca et al. Extrait de [Biocca et al., 2001].

Chacune de ces dimensions peut alors être définie comme :

- **Co-présence** (*co-presence*) : le degré avec lequel l'utilisateur croit qu'il/elle n'est pas seul et isolé, son niveau de conscience périphérique ou focalisée de l'autre ou des autres, et le degré avec lequel il pense que l'autre a conscience de lui/d'elle de façon focalisée ou non.
- **Implication psychologique** (*psychological involvement*) : le degré avec lequel l'utilisateur accorde une attention à l'autre, ressent ou répond avec empathie aux états émotionnels de l'autre, et croit qu'il ou elle a un aperçu des intentions, de la motivation et des pensées de l'autre.
- **Engagement comportemental** (*Behavioral engagement*) : le degré auquel l'utilisateur pense que ses actions sont interdépendantes, connectées ou sensibles à l'autre et auquel il perçoit la réactivité de l'autre face à ses actions.

Second modèle de la co-présence : l'intersection entre présence spatiale et présence sociale

Contrairement à la définition de la co-présence proposée par Biocca *et al.*, Ijsselsteijn *et al.* ont repris les distinctions de présence sociale et physique (spatiale) proposées par Lombard et

Ditton [Lombard and Ditton, 1997] pour interpréter la co-présence comme une intersection de présence spatiale et de présence sociale, c'est-à-dire où les gens peuvent se sentir ensemble dans un espace partagé (Fig. 3.2) [Ijsselsteijn et al., 2001]. Dans ce modèle, la co-présence n'est plus seulement identifiée comme un « *sentiment d'être ensemble* », mais met en évidence le sentiment d'« *être ensemble dans le même espace* ».

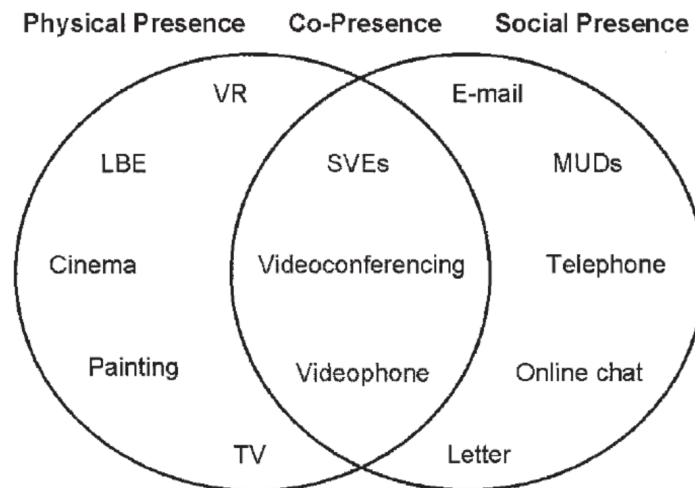


FIGURE 3.2 – Illustration de la relation entre présence physique, sociale, et co-présence, selon plusieurs exemples applicatifs dans le modèle de [Ijsselsteijn et al., 2001]. (VR = *Virtual Reality*; LBE = *Location-Based Entertainment*; SVEs = *Shared Virtual Environments*; MUDs = *Multi-User Dungeons*).

Autres relations entre présence, co-présence, et présence sociale

Des études antérieures, résumées par exemple dans [Bulu, 2012], ont cherché à mieux identifier la relation entre les sentiments de présence, de co-présence et de présence sociale. En comparant le comportement de petits groupes en environnement virtuel, plusieurs études ont trouvé de façon significative une corrélation positive entre la sensation de présence spatiale et celle de co-présence [Axelsson et al., 2001, Slater et al., 2000, Schroeder, 2002] et entre la sensation de présence spatiale et celle de présence sociale [Thie and Wijk, 1998, Bulu, 2012]. Bulu en a conclu que les étudiants qui ressentaient la présence spatiale dans l'environnement virtuel avaient également tendance à ressentir le sentiment d'être ensemble - ce qui augmentait la co-présence; et à percevoir l'environnement comme plus personnel et sociable - ce qui accroît l'intimité et l'immédiateté, tous deux facteurs de présence sociale [Bulu, 2012].

En évaluant séparément co-présence et présence sociale (par des questionnaires), plusieurs études ont confirmé que la co-présence était également positivement corrélée à la présence sociale. Les explications des auteurs sont alors que la représentation d'avatars et l'utilisation de canaux de communication à la fois verbaux et non verbaux permettraient aux utilisateurs de se connecter les uns aux autres à la fois socialement et psychologiquement [Biocca et al., 2003, Schroeder, 2002]. Dans la suite de ce rapport, nous utiliserons indifféremment les termes de co-présence et de présence sociale qui représentent selon nous le même concept de « *jouer ensemble* » dans l'évaluation de l'expérience utilisateur de jeux en VR. Toutefois, quand les auteurs cités ont utilisé un des deux termes plutôt que l'autre, nous référencerons les résultats ou méthodes avec le terme d'origine.

3.2 Mesures de la co-présence

Comme pour les mesures de présence, la majorité des études qui estiment la co-présence le font par des questionnaires post-hoc. Ces auto-évaluations présentent donc les mêmes avantages (non rupture de l'expérience immersive, facilité d'administration) mais aussi les mêmes limitations que ceux utilisés pour la présence spatiale : pas de mesures possibles de variations de la sensation durant l'expérience de jeu, mesures seulement du souvenir de la sensation, influence forte des traits de personnalité des joueurs-utilisateurs nécessitant le recueil d'informations par des questionnaires en amont de l'expérience. Ainsi les récentes études tendent à cumuler des éléments d'évaluations à la fois subjectifs (questionnaires) et objectifs (mesures comportementales voire physiologiques). De plus, comme pour l'étude de la présence, les questionnaires utilisés sont généralement modifiés légèrement en fonction de l'expérience immersive évaluée.

3.2.1 Evaluations subjectives

La *co-présence* est liée au sentiment de connexion entre deux personnes. Compte tenu de sa double nature, elle est généralement mesurée par deux échelles distinctes d'un questionnaire : la première interroge sur la perception qu'on les participants sur l'implication de leur partenaire dans l'interaction (co-présence perçue de l'autre) ; la seconde les interroge sur leur propre implication comme interacteur (co-présence autodéclarée) [Nowak and Biocca, 2003].

Questionnaires post-hoc

Les questionnaires post-hoc sont distribués aux participants après l'expérience (ou après chaque essai ou chaque tâche). Certaines études récentes évaluent à la fois la sensation de *co-présence* et de *présence sociale*, d'autres s'intéressent en plus à l'attraction interpersonnelle.

Questionnaires dédiés à la co-présence

On retiendra surtout :

- celui de Slater et al. [Slater et al., 2000] en Annexe B.1, a été initialement mis en place dans une étude comparative entre comportements d'un petit groupe de participants en univers réel et virtuel. Ce questionnaire a également été utilisé dans [Podkosova and Kaufmann, 2018] et [Bulu, 2012].
- celui de Bailenson et al. [Bailenson et al., 2005], en Annexe B.2, initialement utilisé pour étudier l'effet de l'apparence des agents incarnés sur la co-présence ainsi évoquée. Ce questionnaire mesure la présence sociale selon plusieurs variables : co-présence perçue, embarras (pour mesurer l'influence de l'agent virtuel), et la sympathie induite par la représentation de l'agent virtuel. Ce questionnaire a ensuite été réutilisé par exemple dans [Ochs et al., 2019].
- celui de Basdogan et al. [Basdogan et al., 2000], Annexe B.3, pour étudier comment l'ajout de retours haptiques lors d'une communication influençait le sentiment d'être ensemble et de collaborer avec un partenaire à distance. Ce questionnaire a également été réutilisé dans [Sra et al., 2018].
- le questionnaire utilisé dans [Nowak and Biocca, 2003], Annexe B.4, mesure à la fois la co-présence et la présence sociale. Il a été utilisé dans une étude pour évaluer l'effet de l'anthropomorphisme d'un avatar sur ces sentiments. Ce questionnaire a également été utilisé dans [Podkosova and Kaufmann, 2018, Roth et al., 2018, Herrera et al., 2020].

Questionnaires dédiés spécifiquement à la présence sociale

Parmi ces questionnaires [Bailenson et al., 2003], on retrouve le *Perceived sociability assessment* [Kreijns et al., 2007] (Annexe B.5), réutilisé dans [Bulu, 2012]; et le *networked minds measure of social presence* [Biocca et al., 2001] (Annexe B.6) réutilisé par exemple dans [Podkosova and Kaufmann, 2018, Roth et al., 2018, Herrera et al., 2020].

Mesure de l'attraction interpersonnelle

L'attraction interpersonnelle est définie comme le degré d'affinités (évaluation positive d'autrui) que l'on peut avoir avec quelqu'un, ne considère que l'attraction due aux interactions échangées avec cette personne (il ne s'agit donc pas d'attraction physique, due aux caractéristiques physiques de l'autre). Dans [Davis and Perkowitz, 1979] cette attraction interpersonnelle est mesurée sur une échelle de 6 items, dont par exemple les items « *My partner is the type of person I could become close friends with* » et « *My partner is friendly* ». Cette mesure est également utilisée dans [Herrera et al., 2020].

Mesure de la co-présence dans l'expérience de jeu

Pour mesurer l'expérience de jeu et le sentiment de co-présence ou de présence sociale des joueurs-utilisateurs, il est très fréquent que plusieurs questionnaires soient combinés. Par exemple, dans leur étude sur l'impact des entités sociales sur la sensation de solitude et de présence sociale, Liszio et al. ont combinés les questionnaires suivants [Liszio et al., 2017b] :

- le **SPGQ** (*Social Presence in Gaming Questionnaire*, Annexe B.7) [de Kort et al., 2007] qui est initialement un complément au *GEQ* (*Game Experience Questionnaire*, Annexe E.1)) [Poels et al., 2007]. Il est conçu pour mesurer la présence sociale sous 3 dimensions : l'empathie, les sentiments négatifs et l'implication comportementale. Ce questionnaire est également utilisé dans [Sra et al., 2018].
- l'échelle **CSP** (*Cooperative Social Presence Scale*) qui est un extrait du *Competitive and Cooperative Presence in Gaming Questionnaire* (Annexe B.8) [Riva et al., 2014]. Elle évalue la présence sociale dans des environnements coopératifs, en mettant l'accent sur la perception de deux dimensions de l'aspect coopératif de l'interaction, à savoir la cohésion d'équipe et l'implication de l'équipe.
- pour finir, le **PENS** (*Player Experience of Needs Satisfaction Questionnaire*, Annexe E.2) [Rigby and Ryan, 2007] qui contient trois éléments concernant la qualité perçue de la relation sociale avec l'autre joueur ou l'agent.

Pre-questionnaire

Comme on l'a vu dans les chapitres précédents, les traits de caractères peuvent influencer la sensation de présence. Pour analyser correctement les résultats obtenus aux questionnaires précédents sur la co-présence (ou aux mesures objectives) il est nécessaire de les considérer en relation avec les traits de personnalité de chaque utilisateur. Il est alors possible d'interroger les participants en début d'expérience, notamment sur leurs tendances à l'immersion mesurée par le ITQ (*Immersive Tendency Questionnaire*) déjà présenté chapitre 1 [Witmer and Singer, 1998]. Les dimensions présentées ci-après ont toutes une influence sur la sensation perçue de co-présence.

Tendance à l’immersion

L’*Immersive Tendency Questionnaire (ITQ)* [Witmer and Singer, 1998] (Annexe D.1) est utilisé par exemple dans les études sur la présence sociale de Bulu [Bulu, 2012] et Liszio [Liszio et al., 2017b].

Préférence face à la solitude (Pfs)

L’évaluation de la préférence face à la solitude *Preference for Solitude Scape (Pfs)* [Nestler et al., 2011] évaluent l’attitude générale des participants vis à vis de leur expérience de la solitude [Liszio et al., 2017b]. Elle décrit dans quelle mesure une personne apprécie d’être seule ou cherche la compagnie. Elle repose sur trois sous-échelles : plaisir, besoin et productivité. En plus de la perception générale des participants de la solitude, l’échelle de solitude de l’UCLA *UCLA Loneliness Scale* [Russell et al., 1978] (Annexe D.2) recueille également des informations sur leur perception de l’isolement social dans leur vie quotidienne.

Relations sociales entre utilisateurs et autres traits de caractères

Les autres traits de caractères qui ont, de façon prouvée, un impact sur le ressenti de la co-présence sont :

- *The ‘Inclusion’ of the Other in the Self (IOS) task* : relation entre l’utilisateur et les autres [Aron et al., 1992] (Annexe D.3)
- *Big Five personality* [Rammstedt and John, 2007] (Annexe D.4)

3.2.2 Evaluations objectives

Comme pour la présence spatiale, les mesures objectives de la coprésence peuvent être classées en trois catégories : comportementales (non verbale ou verbale), liées à la performance, et physiologiques. La plupart des études prévoient dès la conception de l’expérience de mesurer les comportements des participants et leur performance sur les tâches proposées. En effet, bien que Slater et al. ont constaté que la fréquence cardiaque des utilisateurs augmentait lorsqu’un agent virtuel leur parlait [Slater et al., 2006], il n’est pas certain que des indicateurs physiologiques tels que la conductance cutanée, l’IRMF, l’EEG puissent être des facteurs fiables pour évaluer la co-présence ou la présence sociale encore. Dans ce qui suit, quelques exemples de mesure du comportement et de tâches expérimentales sont décrits.

Mesures comportementales

Les mesures suivantes sont fortement corrélées à la sensation de présence sociale et devraient donc être intégrées dans les jeux développés au sein du projet UnitedVR :

- **Distance interpersonnelle** : le maintien d’une distance interpersonnelle appropriée est positivement lié à la co-présence. Par exemple dans leur étude sur l’apprentissage en réalité virtuelle, Bailenson et al. ont constaté que les participants maintenaient une plus grande distance avec les tuteurs incarnés par de vrais enseignants qu’avec les agents virtuels [Bailenson et al., 2004]. Ainsi la distance interpersonnelle minimale est une mesure traditionnelle utilisée par les chercheurs [Bailenson et al., 2003, Bailenson et al., 2004, Roth et al., 2018].
- **Distance moyenne lors des croisements et vitesse de marche** : Podkosava et al. ont

comparé les paramètres de vitesse de marche moyenne des participants, et leurs distances interpersonnelles lors des croisements avec d'autres participants, dans deux conditions distinctes : soit les participants étaient en compétition soit ils étaient en collaboration [Podkosova and Kaufmann, 2018]. Les auteurs partaient alors de l'hypothèse que des vitesses plus lentes et un jeu plus important entre les participants colocalisés indiqueraient une attention renforcée aux participants partageant un même espace de déplacement réel. Cette étude a ainsi permis de vérifier que les participants situés au même endroit dans le monde réel mais non collaborateurs avaient bien la sensation d'être "situés là avec eux", mais dans une moindre mesure que ceux qui en plus partagés la même équipe.

- **Rotation de la tête** : il s'agit de déterminer la quantité moyenne de mouvement de la tête du participant pendant l'interaction. Le mouvement de rotation « devant-derrrière » (dit *pitch* en anglais, *pas* en français), c'est-à-dire « hocher la tête » signifie « Oui ». Au contraire le mouvement de rotation gauche droite par rapport à la verticale (*yaw motion*, ou *mouvement de lacet* en français) signifie « trembler » (« Non »). Par exemple, Herrera et al. ont constaté que les participants aimaient les partenaires qui ne Ainsi les participants préfèrent le comportement des autres participants lorsque ces derniers ne font pas trembler leur tête de façon systématique [Won et al., 2014, Won et al., 2016, Herrera et al., 2020].
- **Contacts visuels et temps groupé** : Roth et al. ont étudié, lors d'une visite d'un musée virtuel par un groupe de participants [Roth et al., 2018], l'effet de la réalité virtuelle sur trois types de critères comportementaux, à savoir : 1) nombres de regards partagés, 2) regards posés sur l'avatar de l'autre aussi appelée attention mutuelle, et 3) fréquences et durées des moments de regroupements. Cette étude a mis en avant une augmentation significative de la concentration mutuelle (contacts visuels) et de la concentration sur les objets actifs de la scène, ainsi qu'une augmentation légèrement significative de l'attention portée aux avatars des autres participants.

Mesures de performances

Les chercheurs suggèrent que les performance de réalisation de certaines tâches puisse être utilisée comme une mesure objective de la présence sociale [Kyriakou et al., 2017].

Par exemple dans [Bailenson et al., 2003], le test utilisé est un **test de rappel**. Les participants doivent mémoriser les étiquettes qu'ils trouvent sur les chemises d'humains virtuels. Le nom de chaque humain virtuel est écrit au recto et un numéro unique au verso. Les vêtements, la couleur des cheveux et la couleur des yeux de l'humain virtuel étaient également demandés après la tâche. Bailenson et coll. ont constaté que le souvenir des participants était plus élevé, c'est-à-dire que les participants se rappelaient de plus d'informations, lorsqu'il s'agissait d'un avatar associé à un être humain réel que lorsqu'il s'agissait d'agents contrôlés par une IA [Bailenson et al., 2003].

De même, en analysant la trajectoire des participants qui devaient suivre un enfant au plus près en traversant une foule virtuelle, soit avec soit sans collisions et interactions sociales avec les foules, Kyriakou et al. ont constaté que l'évitement des collisions et les salutations avec la foule renforcent le sentiment de présence. Cependant, la performance de la tâche était meilleure dans les conditions les moins immersives [Kyriakou et al., 2017].

D'autres tâches ont servi de support pour évaluer le sentiment de co-présence mais elles sont alors fortement décorréliées d'une condition écologique, et difficilement intégrables à l'univers d'un jeu vidéo. Elles semblent donc peu applicables dans le contexte du projet UnitedVR. C'est le cas d'une tâche de collaboration avec un partenaire où il s'agit d'ordonnancer une liste de 15 éléments en fonction de leur importance pour survivre dans le désert [Lafferty et al., 1974]. C'est le cas également d'un jeu (*20 Questions Game*) où il faut deviner le mot inscrit sur la carte que

son partenaire a choisi parmi un jeu de cinq cartes en ne posant que des questions fermées (où l'on peut répondre oui/non) [Bailenson et al., 2002, Bailenson and Yee, 2006, Herrera et al., 2020].

3.3 Facteurs d'influence de la sensation de co-présence

Une synthèse des paramètres qui ont déjà été testés pour vérifier leur influence sur le sentiment de présence sociale est disponible dans la revue de littérature [Oh et al., 2018].

3.3.1 Effet de la tendance à l'immersion et autres traits de caractères sur la co-présence

Comme nous avons pu le voir dès le premier chapitre, les caractéristiques des utilisateurs eux-même peuvent jouer un rôle critique dans le sentiment de présence dans les environnements virtuels 3D. En particulier, la tendance à l'immersion (faculté de se sentir immerger dans un univers) est une des caractéristiques qui impacte le plus le sentiment de présence. Cette tendance à l'immersion est impactée par 5 traits personnels (*Big Five*) [Weibel et al., 2010b]. Et, sur la base de l'étude de Bulu [Bulu, 2012], cette tendance à l'immersion est positivement corrélée à la présence spatiale et à la co-présence dans un lieu (Fig. 3.3). Dans cette dernière étude, les participants qui avaient une tendance plus élevée à se concentrer sur des activités de la vie réelle avaient également tendance à ressentir une conscience mutuelle dans l'environnement virtuel. De façon surprenante dans cette étude, les scores de tendance à l'immersion des élèves ne montraient pas de relations avec le score de présence sociale ressentie. Les auteurs en ont conclu que ces deux notions sont disjointes. Aussi, cette étude montre que les dimensions de présence spatiale, co-présence et présence sociale, sont tous de bons indicateurs de la satisfaction globale (Fig. 3.3), sachant que celui qui permettait d'estimer le mieux la satisfaction globale des utilisateurs était la présence sociale.

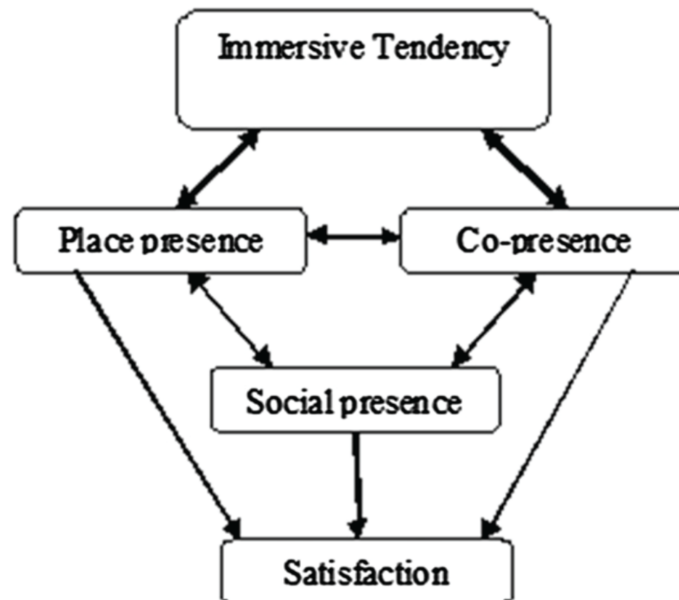


FIGURE 3.3 – Relation entre présence, tendance à l'immersion et satisfaction, d'après Bulu [Bulu, 2012]

3.3.2 Incarnation simulée ou réels des autres avatars

Plusieurs études ont montré que la sensation de co-présence est plus grande lorsque les autres avatars présents dans l'univers virtuel sont incarnés par de vrais utilisateurs humains que lorsqu'il s'agit d'agents virtuels contrôlés par une IA [Bailenson et al., 2003, Bulu, 2012, Biocca et al., 2003, Schroeder, 2002]. Cet effet augmente lorsque les avatars font preuve d'un regard mutuel, i.e. ils sont capables de regarder les joueurs-utilisateurs [Bailenson et al., 2003]. Ces derniers peuvent également ressentir plus de plaisir et d'immersion avec un co-joueur humain plutôt qu'avec un agent virtuel [Liszio et al., 2017b]. Cela laisse supposer que les agents virtuels actuels ne simulent pas l'ensemble du comportement d'un joueur réel. Il reste cependant à déterminer quels sont les facteurs sur lesquels la communauté scientifique doit travailler pour mieux simuler le comportement des agents virtuels et obtenir un sentiment de co-présence équivalent avec des agents virtuels qu'avec des joueurs réels.

3.3.3 Effet de l'apparence et du comportement des avatars sur la co-présence

Concernant l'apparence visuelle des avatars, de nombreuses études ont montré que, de façon contre-intuitive, les avatars photoréalistes et anthropomorphes ne conduisent pas nécessairement à un meilleur sentiment de co-présence [Nowak and Biocca, 2003, Liszio et al., 2017b, Heidicker et al., 2017, Herrera et al., 2020]. Par exemple, dans l'étude [Nowak and Biocca, 2003], les auteurs ont trouvé que les participants ressentaient une co-présence plus forte lorsque le rendu graphique des avatars étaient finalement moins fidèle à une apparence humaine (Fig. 3.4). De la même manière, Herrera *et al.* [Herrera et al., 2020] ont constaté que les participants représentés par des avatars à tête et mains flottantes reportaient un sentiment de présence de soi et de présence sociale plus important que les participants représentés par des avatars à corps entiers (Fig. 3.5). En comparant aussi avec des avatars à corps entiers mais sans suivi des mouvements des mains ou des pieds de l'utilisateur, les auteurs ont alors confirmé qu'un moindre réalisme comportemental des avatars entraîne un moindre sentiment de présence de soi et d'attraction interpersonnelle.

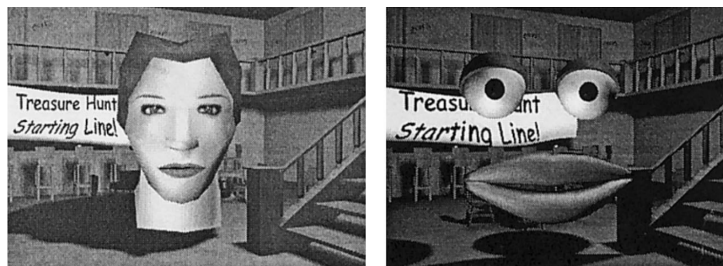


FIGURE 3.4 – Les différents rendus utilisés dans l'expérimentation de [Nowak and Biocca, 2003] : (gauche) image hautement anthropomorphique et (droite) image faiblement anthropomorphique.

Ainsi, le réalisme comportemental des avatars, c'est-à-dire le degré avec lequel la représentation virtuelle agit de la manière dont agirait une vraie personne (cligne des yeux naturellement, « respire », ...) est en fin de compte plus important pour les interactions sociales que l'apparence physique des avatars (photoréalisme et ressemblance humaine) [Garau, 2003]. Nous retiendrons également que plus l'apparence visuelle des avatars est réaliste plus les utilisateurs s'attendent à ce que ces avatars agissent de façon réaliste [Slater and Steed, 2002]. Lorsque ces attentes sont déçues, le sentiment de présence sociale diminue.

Pour conclure sur l'influence de la représentation visuo-motrice des avatars, le réalisme visuel des avatars n'est pas en lui-même une condition préalable pour atteindre des niveaux élevés



FIGURE 3.5 – Représentations d’avatar utilisée dans l’étude [Herrera et al., 2020] : (gauche) avatars au corps entier et (droite) avatars avec tête et mains flottantes.

de présence sociale [Liszio et al., 2017b]. Il est nécessaire de traiter simultanément le réalisme visuel et le comportemental des avatars. En effet, une grande inadéquation entre l’apparence et le réalisme comportemental conduit à une faible co-présence [Bailenson et al., 2005].

3.3.4 Impact de la communication sur la co-présence

Pour clore sur cette notion de co-présence, d’après les travaux de [Eynard, 2016] les phénomènes de co-présence et de présence sociale ne peuvent apparaître sans communication synchrone (au sens de temps réel) entre les joueurs-utilisateurs.

Nous noterons que, hormis en guise de communication entre utilisateurs, l’impact des autres contenus sonores n’a pas été étudié comme facteur de présence sociale. On sait déjà qu’ils agissent sur l’immersion, donc sur la présence spatiale. On verra dans le chapitre suivant que le son a en revanche été étudié, et a une grande influence, sur la présence de soi et l’incarnation.

4- Présence de soi et incarnation

La notion d'**incarnation** (ou *sense of embodiment* (SoE) en anglais) fait l'objet de plus en plus de recherches, que ce soit pour les seuls environnements virtuels ou pour les jeux vidéo. En effet, compte tenu du potentiel social généré par les avatars, de nombreuses questions se posent sur l'impact psychique et sociétal de la représentation des joueurs-utilisateurs : comment la représentation des avatars en réalité virtuelle affecte notre perception de nous-même ? et la façon dont les autres nous perçoivent ? Et aussi, quel changement de comportement cela va-t-il induire chez chacun des utilisateurs (phénomène appelé Effet Proteus [Yee and Bailenson, 2007]) ?

Pour une revue de littérature récente sur la notion d'incarnation, le lecteur pourra se référer à la thèse de Geoffrey Gorisse de 2019 [Gorisse, 2019] portant sur les liens entre présence et incarnation, au mémoire de fin d'étude de Jean-Paul van Bommel [van Bommel, 2017], à la revue de littérature de [Genay et al., 2020] sur l'incarnation en réalité mixte et à la thèse de Rebecca Fribourg dont la soutenance est prévue en novembre 2020 [Fribourg, 2020].

4.1 Définitions

Le mot incarnation se décompose étymologiquement en « *in* » (« dans ») et « *carno, carnis* fg, la chair. L'**incarnation**, (ou *sense of embodiment* en anglais) est donc l'acte de devenir chair, d'investir un corps. En fait, en réalité virtuelle, le sentiment d'incarnation se manifeste dès lors que les propriétés du corps virtuel sont traitées comme étant celles du corps biologique, ce qui amène la définition suivante : l'incarnation est « l'ensemble des sensations qui surviennent en conjonction avec le fait de se sentir à l'intérieur, d'avoir et de contrôler un corps » [Kilteni et al., 2012, p. 374].

L'incarnation suppose donc d'une certaine manière une sensation de transfert corporel et repose, selon [Kilteni et al., 2012], sur trois grandes dimensions illustrées Figure 4.1 : la localisation de soi, le sentiment d'agentivité et le sentiment de possession. La **localisation de soi** encore appelée auto-localisation correspond à la connaissance de la position de son corps. Le **sentiment d'agentivité** (*agency*) est défini par la sensation de contrôler les actions du corps. Enfin l'**illusion de propriété corporelle** (*illusion of body ownership*) concerne l'impression que son corps est à l'origine des sensations ressenties.

4.2 Mesures de l'incarnation

4.2.1 Mesures subjectives spécifiques à l'incarnation

Comme pour les autres dimension de la présence, la présence de soi et l'incarnation sont très souvent évaluées par des questionnaires d'auto-évaluations.

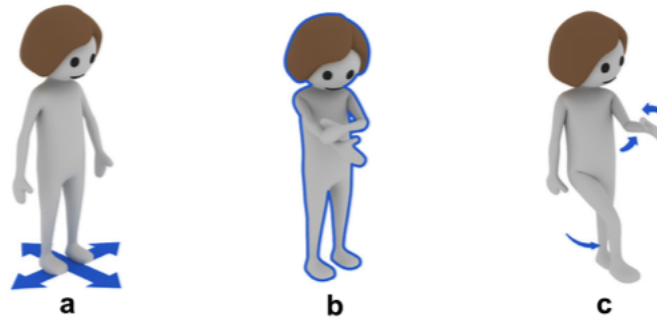


FIGURE 4.1 – Trois composantes de l'incarnation dans le monde physique qui ont été identifiées dans la littérature : l'auto-localisation, la propriété du corps et l'agence. L'auto-localisation (a) fait référence à la sensation que le corps incarné se situe effectivement à la position de notre corps [50]. La propriété corporelle (b) se rapporte à la perception du corps comme étant la source des sensations. L'agentivité (c) se rapporte au sentiment de contrôle sur ses propres actions. Extrait de [Roth and Latoschik, 2020].

Le premier questionnaire permettant de mesurer la sensation d'incarnation a été développé lors de la première étude sur la *Rubber Hand Illusion* [Botvinick and Cohen, 1998] (cf section 4.3.1). Séparé en deux parties, il demandait d'abord une description ouverte du ressenti des participants puis posaient 9 questions sur une échelle de Likert (cf Annexe C.1). Ce type d'auto-évaluation a été validé par la suite pour le cas spécifiques des mesures du sentiment d'incarnation [Longo et al., 2008] et continue donc d'être utilisé depuis.

D'après [Kilteni et al., 2012], les questionnaires d'auto-évaluations utilisés pour mesurer l'incarnation, devraient au moins questionner les trois sous-composantes de sentiment d'agentivité, de propriété corporelle et d'auto-localisation 4.1, puisque chacune d'elle suffit à elle seule, à partir d'un certain seuil d'observation, à susciter le sentiment d'incarnation. Il est à noter toutefois qu'il est impossible de susciter de sentiment d'agentivité avec un corps immobile et que ces mesures requièrent donc qu'il y ait du mouvement pour l'utilisateur et le corps incarné.

Ces dernières années, la recherche d'un questionnaire standard, permettant de comparer les observations issues d'études distinctes, a beaucoup animé la communauté scientifique. Ains Gonzalez-Franco et Peck [Gonzalez-Franco and Peck, 2018] ont proposé d'identifier un ensemble de questions communes aux autres études et qui restaient alors à normaliser. Roth et Latoschik [Roth and Latoschik, 2020] ont repris ces questions puis ont construit et validé un questionnaire appelé **Virtual Embodiment Questionnaire** (VEQ, cf Annexe C.2) obtenu par analyse en composantes principales des précédents questionnaires issus de la littérature. Ils ne distinguent plus les 3 grandes composantes telles que proposées par Kilteni mais remplace la mesure de l'auto-localisation, naturellement induite par les expériences à la première personne, par la sensation de changement (qui englobe malgré tout l'auto-localisation) (Figure 4.2).

4.2.2 Mesures objectives spécifiques à l'incarnation

Pour dépasser les limites des questionnaires d'auto-évaluations déjà abordées dans les chapitres précédents, il est possible d'utiliser des mesures objectives.

Une des mesures utilisées pour cela est l'évaluation de la **dérive proprioceptive**, c'est à dire la soustraction de la position estimée à la position réelle de la main.

Une autre mesure régulièrement employée est celle de l'enregistrement de la **réponse en conductance cutanée** (sous type de réponse électrodermale) du participant face à une menace

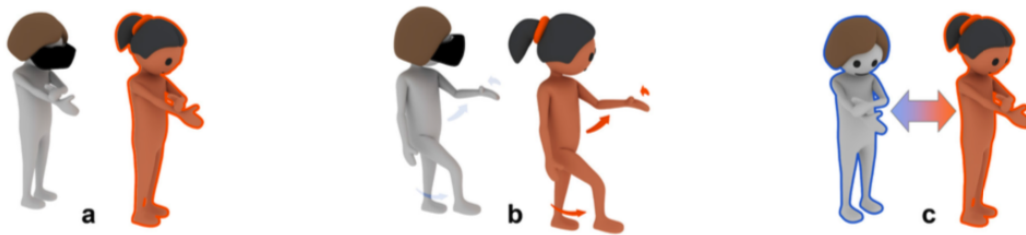


FIGURE 4.2 – Les trois composantes de l’incarnation évaluées dans le VEQ. (a) La propriété corporelle se rapporte à la perception du corps comme étant le sien et donc la source des sensations. (b) L’agentivité se rapporte au sentiment de contrôle sur ses propres actions. (c) le changement se réfère aux différences perçues de schéma mental de son corps induites par la stimulation. Extrait de [Roth and Latoschik, 2020].

physique. Il a été montré plusieurs fois que cette mesure constitue un indicateur valide du sentiment d’incarnation, au moins en condition d’expérimentations très contrôlées de laboratoire, que ce soit lors d’expérience type *rubber hand illusion* (où le participant a la sensation de posséder une main en caoutchouc) ou pour des expériences sur les premiers systèmes de réalité virtuelle [Petkova and Ehrsson, 2008]. Le problème de cette mesure est qu’il faut en général l’associer à une **menace physique** dans l’univers VR (par exemple un couteau qui viendrait poignarder la main, Figure 4.3). De plus, l’interprétation des données obtenues dépend trop du choix de l’algorithme pour vraiment identifier à quel point cette mesure est fiable [van Bommel, 2017, p. 35].

Comme les performances ou comportements des utilisateurs peuvent changer en fonction de l’avatar qu’ils incarnent, on peut également supposer que des mesures comportementales peuvent servir d’évaluation. Là méthode la plus couramment utilisée est alors de générer un danger virtuel (menace) pour éliciter une réaction (menace). Le type de danger peut varier, par exemple il peut s’agir d’utiliser une scie virtuelle pour valider la longueur du bras ressentie, ou de simuler un bord de précipice dans les études sur le vertige (Fig. 4.3). Enfin certaines études proposent simplement de comparer la réaction dans l’univers virtuel avec la réaction observée lors de la même situation dans le monde réel (par exemple orientation des épaules quand on passe un obstacle).



FIGURE 4.3 – Scène suscitant une réaction du participant (avatar vu de dos) : un autre personnage virtuel vient lui poignarder la main. Extrait de [Dewez et al., 2019].

4.2.3 Limites des mesures de l’incarnation : il faut susciter le sentiment d’incarnation

Il est à noter que peu importe la méthode d’évaluation choisie, il est nécessaire finalement de provoquer des conditions qui suscitent la sensation d’incarnation, soit en faisant bouger le participant (exemple en lui faisant dessiner des trajectoires, Fig. ??), soit en cherchant à le

faire réagir brusquement (par exemple en amenant un autre avatar à le poignarder, Fig. 4.3). Cette question des actions ne se posent pas pour l'évaluation du jeu VR proposés par UnitedVR puisque le scénario en lui même suppose que les participants devront éviter les tirs ennemis pour survivre, et/ou se déplacer pour les atteindre. Toutefois, dans des étapes d'évaluation préliminaires, par exemple pour tester la compensation sonore des artefacts visuo-moteurs de *retargetting* de squelette obtenu par suivi de mouvement dégradé, alors il sera nécessaire de susciter des réactions naturelles. De plus, pour bien noter les effets sur l'incarnation en particulier, Roth et Latoschik rappellent qu'il faut que les participants se concentrent sur leur mouvement, raison pur laquelle des instructions orales les poussant à exécuter certains mouvements et à se focaliser dessus sont données en début d'expérience (≈ 150 s) [Roth and Latoschik, 2020]. Dans le cadre du projet UnitedVR il est donc possible que les conditions non écologiques (en laboratoire et/ou hors jeu) conduisent à des illusions d'incarnation moindres que ce que les joueurs ressentiront vraiment pendant le jeu. Il sera donc nécessaire d'évaluer l'impact de l'expérience de jeu en elle-même sur le sentiment d'incarnation.

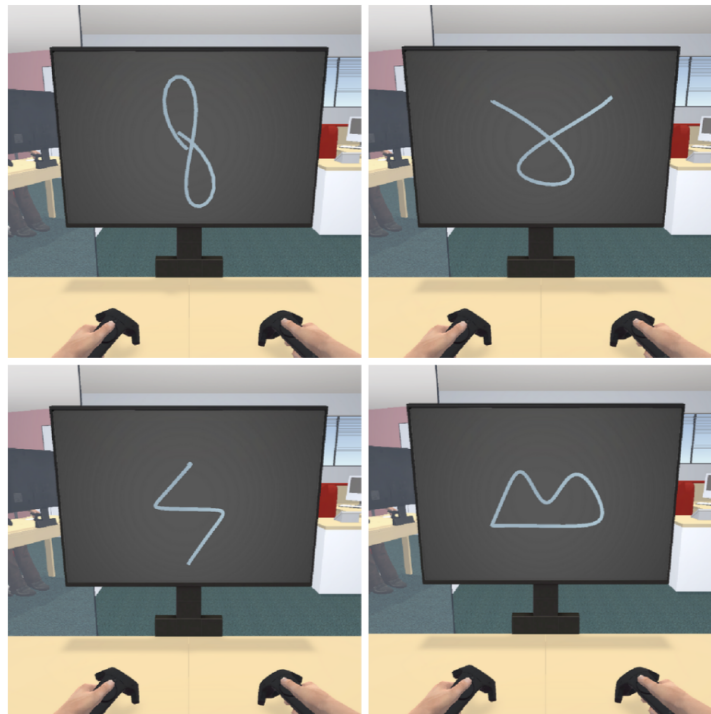


FIGURE 4.4 – Exemples de trajectoires que les participants devaient réaliser avec leur mains dans l'expérience d'incarnation « haut du corps » évaluée dans [Dewez et al., 2019].

4.3 Facteurs d'influence

Les facteurs d'influence du sentiment d'incarnation partent tous du même constat qu'avoir un corps dans un milieu virtuel immersif amplifie le sentiment d'y être présent [Slater et al., 2010b]. Ils peuvent être divisés en trois grandes catégories : ceux qui jouent sur l'avatar et sa représentation, ceux qui jouent sur l'environnement virtuel et ceux qui sont liés à l'utilisateur eux-même.

4.3.1 Facteurs liés à la synchronicité visuo-motrice de l’animation

La synchronie visuo-motrice entre le geste du joueur et celui qu’il voit de l’avatar joue un rôle prépondérant dans le processus d’identification entre l’utilisateur et l’avatar [Debarba et al., 2017, Kokkinara and Slater, 2014, Sanchez-Vives et al., 2010].

Les premières expérimentations sur l’incarnation concernaient d’ailleurs l’effet de la **synchronicité des stimulations corporelles et visuelles**, avec la célèbre expérience de la *Rubber Hand Illusion* [Botvinick and Cohen, 1998]. Dans ce paradigme, les participants font l’expérience d’une main en caoutchouc placée devant eux à la place de leur vraie main, qui elle est rendue cachée 4.5. Lorsqu’ils observent la main en caoutchouc être touchée de façon synchrone et cohérente avec la sensation tactile qu’ils reçoivent de façon non visible sur leur propre main, les participants ont la sensation de posséder la main en caoutchouc. Si la main en caoutchouc est menacée, cela évoque des réponses physiologiques et corticales similaires à celles attendues si leur propre main réelle était menacée.



FIGURE 4.5 – Un participant dans le test reproduit de l’illusion de la main en plastique (Rubber Hand Illusion) [Botvinick and Cohen, 1998]. Cette expérience confirme qu’il n’est pas toujours possible pour le cerveau de distinguer ce qui est partie du corps de ce qui ne l’est pas. Issu de <https://www.blog-thebrain.org/beginner/2020/04/21/the-rubber-hand-illusion/>

L’étude de [Fribourg, 2020] relève également que cette synchronicité est d’autant plus importante en début de l’expérience de VR. C’est aussi ce que conclut l’étude, elle aussi très récente, de [Keenaghan et al., 2020] sur l’évolution de la sensation de présence au cours du temps. Cependant l’étude de [Keenaghan et al., 2020] montre qu’en plus, avec une restitution à la première personne, les adultes ont la sensation d’incarner un corps virtuel après 5 secondes seulement, quelle que soit la synchronicité visuo-motrice, c’est-à-dire qu’il y ait des mouvements ou non de la part du joueur-utilisateur et qu’ils soient synchrones ou non avec ceux de l’avatar. Cette sensation d’incarnation reste élevée après 30 à 55 s de mouvements synchrones ou en l’absence de mouvement. En revanche, elle est réduite après une exposition accrue à des mouvements asynchrones. L’illusion d’incarnation est donc fortement dépendante de la synchronicité des mouvements, mais non parce qu’elle serait générée par cette synchronicité mais parce qu’elle serait interrompue lors des désynchronisations entre les gestes du joueur-utilisateur et le rendu graphique de l’avatar. Il semblerait donc que, par défaut, si l’on voit un corps à la première personne on l’incarne, et qu’on puisse perdre cette sensation d’incarnation à cause des défauts de synchronicité.

Il est à noter que l’animation et la capture de mouvement n’ont pas le même impact selon les parties du corps qui sont suivies (*trackées*). C’est ce qu’a montré l’étude de [Debarba et al., 2017] en comparant plusieurs degrés de fidélité de l’animation (sans animation vs animation procédurale vs animation avec suivi du mouvement par *motion capture*) pour des parties distinctes du corps

(visage, mains, haut du corps et bas du corps). Pour améliorer la sensation de contrôle avec les systèmes grand-public qui ne traquent, comme dans UnitedVR, que la position du casque plus deux contrôleurs manuels, il faudrait ajouter en priorité des capteurs sur les pieds, puis animer la bouche et enfin positionner un suivi de mouvement plus précis sur les doigts. L'étude de Debarba et al. à l'époque confirmait également qu'il était possible de diminuer le nombre de marqueurs suivis à seulement 8 pour obtenir une sensation de contrôle équivalente à celle générée par la capture du mouvement selon 53 marqueurs. Cela est très encourageant pour le projet UnitedVR.

4.3.2 Facteurs liés à la représentation visuelle du corps

Similarités entre le corps du joueur et celui de l'avatar à incarner

Le sentiment de possession (*illusion of body ownership*) dépend des similarités morphologiques du corps virtuel par rapport au corps réel [Argelaguet et al., 2016].

Des études sur les sosies virtuels (ou *doppelgangers* en allemand) ont également montré qu'une représentation virtuelle de soi induisait un engagement et un sentiment de possession plus accrus, que ce soit pour les jeux vidéo [Lucas et al., 2016] ou en réalité virtuelle [Waltemate et al., 2018]. Des exemples d'avatar comparés dans cette dernière étude sont disponibles Figure 4.6. Cela est d'autant plus intéressant que les utilisateurs manifestent naturellement un intérêt envers une représentation 3D d'eux-mêmes [Park, 2018]. On ne sait en revanche pas si l'usage d'un double virtuel a une influence sur la sensation de contrôle et donc d'agentivité [Gorisse, 2019].



FIGURE 4.6 – Dans l'étude de [Waltemate et al., 2018] les participants incarnaient des avatars plus ou moins similaires à leur propre apparence en fonction des conditions expérimentales.

Dans la même idée, [González-Franco et al., 2010, Keenaghan et al., 2020] proposent d'étudier l'effet miroir, c'est-à-dire le degré de sentiment d'incarnation ressentie quand on ne voit pas son corps comme un avatar qu'on incarne (co-localisation du corps réel et de l'avatar perçu) mais qu'on le voit à travers un miroir. D'autres études précédentes avaient montré que les participants ressentaient alors bien un sentiment d'incarnation mais de niveau moyen [Banakou et al., 2013]. Parmi les questions qui restent en suspens pour la communauté scientifique, il reste à étudier si voir le visage d'un avatar en corps entier peut diminuer ou augmenter le sentiment d'incarner ce corps.

On notera toutefois qu'une forte ressemblance entre le joueur-utilisateur et l'avatar n'est pas une nécessité en soi puisqu'il a déjà été prouvé qu'on pouvait ressentir un fort sentiment d'incarnation avec un avatar de sexe, d'âge, d'ethnie ou encore de silhouette différent (notamment la taille, mais

aussi la morphologie du corps). Par exemple, un adulte peut ressentir un sentiment d'incarnation élevé même si son avatar est celui d'un enfant (cf Figure 4.7) comme le montre [Tajadura-Jiménez et al., 2017a]. Une posture différente n'empêche pas non plus le sentiment d'incarnation, ni même l'ajout de membres supplémentaires [Guterstam et al., 2011] ou l'usage de corps d'animaux. On notera seulement qu'un corps plus proche de celui du joueur renforce encore l'incarnation, la rend plus robuste. Dans le projet UnitedVR on est donc bien libre d'exploiter n'importe quel type d'avatar, cela devrait suffire à générer l'illusion d'incarnation.

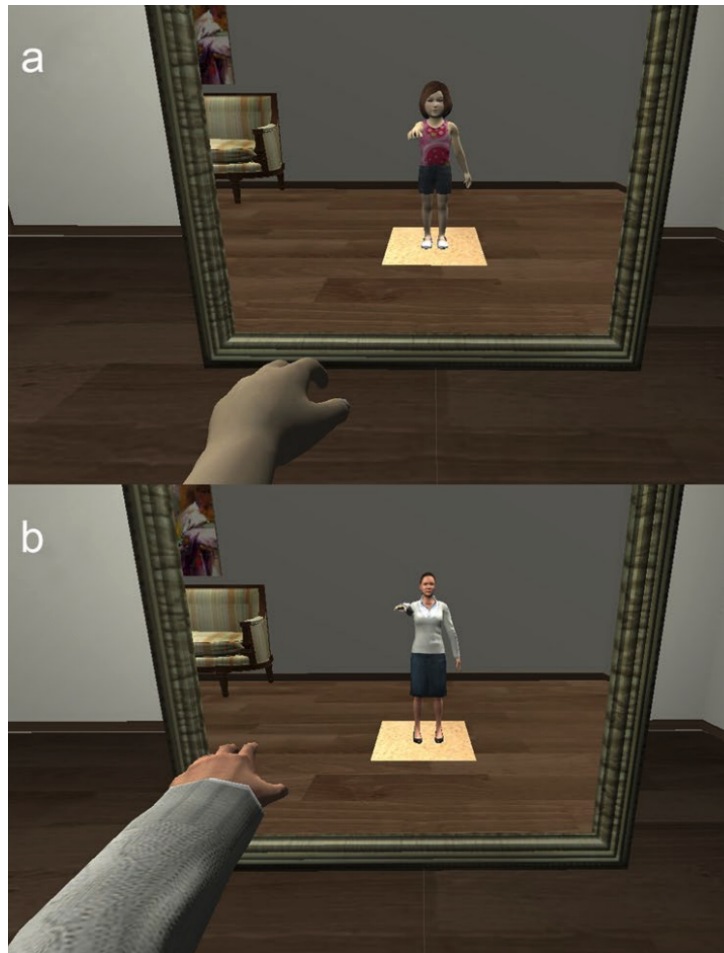


FIGURE 4.7 – Dans l'étude de [Tajadura-Jiménez et al., 2017a], le corps de l'avatar pouvait être vu par reflet dans un miroir virtuel. Bien que les participants étaient tous adultes, selon les conditions, le corps visible dans le miroir pouvait aussi être celui d'un enfant (a) ou celui d'un adulte réduit en hauteur (b). Cela n'empêchait pas l'illusion d'incarnation.

Effet du réalisme visuel

Ce sentiment de possession dépend également du réalisme visuel [Gorisse, 2019].

L'étude de l'apparence de la représentation des mains [Lin and Jörg, 2016, Argelaguet et al., 2016] (respectivement figures 4.8 et 4.9) montre également que l'illusion d'incarnation se renforce avec le réalisme du rendu graphique.

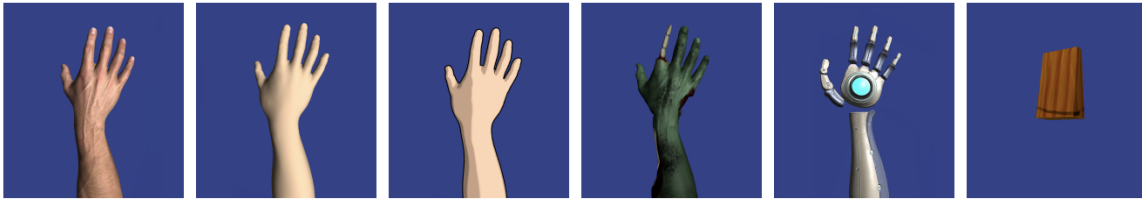


FIGURE 4.8 – Les six modèles géométriques de mains utilisés dans l'étude de [Lin and Jörg, 2016]. De gauche à droite : main réaliste, main d'ours, main très d'ours, main de zombie, main de robot, bloc de bois.

Point de vue : première vs troisième personne

De plus, tout comme il avait une influence sur le sentiment de présence, le choix du point de vue (positionnement de la caméra) dans les systèmes dits non immersifs, soit à la première personne soit à la troisième personne, a une influence à la fois sur la sensation de localisation [Gorisse et al., 2017, Petkova et al., 2011, Slater et al., 2010b] et sur le sentiment de possession [Maselli and Slater, 2014, Slater et al., 2010b]. Il est ainsi très clair qu'un point de vue à la première personne, qui permet de projeter son point de vue dans celui d'un autre corps, facilite l'incarnation. En fait, d'après [Keenaghan et al., 2020], la vue d'un corps à la première personne conduirait naturellement à l'illusion d'incarnation de ce corps mais une rupture de synchronicité la ferait perdre. Évidemment, l'illusion d'incarnation dans le cadre du projet UnitedVR ne sera pas impactée par ce facteur de point de vue puisque l'on sera forcément à la première personne. En particulier, la sensation de localisation de soi devrait naturellement être très élevée. En revanche, la captation de mouvement limitée à seulement 3 points tête-poignets, ainsi que la désynchronisation éventuelle pour tout ou partie des mouvements pourraient être source de limites concernant les sentiments d'agentivité et de possession. Il sera donc important d'évaluer ces dimensions lors de nos tests utilisateurs.

Les traits personnels

Peu d'études se sont penchées sur la question de l'influence des traits de caractères des joueurs-utilisateurs sur leur sentiment d'incarnation.

[Asai et al., 2011] et [Seiryte and Rusconi, 2015] se sont penchés sur l'influence de l'empathie des utilisateurs et [Kállai et al., 2015] sur le psychoticisme (caractéristique liée à l'agressivité et l'hostilité interpersonnelle).

La récente étude de [Dewez et al., 2019] conclut toutefois que les traits de caractères ont moins d'influence que le rendu graphique et la synchronisation de l'interaction. En particulier, les cinq traits de caractères ayant le plus d'influence sur la présence en générale (Big Five Traits [John et al., 1999], cf Annexe D.4) n'ont pas d'influence sur le sentiment d'incarnation. Seul le *locus of control*, c'est-à-dire le degré de conviction qu'ont les utilisateurs d'avoir le contrôle sur l'issue des événements de leur vie (par opposition aux forces externes indépendantes de leur volonté), jouerait un rôle important dans le ressenti de l'incarnation.

Hiérarchie des facteurs d'influence liés à la représentation visuelle de l'avatar

Par une approche psychophysique, la très récente étude de [Fribourg, 2020], a comparé plusieurs des facteurs d'influence de l'incarnation, à savoir l'apparence, le point de vue et la sensation de contrôle, pour déterminer quel était celui dont l'impact sur l'incarnation était le plus important.

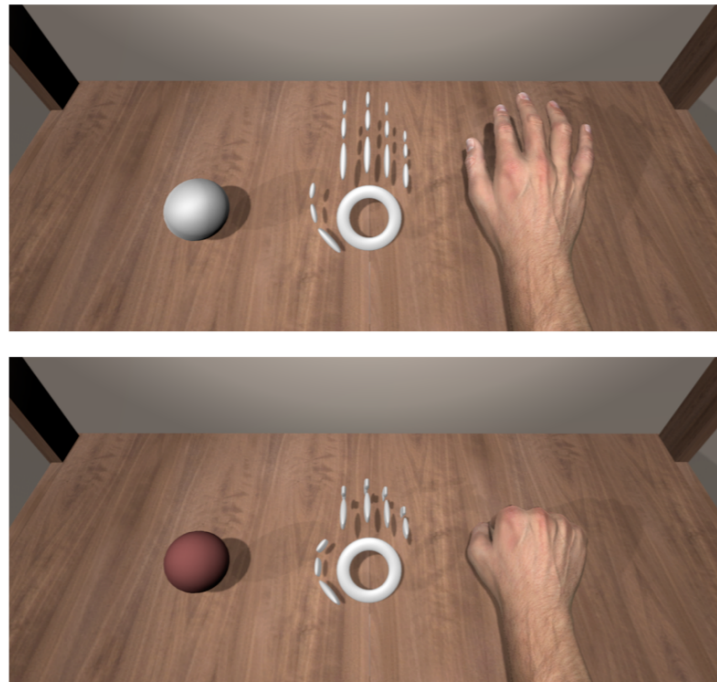


FIGURE 4.9 – Différentes représentations virtuelles de la main de l’avatar du participant dans l’étude de [Argelaguet et al., 2016] (vue du haut) : mains virtuelles abstraites (à gauche), iconiques (au centre) et réalistes (à droite). Le feedback déclenché par la préhension est différent pour chaque cas (vue du bas) : la main virtuelle abstraite change de couleur, la main virtuelle iconique change brusquement de forme (il n’y a pas d’animation fluide) et la main virtuelle réaliste est animée par les mouvements des doigts de l’utilisateur.

Pour cela les participants expérimentaient d’abord la scène virtuelle avec les paramètres de tous les facteurs testés au maximum (représentation de soi-même à la 1ère personne et avec suivi du mouvement au corps entier), puis vivaient une situation dégradée (tout au minimum : avatar minimaliste à la 3ème personne et une animation préenregistrée) dans laquelle ils avaient la possibilité de modifier les paramètres de chacun des 3 facteurs, dans l’ordre de leur choix et en plusieurs fois, jusqu’à revenir à une sensation d’incarnation équivalente à celle ressentie au départ. Les résultats de cette étude indiquent que le facteur que les participants ajustent en premier est le degré de contrôle. C’est donc celui avec lequel nous devons être le plus vigilant dans le projet UnitedVR.

Enfin, la congruence entre apparence visuelle et les sons émis par l’avatar (cf section suivante) a également été testée.

4.3.3 Rôle de l’audio et de la perception multisensorielle dans la sensation d’incarnation

Peu d’études se sont intéressées à l’impact de l’audio, et plus particulièrement des sons émis par l’avatar, sur le sentiment d’incarnation. Ceux qui ont le plus d’intérêt pour UnitedVR sont les travaux de Ana Tajadura-Jimenez. Elle a notamment montré qu’en jouant sur la localisation des retours sonores il est possible de déformer le sens de la proprioception et la longueur perçue de ses propres bras [Tajadura-Jimenez et al., 2015]¹. De même, il est possible de modifier le sentiment

1. Une présentation vidéo de l’étude de [Tajadura-Jimenez et al., 2015] est disponible à l’adresse https://www.youtube.com/watch?v=6Tcx6F5y6Rw&feature=emb_logo

d'être fort et d'avoir des bras plus longs en changeant les sons de collisions entre les mains de notre avatar et un objet [Tajadura-Jiménez et al., 2015]. En jouant sur la hauteur spectrale de sons associés à un mouvement sur le doigt, il est également possible de modifier la perception de la longueur de notre doigt [Tajadura-Jiménez et al., 2017b]. Ces études confirment qu'il est envisageable d'utiliser des modifications du rendu sonore pour compenser les éventuels artefacts visuels (décalages spatiaux entre l'avatar et le corps du joueur) liés au nombre réduit de point de suivi des mouvements (seulement 3 points : tête+mains), mais il reste à déterminer dans quelle mesure.

Dans une autre étude, Ana Tajadura-Jimenez a également étudié l'impact de la voix de l'avatar [Tajadura-Jiménez et al., 2017a]. En plus de vérifier un effet connu de surestimation de la taille des objets environnants quand on incarne un enfant, les auteurs ont ainsi cherché à évaluer l'impact de la voix sur cet effet et sur l'illusion d'incarnation. Pour chaque avatars visuels (enfant vs adulte) la voix du participant pouvait être soit sa voix naturelle d'adulte, soit modifiée pour être celle d'un enfant. Les résultats de cette étude ont permis de montrer que l'effet de changement de perception des objets pour un avatar d'enfant n'est pas renforcé lorsque la voix de l'avatar est aussi enfantine, mais la non congruence entre la voix de l'avatar et son apparence physique diminue l'illusion d'incarnation. Si les joueurs sont amenés à incarner des personnages plus forts qu'eux, il peut être intéressant de modifier leur voix pour limiter l'incongruence vocale.

Les autres études qui ont étudié l'effet du son sur la perception de son avatar et le sentiment lié de l'incarner, concernent notamment les sons de pas. En effet, ajouter des sons de pas synchrones, cohérents avec la surface au sol virtuelle et adaptés en fonction de la démarche et des mouvements plus ou moins discrets, augmente la sensation d'incarnation ainsi que la sensation de présence au sens large [Hoppe et al., 2019]. Altérer les sons de pas de l'avatar permet de modifier la perception du poids de son propre corps, et induit d'ailleurs une démarche différente.

On notera enfin que pour augmenter le sentiment d'incarnation, certains n'hésitent pas à jouer sur une forme d'amorce ou de renforcement verbal en décrivant l'environnement oralement et donnant des instructions sonores en début d'expérience (environ 150 secondes du type "lève ton bras gauche avec la paume de main vers le haut", "regarde ton bras droit [pause] regarde le reflet de cette même main dans le miroir pendant que tu lèves le bras sur le côté [Roth and Latoschik, 2020, Latoschik et al., 2016, Waltemate et al., 2018]).

Enfin il a également été démontré que la synchronisation visuo-tactile [Kokkinara and Slater, 2014, Normand et al., 2011] a une influence sur la sensation d'incarnation. Ehrsson consacre un chapitre de livre sur cette question du rôle de la perception multisensorielle dans la sensation d'incarnation [Ehrsson, 2020].

4.3.4 Influence rétroactive de l'incarnation sur le comportement

Nous avons déjà noté également que le fait d'incarner un certain avatar peut modifier notre comportement pendant l'expérience. Par exemple dans une étude sur de la percussion virtuelle, Kiltani et Slater [Kiltani et al., 2013] avaient ainsi montré que le jeu des musiciens changeait en fonction de la morphologie de l'avatar incarné (frappe plus ou moins forte). Mais nous retiendrons que le fait d'incarner un certain avatar peut modifier notre comportement après l'expérience (effet Protéus). Ainsi le fait d'incarner un enfant modifie la perception de la taille des objets, et la perception de son propre âge émotionnel (on se sent plus jeune) pendant l'expérience. Si en plus la voix est trafiquée pour que l'avatar ait lui-même une voix d'enfant pendant l'expérience, alors les participants modifient leur façon de parler pendant et après l'expérience [Tajadura-Jiménez et al., 2017a]. De plus incarner un enfant avec une voix d'enfant rend les participants plus heureux, ce qui laisse à penser que l'expérience de jeu pourrait être augmentée par ce biais. Cela

laisse enfin supposer des applications thérapeutiques intéressantes pour l'équipe ILJ du CEDRIC indépendamment du projet UnitedVR.

A- Modèle de questionnaires de présence en français

A.1 Questionnaire extraite de [Bouvier, 2009]

Information générales

Age : _____ **Sexe :** homme femme

Niveau d'étude : _____

Avez-vous déjà testé notre jeu ?

Oui Non

Si oui, vous avez joué sur :

L'écran autostéréoscopique

L'écran polarisé (avec lunettes)

Un ordinateur classique

Avez-vous déjà eu des expériences en réalité virtuelle ?

Oui Non

Avez-vous déjà eu des expériences de vision stéréoscopique ?

Oui Non

A quelle fréquence jouez vous aux jeux vidéo ?

Tous les jours Plusieurs fois/semaine Plusieurs fois/mois Moins

Aimez-vous la science-fiction (films, livre etc...) ?

Oui Non

Considérez-vous l'outil informatique comme familier ?

Très familier Moyennement familier Pas du tout familier

Questionnaire

Voici plusieurs propositions qui peuvent s'appliquer à l'expérience que vous venez d'avoir. Indiquez, s'il vous plait, si chacune de ces propositions s'applique ou non à votre expérience. Vous pouvez utiliser n'importe quelle graduation. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse, seule votre opinion est importante. Il ne s'agit pas ici de d'évaluer la qualité du jeu (travail des étudiants) mais bien l'expérience que vous venez de vivre. Vous remarquerez que certaines questions se ressemblent. Ceci est nécessaire pour des raisons statistiques. Rappelez-vous que vous devez répondre à ces questions en vous référant seulement à l'expérience que vous venez juste d'avoir. Ce questionnaire n'est pas nominatif.

Projet Tuteuré StéréoRV
IMAC 2010

Sauf si une version différente est précisée dans la question, l'échelle d'évaluation est la suivante (faire une croix au dessus du chiffre choisi):

- 1 : pas du tout d'accord
- 2 : pas d'accord
- 3 : ni d'accord ni pas d'accord
- 4 : d'accord
- 5 : tout à fait d'accord

1. L'impression de profondeur m'a tout de suite sauté aux yeux

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

2. J'ai pris le jeu en main très facilement.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

3. J'ai trouvé cette expérience virtuelle très réaliste.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

4. Vous avez joué pendant 5 minutes, l'expérience vous a-t-elle semblé durer :
(1 : beaucoup plus longtemps → 5 : beaucoup moins longtemps)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

5. J'étais conscient du monde réel environnant alors que j'étais en train de jouer (par exemple : bruits, température de la pièce, présence d'autres gens, etc.).

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

6. Mon plaisir à jouer a très vite diminué.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

7. Comment le monde virtuel vous a-t-il semblé?
(1 : Pas du tout crédible → 5 : Complètement crédible)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

8. J'ai accepté de me prendre au jeu avec beaucoup de facilité.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

9. Les émotions que j'ai ressenties étaient quasiment aussi fortes que si la situation était issue de mon imagination.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Projet Tuteuré StéréoRV
IMAC 2010

L'échelle d'évaluation est la suivante (faire une croix au dessus du chiffre choisi):

1 : pas du tout d'accord 2 : pas d'accord 3 : ni d'accord ni pas d'accord
4 : d'accord 5 : tout à fait d'accord

10. J'avais l'impression que je pouvais interagir avec l'environnement virtuel.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

11. Au cours de l'expérience, dans quelle mesure avez-vous eu le sentiment de piloter un robot ? (1 : à aucun moment → 5 : presque tout le temps)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

12. Bien que je savais que la situation était virtuelle je me suis surpris au cours de l'expérience à être stressé.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

13. Je ressors déçu de mon expérience.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

14. Quand vous repensez à l'expérience, est-ce que vous repensez à la planète plus comme des images que vous avez vues ou plus comme un endroit que vous avez visité ?

La planète semblait être plus... (1: des images que j'ai vu → 5: un endroit que j'ai visité)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

15. J'avais l'impression de participer aux événements dans le monde virtuel.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

16. Je pouvais localiser avec précision les autres robots.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

17. Il y a des moments au cours de l'expérience où le monde virtuel était la réalité pour moi (1 : jamais → 5 : quasiment tout le temps)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

18. J'aurai voulu que l'expérience dure plus longtemps.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Projet Tuteuré StéréoRV
IMAC 2010

L'échelle d'évaluation est la suivante (faire une croix au dessus du chiffre choisi):

1 : pas du tout d'accord 2 : pas d'accord 3 : ni d'accord ni pas d'accord
4 : d'accord 5 : tout à fait d'accord

19. J'ai trouvé que mes tirs étaient précis.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

20. Ma réponse émotionnelle était la même que si la situation avait été réelle.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

21. J'ai trouvé visuellement très crédible le monde affiché.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

22. Mon attention se portait plus sur le monde virtuel que sur mes pensées (préoccupations personnelles, rêveries...).

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

23. Si je me remémore mes sensations juste avant l'interruption de l'expérience, j'étais toujours aussi impressionné par l'impression de profondeur

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

24. Au cours de l'expérience, quel sentiment était le plus fort, votre sentiment d'être dans un laboratoire de réalité virtuelle ou d'être sur la planète ?

J'avais un fort sentiment d'être... (1 : dans le laboratoire → 5 : sur la planète)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

25. Si dans le futur j'atterris sur cette planète je ne serai pas perdu.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

26. Bien que je savais que la situation était virtuelle je me suis surpris au cours de l'expérience à me comporter comme si cela avait été réel.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

27. Le jeu en lui-même me semblait réaliste.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

28. Je jeu en lui-même m'a plu.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Projet Tuteuré StéréoRV
IMAC 2010

L'échelle d'évaluation est la suivante (faire une croix au dessus du chiffre choisi):

1 : pas du tout d'accord 2 : pas d'accord 3 : ni d'accord ni pas d'accord
4 : d'accord 5 : tout à fait d'accord

29. J'ai eu le sentiment d'exister dans l'environnement ...(1 : à aucun moment → 5 : presque tout le temps)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

30. A la fin de l'expérience je me sentais désorienté.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

31. En repensant à vos impressions au cours de l'expérience, pensez-vous avoir incarné un rôle durant le jeu ?

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

32. A la fin de l'expérience j'étais triste que celle-ci soit finie.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

33. Je me suis comporté dans l'environnement comme si la situation était réelle.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

34. Si quelqu'un d'autre avait réellement atterri sur cette planète, il aurait vu la même chose que moi.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

35. A l'issue de l'expérience j'avais les yeux fatigués.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

36. Comment le monde virtuel vous a-t-il semblé?
(1 : Pas du tout réel → 5 : Complètement réel)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

37. J'avais l'impression d'interagir avec d'autres humains.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

38. Je recommanderai l'expérience à mes amis.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Projet Tuteuré StéréoRV
IMAC 2010

L'échelle d'évaluation est la suivante (faire une croix au dessus du chiffre choisi):

1 : pas du tout d'accord 2 : pas d'accord 3 : ni d'accord ni pas d'accord
4 : d'accord 5 : tout à fait d'accord

39. Je pouvais localiser rapidement les autres robots.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

40. D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que le monde virtuel me faisait face.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

41. Au cours de l'expérience, est-ce que vous vous êtes souvent dit que vous étiez dans un laboratoire ou est-ce que l'environnement virtuel vous a submergé ?

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

42. J'avais l'impression que les autres robots avaient conscience de ma présence.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

43. Le jeu en lui-même me semblait crédible.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

44. Je me suis comporté dans l'environnement comme si la situation était issue de mon imagination.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

45. A l'issue de l'expérience j'avais mal à la tête.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

46. Je pouvais me repérer facilement dans l'environnement.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

47. Estimez votre sentiment d'exister dans ce monde virtuel sur une échelle de 1 à 5 où 5 représente votre sensation habituelle d'être quelque part.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

48. Mes déplacements dans le jeu étaient très faciles.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Projet Tuteuré StéréoRV
IMAC 2010

L'échelle d'évaluation est la suivante (faire une croix au dessus du chiffre choisi):

1 : pas du tout d'accord 2 : pas d'accord 3 : ni d'accord ni pas d'accord
4 : d'accord 5 : tout à fait d'accord

49. Les émotions que j'ai ressenties étaient quasiment aussi fortes que si la situation était réelle.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

50. Je distinguais bien mes ennemis.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

51. J'ai trouvé cette expérience virtuelle très crédible.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

52. A l'issue de l'expérience j'avais une sensation de vertige.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

53. J'ai eu beaucoup de plaisir à jouer.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

54. J'ai eu l'impression que la température réelle avait changé pour correspondre à celle de la planète.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

55. Au cours de l'expérience je me rappelais que j'étais en réalité dans un laboratoire.
(1 : la plupart du temps → 5 : rarement)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

56. J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir sur un quelconque mécanisme à l'extérieur de celui-ci.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

57. Je me suis souvent senti seul.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

58. Ma réponse émotionnelle était la même que si les évènements étaient le fruit de mon imagination.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Projet Tuteuré StéréoRV
IMAC 2010

L'échelle d'évaluation est la suivante (faire une croix au dessus du chiffre choisi):

1 : pas du tout d'accord 2 : pas d'accord 3 : ni d'accord ni pas d'accord
4 : d'accord 5 : tout à fait d'accord

59. J'ai trouvé visuellement très réaliste le monde affiché.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

60. Durant le jeu j'ai eu l'impression que la température ambiante était montée.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

61. A l'issue de l'expérience je me sentais fatigué.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

62. A l'issue de l'expérience je me sentais nauséux.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

63. A quel point le monde virtuel vous a-t-il semblé réel ?

(1 : A peu près aussi réel qu'un monde imaginé → 5 : indistinguable du monde réel)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

64. Je me suis tout le temps pris au jeu (1 : à aucun moment, 5 : presque tout le temps)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

Relations questions – variables dépendantes

Cette expérimentation a un double objectif. Le premier consiste à valider certaines hypothèses que nous avons avancées pour l'élaboration de notre modèle de la présence. Le deuxième objectif vise à évaluer l'impact sur la présence des deux systèmes de restitution visuelle.

Dans cette étude les écrans constituent les deux variables indépendantes.

Les variables dépendantes sont les facteurs qui doivent (ou non) changer d'une variable indépendante à l'autre.

Dans la liste ci-dessous nous présentons les liens entre question et variable dépendante.

Le premier niveau de la liste correspond à la variable dépendante principale.

Le deuxième niveau de la liste correspond aux variables dépendantes internes à la variable dépendante principale.

Le nombre correspond au numéro de la question dans le questionnaire final.

1. Jugement de l'immersion :
 - compréhension de la scène : 16, 25, 39, 40, 46, 50
 - auto-évaluation de la performance : 19
 - réalisme du monde virtuel : 34, 36, 59
 - prégnance de la vision stéréoscopique : 1
 - permanence de l'effet vision stéréoscopique : 23
2. Jugement des émotions
 - plaisir à jouer : 6 (score à inverser), 18, 28, 32, 38, 53
 - intensité des émotions ressenties : 9, 12, 20, 49, 58
3. Jugement de l'importance de l'imagination : 63
4. Jugement de la réponse aux attentes de l'utilisateur : 13 (score à inverser)
5. Jugement de la crédibilité du monde virtuel : 7, 21
6. Jugement de l'interaction
 - qualité de la jouabilité : 2, 48
 - possibilité d'interaction avec l'environnement : 10
7. Jugement du réalisme de l'expérience : 3, 27
8. Jugement de la crédibilité de l'expérience : 43, 51
9. Jugement de la conscience de la virtualité de la situation : 12
10. Jugement de l'acceptation de se prendre au jeu : 8, 64
11. Jugement de l'absorption et de l'implication : 4, 5 (score à inverser), 22, 41, 55
12. Jugement de la présence spatiale :
 - avec projection de l'utilisateur : 14, 24
 - sans projection de l'utilisateur : 17
13. Jugement de la présence de soi : 11
14. Jugement de la présence sociale : 37, 42, 57 (score à inverser)
15. Jugement de la présence d'action : 15, 56
16. Jugement de la présence générale :
 - sentiment d'exister : 29, 31, 47
 - émotions ressenties similaires à celles ressenties si la situation était réelle : 20, 49
 - émotions ressenties similaires à celles ressenties si la situation était imaginée : 9, 58
 - sensations similaires à si la situation était réelle : 54, 60
 - comportement proche de celui que l'utilisateur aurait eu face à une situation réelle : 26, 33
 - comportement proche de celui que l'utilisateur aurait eu face à une situation imaginée : 44
17. Jugement des effets négatifs :
 - désorienté : 30
 - fatigue oculaire : 35
 - maux de tête : 45
 - vertige : 52
 - fatigue : 61
 - nausée : 62

B- Modèles de questionnaires de co-présence et présence sociale

B.1 Annexe - questionnaire de Co-présence de [Slater et al., 2000]

Ce questionnaire n'a pas été traduit en français, en voici la version d'origine.

B.1.1 Copresence

1. In the last meeting, to what extent did you have the sense of the *other two people being together with you* ?
2. Continue to think back about the last meeting. To what extent can you imagine yourself *being now with the other two people in that room* ?
3. Please rate how closely your sense of being together with others in a real-world setting resembles your sense of being with them in the virtual room.

B.1.2 Place presence

1. To what extent did you have the sense of being in that room which has the pieces of paper with the riddles on the walls ? (For example, if you were asked this question about the room you are in now, you would give a score of 7. However, if you were asked this question about whether you were sitting in a room at home now, you would give a score of 1.)
2. Think back now about the meeting and the spatial layout of the room. For example, to what extent in your imagination can you move around that room now ?

Each question was rated on a scale from 1 to 7, with 1 equating to “not at all” and 7 “very much so.” As a conservative measure of the subjective (reported) level of place presence and copresence, only the high scores were taken into account. The overall measure of place presence is the number of scores of 6 or 7, and hence is a count of 0, 1, or 2. Similarly, the overall measure of copresence is the number of scores of 6 or 7, and hence is a count of 0, 1, 2, or 3.

B.1.3 Group Accord

Several questions attempted to assess the group members' appraisals of one another and the group as a whole. All but one question was rated on a 1-7 scale, with 1 the lowest level of the quality concerned (for example, enjoyment) and 7 the highest quality. In each case, the overall group means and standard deviations are given for responses after the virtual and after the real setting.

1. **(Enjoyment)** Think about a previous time when you *enjoyed* working together in a group. To what extent have you *enjoyed* the group experience just now ?
2. **(Meet again)** Sometimes you meet people in a small group situation, and you'd like to meet them again. To what extent is the current situation similar to that ?
3. **(Isolation)** To what extent was anyone (including yourself) “isolated” compared to the other two people ? Give a score for each individual out of 100, where a person scores 100 if they were completely isolated from the other two, and where the three scores add to 100. (In this case the maximum degree of isolation was taken as the score for the group as a whole.)
4. **(Meet individuals again)*** Would you like to meet any of the other two people again ? (Please put one tick in each column.)
 - (1) I would not like to meet this person.
 - (4) No preference either way.

- (7) I would very much like to meet this person.
- 5. **(Comfort with others)*** The extent to which I felt comfortable with each of the other two persons was (please put one tick in each column) :
 - (1) I felt very uncomfortable with him/her.
 - (4) Neither comfortable/nor uncomfortable.
 - (7) I felt very comfortable with him/her.
- 6. **(Cooperation)*** Overall, how cooperative were each of the other two people in the task ?
 - (1) S/he was not cooperative at all.
 - (7) S/he was very cooperative.
- 7. **(Embarrassment)*** Did any of the other two people make you feel self-conscious or embarrassed ?
 - (1) S/he did not make me feel this way.
 - (7) S/he did make me feel this way very much.
- 8. **(Overall accord)*** Finally, each of the seven variables above were combined into one overall score for group accord. In order to make each of the variables result in greater accord in a range from 0 to 1, the scores out of 7 are normalized to be between 0 and 1, non-isolation is taken as $1 - (\text{isolation}/100)$, and non-embarrassment is embarrassment subtracted from 1.

* These questions required a response by each subject for each of the other two subjects (for example, Red would give responses with respect to Green and Blue). The score for the group is taken as the sum of the six scores for the individual members (six because each individual does not self-score), divided by the total possible score for the group, which is 42.

B.2 Annexe - Questionnaire de Co-présence de [Bailenson et al., 2005]

Ce questionnaire n'a pas été traduit en français, en voici la version d'origine.

B.2.1 Copresence

Bailenson et al. created a composite copresence measure by averaging the three copresence questions. Higher scores indicated higher levels of self-reported copresence where ratings were made on a Likert-type scale with response options ranging from 0 (strongly disagree) to 6 (strongly agree).

1. Even when the "other" was present, I still felt alone in the virtual room.
2. I felt like there was someone else in the room with me.
3. I felt like the "other" was aware of my presence in the room.

B.2.2 Embarrassment

Previous research has demonstrated that willingness to perform embarrassing acts in front of a virtual representation is a worthy measure of that representation's degree of social influence. Bailenson et al. averaged the three embarrassment questions into a single, composite measure, with higher numbers indicating greater willingness to perform embarrassing acts in front of an embodied agent.

1. I would be willing to change clothes in front of the "other."
2. I would be willing to pick my nose in front of the "other."
3. I would be willing to act out a scene from the movie "Titanic" in front of the "other."

B.2.3 Likability

Likability was assessed as a second self-reported social response to the presence of an embodied agent. Bailenson et al. averaged the four likability questions into a single, composite measure, with higher numbers indicating that participants liked the virtual representation more.

1. I like the "other."
2. I would like to meet this "other" again.
3. The "other" is attractive.
4. Spending time with the "other" was NOT satisfying.

B.3 Annexe - Questionnaire de Co-présence de [Basdogan et al., 2000]

Ce questionnaire n'a pas été traduit en français, en voici la version d'origine.

B.3.1 The Sense of Being Together

After each session the subjects answered a questionnaire, which supplied the basic demographic and background information and the main variables in which we were interested. We adopted the same strategy as used in other work in shared virtual environments (for example, [Slater et al., 2000]). Eight questions on the sense of being together were scattered through the questionnaire administered after each session ; each question was rated on a 1-to-7 scale.

These were as follows :

1. To what extent, if at all, did you have a sense of being with the other person ?
2. To what extent were there times, if at all, during which the computer interface seemed to vanish, and you were directly working with the other person ?
3. When you think back about your experience, do you remember this as more like just interacting with a computer or working with another person ?
4. To what extent did you forget about the other person, and concentrate only on doing the task as if you were the only one involved ?
5. To what extent were you and the other person in harmony during the course of the performance of the task ?
6. Think about a previous time when you cooperatively worked together with another person in order to move or manipulate some real thing in the world (for example, shifting some boxes, lifting luggage, moving furniture, and so on). To what extent was your experience in working with the other person on this task today like that other real experience, with regard to your sense of doing something together ?
7. During the time of the experience, did you often think to yourself that you were just manipulating some screen images with a pen-like device, or did you have a sense of being with another person ?
8. Overall rate the degree to which you had a sense that there was another human being interacting with you, rather than just a machine ?

The overall score was constructed as the number of "high" ("6" or "7") responses out of the 8 questions. This avoids the problem of averaging ordinal responses, and allows the use of logistic regression.

B.4 Annexe - Questionnaire de Co-présence de [Nowak and Biocca, 2003]

Ce questionnaire n'a pas été traduit en français, en voici la version d'origine.

B.4.1 Copresence

Copresence is related to the feeling of connection between two people. Given its dual nature, this was measured by two separate scales, one asked about participants' perception of their partner's involvement in the interaction (perceived other's copresence) and the other asked them to self-report about their involvement in the interaction (self-reported copresence). The *perceived other's copresence* scale included fifteen indicators. This scale was derived from a combination of the indicators for intimacy, involvement, and immediacy. The *self-reported copresence* scale included eleven of the items used in perceived other's copresence, but revised to ask the participants to self-report their level of involvement in the interaction. Likert-type items with a seven-point metric were used to form a scale (*strongly agree - strongly disagree*).

Self-reported copresence :

1. I did not want a deeper relationship with my interaction partner.
2. I wanted to maintain a sense of distance between us.
3. I was unwilling to share personal information with my interaction partner. I wanted to make the conversation more intimate.
4. I tried to create a sense of closeness between us.
5. I was interested in talking to my interaction partner.

Perceived other's copresence :

1. My interaction partner was intensely involved in our interaction.
2. My interaction partner seemed to find our interaction stimulating.
3. My interaction partner communicated coldness rather than warmth.
4. My interaction partner created a sense of distance between us.
5. My interaction partner seemed detached during our interaction.
6. My interaction partner was unwilling to share personal information with me.
7. My interaction partner made our conversation seem intimate.
8. My interaction partner created a sense of distance between us.
9. My interaction partner created a sense of closeness between us.
10. My interaction partner acted bored by our conversation.
11. My interaction partner was interested in talking to me.
12. My interaction partner showed enthusiasm while talking to me.

B.4.2 Telepresence

Likert-type items with a seven-point metric were used to form a scale (*Not at All - Very Much*).

1. How involving was the experience ?

2. How intense was the experience?
3. To what extent did you feel like you were inside the environment you saw/heard?
4. To what extent did you feel immersed in the environment you saw/heard?
5. To what extent did you feel surrounded by the environment you saw/heard?

B.4.3 Social Presence

Participants used a sliding scale to indicate social presence. This sliding scale coded participants' placement of the slider on the screen, using a mouse, to the nearest hundredth.

1. To what extent did you feel able to assess your partner's reactions to what you said?
Able to assess reactions - not able to assess reactions
2. To what extent was this like a face-to-face meeting?
A lot like face to face - not like face to face at all
3. To what extent was this like you were in the same room with your partner?
A lot like being in the same room - not like being in the same room at all
4. To what extent did your partner seem "real"?
Very real-not real at all.
5. How likely is it that you would choose to use this system of interaction for a meeting in which you wanted to persuade others of something?
Very likely - not likely at all
6. To what extent did you feel you could get to know someone that you met only through this system?
Very well - not at all

B.5 Annexe - Questionnaire de Présence Sociale de [Kreijns et al., 2007]

Ce questionnaire n'a pas été traduit en français, en voici la version d'origine.

The *Sociability Scale* is a self-reporting questionnaire for measuring the perceived sociability of a computer-supported collaborative learning (CSCL) environment. This scale consists of 10 items. Judgments were made on 5-point Likert scales (1 = *not applicable at all*; 2 = *rarely applicable*; 3 = *moderately applicable*; 4 = *largely applicable*; 5 = *totally applicable*).

1. This CSCL environment enables me to easily contact my team mates.
2. I do not feel lonely in this CSCL environment.
3. This CSCL environment enables me to get a good impression of my team mates.
4. This CSCL environment allows spontaneous informal conversations.
5. This CSCL environment enables us to develop into a well performing team.
6. This CSCL environment enables me to develop good work relationships with my team mates.
7. This CSCL environment enables me to identify myself with the team.
8. I feel comfortable with this CSCL environment.
9. This CSCL environment allows for non-task-related conversations.
10. This CSCL environment enables me to make close friendships with my team mates.

B.6 Annexe - Questionnaire de Présence Sociale from [Biocca et al., 2001]

B.6.1 Copresence

Of the 20 items originally included as indicators of the dimension of co-presence, 14 items remained in two factors, attention and awareness, after the tests of internal consistency and reliability. A third factor, isolation/aloneness, was represented by two items and requires further investigation.

Isolation/aloneness

1. I often felt as if I was all alone
2. I think the other individual often felt alone

Mutual awareness

1. I hardly noticed another individual.
2. The other individual didn't notice me in the room.
3. I was often aware of others in the environment.
4. Others were often aware of me in the room.
5. I think the other individual often felt alone.
6. I often felt as if I was all alone.

Attentional allocation

1. I sometimes pretended to pay attention to the other individual.
2. The other individual sometimes pretended to pay attention to me.
3. The other individual paid close attention to me
4. I paid close attention to the other individual.
5. My partner was easily distracted when other things were going on around us.
6. I was easily distracted when other things were going on around me.
7. The other individual tended to ignore me.
8. I tended to ignore the other individual.

B.6.2 Psychological involvement

Of the 26 items originally included as indicators of the dimension of psychological involvement, 12 items remained in two factors, mutual understanding and emotional contagion, after the tests of internal consistency and reliability.

Empathy

1. When I was happy, the other was happy.
2. When the other was happy, I was happy.
3. The other individual was influenced by my moods.
4. I was influenced by my partner's moods.

5. The other's mood did NOT affect my mood/emotional-state.
6. My mood did NOT affect the other's mood/emotional-state.

Mutual understanding

1. My opinions were clear to the other.
2. The opinions of the other were clear.
3. My thoughts were clear to my partner.
4. The other individual's thoughts were clear to me.
5. The other understood what I meant.
6. I understood what the other meant.

B.6.3 Behavioral Engagement

Of the 15 items originally included as indicators of the dimension of behavioral interaction, 10 items remained in two factors, mutual assistance and behavioral interdependence, after the tests of internal consistency and reliability. A third factor, dependent action, was represented by two items and requires further investigation.

Behavioral interdependence

1. My actions were dependent on the other's actions.
2. The other's actions were dependent on my actions.
3. My behavior was in direct response to the other's behavior.
4. The behavior of the other was I direct response to my behavior.
5. What the other did affected what I did.
6. What I did affected what the other did.

Mutual assistance

1. My partner did not help me very much.
2. I did not help the other very much.
3. My partner worked with me to complete the task.
4. I worked with the other individual to complete the task.

Dependent action

1. The other could not act without me.
2. I could not act with the other.

B.7 Annexe - Social Presence Gaming Questionnaire (SPGQ) de [de Kort et al., 2007]

Dimensionality analysis of the social presence gaming questionnaire (SPGQ) resulted in three subscales : (1) *Psychological involvement – Empathy*, (2) *Psychological Involvement – Negative feelings*, and (3) *Behavioural involvement*.

B.7.1 Psychological involvement – Empathy

1. When the others were happy, I was happy.
2. When I was happy, the others were happy.
3. I empathized with the other(s).
4. I felt connected to the other(s).
5. I admired the other(s).
6. I found it enjoyable to be with the other(s).
7. I sympathized with the other(s).

B.7.2 Psychological Involvement – Negative feelings

1. I tended to ignore the other.
2. The other tended to ignore me.
3. I felt revengeful.
4. I felt schadenfreude (malicious delight).
5. I felt jealous of the other.
6. I envied the other.

B.7.3 Behavioural Engagement

1. My actions depended on the other's actions.
2. The other's actions were dependent on my actions.
3. What the others did affected what I did.
4. What I did affected what the other did.
5. The other paid close attention to me.
6. I paid close attention to the other.
7. My intentions were clear to the other.
8. The other's intentions were clear to me.

B.8 Annexe - Competitive and Cooperative Presence in Gaming Questionnaire (CCPIG) from [Riva et al., 2014]

The CCPIG is designed to measure the social presence felt by gamers in competitive and cooperative virtual environments. The version shown here is the ‘plural’ version of the CCPIG, and is worded to be used in a scenario in which a participant has more than one opponent and team-mate. A version worded for dyads can be found online : sites.google.com/site/ccpigq

In the items are to be used with 5 point Likert scale and items within sections should be mixed up, not appearing in their original order, nor grouped into their modules.

The CCPIG is split into two sections, Section 1 measures competitive social presence, that is the level of social presence felt by a participant towards their opponent(s). Section 2 measures cooperative social presence, the level of social presence experienced by a participant towards their team-mates. The two sections of the CCPIG measure separate components, therefore it would be possible to use them independently to measure, for example, cooperative social presence in a game which has only cooperative gameplay.

Section 1 is made up of two modules. Module 1.1 measures the extent to which participants feel their thoughts and actions were dependent on their opponent, and the extent to which the participant’s theory of mind was at play. Module 1.2 measures how engaging the participant felt their opponent was. Section 2 is made up of 4 modules. Module 2.1 measures how strongly the participant identified with their team and how much they felt a part of something. Module 2.2 measures the level of social actions which supported their team a participant felt was occurring during the game. Module 2.3 measures how motivated a participant was towards helping their team succeed, and Module 2.4 measures how much value a participant placed upon their team.

B.8.1 Section 1 : Competitive Social Presence

1.1 Awareness

- I acted with my opponents in mind
- I reacted to my opponents’ actions
- I knew what my opponents were trying to achieve
- I was aware that my opponents might work out my goals
- The actions of my opponents affected the way I played
- I felt I affected my opponents’ actions

1.2 Engagement

- My opponents were challenging
- The game was a battle of skill
- The game was a battle of wits
- I felt tense while playing my opponents
- My opponents created a sense of urgency
- The presence of my opponents motivated me
- My opponents played a significant role in my experience of the game
- It seemed as though my opponents were acting with awareness of my actions

B.8.2 Section 2 : Cooperative Social Presence

2.1 Team Identification

- I was aware of my team
- I acted with my team-mates in mind
- I considered my team-mates' possible plans/thoughts
- I felt like I was part of a team
- I felt a social connection to my team-mates (camaraderie)

2.2 Social Action

- I felt my team-mates were looking out for me
- I felt I contributed to the team
- I felt the team helped me
- I felt my actions made a difference to my team-mates
- The actions of my team-mates affected my thoughts and actions
- My team-mates played a significant role in my experience of the game My team communicated well
- The team had a mutual understanding

2.3 Motivation

- I put the performance of the team over my personal performance My actions were determined by the objectives of the team
- I wanted my team to value me
- Being part of a team motivated me
- I felt responsible for achieving the objectives of the team I did not want my team to think I had let them down

2.4 Team Value

- I felt my team was committed to working together I made an effort to work with my team-mates
- I felt my team shared a common overall aim
- I felt my team shared common short term goals
- It was as much about the team as about my own game My team-mates were useful

C- Modèles de questionnaires de l'incarnation

C.1 Annexe - questionnaire du sentiment d'incarnation par [Botvinick and Cohen, 1998]

Ce questionnaire a été initialement mis en place pour la première étude sur la *Rubber Hand Illusion*. Il était découpé en deux phases. La première phase était réalisée sous forme de descriptions libres et ouvertes sur son ressenti en tant que participant. La deuxième phase est un questionnaire d'auto-évaluation comprenant 9 items format Likert. Les voici dans leur langue d'origine :

During the experiment there were times when :

1. It seemed as if I were feeling the touch of the paintbrush in the location where I saw the rubber hand touched.
2. It seemed as though the touch I felt was caused by the paintbrush touching the rubber hand.
3. I felt as if the rubber hand were my hand.
4. It felt as if my (real) hand were drifting towards the right (towards the rubber hand).
5. It seemed as if I might have more than one left hand or arm.
6. It seemed as if the touch I was feeling came from somewhere between my own hand and the rubber hand.
7. It felt as if my (real) hand were turning 'rubbery'.
8. It appeared (visually) as if the rubber hand were drifting towards the left (towards my hand).
9. The rubber hand began to resemble my own (real) hand, in terms of shape, skin tone, freckles or some other visual feature.

C.2 Annexe - Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ) par [Roth and Latoschik, 2020]

Le questionnaire proposé par Roth et Latoschik a été construit par analyses en composantes principales des précédentes expérimentations sur l'incarnation disponibles dans la littérature. Le questionnaire est constitué de trois grandes sous catégories, chacune évaluées par 4 items format Likert : la propriété corporelle, l'agentivité et le changement. Il a été validé au travers de quatre études puis par des analyses statistiques de fiabilité (calcul du coefficient alpha de Cronbach). Publié en anglais, il est disponible ci-après :

— **VEQ Ownership** - *Scoring* : $([OW1] + [OW2] + [OW3] + [OW4]) / 4$

1. **OW1. myBody** It felt like the virtual body was my body.
2. **OW2. myBodyParts** It felt like the virtual body parts were my body parts.
3. **OW3. humanness** The virtual body felt like a human body.
4. **OW4. belongsToMe** It felt like the virtual body belonged to me.

— **VEQ Agency** - *Scoring* : $([AG1] + [AG2] + [AG3] + [AG4]) / 4$

1. **AG1. myMovement** The movements of the virtual body felt like they were my movements.
2. **AG2. controlMovements** I felt like I was controlling the movements of the virtual body.
3. **AG3. causeMovements** I felt like I was causing the movements of the virtual body.

4. **AG4. syncMovements** The movements of the virtual body were in sync with my own movements.

— **VEQ Change** - *Scoring* : $([CH1] + [CH2] + [CH3] + [CH4]) / 4$

1. **CH1. myBodyChange** I felt like the form or appearance of my own body had changed.

2. **CH2. echoHeavyLight** I felt like the weight of my own body had changed.

3. **CH3. echoTallSmall** I felt like the size (height) of my own body had changed.

4. **CH4. echoLargeThin** I felt like the width of my own body had changed.

Participant instructions : Please read each statement and answer on a 1 to 7 scale indicating how much each statement applied to you during the experiment. There are no right or wrong answers. Please answer spontaneously and intuitively. Scale example : 1–strongly disagree, 4–neither agree nor disagree, 7–strongly agree. A professional service was consulted for the translation.

D- Modèles de questionnaires sur les traits de personnalité

D.1 Annexe - Immersive Tendency Questionnaire (ITQ) de [Witmer and Singer, 1998]

The immerisve tendency questionnaire (ITQ) presented in (Witmer and Singer) contains 29 items, which consists of three subscale : Tendency to become involved in activities (INVOL), Tendency to maintain focus on current activities (FOCUS), and Tendency to play video games (GAMES). The update version (Version 3.01) isolated and dropped items that did not contribute to the reliability of the original ITQ (items 1, 2, 3, 4, 11, 12, 19, 22, 24, 27, and 28—marked with * bellow), and was reduced to 18 items. All questions are answered on a 7 point Likert scale.

1. *Do you ever get extremely involved in projects that are assigned to you by your boss or your instructor, to the exclusion of other tasks ?
2. *How easily can you switch your attention from the task in which you are currently involved to a new task ?
3. *How frequently do you get emotionally involved (angry, sad, or happy) in the news stories that you read or hear ?
4. *How well do you feel today ?
5. Do you easily become deeply involved in movies or TV dramas? | **FOCUS**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
6. Do you ever become so involved in a television program or book that people have problems getting your attention ? | **INVOL**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
7. How mentally alert do you feel at the present time ? | **FOCUS**
1 : Not Alert, 4 : Moderately, 7 : Fully Alert
8. Do you ever become so involved in a movie that you are not aware of things happening around you ? | **INVOL**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
9. How frequently do you find yourself closely identifying with the characters in a storyline? | **INVOL**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
10. Do you ever become so involved in a video game that it is as if you are inside the game rather than moving a joystick and watching the screen ? | **GAMES**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
11. *On average, how many books do you read for enjoyment in a month ?
12. *What kind of books do you read most frequently ?
(CIRCLE ONE ITEM ONLY!) Spy novels/Fantasies/Science fiction/Adventure/Romance/novels/Historical novels/Westerns/Mysteries/Other fiction/Biographies/Autobiographies/Other non-fiction
13. How physically fit do you feel today ? | **FOCUS**
1 : Not Fit, 4 : Moderately Fit, 7 : Extremely Fit
14. How good are you at blocking out external distractions when you are involved in something ? | **FOCUS**
1 : Not Very Good, 4 : Somewhat Good, 7 : Very Good
15. When watching sports, do you ever become so involved in the game that you react as if you were one of the players ?
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often

16. Do you ever become so involved in a daydream that you are not aware of things happening around you? | **INVOL**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
17. Do you ever have dreams that are so real that you feel disoriented when you awake? | **INVOL**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
18. When playing sports, do you become so involved in the game that you lose track of time? | **FOCUS**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
19. *Are you easily disturbed when working on a task?
20. How well do you concentrate on enjoyable activities?
1 : Not at all, 4 : Moderately Well, 7 : Well
21. How often do you play arcade or video games? (OFTEN should be taken to mean every day or every two days, on average.) | **GAMES**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
22. *How well do you concentrate on disagreeable tasks?
23. Have you ever gotten excited during a chase or fight scene on TV or in the movies? | **FOCUS**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
24. *To what extent have you dwelled on personal problems in the last 48 hours?
25. Have you ever gotten scared by something happening on a TV show or in a movie? | **INVOL**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
26. Have you ever remained apprehensive or fearful long after watching a scary movie? | **INVOL**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often
27. *Do you ever avoid carnival or fairground rides because they are too scary?
28. *How frequently do you watch TV soap operas or docu-dramas?
29. Do you ever become so involved in doing something that you lose all track of time? | **FOCUS**
1 : Never, 4 : Occasionally, 7 : Often

D.2 Annexe - UCLA Loneliness Scale de [Russell et al., 1978]

The UCLA Loneliness Scale, a short, 20-item general measure of loneliness can show the person's current loneliness and related emotional states.

Instruction : *Indicate how often each of the statements below is descriptive of you. Circle one letter for each statement :*

- **O** indicates "I *often* feel this way"
- **S** indicates "I *sometimes* feel this way"
- **R** indicates "I *rarely* feel this way"
- **N** indicates "I *never* feel this way"

1. I am unhappy doing so many things alone.
2. I have nobody to talk to.
3. I cannot tolerate being so alone.
4. I lack companionship.
5. I feel as if nobody really understands me.
6. I find myself waiting for people to call or write.
7. There is no one I can turn to.
8. I am no longer close to anyone.
9. My interests and ideas are not shared by those around me.
10. I feel left out.
11. I feel completely alone.
12. I am unable to reach out and communicate with those around me.
13. My social relationships are superficial.
14. I feel starved for company.
15. No one really knows me well.
16. I feel isolated from others.
17. I am unhappy being so withdrawn.
18. It is difficult for me to make friends.
19. I feel shut out and excluded by others.
20. People are around me but not with me.

D.3 Annexe - Tâche d' 'Inclusion' of the Other in the Self (IOS) [Aron et al., 1992]

Inclusion of the Other in the Self (IOS) Scal is a handy pictorial tool for measuring the subjectively perceived closeness of a relationship with another person or group. The tool is highly portable, very easy for subjects to understand and takes less than 1 minute to administer.

Respondents see seven pairs of circles that range from just touching to almost completely overlapping. One circle in each pair is labeled "self," and the second circle is labeled "other." Respondents choose one of the seven pairs to answer the question, "Which picture best describes your relationship with [this person/group]?" Researchers indicate what person or group the "other" circle stands for (e.g., "your romantic partner," "your parents," "your community," etc.).

To score this scale, researchers record the number of the pair (1 to 7) the respondent selected.

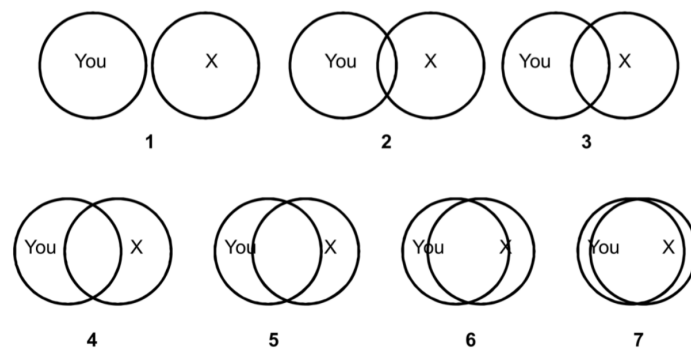


FIGURE D.1 – The 'Inclusion of the Other in the Self' (IOS) task. Respondents are asked to select the pair of circles that best describes their relationship with X [Aron et al., 1992, Gächter et al., 2015].

D.4 Annexe - Big Five Inventory questionnaire (BFI) de [John et al., 1999]

44-item inventory that measures an individual on the Big Five Factors (dimensions) of personality [John et al., 1999]. Each of the factors is then further divided into personality facets. The short version of BFI, proposed by Rammstedt and John [Rammstedt and John, 2007], extracted 10-item from the original version. The items used for the short version are marked with * in the questionnaire below.

D.4.1 The Big Five Factors

- **Extraversion vs. introversion** : *Gregariousness (sociable), Assertiveness (forceful), Activity (energetic), Excitement-seeking (adventurous), Positive emotions (enthusiastic) Warmth (outgoing)*
- **Agreeableness vs. antagonism** : *Trust (forgiving), Straightforwardness (not demanding), Altruism (warm), Compliance (not stubborn), Modesty (not show-off), Tender-mindedness (sympathetic)*
- **Conscientiousness vs. lack of direction** : *Competence (efficient), Order (organized), Dutifulness (not careless), Achievement striving (thorough), Self-discipline (not lazy), Deliberation (not impulsive)*
- **Neuroticism vs. emotional stability** : *Anxiety (tense), Angry hostility (irritable), Depression (not contented), Self-consciousness (shy), Impulsiveness (moody), Vulnerability (not self-confident)*
- **Openness vs. closedness to experience** : *Ideas (curious), Fantasy (imaginative), Aesthetics (artistic), Actions (wide interests), Feelings (excitable), Values (unconventional)*

D.4.2 Big Five questionnaire

Instruction : *Here are a number of characteristics that may or may not apply to you. For example, do you agree that you are someone who likes to spend time with others? Please write a number next to each statement to indicate the extent to which you agree or disagree with that statement (1 : Disagree strongly, 2 : Disagree a little, 3 : Neither agree nor disagree, 4 : Agree a little, 5 : Agree strongly).*

I see Myself as Someone Who...

1. Is talkative
2. *Tends to find fault with others
3. *Does a thorough job
4. Is depressed, blue
5. Is original, comes up with new ideas
6. *Is reserved
7. Is helpful and unselfish with others
8. Can be somewhat careless
9. *Is relaxed, handles stress well
10. Is curious about many different things

11. Is full of energy
12. Starts quarrels with others
13. Is a reliable worker
14. Can be tense
15. Is ingenious, a deep thinker
16. Generates a lot of enthusiasm
17. Has a forgiving nature
18. Tends to be disorganized
19. Worries a lot
20. *Has an active imagination
21. Tends to be quiet
22. *Is generally trusting
23. *Tends to be lazy
24. Is emotionally stable, not easily upset
25. Is inventive
26. Has an assertive personality
27. Can be cold and aloof
28. Perseveres until the task is finished
29. Can be moody
30. Values artistic, aesthetic experiences
31. Is sometimes shy, inhibited
32. Is considerate and kind to almost everyone
33. Does things efficiently
34. Remains calm in tense situations
35. Prefers work that is routine
36. *Is outgoing, sociable
37. Is sometimes rude to others
38. Makes plans and follows through with them
39. *Gets nervous easily
40. Likes to reflect, play with ideas
41. *Has few artistic interests
42. Likes to cooperate with others
43. Is easily distracted
44. Is sophisticated in art, music, or literature

D.4.3 Scoring

BFI scale scoring ('R' denotes reverse-scored items) :

- **Extraversion** : 1, 6R, 11, 16, 21R, 26, 31R, 36
- **Agreeableness** : 2R, 7, 12R, 17, 22, 27R, 32, 37R, 42
- **Conscientiousness** : 3, 8R, 13, 18R, 23R, 28, 33, 38, 43R
- **Neuroticism** : 4, 9R, 14, 19, 24R, 29, 34R, 39
- **Openness** : 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35R, 40, 41R, 44

E- Modèles de questionnaires de l'expérience de jeu

E.1 Annexe - Game Experience Questionnaire de [Poels et al., 2007]

5-point, unipolar intensity-based answering scale was developed, with points anchored at *not at all (0)*, *slightly (1)*, *moderately (2)*, *fairly (3)*, and *extremely (4)*, thus qualifying the intensity of the experience described in the item.

E.1.1 The core questionnaire (GEQ)

This is the heart of the Game Experience Questionnaire, probing multiple components of players' experience while gaming.

1. I felt content
2. I felt skilful
3. I was interested in the game's story
4. I could laugh about it
5. I felt completely absorbed
6. I felt happy
7. I felt tense
8. I felt that I was learning
9. I felt restless
10. I thought about other things
11. I found it tiresome
12. I felt strong
13. I thought it was hard
14. It was aesthetically pleasing
15. I forgot everything around me
16. I felt good
17. I was good at it
18. I felt bored
19. I felt successful
20. I felt imaginative
21. I felt that I could explore things
22. I enjoyed it
23. I was fast at reaching the game's targets
24. I felt annoyed
25. I was distracted
26. I felt stimulated
27. I felt irritable
28. I lost track of time
29. I felt challenged
30. I found it impressive

31. I was deeply concentrated in the game
32. I felt frustrated
33. It felt like a rich experience
34. I lost connection with the outside world
35. I was bored by the story
36. I had to put a lot of effort into it
37. I felt time pressure
38. It gave me a bad mood
39. I felt pressured
40. I was fully occupied with the game
41. I thought it was fun
42. I felt competent

The Core GEQ Module consists of seven components : *Competence, Sensory and Imaginative Immersion (SII), Flow, Tension, Challenge, Negative affect, Positive affect*. Most components have 5 items (except the SII which has 6). One extra item was added for each of these, to create some flexibility should a translated item not work. Component scores are computed as the average value of its items.

- **Competence** : Items 2, 12, 17, 19, and 23 ; 42 is a spare item for translation.
- **Sensory and Imaginative Immersion (SII)** : Items 3, 14, 20, 21, 30, and 33.
- **Flow** : Items 5, 15, 28, 31, and 34 ; 40 is a spare item for translation.
- **Tension** : Items 7, 9, 24, 27, and 32 ; 39 is a spare item for translation.
- **Challenge** : Items 8, 13, 26, 29, and 36 ; 37 is a spare item for translation.
- **Negative affect** : Items 10, 11, 18, 25, and 35 ; 38 is a spare item for translation.
- **Positive affect** : Items 1, 4, 6, 16, and 22 ; 41 is a spare item for translation.

E.1.2 In-game version of the GEQ (iGEQ)

Ce questionnaire est une version plus courte et moins fatigante du GEQ [IJs, 2008], mise en place dans l'idée de pouvoir administrer le questionnaire à plusieurs reprises d'une session de jeu. L'iGEQ se compose des sept même composantes que le module de base GEQ. Cependant, seuls deux items sont utilisés pour chaque composante. Les scores des composantes sont calculées comme la valeur moyenne de ses deux items.

1. I was interested in the game's story
2. I felt successful
3. I felt bored
4. I found it impressive
5. I forgot everything around me
6. I felt frustrated
7. I found it tiresome
8. I felt irritable
9. I felt skilful

10. I felt completely absorbed
11. I felt content
12. I felt challenged
13. I felt stimulated
14. I felt good

- **Compétence** : Items 2 et 9.
- **Immersion sensorielle et Imaginative (SII)** : Items 1 et 4.
- **Flow** : Items 5 et 10.
- **Tension** : Items 6 et 8.
- **Challenge** : Items 12 et 13.
- **Effets Negatives** : Items 3 et 7.
- **Effets Positive** : Items 11 et 14.

E.1.3 The post-game questionnaire (PGQ)

This questionnaire is for probing gamers' experience after the gaming session and any after effects.

- 1.
2. I felt revived
3. I felt bad
4. I found it hard to get back to reality
5. I felt guilty
6. It felt like a victory
7. I found it a waste of time
8. I felt energised
9. I felt satisfied
10. I felt disoriented
11. I felt exhausted
12. I felt that I could have done more useful things
13. I felt powerful
14. I felt weary
15. I felt regret
16. I felt ashamed
17. I felt proud
18. I had a sense that I had returned from a journey

The post-game Module consists of four components, the items for each are listed below. Component scores are computed as the average value of its items.

- **Positive Experience** : Items 1, 5, 7, 8, 12, 16.
- **Negative experience** : Items 2, 4, 6, 11, 14, 15.
- **Tiredness** : Items 10, 13.
- **Returning to Reality** : Items 3, 9, 17.

E.1.4 The social presence module (SPGQ)

This questionnaire is for probing gamers' experience of and involvement with their co-player(s).

1. I empathized with the other(s)
2. My actions depended on the other(s) actions
3. The other's actions were dependent on my actions
4. I felt connected to the other(s)
5. The other(s) paid close attention to me
6. I paid close attention to the other(s)
7. I felt jealous about the other(s)
8. I found it enjoyable to be with the other(s)
9. When I was happy, the other(s) was(were) happy
10. When the other(s) was(were) happy, I was happy
11. I influenced the mood of the other(s)
12. I was influenced by the other(s) moods
13. I admired the other(s)
14. What the other(s) did affected what I did
15. What I did affected what the other(s) did
16. I felt revengeful
17. I felt schadenfreude (malicious delight)

The Social Presence Module consists of three components, the items for each are listed below. Component scores are computed as the average value of its items.

- **Psychological Involvement –Empathy** : Items 1, 4, 8, 9, 10, and 13.
- **Psychological Involvement –Negative Feelings** : Items 7, 11, 12, 16, and 17.
- **Behavioural Involvement** : Items 2, 3, 5, 6, 14, and 15.

E.2 Annexe - Game Player Experience of Need Satisfaction (PENS) de [Ryan et al., 2006]

This questionnaire is frequently used to quantify the experience of playing digital games. The questionnaire consists of 5 components, such as *competence*, *autonomy*, *relatedness*, *immersion/presence*, and *intuitive controls*. All items are ranked on a 7-point Likert scale (1 : *Do not agree* - 7 : *Strongly agree*). PENS has been statistically validated, however the questionnaire is copyrighted and therefore is not readily available to researchers. The questionnaire below is used in the study by Inchamnan [Inchamnan, 2016].

E.2.1 Competence

1. I feel competent at the game.
2. I feel very capable and effective when playing.
3. My ability to play the game is well matched with the game's challenges.

E.2.2 Autonomy

1. The game provides me with interesting options and choices.
2. The game lets you do interesting things.
3. I experienced a lot of freedom in the game.

E.2.3 Relatedness

1. I find the relationships I form in this game fulfilling.
2. I find the relationships I form in this game important.
3. I don't feel close to other players.

E.2.4 Presence/Immersion

1. When playing the game, I feel transported to another time and place.
2. Exploring the game world feels like taking an actual trip to a new place.
3. When moving through the game world, I feel as if I am actually.
4. I am not impacted emotionally by events in the game.
5. The game was emotionally engaging.
6. I experience feelings as deeply in the game as I have in real life.
7. When playing the game I feel as if I was part of the story.
8. When I accomplished something in the game I experienced genuine pride.
9. I had reactions to events and characters in the game as if they were real.

E.2.5 Intuitive controls

1. Learning the game controls was easy.
2. The game controls are intuitive.
3. When I wanted to do something in the game, it was easy to remember the corresponding control.

E.3 Annexe - Gameful Experience Scale (GAMEX) de [Eppmann et al., 2018]

E.4 Annexe - Game Engagement Questionnaire (GEQ) de [Brockmyer et al., 2009]

Ce questionnaire a été créé dans le but de mesurer l'engagement en jeu vidéo, à travers 19 items qui abordent les dimensions de présence, flow, absorption et dissociation. Les 19 items sont :

- I lose track of time
- Things seem to happen automatically
- I feel different
- I feel scared
- The game feels real
- If someone talks to me, I don't hear them
- I get wound up
- Time seems to kind of stand still or stop
- I feel spaced out
- I don't answer when someone talks to me
- I can't tell that I'm getting tired
- Playing seems automatic
- My thoughts go fast
- I lose track of where I am
- I play without thinking about how to play
- Playing makes me feel calm
- I play longer than I meant to
- I really get into the game
- I feel like I just can't stop playing

Bibliographie

- [IJs, 2008] (2008). Measuring the experience of digital game enjoyment.
- [Abeele et al., 2020] Abeele, V. V., Spiel, K., Nacke, L., Johnson, D., and Gerling, K. (2020). Development and validation of the player experience inventory : A scale to measure player experiences at the level of functional and psychosocial consequences. *International Journal of Human-Computer Studies*, 135 :102370.
- [Agrawal et al., 2019] Agrawal, S., Simon, A., Bech, S., Baerentsen, K., and Forchhammer, S. (2019). Defining immersion : Literature review and implications for research on immersive audiovisual experiences. In *147th Convention of the Audio Engineering Society*, New york. AES.
- [Akan and Berkman, 2020] Akan, E. and Berkman, M. I. (2020). *Game User Experience And Player-Centered Design*, chapter Chapter 10 Physiological Measures in Game User Research, pages 232–249. International Series on Computer Entertainment and Media Technology.
- [Alessandra Gorini, 2011] Alessandra Gorini, Claret S. Capideville, G. D. L. F. M. G. R. (2011). The role of immersion and narrative in mediated presence : The virtual hospital experience. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 14(3).
- [Alexandrovsky et al., 2020] Alexandrovsky, D., Putze, S., Bonfert, M., Höffner, S., Michelmann, P., Wenig, D., Malaka, R., and Smeddinck, J. D. (2020). Examining design choices of questionnaires in VR user studies. In *Proceedings of the 2020 Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI'20*. ACM.
- [Argelaguet et al., 2016] Argelaguet, F., Hoyet, L., Trico, M., and Lecuyer, A. (2016). The role of interaction in virtual embodiment : Effects of the virtual hand representation. In *2016 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE.
- [Aron et al., 1992] Aron, A., Aron, E. N., and Smollan, D. (1992). Inclusion of other and in the self and scale and the structure and of interpersonal and closeness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 63(4) :596–612.
- [Asai et al., 2011] Asai, T., Mao, Z., Sugimori, E., and Tanno, Y. (2011). Rubber hand illusion, empathy, and schizotypal experiences in terms of self-other representations. *Consciousness and Cognition*, 20(4) :1744–1750.
- [Axelsson et al., 2001] Axelsson, A.-S., Abelin, r., Heldal, I., Schroeder, R., and Wideström, J. (2001). Cubes in the cube : A comparison of a puzzle-solving task in a virtual and a real environment. *CyberPsychology & Behavior*, 4(2) :279–286. PMID : 11710253.
- [Azevedo et al., 2014] Azevedo, A. S., Jorge, J., and Campos, P. (2014). Combining eeg data with place and plausibility responses as an approach to measuring presence in outdoor virtual environments. *Presence*, 23(4) :354–368.
- [Bailenson et al., 2002] Bailenson, J. N., Beall, A. C., and Blascovich, J. (2002). Gaze and task performance in shared virtual environments. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, 13(5) :313–320.

- [Bailenson et al., 2004] Bailenson, J. N., Beall, A. C., Loomis, J., Blascovich, J., and Turk, M. (2004). Transformed social interaction : Decoupling representation from behavior and form in collaborative virtual environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 13(4) :428–441.
- [Bailenson et al., 2003] Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C., and Loomis, J. M. (2003). Interpersonal distance in immersive virtual environments. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(7) :819–833. PMID : 15018671.
- [Bailenson et al., 2005] Bailenson, J. N., Swinth, K., Hoyt, C., Persky, S., Dimov, A., and Blascovich, J. (2005). The independent and interactive effects of embodied-agent appearance and behavior on self-report, cognitive, and behavioral markers of copresence in immersive virtual environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 14(4) :379–393.
- [Bailenson and Yee, 2006] Bailenson, J. N. and Yee, N. (2006). A longitudinal study of task performance, head movements, subjective report, simulator sickness, and transformed social interaction in collaborative virtual environments. *Presence : Teleoper. Virtual Environ.*, 15(6) :699–716.
- [Banakou et al., 2013] Banakou, D., Groten, R., and Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31) :12846–12851.
- [Basdogan et al., 2000] Basdogan, C., Ho, C.-H., Srinivasan, M. A., and Slater, M. (2000). An experimental study on the role of touch in shared virtual environments. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 7(4) :443–460.
- [Baumgartner et al., 2006] Baumgartner, T., Valko, L., Esslen, M., and Jäncke, L. (2006). Neural correlate of spatial presence in an arousing and noninteractive virtual reality : An eeg and psychophysiology study. *Cyberpsychology Behavior and Social Networking*, 9(1) :30–45.
- [Bergstrom et al., 2017] Bergstrom, I., Azevedo, S., Papiotis, P., Saldanha, N., and Slater, M. (2017). The plausibility of a string quartet performance in virtual reality. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 23 :1352–1359.
- [Bimberg et al., 2020] Bimberg, P., Weissker, T., and Kulik, A. (2020). On the usage of the simulator sickness questionnaire for virtual reality research. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, pages 464–467.
- [Biocca, 1997] Biocca, F. (1997). The cyborg’s dilemma : embodiment in virtual environments. In *Proceedings Second International Conference on Cognitive Technology Humanizing the Information Age*, pages 12–26.
- [Biocca et al., 2003] Biocca, F., Harms, C., and Burgoon, J. K. (2003). Toward a more robust theory and measure of social presence : Review and suggested criteria. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 12(5) :456–480.
- [Biocca et al., 2001] Biocca, F., Harms, C., and Gregg, J. (2001). The networked minds measure of social presence : Pilot test of the factor structure and concurrent validity. In *4th annual international workshop on presence, Philadelphia, PA*, pages 1–9.
- [Björk and Holopainen, 2005] Björk, S. and Holopainen, J. (2005). *Patterns In Game Design*. Charles River Media.
- [Borrego et al., 2016] Borrego, A., Latorre, J., Llorens, R., Alcañiz, M., and Noé, E. (2016). Feasibility of a walking virtual reality system for rehabilitation : objective and subjective parameters. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 13(1).
- [Botvinick and Cohen, 1998] Botvinick, M. and Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘Feel’ touch that eyes see. *Nature*, 391 :756–756.

- [Boucsein, 2012] Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media.
- [Bouvier, 2009] Bouvier, P. (2009). *La présence en réalité virtuelle, une approche centrée utilisateur*. PhD thesis, Université Paris-Est.
- [Bracken et al., 2014] Bracken, C. C., Pettey, G., and Wu, M. (2014). Revisiting the use of secondary task reaction time measures in telepresence research : Exploring the role of immersion and attention. *AI Soc.*, 29(4) :533–538.
- [Brade et al., 2017] Brade, J., Lorenz, M., Busch, M., Hammer, N., Tscheligi, M., and Klimant, P. (2017). Being there again – presence in real and virtual environments and its relation to usability and user experience using a mobile navigation task. *International Journal of Human-Computer Studies*, 101 :76–87.
- [Brockmyer et al., 2009] Brockmyer, J. H., Fox, C. M., Curtiss, K. A., McBroom, E., Burkhart, K. M., and Pidruzny, J. N. (2009). The development of the game engagement questionnaire : A measure of engagement in video game-playing. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(4) :624–634.
- [Brogni et al., 2003] Brogni, A., Slater, M., Steed, A., and of Computer Science, D. (2003). More breaks less presence.
- [Brooke, 1996] Brooke, J. (1996). *SUS : A quick and dirty usability scale*, chapter SUS : A quick and dirty usability scale., pages 189–194. Taylor & Francis.
- [Brown and Cairns, 2004] Brown, E. and Cairns, P. (2004). A grounded investigation of game immersion. In *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI'04)*.
- [Bulu, 2012] Bulu, S. T. (2012). Place presence, social presence, co-presence, and satisfaction in virtual worlds. *Computers & Education*, 58(1) :154–161.
- [Burns and Fairclough, 2015] Burns, C. G. and Fairclough, S. H. (2015). Use of auditory event-related potentials to measure immersion during a computer game. *International Journal of Human-Computer Studies*, 73 :107–114.
- [Castellar et al., 2016] Castellar, E. P. N., Antons, J.-N., Marinazzo, D., and Looy, J. V. (2016). Being in the zone : Using behavioral and eeg recordings for the indirect assessment of flow. In *Peer-J preprints*.
- [Cronbach, 1951] Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16 :297–334.
- [Cummings and Bailenson, 2015] Cummings, J. J. and Bailenson, J. N. (2015). How immersive is enough ? a meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 19(2) :272–309.
- [Davis and Perkowski, 1979] Davis, D. and Perkowski, W. T. (1979). Consequences of responsiveness in dyadic interaction : Effects of probability of response and proportion of content-related responses on interpersonal attraction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37(4) :534–550.
- [Davis et al., 1999] Davis, E. T., Scott, K., Pair, J., Hodges, L. F., and Oliverio, J. (1999). Can audio enhance visual perception and performance in a virtual environment ? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 43(22) :1197–1201.
- [de Graaf et al., 2009] de Graaf, A., Hoeken, H., Sanders, J., and Beentjes, H. (2009). The role of dimensions of narrative engagement in narrative persuasion. *Communications*, 34(4) :385–405.
- [de Kort et al., 2007] de Kort, Y., IJsselstein, W., and Poels, K. (2007). Digital games as social presence technology : development of the social presence in gaming questionnaire (spgq). In Moreno, L., editor, *Proceedings of the 10th Annual International Workshop on Presence*,

- October 25-27, 2007*, pages 195–203. Starlab. 10th Annual International Workshop on Presence (PRESENCE 2007), October 25-27, 2007, Barcelona, Spain; Conference date : 25-10-2007 Through 27-10-2007.
- [Debarba et al., 2017] Debarba, H. G., Bovet, S., Salomon, R., Blanke, O., Herbelin, B., and Boulic, R. (2017). Characterizing first and third person viewpoints and their alternation for embodied interaction in virtual reality. *PLOS ONE*, 12(12) :e0190109.
- [Dewez et al., 2019] Dewez, D., Fribourg, R., Sanz, F. A., Hoyet, L., Mestre, D., Slater, M., and Lécuyer, A. (2019). Influence of personality traits and body awareness on the sense of embodiment in virtual reality. *IEEE*.
- [Drachen and Nacke, 2010] Drachen, A. and Nacke, L. E. (2010). Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games.
- [Draper et al., 1998] Draper, J. V., Kaber, D. B., and Usher, J. M. (1998). Telepresence. *Human Factors*, 40(3) :354–375. PMID : 9849099.
- [Edward F. Schneider, 2004] Edward F. Schneider, Annie Lang, M. S. S. D. B. (2004). Death with a story how story impacts emotional, motivational, and physiological responses to first-person shooter video games. *Human Communication Research*, 30(3) :361–375.
- [Ehrsson, 2020] Ehrsson, H. H. (2020). *Multisensory Perception From Laboratory to Clinic ownership*, chapter 8 - Multisensory processes in body ownership, pages 179–200. Academic Press : Elsevier.
- [Eppmann et al., 2018] Eppmann, R., Bekk, M., and Klein, K. (2018). Gameful experience in gamification : Construction and validation of a gameful experience scale [GAMEX]. *Journal of Interactive Marketing*, 43 :98–115.
- [Eynard, 2016] Eynard, R. (2016). *Investigation de l'impact de l'interaction sociale vocale sur l'expérience utilisateur dans les environnements 3D temps-réel immersifs*. PhD thesis, ENSAM.
- [Freeman et al., 2000] Freeman, J., Avons, S. E., Meddis, R., Pearson, D. E., and IJsselstein, W. (2000). Using behavioral realism to estimate presence : A study of the utility of postural responses to motion stimuli. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 9(2) :149–164.
- [Fribourg, 2020] Fribourg, R. (2020). *Contribution à l'Étude des Facteurs Influençant le Sentiment d'Incarnation Envers un Avatar en Réalité Virtuelle*. PhD thesis, A Paraitre, Soutenue le 4 novembre 2020.
- [Frommel et al., 2015] Frommel, J., Rogers, K., Brich, J., Besserer, D., Bradatsch, L., Ortinau, I., Schabenberger, R., Riemer, V., Schrader, C., and Weber, M. (2015). Integrated questionnaires : Maintaining presence in game environments for self-reported data acquisition. In *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY '15*, page 359–368, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Fulk et al., 1987] Fulk, J., Steinfield, C. W., Schmitz, J., and Power, J. G. (1987). A social information processing model of media use in organizations. *Communication Research*, 14(5) :529–552.
- [Gächter et al., 2015] Gächter, S., Starmer, C., and Tufano, F. (2015). Measuring the closeness of relationships : a comprehensive evaluation of the 'inclusion of the other in the self' scale. *PLoS one*, 10(6) :e0129478.
- [Gamito et al., 2010] Gamito, P., Oliveira, J., Morais, D., Baptista, A., Santos, N., Soares, F., Saraiva, T., and Rosa, P. J. (2010). Training presence : The importance of virtual reality experience on the "sense of being there". *Studies in health technology and informatics*, 154 :128–33.

- [Gandy et al., 2010] Gandy, M., Catrambone, R., MacIntyre, B., Alvarez, C., Eiriksdottir, E., Hilimire, M., Brian, Davidson, and McLaughlin, A. C. (2010). Experiences with an ar evaluation test bed : Presence, performance, and physiological measurement. IEEE.
- [Garau, 2003] Garau, M. (2003). *The impact of avatar fidelity on social interaction in virtual environments*. PhD thesis, University of London.
- [Gasselseder, 2014] Gasselseder, H.-P. (2014). Dynamic music and immersion in the action-adventure an empirical investigation. In *Proceedings of the 9th Audio Mostly on Interaction With Sound AM'14*. ACM Press.
- [Genay et al., 2020] Genay, A., Lécuyer, A., and Hachet, M. (2020). Incarner un avatar en réalité augmentée : Revue de la littérature. In *WACAI 2020 - Workshop sur les Affects, Compagnons artificiels et Interactions*.
- [Goffman, 1959] Goffman, E. (1959). *The presentation of self in everyday life*. Anchor Books edition. Garden City, N.Y. : Doubleday, 1959.
- [Gonzalez-Franco and Peck, 2018] Gonzalez-Franco, M. and Peck, T. C. (2018). Avatar embodiment. towards a standardized questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, 5 :74.
- [González-Franco et al., 2010] González-Franco, M., Pérez-Marcos, D., Spanlang, B., and Slater, M. (2010). The contribution of real-time mirror reflections of motor actions on virtual body ownership in an immersive virtual environment. In *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, pages 111–114.
- [Gorisse, 2019] Gorisse, G. (2019). *Impact du point de vue et de la fidélité des avatars sur les sentiments de présence et d'incarnation en environnement virtuel immersif*. PhD thesis, ENSAM.
- [Gorisse et al., 2017] Gorisse, G., Christmann, O., Amato, E. A., and Richir, S. (2017). First- and third-person perspectives in immersive virtual environments : Presence and performance analysis of embodied users. *Frontiers in Robotics and AI*, 4.
- [Grassini and Laumann, 2020] Grassini, S. and Laumann, K. (2020). Questionnaire measures and physiological correlates of presence : A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 11.
- [Guterstam et al., 2011] Guterstam, A., Petkova, V. I., and Ehrsson, H. H. (2011). The illusion of owning a third arm. *PLoS ONE*, 6(2) :e17208.
- [Hackney et al., 2020] Hackney, A. L., Cinelli, M. E., Warren, W. H., and Frank, J. S. (2020). Are avatars treated like human obstacles during aperture crossing in virtual environments ? *Gait & Posture*, 80 :74–76.
- [Hartmann et al., 2015] Hartmann, T., Wirth, W., Schramm, H., Klimmt, C., Vorderer, P., Gysbers, A., and Sacau, A. (2015). The spatial presence experience scale (spes). *Journal of Media Psychology : Theories, Methods, and Applications*, 28(1) :1–15.
- [Heers, 2005] Heers, R. (2005). *Being There" : Untersuchungen zum Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen (German)*. PhD thesis, Universitat Tubingen.
- [Heidicker et al., 2017] Heidicker, P., Langbehn, E., and Steinicke, F. (2017). Influence of avatar appearance on presence in social vr. In *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pages 233–234.
- [Hein et al., 2018] Hein, D., Mai, C., and Hußmann, H. (2018). The usage of presence measurements in research. In forPresence Research, T. I. S., editor, *Proceedings of the International Society for PresenceResearch Annual Conference (Presence)*, Prague.
- [Herrera et al., 2020] Herrera, F., Oh, S. Y., and Bailenson, J. N. (2020). Effect of behavioral realism on social interactions inside collaborative virtual environments. *PRESENCE : Virtual and Augmented Reality*, 27(2) :163–182.

- [Hoppe et al., 2019] Hoppe, M., Karolus, J., Dietz, F., Wozniak, P. W., Schmidt, A., and Machulla, T.-K. (2019). Vrsneaky. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI'19*. ACM Press.
- [Ijsselsteijn and Riva, 2003] Ijsselsteijn, W. and Riva, G. (2003). *Being There : Concepts, effects and measurement of user presence in synthetic environments*, chapter 1 - Being There : The experience of presence in mediated environments. Ios Press.
- [Ijsselsteijn et al., 2013] Ijsselsteijn, W. A., de Kort, Y. A. W., and Poels, K. (2013). The game experience questionnaire. Technical report, Technische and Universiteit Eindhoven.
- [Ijsselsteijn et al., 2000] Ijsselsteijn, W. A., de Ridder, H., Freeman, J., and Avons, S. E. (2000). Presence : concept, determinants, and measurement. In Rogowitz, B. E. and Pappas, T. N., editors, *Human Vision and Electronic Imaging V*, volume 3959, pages 520 – 529. International Society for Optics and Photonics, SPIE.
- [Ijsselsteijn et al., 2001] Ijsselsteijn, W. A., Freeman, J., and De Ridder, H. (2001). Presence : Where are we? *CyberPsychology & Behavior*, 4(2) :179–182. PMID : 11710245.
- [Inchamnan, 2016] Inchamnan, W. (2016). An analysis of creative process learning in computer game activities through player experiences. *IAFOR Journal of Education*, 4(2) :119–139.
- [INSKO, 2003] INSKO, B. E. (2003). *Being There : Concepts, effects and measurement of user presence in synthetic environments*, chapter 7 - Measuring Presence : Subjective, Behavioral and Physiological Methods, pages 110–119. Ios Press.
- [Jennett et al., 2008] Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., and Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9) :641 – 661.
- [John et al., 1999] John, O. P., Srivastava, S., et al. (1999). The big five trait taxonomy : History, measurement, and theoretical perspectives. *Handbook of personality : Theory and research*, 2(1999) :102–138.
- [Johnson et al., 2018] Johnson, D., Gardner, M. J., and Perry, R. (2018). Validation of two game experience scales : The player experience of need satisfaction (PENS) and game experience questionnaire (GEQ). *International Journal of Human-Computer Studies*, 118 :38–46.
- [Kállai et al., 2015] Kállai, J., Hegedüs, G., Feldmann, Á., Rózsa, S., Darnai, G., Herold, R., Dorn, K., Kincses, P., Csathó, Á., and Szolcsányi, T. (2015). Temperament and psychopathological syndromes specific susceptibility for rubber hand illusion. *Psychiatry Research*, 229(1-2) :410–419.
- [Keenaghan et al., 2020] Keenaghan, S., Bowles, L., Crawford, G., Thurlbeck, S., Kentridge, R. W., and Cowie, D. (2020). My body until proven otherwise : Exploring the time course of the full body illusion. *Consciousness and Cognition*, 78 :102882.
- [Kennedy et al., 1993] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., and Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire : An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3) :203–220.
- [Keshavarz and Hecht, 2011] Keshavarz, B. and Hecht, H. (2011). Validating an efficient method to quantify motion sickness. *Human Factors*, 53(4) :415–426. PMID : 21901938.
- [Khenak, 2020] Khenak, N. (2020). *Vers un modèle unifié de la Présence Spatial : catégories, facteurs et mesures, et son application en environnements immersifs réels et distants à travers m'étude de la Téléprésence*. PhD thesis, Université Paris Saclay.
- [Khenak et al., 2019] Khenak, N., Vézien, J., and Bourdot, P. (2019). The construction and validation of the sp-ie questionnaire : An instrument for measuring spatial presence in immersive environments. In *International Conference on Virtual Reality and Augmented Reality EuroVR*, pages 201–225.

- [Kilteni et al., 2013] Kilteni, K., Bergstrom, I., and Slater, M. (2013). Drumming in immersive virtual reality : The body shapes the way we play. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4) :597–605.
- [Kilteni et al., 2012] Kilteni, K., Groten, R., and Slater, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4) :373–387.
- [Kim et al., 2012] Kim, K., Rosenthal, M. Z., Zielinski, D., and Brady, R. (2012). Comparison of desktop, head mounted display, and six wall fully immersive systems using a stressful task. In *2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW)*, pages 143–144.
- [Kokkinara and Slater, 2014] Kokkinara, E. and Slater, M. (2014). Measuring the effects through time of the influence of visuomotor and visuotactile synchronous stimulation on a virtual body ownership illusion. *Perception*, 43(1) :43–58.
- [Kourtesis et al., 2019] Kourtesis, P., Collina, S., Doumas, L. A. A., and MacPherson, S. E. (2019). Technological competence is a pre-condition for effective implementation of virtual reality head mounted displays in human neuroscience : A technological review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13.
- [Kreijns et al., 2007] Kreijns, K., Kirschner, P. A., Jochems, W., and van Buuren, H. (2007). Measuring perceived sociability of computer-supported collaborative learning environments. *Computers & Education*, 49(2) :176 – 192.
- [Krekhov et al., 2017] Krekhov, A., Emmerich, K., Bergmann, P., Cmentowski, S., and Krüger, J. (2017). Self-transforming controllers for virtual reality first person shooters. In *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*. ACM.
- [Kurniawan et al., 2013] Kurniawan, H., Maslov, A. V., and Pechenizkiy, M. (2013). Stress detection from speech and galvanic skin response signals. In *Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, pages 209–214.
- [Kyriakou et al., 2017] Kyriakou, M., Pan, X., and Chrysanthou, Y. (2017). Interaction with virtual crowd in immersive and semi-immersive virtual reality systems. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 28(5) :e1729. e1729 CAVW-16-0002.R1.
- [Laarni et al., 2015] Laarni, J., Ravaja, N., Saari, T., Böcking, S., Hartmann, T., and Schramm, H. (2015). Ways to measure spatial presence : Review and future directions. In *Immersed in Media*, pages 139–185. Springer International Publishing.
- [Lachlan and Krcmar, 2011] Lachlan, K. and Krcmar, M. (2011). Experiencing presence in video games : The role of presence tendencies, game experience, gender, and time spent in play. *Communication Research Reports*, 28(1) :27–31.
- [Lafferty et al., 1974] Lafferty, J. C., Eady, P. M., Pond, A. W., and Synergistics., H. (1974). *The Desert survival problem : a group decision making experience for examining and increasing individual and team effectiveness : manual*. Experimental Learning Methods, Plymouth, Mich.
- [Latoschik et al., 2016] Latoschik, M. E., Lugin, J.-L., and Roth, D. (2016). FakeMi :A Fake Mirror System for Avatar Embodiment Studies. In *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology - VRST'16*. ACM Press.
- [Lazar et al., 2017] Lazar, J., Feng, J. H., and Hochheiser, H. (2017). *Research Methods in Human-Computer Interaction (2 ed.)*. Morgan Kaufmann, Cambridge, MA.
- [Lee, 2006] Lee, K. M. (2006). Presence, Explicated. *Communication Theory*, 14(1) :27–50.
- [Lee et al., 2017] Lee, M., Bruder, G., and Welch, G. F. (2017). Exploring the effect of vibrotactile feedback through the floor on social presence in an immersive virtual environment. In *IEEE Virtual Reality*, Los Angeles, CA, USA. IEEE.

- [Lepecq et al., 2009] Lepecq, J.-C., Bringoux, L., Pergandi, J.-M., Coyle, T., and Mestre, D. (2009). Afforded actions as a behavioral assessment of physical presence in virtual environments. *Virtual Reality*, 13(3) :141–151.
- [Lessiter et al., 2001] Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E., and Davidoff, J. (2001). A cross-media presence questionnaire : The itc-sense of presence inventory. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3) :282–297.
- [Lin and Jörg, 2016] Lin, L. and Jörg, S. (2016). Need a hand? In *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. ACM.
- [Ling et al., 2013] Ling, Y., Nefs, H. T., Brinkman, W.-P., Qu, C., and Heynderickx, I. (2013). The relationship between individual characteristics and experienced presence. *Computers in Human Behavior*, 29(4) :1519–1530.
- [Liszio et al., 2017a] Liszio, S., Emmerich, K., and Masuch, M. (2017a). The influence of social entities in virtual reality games on player experience and immersion. In *Proceedings of the International Conference on the Foundations of Digital Games - FDG'17*. ACM Press.
- [Liszio et al., 2017b] Liszio, S., Emmerich, K., and Masuch, M. (2017b). The influence of social entities in virtual reality games on player experience and immersion. In *Proceedings of the 12th International Conference on the Foundations of Digital Games, FDG '17*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Lombard, 2015] Lombard, M., B. F. F. J. I. W. . S. R. J., editor (2015). *Immersed in media : Telepresence theory, measurement & technology*. Springer.
- [Lombard and Ditton, 1997] Lombard, M. and Ditton, T. (1997). At the Heart of It All : The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2). JCMC321.
- [Lombard et al., 2011] Lombard, M., Weinstein, L., and Ditton, T. B. (2011). Measuring telepresence and the validity and of the and temple presence and inventory (tpi) and in a and gaming context. In *2011 annual conference of the International Society for Presence Research (ISPR)*, Edinburgh, Scotland.
- [Longo et al., 2008] Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P., Tsakiris, M., and Haggard, P. (2008). What is embodiment? a psychometric approach. *Cognition*, 107(3) :978–998.
- [Lorenz et al., 2018] Lorenz, M., Brade, J., Diamond, L., Sjölie, D., Busch, M., Tscheligi, M., Klimant, P., Heyde, C.-E., and Hammer, N. (2018). Presence and user experience in a virtual environment under the influence of ethanol : An explorative study. *Scientific Reports*, 8(1).
- [Lucas et al., 2016] Lucas, G., Szablowski, E., Gratch, J., Feng, A., Huang, T., Boberg, J., and Shapiro, A. (2016). The effect of operating a virtual doppleganger in a 3d simulation. In *Proceedings of the 9th International Conference on Motion in Games - MIG'16*. ACM Press.
- [Mai et al., 2019] Mai, C., Thiem, N., and Hussmann, H. (2019). DrawingPresence. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 3(4) :1–21.
- [Maselli and Slater, 2014] Maselli, A. and Slater, M. (2014). Sliding perspectives : dissociating ownership from self-location during full body illusions in virtual reality. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- [McMahan, 2003] McMahan, A. (2003). *The Video Game, Theory Reader*, chapter 3 Immersion, Engagement, and Presence A Method for Analyzing 3-D Video Games, pages In *The Video Game, Theory Reader* Mark J.P. Wolf and Bernard Perron, editors. New York, NY, US : Routledge, Taylor & Francis Group (2003) pp. 77–78. New York, NY, US : Routledge, Taylor & Francis Group.
- [Meehan et al., 2002] Meehan, M., Insko, B., Whitton, M., and Brooks, F. P. (2002). Physiological measures of presence in stressful virtual environments. volume 21, page 645–652, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.

- [Michailidis et al., 2018] Michailidis, L., Balaguer-Ballester, E., and He, X. (2018). Flow and immersion in video games : The aftermath of a conceptual challenge. *Frontiers in Psychology*, 9.
- [Müller et al., 2017] Müller, L., Bernin, A., Kamenz, A., Ghose, S., von Luck, K., Grecos, C., Wang, Q., and Vogt, F. (2017). Emotional journey for an emotion provoking cycling exergame. In *2017 IEEE 4th International Conference on Soft Computing Machine Intelligence (ISCMi)*, pages 104–108.
- [Nacke and Lindley, 2008] Nacke, L. and Lindley, C. (2008). Flow and immersion in first-person shooters : measuring the player’s gameplay experience. pages 81–88.
- [Nestler et al., 2011] Nestler, S., Back, M. D., and Egloff, B. (2011). Psychometrische eigenschaften zweier skalen zur erfassung interindividueller unterschiede in der präferenz zum alleinsein. *Diagnostica*, 57(2) :57–67.
- [Nilsson et al., 2016] Nilsson, N. C., Nordahl, R., and Serafin, S. (2016). Immersion revisited : A review of existing definitions of immersion and their relation to different theories of presence. *Human Technology*, 12(2) :108–134.
- [Nordahl and Nilsson, 2014] Nordahl, R. and Nilsson, N. C. (2014). *OXFORD HANDBOOK OF INTERACTIVE AUDIO*, chapter 13 - THE SOUND OF BEING THERE Presence and Interactive Audio in Immersive Virtual Reality.
- [Normand et al., 2011] Normand, J.-M., Giannopoulos, E., Spanlang, B., and Slater, M. (2011). Multisensory stimulation can induce an illusion of larger belly size in immersive virtual reality. *PLoS ONE*, 6(1) :e16128.
- [Nowak and Biocca, 2003] Nowak, K. L. and Biocca, F. (2003). The effect of the agency and anthropomorphism on users’ sense of telepresence, copresence, and social presence in virtual environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 12(5) :481–494.
- [Nunez and Blake, 2003] Nunez, D. and Blake, E. (2003). The thematic baseline technique as a means of improving the sensitivity of presence self-report. In *Presence (online)*.
- [Ochs et al., 2019] Ochs, M., Mestre, D., de Montcheuil, G., Pergandi, J.-M., Saubesty, J., Lombardo, E., FRANCON, D., and Blache, P. (2019). Training doctors’ social skills to break bad news : evaluation of the impact of virtual environment displays on the sense of presence. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 13(1) :41–51.
- [Oh et al., 2018] Oh, C. S., Bailenson, J. N., and Welch, G. F. (2018). A systematic review of social presence : Definition, antecedents, and implications. *Frontiers in Robotics and AI*, 5.
- [Örtqvist and Liljedahl, 2010] Örtqvist, D. and Liljedahl, M. (2010). Immersion and Gameplay Experience : A Contingency Framework. *International Journal of Computer Games Technology*, 2010 :613931.
- [Park, 2018] Park, J. (2018). Emotional reactions to the 3d virtual body and future willingness : The effects of self-esteem and social physique anxiety. *Virtual Reality*, 22(1) :1–11.
- [Park et al., 2010] Park, N., Min Lee, K., Annie Jin, S.-A., and Kang, S. (2010). Effects of pre-game stories on feelings of presence and evaluation of computer games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(11) :822 – 833.
- [Petkova and Ehrsson, 2008] Petkova, V. I. and Ehrsson, H. H. (2008). If i were you : Perceptual illusion of body swapping. *PLoS ONE*, 3(12) :e3832.
- [Petkova et al., 2011] Petkova, V. I., Khoshnevis, M., and Ehrsson, H. H. (2011). The perspective matters ! multisensory integration in ego-centric reference frames determines full-body ownership. *Frontiers in Psychology*, 2.

- [Phan et al., 2016] Phan, M. H., Keebler, J. R., and Chaparro, B. S. (2016). The development and validation of the game user experience satisfaction scale (guess). *Human Factors*, 58(8) :1217–1247. PMID : 27647156.
- [Podkosova and Kaufmann, 2018] Podkosova, I. and Kaufmann, H. (2018). Co-presence and proxemics in shared walkable virtual environments with mixed colocation. In *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '18*, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Podkosova et al., 2016] Podkosova, I., Urbanek, M., and Kaufmann, H. (2016). A hybrid sound model for 3d audio games with real walking. In *Proceedings of the 29th International Conference on Computer Animation and Social Agents, CASA '16*, page 189–192, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Poels et al., 2007] Poels, K., de Kort, Y., and IJsselsteijn, W. (2007). *D3.3 : Game Experience Questionnaire : development of a self-report measure to assess the psychological impact of digital games*. Technische Universiteit Eindhoven.
- [Przybylski et al., 2010] Przybylski, A. K., Rigby, C. S., and Ryan, R. M. (2010). A motivational model of video game engagement. *Review of General Psychology*, 14(2) :154–166.
- [Putze et al., 2020] Putze, S., Alexandrovsky, D., Putze, F., Höffner, S., Smeddinck, J. D., and Malaka, R. (2020). Breaking the experience : Effects of questionnaires in vr user studies. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '20*, page 1–15, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Rammstedt and John, 2007] Rammstedt, B. and John, O. P. (2007). Measuring personality in one minute or less : A 10-item short version of the big five inventory in english and german. *Journal of Research in Personality*, 41(1) :203 – 212.
- [Rebenitsch and Owen, 2016] Rebenitsch, L. and Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, 20(2) :101–125.
- [Reinhardt and Hurtienne, 2018] Reinhardt, D. and Hurtienne, J. (2018). The impact of tangible props on gaming performance and experience in gestural interaction. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. ACM.
- [Rigby et al., 2019] Rigby, J. M., Brumby, D. P., Gould, S. J. J., and Cox, A. L. (2019). Development of a questionnaire to measure immersion in video media : The film iq. In *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video, TVX '19*, page 35–46, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Rigby and Ryan, 2007] Rigby, S. and Ryan, R. (2007). The player experience of need satisfaction (pens) : An applied model and methodology for understanding key components of the player experience. Technical report.
- [Riva et al., 2014] Riva, G., Waterworth, J., and Murray, D. (30 Sep. 2014). *6 Measuring Social Presence in Team-Based Digital Games*, pages 83 – 101. De Gruyter, Berlin, Boston.
- [Robillard et al., 2002] Robillard, G., Bouchard, S., Renaud, P., and Cournoyer, L. (2002). Validation canadienne-française de deux mesures importantes en réalité virtuelle : l’immersive tendencies questionnaire et le presence questionnaire. In *25e congrès de la Société Québécoise pour la Recherche en Psychologie (SQRP)*.
- [Rodriguez et al., 2019] Rodriguez, I., Morera, J. A. N., and Piqué, R. (2019). On the relationship between subjective and objective measures of virtual reality experiences : a case study of a qseriousgame.
- [Rosa et al., 2016] Rosa, P. J., Morais, D., Gamito, P., Oliveira, J., and Saraiva, T. (2016). The immersive virtual reality experience : A typology of users revealed through multiple

- correspondence analysis combined with cluster analysis technique. *CYBERPSYCHOLOGY, BEHAVIOR, AND SOCIAL NETWORKING*, 19(3).
- [Roth et al., 2018] Roth, D., Klelnbeck, C., Feigl, T., Mutschler, C., and Latoschik, M. E. (2018). Beyond replication : Augmenting social behaviors in multi-user virtual realities. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 215–222.
- [Roth and Latoschik, 2020] Roth, D. and Latoschik, M. E. (2020). Construction of the virtual embodiment questionnaire (veq). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(12) :3546–3556.
- [Russell et al., 1978] Russell, D., Peplau, L. A., and Ferguson, M. L. (1978). Developing a measure of loneliness. *Journal of Personality Assessment*, 42(3) :290–294. PMID : 660402.
- [Ryan et al., 2006] Ryan, R. M., Rigby, C. S., and Przybylski, A. (2006). The motivational pull of video games : A self-determination theory approach. *Motivation and Emotion*, 30(4) :347–363.
- [Sacau et al., 2005] Sacau, A., Laarni, J., Ravaja, N., and Hartmann, T. (2005). The impact of personality factors on the experience of spatial presence. In Slater, M., editor, *Annual International Workshop on Presence, London, UK, September 21-23, 2005*, pages 143–151. Department of Computer Science, University College.
- [Sanchez-Vives et al., 2010] Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., and Slater, M. (2010). Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PLoS ONE*, 5(4) :e10381.
- [Sawada et al., 2020] Sawada, Y., Itaguchi, Y., Hayashi, M., Aigo, K., Miyagi, T., Miki, M., Kimura, T., and Miyazaki, M. (2020). Effects of synchronised engine sound and vibration presentation on visually induced motion sickness. *Scientific Reports*, 10(1).
- [Schroeder, 2002] Schroeder, R. (2002). Copresence and interaction in virtual environments : An overview of the range of issues. In *Presence 2002 : Fifth international workshop*, pages 274–295.
- [Schubert and Regenbrecht, 2001] Schubert, T., F.-F. and Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence : Factor analytic insights. *Presence : Teleoperators and virtual environments*, 10(3) :266–281.
- [Schuemie et al., 2005] Schuemie, M. J., Abel, B., and Emmelkamp, P. M. G. (2005). The effect of locomotion technique on presence, fear and usability in a virtual environment. In *Proceedings of Euromedia 2005*.
- [Schulz et al., 2019] Schulz, P., Alexandrovsky, D., Putze, F., Malaka, R., and Schöning, J. (2019). The role of physical props in VR climbing environments. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM.
- [Schwind et al., 2019] Schwind, V., Knierim, P., Haas, N., and Henze, N. (2019). Using presence questionnaires in virtual reality. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI'19*. ACM Press.
- [Seiryte and Rusconi, 2015] Seiryte, A. and Rusconi, E. (2015). The empathy quotient (EQ) predicts perceived strength of bodily illusions and illusion-related sensations of pain. *Personality and Individual Differences*, 77 :112–117.
- [Serafin, 2004] Serafin, S. (2004). Sound design to enhance presence in photorealistic virtual environments. In *ICAD 2004 : The 10th Meeting of the International Conference on Auditory Display, July 6-9, 2004, Sydney, Australia. 2004*. ISSN ; - ; Sound design to enhance presence in photorealistic virtual environments ; Conference date : 19-05-2010.
- [Serafin et al., 2018] Serafin, S., Geronazzo, M., Erkut, C., Nilsson, N. C., and Nordahl, R. (2018). Sonic interactions in virtual reality : state of the art, current challenges, and future directions. volume 38, pages 31–43.

- [Serafin et al., 2010] Serafin, S., Turchet, L., Nordahl, R., Dimitrov, S., Berrezag, A., and Hayward, V. (2010). Identification of virtual grounds using virtual reality haptic shoes and sound synthesis. In Nijholt, A., O. Dijk, E., M.C. Lemmens, P., and Luitjens, S., editors, *Proceedings of the Eurohaptics 2010 Special Symposium*, volume 10-01 of *CTIT Proceedings WP10-01*, pages 61–70. University of Twente.
- [Servotte et al., 2020] Servotte, J.-C., Goosse, M., Campbell, S. H., Dardenne, N., Pilote, B., Simoneau, I. L., Guillaume, M., Bragard, I., and Ghuysen, A. (2020). Virtual reality experience : Immersion, sense of presence, and cybersickness. *Clinical Simulation in Nursing*, 38 :35 – 43.
- [Sheridan, 1992] Sheridan, T. B. (1992). Musings on telepresence and virtual presence. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 1(1) :120–126.
- [Shestyuk et al., 2019] Shestyuk, A. Y., Kasinathan, K., Karapoondinott, V., Knight, R. T., and Gurumoorthy, R. (2019). Individual eeg measures of attention, memory, and motivation predict population level tv viewership and twitter engagement. *PLOS ONE*, 14(3) :1–27.
- [Short et al., 1976] Short, J., Williams, E., and Christie, B. (1976). *The social psychology of telecommunications*. John Wiley & Sons.
- [Skarbez et al., 2017] Skarbez, R., Frederick P. Brooks, J., and Whitton, M. C. (2017). A survey of presence and related concepts. *ACM Computing Surveys*, 50(6) :1–39.
- [Slater, 1999] Slater, M. (1999). Measuring presence : A response to the witmer and singer presence questionnaire. *Presence*, 8(5) :560–565.
- [Slater, 2009] Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 364(1535) :3549–3557.
- [Slater et al., 2006] Slater, M., Guger, C., Edlinger, G., Leeb, R., Pfurtscheller, G., Antley, A., Garau, M., Brogni, A., and Friedman, D. (2006). Analysis of physiological responses to a social situation in an immersive virtual environment. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 15(5) :553–569.
- [Slater et al., 2000] Slater, M., Sadagic, A., Usuh, M., and Schroeder, R. (2000). Small-group behavior in a virtual and real environment : A comparative study. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 9(1) :37–51.
- [Slater et al., 2010a] Slater, M., Spanlang, B., and Corominas, D. (2010a). Simulating virtual environments within virtual environments as the basis for a psychophysics of presence. *ACM Trans. Graph.*, 29(4).
- [Slater et al., 2010b] Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., and Blanke, O. (2010b). First person experience of body transfer in virtual reality. *PLOS ONE*, 5(5) :1–9.
- [Slater and Steed, 2002] Slater, M. and Steed, A. (2002). *Meeting People Virtually : Experiments in Shared Virtual Environments*, pages 146–171. Springer London, London.
- [Slater et al., 1994] Slater, M., Usuh, M., and Steed, A. (1994). Depth of presence in virtual environments. *Presence : Teleoper. Virtual Environ.*, 3(2) :130–144.
- [Slater and Wilbur, 1997] Slater, M. and Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (five) : Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6) :603–616.
- [Sra et al., 2018] Sra, M., Mottelson, A., and Maes, P. (2018). Your place and mine : Designing a shared vr experience for remotely located users. In *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*, DIS '18, page 85–97, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Steuer, 1992] Steuer, J. (1992). Defining virtual reality : Dimensions determining telepresence.

- [Szabó and Gilányi, 2020] Szabó, B. K. and Gilányi, A. (2020). The notion of immersion in virtual reality literature and related sources. In *2020 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, pages 000371–000378.
- [Tajadura-Jiménez et al., 2017a] Tajadura-Jiménez, A., Banakou, D., Bianchi-Berthouze, N., and Slater, M. (2017a). Embodiment in a child-like talking virtual body influences object size perception, self-identification, and subsequent real speaking. *Scientific Reports*, 7(1).
- [Tajadura-Jiménez et al., 2015] Tajadura-Jiménez, A., Basia, M., Deroy, O., Fairhurst, M., Marquardt, N., and Bianchi-Berthouze, N. (2015). As light as your footsteps : Altering walking sounds to change perceived body weight, emotional state and gait. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, page 2943–2952, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Tajadura-Jiménez et al., 2019] Tajadura-Jiménez, A., Newbold, J., Zhang, L., Rick, P., and Bianchi-Berthouze, N. (2019). As light as you aspire to be : Changing body perception with sound to support physical activity. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '19*, page 1–14, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Tajadura-Jimenez et al., 2015] Tajadura-Jimenez, A., Tsakiris, M., Marquardt, T., and Bianchi-Berthouze, N. (2015). Action sounds update the mental representation of arm dimension : contributions of kinaesthesia and agency. *Frontiers in Psychology*, 6.
- [Tajadura-Jiménez et al., 2017b] Tajadura-Jiménez, A., Vakali, M., Fairhurst, M. T., Mandrigin, A., Bianchi-Berthouze, N., and Deroy, O. (2017b). Contingent sounds change the mental representation of one’s finger length. *Scientific Reports*, 7(1).
- [Tamborini and Skalski, 2006] Tamborini, R. and Skalski, P. (2006). The role of presence in the experience of electronic games. *Playing video games : Motives, responses, and consequences*, pages 225–240.
- [Tcha-Tokey et al., 2016a] Tcha-Tokey, K., Christmann, O., Loup-Escande, E., and Richir, S. (2016a). Proposition and validation and of a questionnaire and to measure and the user and experience in immersive and virtual environments. *The International Journal of Virtual Reality*, 16(1) :33–48.
- [Tcha-Tokey et al., 2016b] Tcha-Tokey, K., Christmann, O., Loup-Escande, E., and Richir, S. (2016b). Proposition and validation and of a questionnaire and to measure and the user and experience in immersive and virtual environments. *Journal of Virtual Reality*, 16(1).
- [Terkildsen and Makransky, 2019] Terkildsen, T. and Makransky, G. (2019). Measuring presence in video games : An investigation of the potential use of physiological measures as indicators of presence. *International Journal of Human-Computer Studies*, 126 :64–80.
- [Thie and Wijk, 1998] Thie, S. and Wijk, J. (1998). A general theory on presence : Experimental evaluation of social virtual presence in a decision making task. In *presence in shared virtual environments Workshop*, volume 1.
- [Thompson et al., 2012] Thompson, M., Nordin, A. I., and Cairns, P. (2012). Effect of touch-screen size on game immersion. In *Proceedings of the 26th Annual BCS Interaction Specialist Group Conference on People and Computers, BCS-HCI '12*, page 280–285, Swindon, GBR. BCS Learning & Development Ltd.
- [Tjon et al., 2019] Tjon, D., Tinga, A., Alimardani, M., and Louwarse, M. (2019). Brain activity reflects sense of presence in 360° video for virtual reality. In *Proceedings of the 28th International Conference on Information Systems Development*. the 28th International Conference on Information Systems Development ; Conference date : 28-08-2019 Through 30-08-2019.

- [Troxler et al., 2018] Troxler, M., Qurashi, S., Tjon, D., Gao, H., and Rombout, L. E. (2018). The virtual hero : the influence of narrative on affect and presence in a vr game. In *Workshop on Affective Computing and Context Awareness in Ambient Intelligence (AfCAI 2018)*.
- [van Baren and IJsselsteijn, 2004] van Baren, J. and IJsselsteijn, W. (2004). Measuring presence : A guide to current measurement approaches. Technical report, Deliverable of the OmniPres Project IST-2001- 39237.
- [van Bommel, 2017] van Bommel, J.-P. (2017). *Presence and Embodiment in Augmented Reality*. PhD thesis, Utrecht University, Department of Information and Computing Sciences.
- [Vasconcelos-Raposo et al., 2020] Vasconcelos-Raposo, J., Melo, M., Barbosa, L., Teixeira, C., Cabral, L., and Bessa, M. (2020). Assessing presence in virtual environments : adaptation of the psychometric properties of the presence questionnaire to the portuguese populations. *Behaviour & Information Technology*, pages 1–11.
- [Venkatakrisnan et al., 2020] Venkatakrisnan, R., Venkatakrisnan, R., Anaraky, R. G., Volonte, M., Knijnenburg, B., and Babu, S. V. (2020). A structural equation modeling approach to understand the relationship between control, cybersickness and presence in virtual reality. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 682–691.
- [Vorderer et al., 2004] Vorderer, P., Wirth, W., Gouveia, F. R., Biocca, F., Saari, T., and Jäncke, L. (2004). Mec spatial presence questionnaire (mec-spq) short documentation and instructions for application. Technical report, Report for the European Commission. IST Programme ‘Presence Research Activites’.
- [Waltemate et al., 2018] Waltemate, T., Gall, D., Roth, D., Botsch, M., and Latoschik, M. E. (2018). The impact of avatar personalization and immersion on virtual body ownership, presence, and emotional response. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(4) :1643–1652.
- [Warren et al., 1987] Warren, W. H., Jr, Whang, S., and University, B. (1987). Visual guidance of walking through apertures : Body-scaled information for affordances. *Journal of Experimental Psychology* : Copyright 1987 by the American Psychological Association, Inc. Human Perception and Performance 0096-1523/87/100.75 1987, Vol. 13, No. 3,371-383.
- [Watson et al., 1988] Watson, D., Clark, L. A., and Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect : the panas scales. *Journal of personality and social psychology*, 54 :1063–70.
- [Weech et al., 2019] Weech, S., Kenny, S., and Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related : A review. *Frontiers in Psychology*, 10.
- [Weech, 2020] Weech, S. A. M.; Kenny, S. L. M. B.-C. M. (2020). Narrative and gaming experience interact to affect presence and cybersickness in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Studies*.
- [Weibel et al., 2015] Weibel, D., Schmutz, J., Pahud, O., and Wissmath, B. (2015). Measuring spatial presence : Introducing and validating the pictorial presence SAM. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 24(1) :44–61.
- [Weibel and Wissmath, 2011] Weibel, D. and Wissmath, B. (2011). Immersion in computer games : The role of spatial presence and flow. *International Journal of Computer Games Technology*, 2011 :1–14.
- [Weibel et al., 2010a] Weibel, D., Wissmath, B., and Mast, F. W. (2010a). Immersion in mediated environments : The role of personality traits. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(3) :251–256. PMID : 20557243.

- [Weibel et al., 2010b] Weibel, D., Wissmath, B., and Mast, F. W. (2010b). Immersion in mediated environments : The role of personality traits. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(3) :251–256. PMID : 20557243.
- [Wiederhold et al., 2003] Wiederhold, B. K., Jang, D. P., Kaneda, M., Cabral, I., Lurie, Y., May, T., Kim, I. Y., Wiederhold, M. D., and Kim, S. I. (2003). *Towards CyberPsychology : Mind, Cognitions and Society in the Internet Age*, volume Amsterdam of *Cognitions and Society in the Internet Age*, chapter 10 - An Investigation into Physiological Responses in Virtual Environments : An Objective Measurement of Presence, pages 175–184. IOS Press.
- [Wissmath et al., 2009] Wissmath, B., Weibel, D., and Mast, F. W. (2009). Measuring presence with verbal versus pictorial scales : a comparison between online- and ex post-ratings. *Virtual Reality*, 14(1) :43–53.
- [Witmer and Singer, 1998] Witmer, B. G. and Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments : A presence questionnaire. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3) :225–240.
- [Won et al., 2014] Won, A. S., Bailenson, J. N., and Janssen, J. H. (2014). Automatic detection of nonverbal behavior predicts learning in dyadic interactions. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 5(2) :112–125.
- [Won et al., 2016] Won, A. S., Perone, B., Friend, M., and Bailenson, J. N. (2016). Identifying anxiety through tracked head movements in a virtual classroom. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 19(6) :380–387. PMID : 27327065.
- [Yee and Bailenson, 2007] Yee, N. and Bailenson, J. (2007). The proteus effect : The effect of transformed self-representation on behavior. *Human Communication Research*, 33(3) :271–290.