



HAL
open science

Présence et incarnation dans les jeux sérieux : Une revue de la littérature

Anthony Basille, Élise Lavoué, Audrey Serna

► **To cite this version:**

Anthony Basille, Élise Lavoué, Audrey Serna. Présence et incarnation dans les jeux sérieux : Une revue de la littérature. IHM '23: 34th International Francophone Conference on Human-Computer Interaction, Apr 2023, TROYES, France. pp.1-12, 10.1145/3583961.3583982 . hal-04014993

HAL Id: hal-04014993

<https://hal.science/hal-04014993>

Submitted on 5 Mar 2023

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.

Présence et incarnation dans les jeux sérieux : Une revue de la littérature

Presence and embodiment in serious games: A literature review

ANTHONY BASILLE, Université de Lyon, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS, LIRIS, UMR5205, F-69621, France

ÉLISE LAVOUÉ, Université de Lyon, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS, LIRIS, UMR5205, F-69621, France

AUDREY SERNA, Univ Lyon, INSA Lyon, CNRS, UCBL, LIRIS, UMR5205, F-69621, France

Presence and embodiment are important dimensions of the user experience in immersive virtual environments. These concepts have been extensively studied, particularly in the field of video games, to model, measure and analyze their influences on the user experience. Serious games, although close to video games, have a different purpose (educational, informative or training) and few studies have yet focused on presence and embodiment in this specific context. In this paper, we conduct an in-depth analysis of the studies that have been conducted so far on the feeling of presence and embodiment in serious games. Our literature review addresses 3 research questions: (1) How are the concepts of presence and embodiment studied and measured? (2) By what modalities, factors or variables are the sense of presence and embodiment influenced? (3) What are the impacts of the degree of presence or embodiment on other dimensions of the user experience and on learning? We conclude by proposing avenues of research to explore some aspects that have not yet been fully explored in the field..

CCS Concepts: • **General and reference** → *Surveys and overviews*; • **Human-centered computing** → *HCI theory, concepts and models*.

Additional Key Words and Phrases: Presence, Embodiment, Serious game, Virtual environment

La présence et l'incarnation sont des dimensions importantes de l'expérience utilisateur dans les environnements virtuels immersifs. Ces concepts ont fait l'objet de nombreux travaux, notamment dans le domaine des jeux vidéo, pour les modéliser, les mesurer et analyser leurs influence sur l'expérience utilisateur. Les jeux sérieux, bien que proches des jeux vidéo, ont une finalité différente (pédagogique, informative ou d'entraînement) et peu d'études se sont encore intéressées à la présence et l'incarnation dans ce contexte spécifique. Dans cet article, nous effectuons une analyse approfondie des études menées concernant le sentiment de présence et l'incarnation dans les jeux sérieux. Notre revue de littérature aborde 3 questions de recherche : (1) Comment les concepts de présence et d'incarnation sont-ils étudiés et mesurés ? (2) Par quelles modalités, facteurs ou variables le sentiment de présence et l'incarnation sont-elles influencées ? (3) Quels sont les impacts du degré de présence et/ou d'incarnation sur d'autres dimensions de l'expérience utilisateur et de l'apprentissage ? Nous terminons en proposant des pistes de recherche permettant d'explorer certains aspects encore peu approfondis dans le domaine.

Mots-clés additionnels : Présence, Incarnation, Jeu Sérieux, Environnement virtuel

Reference:

This is the author's draft version of the work. It is posted here for your personal use. Not for distribution. The definitive version of record was published in IHM '23: Proceedings of the 34th Conference on l'Interaction Humain-Machine.

ISBN 978-1-4503-9825-1

<https://doi.org/10.1145/3583961.3583982>

1 INTRODUCTION

Les jeux sérieux sont la combinaison de l'aspect ludique du jeu vidéo avec une dimension sérieuse liée à l'apprentissage, au développement de compétences ou encore à la sensibilisation sur certains sujets [73]. Ces jeux sérieux ont suscité un

fort intérêt dans divers domaines, comme le secteur militaire [19], la santé [31] et surtout en éducation [37]. Ils offrent des environnements virtuels avec des aspects de simulation qui facilitent l'immersion des utilisateurs dans un scénario spécifique. En s'appuyant par exemple sur des méthodes de jeu de rôle, ces jeux sérieux permettent aux utilisateurs d'expérimenter des situations spécifiques en interaction avec d'autres joueurs, qu'ils soient humains ou agents virtuels [47]. Des études soulignent l'importance de prendre en compte les aspects liés à l'interactivité, au sentiment de présence, au réalisme ou encore au niveau d'immersion pour qu'un jeu sérieux soit effectif [18]. De manière plus large, les études menées dans les environnements virtuels immersifs (jeux vidéo ou réalité virtuelle) considèrent l'immersion, le sentiment de présence ou encore l'incarnation comme des dimensions importantes de l'expérience utilisateur [70]. De nombreux travaux tentent de modéliser ces concepts pour les mesurer, les analyser et expliquer leurs influence les uns sur les autres, notamment entre présence et incarnation [26, 27, 51, 63, 64].

De façon littérale, la définition du sentiment de présence est le fait d'être physiquement à un certain endroit, par opposition à l'absence. Contrairement aux animaux [5], chez les humains le sentiment de présence n'est pas binaire mais va osciller entre la « réalité primaire » qui est le monde dans lequel nous vivons, et d'un autre côté la « réalité médiatisé » c'est à dire l'environnement virtuel [55]. La notion de présence présente plusieurs approches différentes et par conséquent un grand nombre de définitions. Elle a tout d'abord été définie comme le sentiment subjectif d' « être là » [29, 67], ou plus tard comme l'illusion de non-médiation [45]. Il n'existe actuellement pas de consensus quant à la définition du sentiment de présence, le concept ayant évolué dans le but de rendre compte de nouveaux états psychologiques comme celui d' "être avec" [4]. Cela a permis l'émergence de nombreuses dimensions du sentiment de présence comme le sentiment de présence environnementale [29], le sentiment de présence spatiale, le sentiment de présence sociale, le sentiment de présence de soi [43] ou encore le sentiment de présence temporelle [56]. La pluralité de ces dimensions et définitions a fait émerger plusieurs modèles [44, 62] et de nombreux questionnaires ont été proposés pour mesurer le sentiment de présence.

Tout comme pour la présence, il n'y a pas de consensus sur la définition du concept d'immersion dans la littérature. Le sentiment d'immersion est souvent défini comme un état psychologique, recoupant fortement celui de présence, comme l'approche de Witmer et Singer [74]. Pour essayer de distinguer les deux concepts, Slater [65] propose de recentrer la notion d'immersion sur la dimension technologique, en la définissant comme : la façon selon laquelle un système fournit un environnement englobant, excluant les sensations du monde réel, accueillant de nombreuses modalités sensorielles, possédant une riche capacité de représentation. De ce fait, il n'existe pas de questionnaires propres à l'immersion, celle-ci étant généralement incluse dans d'autres questionnaires, notamment ceux de présence [74]. Pour ces raisons, nous centrons notre étude sur la mesure et l'évaluation de la présence, laissant de côté l'immersion technologique.

Enfin, comme le soulignent certains travaux, le sentiment de présence est souvent associé au concept d'incarnation [27], lui-même beaucoup étudié dans les domaines du jeu vidéo [69] et de la réalité virtuelle [38]. L'incarnation fait référence à l'ensemble des sensations qui surviennent avec le fait d'être à l'intérieur, d'avoir et de contrôler un corps [38]. Le sentiment d'incarnation se manifeste dès lors que les propriétés du corps virtuel sont traitées comme étant celles du corps biologique. Ces définitions étant principalement orientées pour des jeux en réalité virtuelle, nous pouvons ajouter la définition de Rosa et al. [58], qui nous paraît particulièrement pertinente dans le cadre des jeux sérieux, comme " l'expérience selon laquelle l'avatar a modifié la représentation corporelle interne et le corps phénoménal du joueur ". Ces définitions soulignent l'importance de l'avatar ainsi que du corps dans les environnements virtuels. Les questionnaires liées à la mesure de l'incarnation dans cette approche s'appuient d'ailleurs sur la notion de présence de soi. Ce courant est à distinguer du paradigme de la cognition incarnée, étudié notamment en psychologie cognitive, et qui a permis l'émergence d'une nouvelle approche de l'incarnation [22, 48]. En mettant en avant l'importance du corps

dans la cognition, certains auteurs suggèrent que l'inclusion du mouvement et du geste permettrait de bénéficier à l'apprentissage et au développement de compétences [41]. Cette approche met donc en avant le rôle du corps dans la cognition et ne s'intéresse pas forcément au rôle du corps dans l'environnement virtuel. Pour notre étude, nous préférons donc rester centré sur la première approche de l'incarnation, considérant la relation entre le corps virtuel (lié à l'environnement virtuel) et le corps réel (associé au concept de soi).

La plupart de ces recherches sur les notions de présence et incarnation ont été effectuées dans le cadre général des environnements immersifs en réalité virtuelle ou dans le domaine du jeu vidéo, et n'explorent pas les spécificités des jeux sérieux dont la finalité, au delà de l'expérience utilisateur, est liée à l'apprentissage. Quelques modèles (notamment le IPP pour Immersion, Presence, Performance [11]) et études [26], soulignent le fait que le sentiment de présence pourrait améliorer les performances de l'utilisateur selon la tâche donnée. Il paraît donc intéressant d'explorer les effets de la présence ou de l'incarnation sur l'apprentissage dans les jeux sérieux. Notre revue de littérature vise alors à identifier les travaux et contributions actuellement menés concernant le sentiment de présence et l'incarnation dans les jeux sérieux, en répondant aux questions de recherche suivantes :

- Comment ces concepts sont-ils étudiés et mesurés ?
- Par quelles modalités, facteurs ou variables le sentiment de présence et l'incarnation sont-elles influencées ?
- Quel sont les impacts du degré de présence et/ou d'incarnation sur d'autres dimensions de l'expérience utilisateur et de l'apprentissage ?

Cet article explore dans un premier temps les différentes questions de recherche. En particulier, nous observons à travers cette étude que dans les jeux sérieux, un grand nombre de théories de la présence sont utilisées, tout comme dans les autres domaines. Nous n'avons pas observé l'utilisation de théories propres à ce domaine puisque toutes les théories répertoriées dans notre étude sont également largement utilisées dans les jeux vidéos et en réalité virtuelle [13]. Les spécificités que nous relevons sont surtout liées à la mesure de l'impact de la présence et de l'incarnation sur l'apprentissage, dimension importante des jeux sérieux. Ce constat nous permet dans un second temps de présenter les pistes de recherche dans le domaine spécifique des jeux sérieux.

2 MÉTHODOLOGIE DE SÉLECTION

Notre méthodologie de recherche et filtrage s'appuie sur les travaux de Brocke et al. [10] et Brereton et al. [9]. Les principales bibliothèques scientifiques numériques, à savoir ACM, IEEE et Scopus, ont été interrogées sur les titres et mots-clés, avec la requête suivante, construite à partir des questions de recherche précédemment exposées :

(presence OR embodi) AND (serious gam* OR game-based learning OR learning game)*

La requête a été adaptée en fonction des spécificités propres au moteur de recherche des différentes bibliothèques scientifiques. Un total de 220 articles a été identifié. Nous avons ensuite procédé au filtrage de ce premier résultat de la manière suivante :

- Format : les articles rédigés dans une autre langue que l'anglais ainsi que les articles courts (5 pages et moins), posters et ateliers ont été enlevés.
- Contenu : Suite à la lecture du contenu des différents articles, nous avons enlevé :
 - Les études sans environnement virtuel
 - Les articles qui ne sont pas des études (articles théoriques, méta-analyses et états de l'art)
 - Les études basées sur des patients cliniques / neuroatypiques, étant une population spécifique

- Les études liées à la cognition incarnée qui ne prennent pas en compte le rôle du corps dans l’environnement virtuel, comme expliqué dans l’introduction
- Duplicata : Scopus permettant un accès à diverses bases de données, certains articles étaient communs. Nous avons donc éliminé les articles en double.

	ACM	IEEE	SCOPUS
Requête	16	11	193
Format	6	6	87
Contenu	1	3	21
Duplicata	1	3	17
Final	1	3	17

A noter que nous n’avons pas fixé de critère au niveau de la date de parution des articles dans notre processus de filtrage.

Suite au processus de filtrage, nous retenons 21 études :

Apostolellis et Bowman (2016) [1] Bachen et al. (2016) [2] Caldas et al. (2020) [12] Chen et al. (2020) [14] Corelli et al. (2020) [16] De Leo et al. (2014) [19] Georgiou et al. (2017) [23] Ghani et al. (2016) [24] Heinrich et al. (2021) [30] Johnson-Glenbert et Megowan-Romanowicz (2017) [34] Johnson-Glenberg et al. (2021) [35] Lane et al. (2010) [40] Lee et al. (2013) [43] Martey et al. (2014) [49] Oksanen et Hämäläinen (2013) [52] Oliveira et al. (2019) [53] Rowe et al. (2011) [60] Schrader (2014) [61] Souza et al. (2020) [68] Uz-Bilgin et Thompson (2022) [71] Zarglayoun et al. (2022) [75]

3 ÉTUDE ET MESURE DU SENTIMENT DE PRÉSENCE ET DE L’INCARNATION

Pour comprendre la manière dont le sentiment de présence et l’incarnation sont étudiés et mesurés, nous nous sommes intéressés dans un premier temps à la description des participants et des jeux sérieux dans les études retenues (3.1). Dans un second temps, nous décrivons l’environnement et les modalités d’interaction proposées (3.2). Enfin, nous proposons une catégorisation des différentes méthodes de mesure utilisées dans les études (3.3).

3.1 Description générale des études

Le tableau 1 montre le nombre de participants, la population testée, la tranche d’âge des participants, le type de connaissances développées dans le jeu sérieux ainsi que le mode de jeu.

Nombre de participants : aucune étude ne comporte moins de 20 participants, 8 études ont entre 20 et 50 participants, et 13 études ont plus de 50 participants. L’ensemble des études présentant au minimum 20 participants, c’est un élément à souligner, cela pouvant amener une robustesse supplémentaire dans les résultats (à nuancer tout de même).

Population testée : nous retrouvons d’avantage d’études menées sur une population scolaire/universitaire (15 études), du primaire à l’enseignement supérieur. Concernant l’âge, la population adulte est la plus représentée avec 16 études. 5 études ont été menées avec des adolescents entre 12 et 18 ans, et 2 études avec des enfants de moins de 12 ans. Parmi ces études, 2 ont visé un public plus large, l’une couvrant les catégories de moins de 12 ans et celle 12-18 ans [1], la seconde un public de 12-18 ans et adulte [71]. Il est intéressant d’observer que malgré la forte représentation d’un public scolaire/universitaire, ceux-ci sont majoritairement adultes.

Article	Nombre participant		Population testé		Age			Type de connaissance			Mode de jeu	
	20 - 50	>50	Scolaire	Non scolaire	< 12 ans	12 - 18 ans	Adulte	Apprentissage	Simulation	Développement	Individuel	Multi
Apostolellis et Bowman (2016)												
Bachen et al. (2016)												
Caldas et al. (2020)												
Chen et al. (2020)												
Corelli et al. (2020)												
De Leo et al. (2014)												
Georgiou et al. (2017)												
Ghani et al. (2016)												
Heinrich et al. (2021)												
Johnson-Glenbert et Megowan-Romanowicz (2017)												
Johnson-Glenberg et al. (2021)												
Lane et al. (2010)												
Lee et al. (2013)												
Martey et al. (2014)												
Oksanen et Hämmäläinen (2013)												
Oliveira et al. (2019)												
Rowe et al. (2011)												
Schrader (2014)												
Souza et al. (2020)												
Uz-Bilgin et Thompson (2022)												
Zarglayoun et al. (2022)												

FIG. 1. Description générale des articles sélectionnés

Type de connaissance : pour caractériser les jeux sérieux décrits dans les articles sélectionnés, nous nous sommes intéressés aux types d'apprentissage qu'ils soutiennent, finalité propre aux jeux sérieux. Trois catégories émergent de notre analyse :

- *Apprentissage de connaissances* : Beaucoup de jeux sérieux sont liés à l'apprentissage de savoirs. Nous pouvons les distinguer en fonction des notions étudiées, par exemple des notions de physique [34] [61], de microbiologie [60], de biologie [71] [35], d'alimentation [23], de neuroanatomie [68], de vocabulaire anglais [14], de fabrication d'huile [1], de savoirs de base [49], de savoirs historiques [24] et de savoirs inter-professionnels [52].
- *Environnement de simulation* : Certains jeux sérieux sont liés à la simulation d'environnements et de situations pour développer les savoir-faire, permettant par exemple de recréer des situations extrêmes, comme pour l'entraînement des pompiers [16], des EMEDS [19], rendre compte de scénarios post-catastrophe [2], de simulation de sport comme le golf [43], le saut d'un hélicoptère [12] ou le vélo [53]. Un dernier article concerne l'amélioration de fonctions motrices perdues [30].
- *Développement de compétences transversales* : Le développement des compétences transversales se retrouve dans deux jeux sérieux, le premier lié au raisonnement socio-moral [75] et le second à la communication interculturelle [40].

Mode de jeu : Le mode de jeu proposé peut-être intéressant en fonction du type de présence mesuré, notamment dans le cadre de la présence sociale. Les jeux sérieux retenus sont majoritairement individuels (18), contre 3 qui sont multijoueurs et collaboratifs ([1], [19], [52]).

3.2 Environnements et modalités d'interaction

Article	Environnement			Dispositif de contrôle				Représentation du joueur			Point de vue		
	Ecran	Ecran géant	VR	Réalité mixte	Souris	Corps	Tablette	Manette	Pas d'avatar	Main	Avatar	1ère	3ème
Apostolellis et Bowman (2016)													
Bachem et al. (2016)													
Callias et al. (2020)													
Chen et al. (2020)													
Correil et al. (2020)													
De Leo et al. (2014)													
Georgiou et al. (2017)													
Ghani et al. (2016)													
Heinrich et al. (2021)													
Johnson-Glenbert et Megowan-Romanowicz (2017)													
Johnson-Glenberg et al. (2021)													
Lane et al. (2010)													
Lee et al. (2013)													
Martey et al. (2014)													
Okkanen et Hamäläinen (2013)													
Oliveira et al. (2019)													
Rowe et al. (2011)													
Schrader (2014)													
Souza et al. (2020)													
Uz-Bilgin et Thompson (2022)													
Zarglayoun et al. (2022)													

FIG. 2. Environnements et modalités d'interaction proposées par les jeux sérieux. Vert = pas d'indication dans l'article concernant l'information

Le tableau 2 décrit les éléments liés à l'environnement immersif (type de dispositif utilisé), les modalités d'interaction et la représentation du joueur dans le jeu. Comme souligné dans différents travaux, le degré de réalisme [18], la représentation ou le point de vue peuvent influencer sur la sensation de présence ou sur l'incarnation [20, 26].

Environnement utilisé : 9 études utilisent uniquement des écrans (ordinateurs classiques), 2 des écrans géants ou des projections, 7 de la réalité virtuelle avec des casques. Trois études utilisent plusieurs environnements différents. Par exemple, Johnson-Glenberg et al. [35] utilisent dans une première condition un écran, et dans une seconde condition de la réalité virtuelle.

Modalités d'interaction : nous avons regroupé les modalités d'interaction en plusieurs catégories. Nous pouvons voir que tous les jeux sérieux qui utilisent un écran classique (11 articles) se contrôlent avec une souris. Les autres utilisent des interactions avec le corps et/ou des contrôleurs, souvent de façon complémentaire, excepté un jeu sérieux sur grand écran qui est couplé à une tablette [1]. Enfin, deux études utilisent les objets physiques de l'univers du jeu sérieux comme un vélo [53] ou un club de golf [43].

Représentation du joueur : nous avons distingué trois catégories liées à la représentation de l'utilisateur dans l'environnement. 10 études n'utilisent pas de représentation du joueur (pas d'avatar), 5 études utilisent un environnement virtuel avec la représentation des mains du joueur, les 5 restantes utilisent un environnement virtuel avec un avatar. Concernant l'étude de Schrader [61], nous n'avons pas de précision concernant cet aspect du jeu.

Point de vue : le point de vue adopté dans les différents jeux sérieux est principalement celui à la première personne (15 articles), comparé au point de vue à la troisième personne qui ne concerne que 5 articles. Concernant l'étude de Schrader [61], nous n'avons pas de précision concernant cet aspect du jeu.

3.3 Méthodes de mesure

Comme expliqué précédemment, il existe différentes approches pour définir le sentiment de présence et l'incarnation, et par conséquent de nombreuses façons de les mesurer. Les méthodes de mesure sont généralement divisées en trois types : les mesures collectées de manière auto-rapportée post-expérience (par questionnaires ou entretiens), les mesures physiologiques et les mesures comportementales [33] [28]. Les deux dernières catégories ont été introduites pour plus d'objectivité dans l'analyse de la présence. Le tableau 3 présente les différentes méthodes de mesure utilisées dans les études retenues. Nous avons choisi de distinguer les questionnaires des entretiens semi-directifs pour les données auto-rapportées.

La majorité des méthodes pour mesurer le sentiment de présence reposent sur l'utilisation de questionnaires, différents selon les études (ITC-SOPI [44], VRUSE [36], SPGQ [39], TPI [46], PQ [74], GIQ [15], MEC-SPQ [72], SUS [67], GEQ [32]), ainsi que de questionnaires ad-hoc créés pour les besoins de l'expérience. Le questionnaire ressortant le plus est le TPI, qui est utilisé dans 3 études [2, 40, 49]. Seulement deux études utilisent des entretiens semi-directifs pour recueillir le sentiment de présence des utilisateurs [23, 24]. Concernant les questionnaires, ils sont basés sur différentes théories et approche de la présence, chacun proposant de mesurer différentes dimension de la présence, telles que la présence spatiale, c'est à dire la sensation d'être là, la présence sociale, c'est à dire la sensation d'être dans l'environnement virtuel avec un autre, ou bien la crédibilité de l'expérience.

La dimension de présence spatiale peut être mesurée par l'ITC-SOPI, le TPI, le SUS ou encore le GEQ. La dimension de présence sociale est couverte par le SPGQ, le TPI, le MEC-SPQ et le GEQ. Enfin, certains questionnaires permettent une approche de la présence lié à la crédibilité de l'expérience comme le VRUSE, le TPI, le PQ, MEC-SPQ.

Article	Méthode			
	Questionnaire	Entretien	Capteur physiologique	Observation
Apostolellis et Bowman (2016)	SPGQ			
Bachen et al. (2016)	TPI			
Caldas et al. (2020)				
Chen et al. (2020)	Ad-hoc			
Corelli et al. (2020)	VRUSE			
De Leo et al. (2014)	ITC SOPI			
Georgiou et al. (2017)	GIQ			
Ghani et al. (2016)				
Heinrich et al. (2021)	Ad-hoc			
Johnson-Glenbert et Megowan-Romanowicz (2017)				
Johnson-Glenberg et al. (2021)	Ad-hoc			
Lane et al. (2010)	TPI			
Lee et al. (2013)	Ad-hoc			
Martey et al. (2014)	TPI			
Oksanen et Hämäläinen (2013)	GEQ			
Oliveira et al. (2019)	Ad-hoc			
Rowe et al. (2011)	PQ			
Schrader (2014)	PQ			
Souza et al. (2020)	SUS			
Uz-Bilgin et Thompson (2022)	MEC-SPQ			
Zarglayoun et al. (2022)	ITC SOPI			

FIG. 3. Méthodes de mesure

Il n'existe que peu de questionnaire cherchant à mesurer l'incarnation, et ces derniers sont assez récents [25, 59]. Les deux études mesurant l'incarnation utilisent donc des questionnaires ad-hoc très simples (une seule question pour l'une d'elle).

Concernant les mesures objectives, une étude utilise des capteurs physiologiques [43], et deux autres des observations pendant le jeu [24] [53]. Dans l'étude de Ghani et al. [24], les expérimentateurs ont demandé aux participants de décrire leurs expériences d'exploration pendant une reconstruction virtuelle de la mosquée Kampung Hulu. Dans l'étude de Oliveira et al. [53], ces derniers ont observé, à travers le visionnage de la vidéo, les réactions des participants lors de certains événements spécifiques pendant la partie.

Deux articles ne présentent pas de mesure du sentiment de présence ou de l'incarnation. Pour analyser ces deux aspects, ils ont modifié les conditions expérimentales en se basant sur la littérature existante [12, 34]. Caldas et al. [12] ont par exemple proposé des versions différentes de jeu selon la représentation du corps (avatar) ou non, faisant l'hypothèse que cela fait varier le degré de présence ressenti.

4 FACTEURS INFLUENÇANT LES SENTIMENTS DE PRÉSENCE ET INCARNATION

Le tableau 4 correspond aux facteurs qui sont mesurés et étudiés dans les études comme ayant potentiellement un impact sur le sentiment de présence ou l'incarnation dans les jeux sérieux. Il existe plusieurs façons de regrouper les facteurs, mais de grandes catégories émergent généralement comme les facteurs liés au système ou les facteurs internes

Article	Profil utilisateur			Environnement technologique		Rôle de l'utilisateur
	Caractéristique utilisateur	Profil motivationnel	Trait de personnalité	Représentation de soi	Système et dispositif	Rôle de l'utilisateur
Apostolellis et Bowman (2016)						
Bachen et al. (2016)						
Chen et al. (2020)						
Corelli et al. (2020)						
De Leo et al. (2014)						
Heinrich et al. (2021)						
Johnson-Glenberg et al. (2021)						
Lane et al. (2010)						
Martey et al. (2014)						
Oliveira et al. (2019)						
Rowe et al. (2011)						
Souza et al. (2020)						
Uz-Bilgin et Thompson (2022)						
Zarglayoun et al. (2022)						

FIG. 4. Catégories des différents facteurs ayant une influence sur le sentiment de présence et l'incarnation dans les jeux sérieux. Bleu clair = présence; bleu foncé = incarnation

liés aux joueurs [6]. Trois catégories de facteurs ont donc émergé de notre analyse : le profil utilisateur qui regroupe les facteurs intrinsèques aux participants (caractéristiques utilisateur, profil motivationnel et traits de personnalité), l'environnement technologique qui regroupe ceux liés aux possibilités permises par le système et l'environnement (représentation de soi, système et dispositif) et enfin le rôle de l'utilisateur.

4.1 Profil utilisateur :

Caractéristiques utilisateurs : cette sous-catégorie regroupe les facteurs associés aux caractéristiques propres à l'utilisateur, à savoir ses connaissances vis à vis du domaine du jeu, son expérience de jeu passée, et ses capacités.

Les connaissances en lien avec le domaine du jeu présentent des résultats mitigés quant à leur impact sur le sentiment de présence. Une étude a pu mettre en évidence une corrélation significativement positive entre les connaissances pré-test liées au domaine du jeu et le sentiment de présence dans le jeu [60]. En revanche, dans une seconde étude la connaissance pré-test envers le domaine du jeu n'a pas eu d'effet significatif sur le sentiment de présence (testé uniquement sur la dimension de présence spatiale) [71]. Toujours lié aux connaissances, l'étude de De Leo et al. [19] s'est intéressée cette fois-ci à l'impact des connaissances concernant les environnements virtuels de façon générale, et a montré qu'elles ont un impact positif sur le sentiment de présence dans un jeu sérieux avec un environnement en réalité virtuelle. Une dernière étude s'est intéressée aux compétences de l'utilisateur et n'a pas trouvé de résultat significatif concernant l'habileté générale du participant à faire du vélo et son impact sur le sentiment de présence [53]. L'expérience de jeu passée, c'est à dire la fréquence ou le temps pendant lequel les participants jouent à des jeux vidéo, présente également des résultats mitigés. Deux études ont montré qu'une plus grande expérience de jeu a un impact significativement positif sur le sentiment de présence dans un jeu sur écran [60] et dans un environnement en réalité virtuelle [19]. A l'inverse, l'étude menée par [14] a montré que les personnes ayant l'expérience de jeu la plus faible ont eu un sentiment de présence plus élevé que ceux ayant une expérience de jeu élevée, lorsqu'il est possible de personnaliser son avatar. Il est à préciser que c'est uniquement sur la dimension "conscience" du sentiment de

présence que la fréquence de jeu a été identifiée comme ayant un impact significativement positif. Pour finir, deux études n'ont pas trouvé d'effets significatifs sur le sentiment de présence, la première s'intéressant à l'expérience passée du participant en réalité virtuelle [53], la seconde à l'expérience de jeu [71] (avec un focus sur le sentiment de présence spatiale).

Enfin, concernant les capacités de l'utilisateur, l'étude de Uz-Bilgin et Thompson [71] a montré que les capacités visuo-spatiales, c'est à dire les capacités de se représenter, d'analyser et de manipuler des objets mentalement, ont un impact significativement positif sur le sentiment de présence.

Profil motivationnel : cette sous-catégorie concerne les facteurs liés à la motivation de l'utilisateur, comme son intérêt pour le sujet. Une étude a montré que l'intérêt pour le domaine du jeu sérieux avant de commencer celui-ci, en l'occurrence ici pour le domaine de la biologie, a un impact significativement positif sur le sentiment de présence. [71].

Trait de personnalité : cette sous-catégorie regroupe les facteurs liés aux traits de personnalités de l'apprenant, comme son empathie ou son style cognitif. Ici, le style cognitif fait référence au modèle holiste et sérialiste de Pask [54]. Le style cognitif holiste fait référence aux personnes qui utilisent une approche globale pour résoudre un problème, et le style cognitif sérialiste fait référence aux personnes qui se concentrent davantage sur les détails. Concernant l'empathie générale, l'étude de Bachen et al. [2] a montré que celle-ci était corrélée positivement avec le sentiment de présence. En revanche, une seconde étude a montré que l'empathie générale, l'empathie cognitive et l'empathie affective n'étaient pas corrélées au sentiment de présence [75]. Enfin, dans l'étude de Chen et al. [14], le style cognitif du joueur a un impact significatif lorsqu'il y a la possibilité de personnaliser son avatar. Les joueurs étant associés au style cognitif holistes ont éprouvés un sentiment de présence plus important que les sérialistes.

4.2 Environnement technologique :

Représentation de soi : La représentation de soi dans les jeux peut se faire de plusieurs manières. Elle peut se faire par exemple via un avatar. D'après l'étude de Martey et al. [49], permettre aux joueurs de personnaliser leur avatar a un impact significativement positif sur le sentiment de présence. Cependant, cet effet n'est pas retrouvé dans l'étude de Chen et al. [14]. Enfin, l'étude menée par Oliveira et al. [53] a montré que la cohérence entre son avatar et l'environnement de jeu permet d'améliorer le sentiment de présence de l'utilisateur. La représentation de soi peut aussi se faire en ne représentant que les mains de l'utilisateur. Le fait que celles-ci soient représentées à la bonne taille ou trop grande dans un jeu en réalité virtuelle n'a pas montré d'impact sur l'incarnation [30].

Système et dispositif : Dans une étude liée à l'environnement de jeu et sa représentation, il a été montré qu'un jeu sérieux en 3D permet un meilleur sentiment de présence qu'un jeu sérieux en 2D [40]. Enfin, de façon plus générale, Johnson-Glenberg et al. [35] ont montré que le type de plate-forme (réalité virtuelle ou écran) a un impact significatif, une plate-forme de réalité virtuelle permettant un plus grand sentiment de présence. En revanche, sur un même type de dispositif pour la réalité virtuelle (casque), mais avec des dispositifs différents (DVR, VR, KAT VR), l'étude de Corelli et al. [16] n'a pas montré d'impact sur le sentiment de présence. Concernant le dispositif, il s'avère que le fait de regarder davantage l'écran est corrélé à l'augmentation de certains types de présence (transportation, richesse sociale et immersion mentale) [49].

4.3 Rôle de l'utilisateur :

Cette catégorie regroupe les conditions expérimentales qui diffèrent selon le rôle de l'utilisateur dans le jeu sérieux. Dans une première étude sur l'agentivité, qui se traduit dans cette expérience par le rôle du joueur contrôlant directement le jeu, ou le rôle de public n'ayant qu'un faible impact sur le jeu, a montré un impact significativement positif sur le

Article	Motivation	Expérience utilisateur	Apprentissage
Bachen et al. (2016)			
Caldas et al. (2020)			
Georgiou et al. (2017)			
Ghani et al. (2016)			
Johnson-Glenbert et Megowan-Romanowicz (2017)			
Johnson-Glenberg et al. (2021)			
Lane et al. (2010)			
Lee et al. (2013)			
Martey et al. (2014)			
Oksanen et Hämäläinen (2013)			
Rowe et al. (2011)			
Schrader (2014)			
Zarglayoun et al. (2022)			

Fig. 5. Catégories des différentes variables impactées par le sentiment de présence et d'incarnation. Bleu clair = présence ; bleu foncé = incarnation

sentiment de présence pour le rôle de joueur [1]. En revanche, le rôle actif ou passif du participant [68], c'est à dire s'il participait à l'action, ou s'il regardait l'action être effectuée par quelqu'un d'autre, n'a pas eu d'impact significatif. Il en est de même concernant l'implication des membres du public ou non, c'est à dire selon si les tâches qu'ils doivent effectuer sur leurs appareils sur le jeu ont un impact ou non sur le déroulement du jeu [1].

5 IMPACTS DE LA PRÉSENCE ET DE L'INCARNATION DANS LES JEUX SÉRIEUX

D'autres études s'intéressent aux variables impactées par le degré de présence et incarnation perçus par les utilisateurs, synthétisées dans le tableau 5. Pour caractériser les effets sur ces différentes variables, nous les avons regroupées en trois dimensions qui ont émergées de notre analyse : la motivation, classiquement analysée dans les études sur l'apprentissage [21], l'expérience utilisateur et les savoirs, savoir-être et savoir-faire.

5.1 Motivation :

Dans l'étude menée par [61], le sentiment de présence a un impact significativement positif sur la motivation de l'apprenant. De la même manière, dans l'étude rapportée dans [2], le sentiment de présence a un impact sur l'intérêt pour le sujet abordé dans le jeu sérieux, mais de façon indirecte. En effet, le sentiment de présence a un impact sur l'empathie qui a elle-même un impact sur l'intérêt de l'utilisateur.

5.2 Expérience utilisateur :

L'expérience utilisateur regroupe différentes dimensions. Dans les études retenues, les dimensions étudiées sont celles qui sont généralement analysées dans les environnements immersifs [70] : l'affect et les émotions, le flow [17], l'engagement [50] et l'immersion. Dans ces études, nous avons observé que le sentiment de présence et d'incarnation ont des résultats significativement positifs sur les dimensions précédemment citées.

Concernant l'affect et les émotions, Caldas et al. [12] ont étudié l'impact du sentiment de présence sur l'activation physiologique lié aux émotions (arousal) et ont identifié qu'elles étaient corrélées. Diminuer le sentiment de co-existence (présence sociale) permet une plus grande activation physiologique, mais diminuer la qualité de réalisme du scénario (présence physique) diminue l'activation physiologique. Une seconde étude a montré un impact significativement positif du sentiment de présence sur le plaisir perçu et la valeur perçue [43]. Plus précisément, la présence sociale était un bon prédicteur de ces variables, contrairement à la présence spatiale pour laquelle les résultats n'étaient pas significatifs.

Concernant le flow, Bachen et al. [2] se sont intéressés à différentes variables dans un jeu de simulation, montrant des impacts significativement positif du sentiment de présence sur le flow, l'identification ou encore l'empathie ressentie envers les personnages non joueurs (PNJ). Une étude a montré, en se basant sur de l'observation et des entretiens, qu'un niveau élevé de présence permettait de créer un sentiment d'être "quelque part", mais ne suffisait pas pour donner un sentiment de lieu (c'est à dire d'illustrer et faire ressentir la richesse d'un lieu) [24]. De la même manière, le sentiment de présence a un impact significativement positif sur la sociabilité perçue permise par le jeu [52].

Concernant l'engagement, Johnson-Glenberg et al. [35] ont montré que le sentiment de présence avait un effet direct positif. A l'inverse, s'agissant cette fois-ci de l'incarnation, [34] ont montré que l'incarnation (liée aux gestes) n'a pas d'effet significatif sur l'engagement. En lien avec l'engagement et l'exploration visuelle du jeu avec la souris, l'étude de Martey et al. [49] a montré qu'il existe une relation entre l'usage de la souris et le sentiment de présence. Plus le sentiment de présence est fort, plus l'utilisation de la souris est active. En revanche, ils n'ont pas trouvé de corrélation entre le sentiment de présence et les clics de souris, associés aux actions effectuées pendant le jeu.

Enfin une seule étude s'est intéressée à l'immersion [23], dans laquelle les auteurs ont montré que l'incarnation liée aux gestes a un impact significativement positif.

5.3 Apprentissage de connaissances et compétences :

Ce sont les variables directement liées aux finalités des jeux sérieux, à savoir l'apprentissage et le développement des compétences. Les études retenues s'intéressent plus particulièrement aux connaissances de l'utilisateur, à sa capacité de jugement situationnel (capacité de jugement dans un contexte spécifique), son assimilation culturelle (interprétation de situation dans des contextes culturels différents) ou encore son aptitude de raisonnement socio-moral. Les résultats des études sont assez mitigés.

Concernant l'apprentissage, une première étude a mis en avant que le sentiment de présence a un impact significativement positif sur la rétention et la compréhension de connaissances en physique, mais pas sur le transfert [61]. Une partie de ces résultats est expliquée par l'impact de la présence sur la motivation, qui a un effet sur l'apprentissage (rétention et compréhension). Une seconde étude a montré une corrélation significativement positive entre le sentiment de présence et l'acquisition de connaissances en microbiologie (score post-test de connaissances en microbiologie) [60]. Deux études centrées sur l'incarnation ont aussi montré une meilleure acquisition des connaissances. [34, 35]. En revanche, dans l'étude de Georgiou et al. [23], nous n'observons pas de différences significatives concernant l'acquisition de connaissances entre les participants de la condition à faible incarnation et à forte incarnation.

Concernant les compétences, l'étude menée par Lane et al. [40] montre qu'un sentiment de présence plus élevé n'a pas permis une meilleure amélioration du jugement situationnel et de l'assimilation culturel, de la même manière qu'elle n'a pas conduit à un meilleur développement d'aptitudes socio-morales [75].

6 DISCUSSION

Comme introduit précédemment, la plupart des recherches sur les notions de présence et incarnation ont été effectuées dans le cadre général des environnements immersifs en réalité virtuelle ou dans le domaine du jeu vidéo. Ces notions, fortement dépendantes du contexte, sont finalement peu étudiées dans le cadre des jeux sérieux, qui présentent une spécificité, à savoir une finalité d'apprentissage. Nous avons, dans les précédentes sections, dressé l'état actuel des recherches traitant du sentiment de présence et de l'incarnation dans ce contexte spécifique. Pour cela, nous nous sommes dans un premier temps intéressés à la façon dont ces notions sont étudiées et mesurées. Dans un second temps, nous avons analysé les facteurs impactant le sentiment de présence et d'incarnation. Dans un troisième temps, nous avons analysé les effets du sentiment de présence et d'incarnation sur différentes variables. Nous discutons ici ces différents points, en identifiant les pistes de recherche pour des travaux futurs.

6.1 Approches et mesures

Comme nous l'avons montré dans la partie 1, le sentiment de présence est une notion largement étudiée dans les jeux vidéo ainsi qu'en réalité virtuelle. c'est une notion complexe, compte tenu de ses différentes définitions, dimensions et modèles, rendant difficile la création d'un cadre de recherche unifié. Nous faisons le même constat dans le domaine des jeux sérieux puisque différents modèles et méthodes de mesure sont utilisés sans qu'il y ait consensus sur l'un en particulier.

Le choix des questionnaires est un élément rendant difficile la généralisation des résultats, notamment concernant la sensibilité de ceux-ci. Par sensibilité nous entendons la capacité de détection du questionnaire, qui peut présenter différents niveaux de détails [28]. La notion de présence, et par extension sa mesure, n'est pas forcément un élément central dans certaines études. En fonction de cela, le choix d'utiliser un questionnaire court et moins sensible, ou créer son propre questionnaire peut-être fait. Bien qu'intéressant, il faut interpréter les résultats qui émergent avec quelques précautions.

Comme nous l'avons vu dans le tableau (3), il existe globalement trois approches pour le sentiment de présence : les données auto-rapportées post-expérience (questionnaires ou entretiens), les mesures physiologiques et les mesures comportementales. Dans les études présentées dans cet article, nous faisons le constat que ce sont majoritairement les questionnaires qui sont privilégiés. Une seule étude utilise les mesures physiologiques et deux les mesures comportementales.

Dans les jeux vidéo et la réalité virtuelle, les mesures physiologiques sont beaucoup utilisées, comme par exemple la fréquence cardiaque, l'électroencéphalogramme (EEG) [66], ou encore l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) [3]. Il nous paraît donc important que des recherches futures explorent des méthodes de mesure plus objectives que les données auto-rapportées, voire de combiner les deux approches. Les mesures physiologiques utilisées dans les autres domaines sont une première piste de recherche. Les mesures comportementales peuvent également être explorées. En particulier, l'engagement comportemental [8, 42] est un concept très étudié dans les travaux en éducation. Des méthodes d'analyse basées sur les traces d'interaction et les learning analytics [7] peuvent fournir des indicateurs comportementaux intéressants à croiser avec les autres types de mesures.

La notion d'incarnation, bien que beaucoup étudiée dans les jeux vidéo, notamment ceux en réalité virtuelle, n'est dans les jeux sérieux que très peu mesurée. Cela peut s'expliquer en prenant en compte plusieurs aspects. L'incarnation, même si liée et mesurée dans les jeux sérieux, est davantage importante dans les jeux en réalité virtuelle, ainsi que dans les jeux vidéos ayant une représentation de soi via un avatar (ou à minima, des mains) [27]. Ces éléments sont liés

à l'auto attribution par l'utilisateur du corps virtuel (sentiment de possession), ainsi qu'à l'endroit où l'utilisateur se sent localisé (localisation de soi) [27]. Dans les articles que nous avons sélectionnés, une grande partie des jeux sérieux ne sont pas des jeux en réalité virtuelle ou ne possédant pas de représentation de soi, pouvant expliquer le peu de prise en compte de l'incarnation. Cette notion d'incarnation est aussi fortement dépendante des possibilités offertes par l'environnement, à travers sa dimension d'agentivité. Les jeux sérieux, dû à des budgets moins importants que ceux mis dans les jeux vidéos, leurs finalités différentes à savoir non pas le divertissement mais l'apprentissage ou le développement, rend les environnements et les possibilités d'actions souvent moins développés ou moins complètes. Toutefois, il existe un autre pan de la recherche, concernant l'apprentissage incarné. Nous avons volontairement choisi de ne pas intégrer cette approche dans notre état de l'art, préférant nous concentrer sur l'analyse de l'incarnation liée au lien entre l'utilisateur, son environnement et sa représentation. Néanmoins, explorer davantage cette littérature pourrait être pertinent.

6.2 Facteurs d'influence

Les facteurs étudiés dans les jeux sérieux correspondent assez bien aux facteurs étudiés généralement dans les autres domaines. Les aspects technologiques liés à l'environnement, au degrés de réalisme ou encore à la représentation du joueur sont présents dans les études retenues. Les facteurs liés au profil de l'utilisateur ont également une part importante d'intérêt. A noter l'émergence d'un nouveau facteur par rapport aux autres domaines, celui lié aux connaissances à priori sur le domaine du jeu sérieux. Ce facteur semble encore à explorer puisque pour l'instant les résultats sont mitigés, avec un effet significativement positif pour une étude [60] et pas d'effet significatif pour une seconde étude [71]. L'utilisation de la réalité virtuelle dans l'une des études [71], et l'utilisation d'un écran classique dans l'autre [60] pourrait-être un élément d'explication.

Une des conséquences de la multiplicité des modèles et méthodes de mesure est la difficulté à pouvoir comparer et généraliser les résultats des différentes études. C'est le cas pour l'analyse de l'influence des différents facteurs sur les sentiments de présence et d'incarnation. Pour un facteur en particulier, une étude peut présenter un résultat significativement positif alors qu'une autre étude ne va pas observer d'effet. C'est le cas par exemple, de deux études qui s'intéressent aux connaissances à priori liées au domaine couvert par le jeu sérieux [60, 71]. Concernant ces deux études, l'approche différente des notions de présence ont découlé en l'utilisation de questionnaires différents, pouvant être une explication concernant la différence des résultats obtenus.

6.3 Effet et impact

Les jeux vidéo ont pour finalité le divertissement et vont par conséquent principalement chercher à développer l'expérience utilisateur. Il existe pourtant des modèles qui soulignent le potentiel impact de la présence sur les performances de l'utilisateur [11, 26]. L'analyse des effets du sentiment de présence et d'incarnation sur l'apprentissage paraît donc un élément important à étudier dans le domaine des jeux sérieux. Cependant, nous avons pu constater que seulement 7 études sur les 21 s'intéressent à cette question, 4 pour la présence et 3 pour l'incarnation (section 5).

Dans la partie 5, nous avons distingué les connaissances des compétences, les premières faisant majoritairement étudiées. Le sentiment de présence semble être un élément à considérer pour l'apprentissage de connaissances, puisque les deux études [60, 61] ont montré des résultats significativement positifs. En revanche, concernant l'impact du sentiment de présence sur le développement des compétences, les études n'ont pas montré de résultats significatifs [40, 75]. Concernant l'incarnation, les résultats semblent plus mitigés. Même si deux études montrent des résultats significativement positifs sur l'apprentissage de connaissances [34, 35], celle de Georgiou et al. [23] ne relève pas de

résultat significatif. Un élément d'explication pourrait-être lié à la différence d'âge du public visé. Pour les deux études montrant des résultats significatifs [34, 35], les participants sont des adultes, contrairement à l'étude de Georgiou et al. [23] dont les travaux ont été fait sur un public âgé de moins de douze ans.

Comme nous pouvons le voir, il n'y a au final que peu d'études concernant l'impact de la présence ou de l'incarnation sur l'apprentissage. De plus, les résultats ne peuvent être généralisés étant donné leurs nombreuses différences, que ce soit l'utilisation de réalité virtuelle ou non, ou encore la distinction entre l'acquisition de connaissances et le développement de compétences. Approfondir les recherches sur l'impact de la présence sur l'apprentissage nous semble donc être une piste importante.

Un autre élément qu'il est important de souligner, en lien avec la partie 3, concerne le peu d'études utilisant des jeux sérieux multijoueurs, la plupart étant individuels. La collaboration étant une dimension importante, que ce soit dans les jeux vidéo, dans les jeux sérieux, mais aussi une compétence importante à développer [57, 76], il semble pertinent de l'intégrer dans les travaux futurs dans le domaine. De plus, cette dimension collaborative est fortement liée à la présence, plus particulièrement à la présence sociale, qui n'est donc que peu étudiée actuellement.

7 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une revue de la littérature actuelle concernant le sentiment de présence et l'incarnation dans le contexte spécifique des jeux sérieux. Finalement, la spécificité des études sur les jeux sérieux n'est pas lié à l'utilisation de théories ou questionnaires différents, mais plutôt aux facteurs influençant le sentiment de présence et incarnation ainsi que leurs impacts sur les connaissances. Bien que les résultats semblent mitigés, et qu'une augmentation du sentiment de présence ou de l'incarnation ne conduise pas toujours à des résultats significatifs, voire même parfois contradictoires, ces notions sont tout de même pertinentes dans ce contexte compte tenu des études qui montrent un impact significativement positif sur la motivation [2, 61], l'expérience utilisateur (sur le flow par exemple [2]) et l'acquisition de connaissances [60, 61].

Nous suggérons donc d'approfondir les recherches dans cette direction, notamment sur les points suivants. Le premier, essentiel en ce qui concerne les jeux sérieux, concerne l'étude des relations entre le sentiment de présence, l'incarnation et les apprentissages, afin d'avoir une meilleure compréhension de la manière dont ces relations diffèrent des domaines de la réalité virtuelle et des jeux vidéos. Plus généralement, nous pensons que la notion d'incarnation devrait être étudiée de manière plus approfondie étant donné le peu de travaux à l'heure actuelle. Par ailleurs et compte tenu de la complexité de la notion de présence et de la diversité des mesures utilisées, il conviendrait également d'identifier la manière dont les résultats des études pourraient être généralisés, par exemple avec des approches plus standardisées, pour une meilleure compréhension des facteurs influençant le sentiment de présence, ainsi que son impact dans différents jeux sérieux. Enfin, au vu de la faible représentation des jeux sérieux multi-joueurs, prendre en considération la dimension sociale et étudier son effet sur le développement de compétences de collaboration semble être une piste de recherche intéressante.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le LABEX ASLAN (ANR-10-LABX-0081) de l'Université de Lyon pour son soutien financier dans le cadre du programme français "Investissements d'Avenir" géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

RÉFÉRENCES

- [1] P. Apostolellis and D.A. Bowman. 2016. Audience involvement and agency in digital games : Effects on learning, game experience, and social presence. 299–310. <https://doi.org/10.1145/2930674.2930700>

- [2] C.M. Bachen, P. Hernández-Ramos, C. Raphael, and A. Waldron. 2016. How do presence, flow, and character identification affect players' empathy and interest in learning from a serious computer game? *Computers in Human Behavior* 64 (2016), 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.06.043>
- [3] Thomas Baumgartner, Dominique Speck, Denise Wettstein, Ornella Masnari, Gian Beeli, and Lutz Jäncke. 2008. Feeling Present in Arousing Virtual Reality Worlds : Prefrontal Brain Regions Differentially Orchestrate Presence Experience in Adults and Children. *Frontiers in Human Neuroscience* 2 (Aug. 2008), 8. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.008.2008>
- [4] Frank Biocca. 1997. The Cyborg's Dilemma : Progressive Embodiment in Virtual Environments [1]. *Journal of Computer-Mediated Communication* 3, 2 (Sept. 1997), JCMC324. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00070.x>
- [5] Frank Biocca and Chad Harms. 2002. Defining and measuring social presence : Contribution to the networked minds theory and measure. In *In F.R. Gouveia, & F. Biocca (Eds). Proceedings of the 5th International Workshop on Presence*. 7–36.
- [6] Tifanie Bouchara Bouchara and Yujiro Okuya. 2020. *Livvable 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*. Intern report. Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM); CEDRIC laboratory. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03158860>
- [7] Patrice Bouvier, Elise Lavoué, and Karim Sehaba. 2014. Defining Engagement and Characterizing Engaged-Behaviors in Digital Gaming. *Simulation & Gaming* 45, 4-5 (Aug. 2014), 491–507. <https://doi.org/10.1177/1046878114553571> Publisher : SAGE Publications Inc.
- [8] Patrice Bouvier, Elise Lavoué, Karim Sehaba, and Sébastien George. 2013. Identifying learner's engagement in learning games : A qualitative approach based on learner's traces of interaction. In *5th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2013)*. 339–350.
- [9] Pearl Brereton, Barbara A. Kitchenham, David Budgen, Mark Turner, and Mohamed Khalil. 2007. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software* 80, 4 (April 2007), 571–583. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>
- [10] Jan vom Brocke, Alexander Simons, Bjoern Niehaves, Bjorn Niehaves, and Kai Reimer. [n.d.]. Reconstructing the giant : On the importance of rigour in documenting the literature search process. ([n. d.]).
- [11] Karl Erik Byström, Woodrow Barfield, and Claudia Hendrix. 1999. A conceptual model of the sense of presence in virtual environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 8, 2 (April 1999), 241–244. <https://doi.org/10.1162/105474699566107>
- [12] O.I. Caldas, O.F. Aviles, and C. Rodriguez-Guerrero. 2020. Effects of Presence and Challenge Variations on Emotional Engagement in Immersive Virtual Environments. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 28, 5 (2020), 1109–1116. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2020.2985308> Publisher : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- [13] Loïc Caroux. 2023. Presence in video games : A systematic review and meta-analysis of the effects of game design choices. *Applied Ergonomics* 107 (Feb. 2023), 103936. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103936>
- [14] Z.-H. Chen, H.-D. Lu, and C.-H. Lu. 2019. The Effects of Human Factors on the Use of Avatars in Game-Based Learning : Customization vs. Non-Customization. *International Journal of Human-Computer Interaction* 35, 4-5 (2019), 384–394. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1543090> Publisher : Taylor and Francis Inc.
- [15] M.-T. Cheng, H.-C. She, and L.a. Annetta. 2015. Game immersion experience : its hierarchical structure and impact on game-based science learning. *Journal of Computer Assisted Learning* 31, 3 (2015), 232–253. <https://doi.org/10.1111/jcal.12066> _eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jcal.12066>.
- [16] F. Corelli, E. Battegazzorre, F. Strada, A. Bottino, and G.P. Cimellaro. 2020. Assessing the usability of different virtual reality systems for firefighter training. In *VISIGRAPP - Proc. Int. Jt. Conf. Comput. Vis., Imaging Comput. Graph. Theory Appl.*, Chessa M., Paljic A., and Braz J. (Eds.), Vol. 2. SciTePress, 146–153. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=s2.0-85083518531&partnerID=40&md5=8538ebef67add697067df60af8e65d8> Journal Abbreviation : VISIGRAPP - Proc. Int. Jt. Conf. Comput. Vis., Imaging Comput. Graph. Theory Appl.
- [17] Mihaly Csikszentmihalyi. 2000. FLOW : The Psychology of Optimal Experience. *New York : Harper & Row* (2000), 6.
- [18] Sara De Freitas, Genaro Rebolledo-Mendez, Fotis Liarokapis, George Magoulas, and Alexandra Poulouvassilis. 2010. Learning as immersive experiences : Using the four-dimensional framework for designing and evaluating immersive learning experiences in a virtual world. *British Journal of Educational Technology* 41, 1 (2010), 69–85. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01024.x>
- [19] G. De Leo, L.A. Diggs, E. Radici, and T.W. Mastaglio. 2014. Measuring sense of presence and user characteristics to predict effective training in an online simulated virtual environment. *Simulation in Healthcare* 9, 1 (2014), 1–6. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3182a99dd9>
- [20] Henrique G. Debarba, Eray Molla, Bruno Herbelin, and Ronan Boulic. 2015. Characterizing embodied interaction in First and Third Person Perspective viewpoints. In *2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. IEEE, 67–72. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2015.7131728>
- [21] Edward L. Deci, Richard Koestner, and Richard M. Ryan. 2001. Extrinsic Rewards and Intrinsic Motivation in Education : Reconsidered Once Again. *Review of Educational Research* 71, 1 (March 2001), 1–27. <https://doi.org/10.3102/00346543071001001> Publisher : American Educational Research Association.
- [22] Paul Dourish. 2001. *Where the Action is : The Foundations of Embodied Interaction*. MIT Press. Google-Books-ID : DCIy2zxrCqC.
- [23] Y. Georgiou, A. Ioannou, and M. Ioannou. 2019. Investigating immersion and learning in a low-embodied versus high-embodied digital educational game : Lessons learned from an implementation in an authentic school classroom. *Multimodal Technologies and Interaction* 3, 4 (2019). <https://doi.org/10.3390/mti3040068>
- [24] I. Ghani, A. Rafi, and P. Woods. 2016. Sense of place in immersive architectural virtual heritage environment. In *Proc. Int. Conf. Virtual Syst. Multimed., VSMM*, Addison A.C., Thwaites H., and Lun L.S. (Eds.). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/VSMM.2016.7863169> Journal Abbreviation : Proc. Int. Conf. Virtual Syst. Multimed., VSMM.

- [25] Mar Gonzalez-Franco and Tabitha C. Peck. 2018. Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI* 5 (2018). <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00074>
- [26] Geoffrey Gorisse, Olivier Christmann, Etienne Armand Amato, and Simon Richir. 2017. First- and Third-Person Perspectives in Immersive Virtual Environments : Presence and Performance Analysis of Embodied Users. *Frontiers in Robotics and AI* 4 (2017). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2017.00033>
- [27] Geoffrey Gorisse, Olivier Christmann, and Simon Richir. 2018. De la présence à l'incarnation : Proposition d'un méta-modèle pour la réalité virtuelle. *Interfaces numériques* 7, 1 (July 2018), 94–114. <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.3295> Number : 1 Publisher : Université de Limoges.
- [28] Simone Grassini and Karin Laumann. 2020. Questionnaire Measures and Physiological Correlates of Presence : A Systematic Review. *Frontiers in Psychology* 11 (2020). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.00349>
- [29] Carrie Heeter. 1992. Being There : The Subjective Experience of Presence. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 1, 2 (1992), 262. https://www.academia.edu/1888625/Being_there_The_subjective_experience_of_presence
- [30] C. Heinrich, M. Cook, T. Langlotz, and H. Regenbrecht. 2021. My hands? Importance of personalised virtual hands in a neurorehabilitation scenario. *Virtual Reality* 25, 2 (2021), 313–330. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00456-4> Publisher : Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- [31] Ronald L. Hickman, John M. Clochesy, Melissa D. Pinto, Christopher Burant, and Grant Pignatiello. 2015. Impact of a Serious Game for Health on Chronic Disease Self-Management : Preliminary Efficacy Among Community Dwelling Adults with Hypertension. *Journal of Health and Human Services Administration* 38, 2 (2015), 253–275. <https://www.jstor.org/stable/24463893> Publisher : SPAEF.
- [32] W.A. Ijsselstein, Y.A.W. de Kort, and K. Poels. 2013. *The Game Experience Questionnaire*. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.
- [33] Brent E. Insko. 2003. Measuring presence : Subjective, behavioral and physiological methods. In *Being there : Concepts, effects and measurements of user presence in synthetic environments*. IOS Press, Amsterdam, Netherlands, 109–119.
- [34] M.C. Johnson-Glenberg and C. Megowan-Romanowicz. 2017. Embodied science and mixed reality : How gesture and motion capture affect physics education. *Cognitive Research : Principles and Implications* 2, 1 (2017). <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0060-9> Publisher : Springer.
- [35] Mina C. Johnson-Glenberg, Hannah Bartolomea, and Elena Kalina. 2021. Platform is not destiny : Embodied learning effects comparing 2D desktop to 3D virtual reality STEM experiences. *Journal of Computer Assisted Learning* 37, 5 (Oct. 2021), 1263–1284. <https://doi.org/10.1111/jcal.12567>
- [36] Roy S. Kalawsky. 1999. VRUSE—a computerised diagnostic tool : for usability evaluation of virtual/synthetic environment systems. *Applied Ergonomics* 30, 1 (Feb. 1999), 11–25. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(98\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00047-7)
- [37] Anastasia Katsaounidou, Lazaros Vrysis, Rigas Kotsakis, Charalampos Dimoulas, and Andreas Veglis. 2019. MATHe the Game : A Serious Game for Education and Training in News Verification. *Education Sciences* 9, 2 (June 2019), 155. <https://doi.org/10.3390/educsci9020155> Number : 2 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [38] Konstantina Kilteni, Raphaela Groten, and Mel Slater. 2012. The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 21, 4 (Nov. 2012), 373–387. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124
- [39] de Kort, Y.A.W., W.A. Ijsselstein, and K. Poels. 2007. Digital games as social presence technology : development of the social presence in gaming questionnaire (SPGQ) : 10th Annual International Workshop on Presence (PRESENCE 2007), October 25-27, 2007, Barcelona, Spain. *Proceedings of the 10th Annual International Workshop on Presence, October 25-27, 2007 (2007)*, 195–203. Place : Barcelona Publisher : Starlab.
- [40] H.C. Lane, M.J. Hays, D. Auerbach, and M.G. Core. [n.d.]. Scopus - Document details - Investigating the relationship between presence and learning in a serious game. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13388-6_32
- [41] Petri Lankoski. 2016. Embodiment in character-based videogames. In *Proceedings of the 20th International Academic Mindtrek Conference (Academic-Mindtrek '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 358–365. <https://doi.org/10.1145/2994310.2994320>
- [42] Elise Lavoué, Qinjie Ju, Stuart Hallifax, and Audrey Serna. 2021. Analyzing the relationships between learners' motivation and observable engaged behaviors in a gamified learning environment. *International Journal of Human-Computer Studies* 154 (2021), 102670. Publisher : Elsevier.
- [43] H-G. Lee, S. Chun, and W-H. Lee. [n.d.]. Scopus - Document details - Presence in virtual golf simulators : The effects of presence on perceived enjoyment, perceived value, and behavioral intention. <https://doi.org/10.1177/1461444812464033>
- [44] Jane Lessiter, Jonathan Freeman, Edmund Keogh, and Jules Davidoff. 2001. A Cross-Media Presence Questionnaire : The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 10, 3 (June 2001), 282–297. <https://doi.org/10.1162/105474601300343612>
- [45] Matthew Lombard and Theresa Ditton. 1997. At the Heart of It All : The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication* 3, 2 (1997), 0–0. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x> eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>
- [46] Matthew Lombard, Theresa B Ditton, and Lisa Weinstein. 2009. Measuring Presence : The Temple Presence Inventory. *Proceedings of the 12th annual international workshop on presence (2009)*, 15.
- [47] Davide Marocco, Daniela Pacella, Elena Dell'Aquila, and Andrea Di Ferdinando. 2015. Grounding Serious Game Design on Scientific Findings : The Case of ENACT on Soft Skills Training and Assessment. In *European Conference on Technology Enhanced Learning*, Vol. 9307. Springer, 441–446. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24258-3_37
- [48] P. Marshall and E. Hornecker. 2013. Theories of embodiment in HCI. 144–158. <https://doi.org/10.4135/9781446282229.n11>
- [49] R.M. Martey, K. Kenski, J. Folkestad, L. Feldman, E. Gordis, A. Shaw, J. Stromer-Galley, B. Clegg, H. Zhang, N. Kaufman, A.N. Rabkin, S. Shaikh, and T. Strzalkowski. 2014. Measuring Game Engagement : Multiple Methods and Construct Complexity. *Simulation and Gaming* 45 (2014), 528–547. <https://doi.org/10.1177/1046878114553575>

- [50] Heather L. O'Brien and Elaine G. Toms. 2008. What is user engagement? A conceptual framework for defining user engagement with technology. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 59, 6 (2008), 938–955. <https://doi.org/10.1002/asi.20801> _eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/asi.20801>.
- [51] Catherine S. Oh, Jeremy N. Bailenson, and Gregory F. Welch. 2018. A Systematic Review of Social Presence : Definition, Antecedents, and Implications. *Frontiers in Robotics and AI* 5 (2018). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2018.00114>
- [52] K. Oksanen and R. Hämäläinen. [n.d.]. Scopus - Document details - Perceived sociability and social presence in a collaborative serious game. <https://doi.org/10.4018/ijgbl.2013010103>
- [53] W. Oliveira, M. Tizuka, E. Clua, D. Trevisan, and L. Salgado. 2019. *Virtual and Real Body Representation in Mixed Reality : An Analysis of Self-presence and Immersive Environments*. Vol. 11863 LNCS. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34644-7_4 Journal Abbreviation : Lect. Notes Comput. Sci. Pages : 54 Publication Title : Lect. Notes Comput. Sci.
- [54] G. PASK. 1976. STYLES AND STRATEGIES OF LEARNING. *British Journal of Educational Psychology* 46, 2 (1976), 128–148. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1976.tb02305.x> arXiv:<https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.2044-8279.1976.tb02305.x>
- [55] Jayesh S. Pillai, Colin Schmidt, and Simon Richir. 2013. Achieving Presence through Evoked Reality. *Frontiers in Psychology* 4 (2013). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2013.00086>
- [56] Sean Enda Power. 2016. Relative and Absolute Temporal Presence. In *Philosophy and Psychology of Time*, Bruno Mölder, Valterti Arstila, and Peter Øhrstrøm (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 69–100. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22195-3_5
- [57] Margarida Romero, Mireia Usart, and Michela Ott. 2015. Can Serious Games Contribute to Developing and Sustaining 21st-Century Skills? *Games and Culture* 10, 2 (Jan. 2015), 148–177. <https://doi.org/10.1177/1555412014548919>
- [58] Nina Rosa, Wolfgang Hürst, Remco Veltkamp, and Peter Werkhoven. 2017. Player-Avatar Link : Interdisciplinary Embodiment Perspectives. In *Encyclopedia of Computer Graphics and Games*, Newton Lee (Ed.). Springer International Publishing, Cham, 1–6. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_110-1
- [59] D. Roth and M. Latoschik. 2020. Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 26, 12 (dec 2020), 3546–3556. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3023603>
- [60] J.P. Rowe, L.R. Shores, B.W. Mott, and J.C. Lester. [n.d.]. Scopus - Document details - Integrating learning, problem solving, and engagement in narrative-centered learning environments. <https://doi.org/10.3233/JAI-2011-019>
- [61] C. Schrader. 2014. The relation between virtual presence and learning outcomes in serious games - The mediating effect of motivation. *Interaction Design and Architecture(s)* 19, 1 (2014), 38–46.
- [62] Thomas Schubert, Frank Friedmann, and Holger Regenbrecht. 1999. Embodied Presence in Virtual Environments. In *Visual Representations and Interpretations*, Ray Paton and Irene Neilson (Eds.). Springer, London, 269–278. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0563-3_30
- [63] Ulrike Schultze. 2010. Embodiment and presence in virtual worlds : a review. *Journal of Information Technology* 25, 4 (Dec. 2010), 434–449. <https://doi.org/10.1057/jit.2010.25>
- [64] Richard Skarbez, Frederick P. Brooks, Jr., and Mary C. Whitton. 2017. A Survey of Presence and Related Concepts. *Comput. Surveys* 50, 6 (Nov. 2017), 96 :1–96 :39. <https://doi.org/10.1145/3134301>
- [65] Mel Slater. 2009. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 364, 1535 (Dec. 2009), 3549–3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138> Publisher : Royal Society.
- [66] Mel Slater, Christoph Guger, Guenter Edlinger, Robert Leeb, Gert Pfurtscheller, Angus Antley, Maia Garau, Andrea Brogni, and Doron Friedman. 2006. Analysis of Physiological Responses to a Social Situation in an Immersive Virtual Environment. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 15, 5 (Oct. 2006), 553–569. <https://doi.org/10.1162/pres.15.5.553>
- [67] Mel Slater, Martin Usoh, and Anthony Steed. 1994. Depth of Presence in Virtual Environments. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 3, 2 (May 1994), 130–144. <https://doi.org/10.1162/pres.1994.3.2.130>
- [68] V. Souza, A. Maciel, L. Nedel, R. Kopper, K. Loges, and E. Schlemmer. 2020. The Effect of Virtual Reality on Knowledge Transfer and Retention in Collaborative Group-Based Learning for Neuroanatomy Students. In *Proc. - Symp. Virtual Augment. Real., SVR*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 92–101. <https://doi.org/10.1109/SVR51698.2020.00028> Journal Abbreviation : Proc. - Symp. Virtual Augment. Real., SVR.
- [69] T. L. Taylor. 2002. Living Digitally : Embodiment in Virtual Worlds. In *The Social Life of Avatars : Presence and Interaction in Shared Virtual Environments*, Ralph Schroeder (Ed.). Springer, London, 40–62. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0277-9_3
- [70] Katy Tcha-Tokey, Emilie Loup-Escande, Olivier Christmann, and Simon Richir. 2016. A questionnaire to measure the user experience in immersive virtual environments. In *Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference (VRIC '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–5. <https://doi.org/10.1145/2927929.2927955>
- [71] C. Uz-Bilgin and M. Thompson. 2022. Processing presence : how users develop spatial presence through an immersive virtual reality game. *Virtual Reality* 26, 2 (2022), 649–658. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00528-z> Publisher : Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- [72] Peter Vorderer, Werner Wirth, Feliz Ribeiro Gouveia, Frank Biocca, Timo Saari, and Lutz Jäncke. [n.d.]. Mec spatial presence questionnaire (mec-spq) short documentation and instructions for application. *Technical report, Report for the European Comission IST Programme 'Presence Research Activites* ([n. d.]), 14.
- [73] W. Westera, R.j. Nadolski, H.g.k. Hummel, and I.g.j.h. Wopereis. 2008. Serious games for higher education : a framework for reducing design complexity. *Journal of Computer Assisted Learning* 24, 5 (2008), 420–432. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2008.00279.x> _eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-2729.2008.00279.x>.

- [74] Bob G. Witmer and Michael J. Singer. 1998. Measuring Presence in Virtual Environments : A Presence Questionnaire. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 7, 3 (June 1998), 225–240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- [75] H. Zarglayoun, J. Laurendeau-Martin, A. Tato, E. Vera-Estay, A. Blondin, A. Lamy-Brunelle, S. Chaieb, F. Morasse, A. Dufresne, R. Nkambou, and M.H. Beauchamp. 2022. Assessing and Optimizing Socio-Moral Reasoning Skills : Findings From the MorALERT Serious Video Game. *Frontiers in Psychology* 12 (2022). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.767596> Publisher : Frontiers Media S.A.
- [76] H. Zhao, K. P. H. Sullivan, and I. Mellenius. 2014. Participation, interaction and social presence : An exploratory study of collaboration in online peer review groups. *British Journal of Educational Technology* 45, 5 (Sept. 2014), 807–819. <https://eprints.whiterose.ac.uk/121111/>