

Immersion, Réalisme et Présence dans la conception et l'évaluation des Environnements Virtuels (Immersion, Realism and Presence in the design and evaluation of Virtual Environments)

Jean-Marie Burkhardt (1,2)

(1) Projet EIFFEL-Institut National de Recherche en Informatique et Automatique
Domaine de Voluceau, Rocquencourt BP 105 78 153 Le Chesnay cedex

Tel. 01 39 63 50 26

Email jean-marie.burkhardt@inria.fr

(2) Laboratoire d'Ergonomie Informatique -Université Paris V

45, rue des Saints-Pères

75 006 Paris

Tel. 01 42 86 21 35

Email jean-marie.burkhardt@ergo-info.univ-paris5.fr

Benoit Bardy

Université Paris XI & Institut Universitaire de France

Centre de Recherches en Sciences du Sport

Bâtiment 335, 91405 Orsay

Tel : 01 69 15 43 18

Email : benoit.bardy@staps.u-psud.fr

D. Lourdeaux

Centre de Robotique, École des Mines de Paris

60, boulevard Saint Michel, 75272 Paris Cedex 06

Tel. 01.40.51.94.97

Email domitile.lourdeaux@ensmp.fr, <http://www.caor.ensmp.fr/~domitile>

Résumé : Cet article concerne la conception et l'évaluation d'environnements virtuels. Après un bref historique des recherches, nous discutons de trois dimensions considérées comme fondatrices du domaine: l'immersion, le réalisme, et la présence. Les limites des études sont le manque de positionnement clair sur ces trois notions et l'ignorance des théories et méthodes sur la cognition. Deux acceptations sont répertoriées pour l'immersion et cinq acceptations permettent de couvrir les notions de réalisme et de présence. Nous concluons sur des implications pour le développement des environnements virtuels.

Mot Clefs : ergonomie, réalité virtuelle, cyberpsychologie

Abstract : This paper reports on the design and evaluation of Virtual Environments. After a short the history of the domain, we discuss three dimensions considered as essential for Virtual Environments: immersion, realism and presence. Previous studies are limited because the clear definitions of the dimension are lacking and the theories and methods about human behaviour are mostly ignored. Two acceptations are distinguished for immersion, and five acceptations for realism and presence. We give some implications for the design of Virtual Environments.

Key words : ergonomics, virtual reality, cyber-psychology

I Introduction

Les Environnements Virtuels (EV) constituent des systèmes interactifs particuliers visant à permettre à un ou plusieurs utilisateurs d'interagir avec la simulation numérique généralement réaliste, d'objets et de scènes en trois dimensions, par le biais d'un ensemble de techniques informatiques couvrant une ou plusieurs modalités sensorielles (vision, toucher, kinesthésie ouïe,...). Souvent présentée comme l'aboutissement ultime des interfaces de manipulation directe, cette technologie affiche l'ambition de faire " disparaître " l'interface afin de redonner un mode d'interaction " naturel " aux utilisateurs. Fuchs et Moreau (2003) parlent à ce propos d'interfaces comportementales, soulignant ainsi l'orientation des recherches vers la conception de systèmes " visant à exploiter un comportement humain, naturel et sans acquis préalable".

Les notions d'*immersion*, de *réalisme* et de *présence* sont trois dimensions-clefs de la recherche et de l'application dans le domaine des EV, malgré l'ambiguïté, les recouvrements de sens et l'absence de définition formelle qui caractérisent encore leurs usages. Une dichotomie usuelle oppose, par exemple, les systèmes dits " immersifs "(visio-casque, salle immersive, etc.) avec ceux " non immersifs " (écran, souris), avec l'idée que le degré d'immersion est un paramètre important du réalisme de l'interaction et de l'*utilisabilité* du système. De même, la dimension du *réalisme* qualifie fréquemment les EV, voire constitue l'une des finalités de leur conception. Par exemple, le *réalisme* est le premier critère du projet européen VR for Europe (Syseca, 1998). Toutefois, il s'agit d'une notion mal définie, tantôt référant à une identité métrique ou perceptive entre l'espace réel et l'espace artificiel engendré par l'EV, tantôt référant à des ressentis subjectifs des utilisateurs. Enfin, la notion de *présence* est associée de différentes façons à l'expérience perceptive et cognitive de l'utilisateur dans le cours de son activité en EV. La recherche d'un degré élevé de *présence* (Stanney, 1998) caractérise l'orientation de nombreux travaux, notamment avec l'idée de faciliter la performance ou l'apprentissage des utilisateurs.

La recherche technologique est aujourd'hui plus avancée que l'étude des aspects cognitifs. Hormis quelques thématiques suivies en psychologie et en ergonomie (mal des simulateurs, pointage et localisation spatiale, navigation dans l'espace, etc.), les travaux sont souvent la description de solutions sans réelle validation empirique. Lorsqu'elles existent, les évaluations avec des utilisateurs s'appuient majoritairement sur une psychologie naïve, et souffrent par conséquent d'un manque de fondement théorique, d'une valeur écologique faible, et de l'absence de réplication. D'un autre côté, les psychologues et les ergonomes connaissent mal les concepts formels ou pragmatiques structurant historiquement ce champ, de même que les propriétés et les limites des technologies associées aux EV, sous-estimant ou parfois surestimant leur valeur potentielle. Il y a là une opportunité de recherche et de collaboration pour toutes ces disciplines.

Objectif et organisation de l'article

Cet article propose une contribution à la recherche sur les EV sous la forme d'une analyse des notions d'immersion, de réalisme et de présence. Ce travail s'appuie sur l'identification et la tentative de formalisation des principales acceptions rencontrées, un premier recensement des données empiriques, et quelques implications en termes de méthodologie et d'indicateurs utilisés. La première partie présente la conception d'EV et l'historique des recherches ergonomiques et psychologiques sur cette thématique. La seconde partie traite des notions d'immersion, de réalisme et de présence dans la recherche actuelle. Nous concluons sur les directions de recherche.

II La conception des Environnements Virtuels

Panorama du domaine

Né à la fin des années 60 et au début des années 70, ce domaine de recherche s'est d'abord centré sur le développement de périphériques et d'interfaces multimodales de navigation et de manipulation dans l'espace à trois dimensions. Certains tels les visio-casques (aussi appelés HMDs pour Head-Mounted Displays) ou les gants de manipulation (Data-Glove) ont été popularisés par les médias. Il faut attendre les années 90 pour voir apparaître les premières applications réelles. En Europe, cinq domaines concentrent l'essentiel des développements (Syseca, 1998): la construction automobile ; l'aviation et l'industrie aérospatiale ; la médecine ; l'industrie nucléaire ; l'industrie chimique. Les usages réels ou envisagés sont la démonstration, la conception, la formation et l'apprentissage, la recherche, le diagnostic et l'exposition thérapeutique.

Tous les EV se décomposent en trois parties fonctionnellement distinctes : les dispositifs de présentation d'information, les dispositifs d'entrée d'information et le moteur de réalité virtuelle proprement dit. Les premiers regroupent des dispositifs variés de retour visuel (grand écran, casque, lunettes stéréoscopiques, etc...), de retour proprioceptif et cutané (toucher, chaleur, etc...) et de retour sonore (casque, son 3D spatialisé, etc...). Les seconds sont essentiellement les dispositifs de capture de position et de mouvement (capteurs, gant, combinaison, etc...), et de dispositifs d'entrée sonore (reconnaissance vocale, etc...). Hors du laboratoire, les retours sonores, haptiques et olfactifs sont peu présents. Le moteur de Réalité Virtuelle correspond au système matériel et aux logiciels de gestion et de mise à jour de la présentation en fonction des entrées de l'utilisateur. Il comprend généralement une base de données modélisant la scène virtuelle, un modèle des interactions et une représentation de l'utilisateur. Pour un éclairage des aspects technologiques, voir Fuchs et Moreau (2003).

Ergonomie, Psychologie, conception et utilisation des Environnements Virtuels

La conception des EV se fonde à l'origine sur la collaboration active de nombreuses disciplines : robotique, infographie, informatique de la Communication Homme-Machine, informatique temps réel, ergonomie physique et physiologique, et plus récemment psychologie et ergonomie cognitive.

Les EV ont constitué, dès le départ, un objet de recherche à part entière pour l'Ergonomie et les disciplines des Facteurs Humains, avec l'objectif de contribuer à la conception d'EV mieux adaptée aux tâches, aux besoins et aux caractéristiques des utilisateurs. Les premières recherches ergonomiques ont porté, d'une part, sur les troubles consécutifs à l'exposition aux premiers EV : *mal du simulateur*, *troubles de l'orientation* (vertiges ou instabilité posturale), et *troubles oculomoteurs* (fatigue visuelle, diplopie, etc...) Elles ont porté, d'autre part, sur l'ergonomie physique des matériels et des dispositifs manuels d'interaction (poids et encombrement des visio-casques, aménagement des zones de contact). Par la suite, des collaborations avec une ergonomie plus psychologique se sont amorcées. Elles ont d'abord porté sur les caractéristiques de la perception et de l'action humaine (modèles et paradigmes psychophysiques). Plus récemment, l'ergonomie et la psychologie cognitive sont aussi appelées à collaborer pour l'analyse des besoins, l'analyse des interactions, la conception de dialogues plus simples et efficaces pour les utilisateurs et l'évaluation (par ex. Frejus, 1998 ; Lapointe & Robert, 2000). L'idée d'utiliser les EV comme un outil pour l'Ergonomie est plus récente (par ex. Burkhardt, 2003).

Les EV ont d'abord été considérés en Psychologie comme des outils pour l'expérimentation, plutôt que comme un objet de recherche en soit. La Psychologie expérimentale les utilise par exemple pour manipuler certains paramètres de la boucle perception-action (Péruch &

Gaunet, 1998). En Psychologie clinique et pathologique, des EV sont utilisés pour contrôler l'exposition des sujets à des stimuli, aux fins d'étude, de diagnostic et de thérapie (par ex. Riva, 1998). Une exception notable réside dans la lignée des travaux sur la notion de présence (ou télé-présence) considérée par de nombreux auteurs comme une propriété particulière de la psychologie de l'immersion dans les EV (par ex. Stanney, 1998). Une seconde exception concerne les recherches sur les EV éducatifs (par ex. Johnson, Moher, Ohlsson, & Leigh, 2001).

Aujourd'hui, les rapports entre l'ergonomie, la psychologie, et les disciplines technologiques de la recherche en ingénierie des EV vont au-delà de leur simple instrumentalisation pour la conception. Les EV peuvent être considérés comme des outils pour la recherche en même temps que des objets de recherche en eux-même, du fait qu'ils mettent en œuvre des situations perceptives et cognitives inédites. Développer cette recherche implique la constitution d'une communauté autour de cadres théoriques et de références paradigmatiques connus si ce n'est partagé, entre les différentes disciplines associées à cette technologie. La discussion qui suit sur les notions d'immersion, de réalisme et de présence est élaborée dans cet esprit.

III Notions d'immersion, de réalisme et de présence dans le contexte des Environnements Virtuels

Notion d'immersion

Le terme d'immersion se retrouve dans des formules couramment utilisées dans la communauté comme : immersion dans un monde virtuel, interfaces et systèmes immersifs, utilisateur immergé etc... La littérature exhibe des acceptions variées sur le plan du contenu et de la précision formelle. Nous en avons retenu deux principales, depuis ce qui nous semble être l'usage courant jusqu'à une définition plus opérationnelle pour la recherche¹.

Acception 1. Dans le langage courant, le terme d'immersion est compris comme *l'exposition de l'utilisateur à un EV au moyen de dispositifs occultant en partie la perception* (surtout visuelle) de l'environnement alentours, pour afficher en lieu et place une image du monde virtuel (visio-casque, salle immersive de type CAVE, etc.). Par extension, on parle d'immersion auditive, haptique, sensorielle etc. Au-delà d'un caractère informel, cette acception comporte deux ambiguïtés. D'une part, deux sémantiques différentes coexistent :

- a) *l'immersion comme l'action d'exposer l'utilisateur à un environnement simulé numériquement,*
- b) *l'effet avéré ou supposé de cette exposition sur l'utilisateur.*

D'autre part, en se focalisant sur l'aspect d'exposition, cet usage courant tend à centrer le problème sur la recréation d'une image artificielle proche de la situation réelle de référence, et à occulter les éventuelles interactions avec l'information persistante liée à l'environnement physique réel de l'utilisateur.

Acception 2. Le développement d'investigations empiriques en termes d'effet de l'immersion sur la cognition et l'apprentissage, nécessitera de définir de mieux en mieux le concept et de préciser les paramètres de sa mesure. Une définition plus formelle de l'immersion correspondrait ainsi au degré et à la qualité avec lesquels l'interface du système contrôle les

¹Il existe en outre un usage spécifique du terme dans la méthodologie de conception d'EV proposée par Fuchs (Fuchs, et al., 2003). Dans cette méthodologie, les termes d'immersion et d'interaction (I2) représentent trois niveaux du problème traité durant le processus de conception d'un EV : la spécification fonctionnelle de l'application, la composante cognitive de l'interaction, et l'interfaçage de niveau sensori-moteur.

entrées sensorielles pour chaque modalité de perception et d'action ; l'immersion peut alors se décrire dans les termes des dispositifs logiciels et matériels particuliers utilisés (Burkhardt, Lourdeaux & Fuchs, 1999). Le degré d'immersion se caractériserait alors au moins par :

- a) le sous-ensemble des modalités mises en œuvre dans l'interaction ;
- b) les propriétés (degré de complétude, qualité, paramètres du signal, etc...) des dispositifs d'interaction pour chacune des modalités visées ;
- c) la cohérence interne et la latence globale de l'information et des réactions délivrées en temps réel par le système ;
- d) les propriétés de l'environnement physique dans lequel se déroule l'expérience.

Cette acception renvoie à la notion théorique analogue de "fidélité du stimulus" (Stoffregen, Bardy, Smart, & Pagulayan, 2003) proposée pour être un indicateur de la distance entre le monde physique et sa simulation. Le concept d'immersion ainsi précisé ouvre vers la construction de métriques qui permettraient de quantifier, comparer et étudier systématiquement les effets de l'immersion sur la cognition, les performances et la satisfaction des utilisateurs.

Données empiriques sur l'immersion

La cohabitation d'acceptions variées rend difficile la lecture des résultats éparses. Le bénéfice de l'immersion n'a pas réellement de confirmation empirique. Quelques études expérimentales ont cherché à évaluer l'effet de systèmes immersifs (généralement constitué de systèmes de visualisation en 3D, souvent au moyen d'un casque ou de lunettes) en termes d'efficacité pour l'apprentissage, par comparaison avec d'autres environnements non immersifs (généralement de type micro-ordinateur présentant des images en 2 dimensions, voire des modes plus traditionnels d'enseignement). Par exemple, Adams et Lang (1995) observent une supériorité de la condition immersive, mais notent qu'elle découle probablement de la plus grande motivation des utilisateurs. Byrne (1996) a étudié l'effet de l'immersion et de l'interactivité sur l'apprentissage dans le domaine de la physique moléculaire ; l'auteur observe que seul le facteur interactivité du matériel a un effet positif. S'intéressant à l'effet de l'immersion sur l'activité cognitive, Morineau (2000) observe une dégradation de la performance à des épreuves issues des tests piagetiens. Entre autres hypothèses, l'immersion dans l'EV pourrait avoir pour effet de distraire l'attention des sujets du contenu à apprendre ou à traiter, au moins dans les premières expositions (Gay, 1994 ; Morineau, 2000). Cependant, la distraction diminuerait avec l'augmentation du nombre d'expositions (Morineau, 2000).

Notions de réalisme et de présence

Le réalisme n'est pas toujours un objectif pertinent. Pour les EV de formation, par exemple, la situation d'apprentissage autorise une déformation ou une exagération de la réalité pour faire mieux comprendre la complexité de la situation (Burkhardt, *et al.* 1999). Parfois également, les situations simulées sont abstraites et n'ont pas de représentation dans la réalité : fission nucléaire, écoulement dynamique. Le succès de la notion de réalisme traduit malgré tout la nécessité, dans beaucoup de situations (conception, expérimentation, simulation, etc...), de devoir décrire de façon fine et précise, les rapports entre le simulacre engendré par l'EV et des aspects du monde réel. Le recours à cette notion est problématique de par son caractère intuitif et singulier, dont la conséquence est que personne ne partage la même définition ni les mêmes critères. De plus il existe un recouvrement avec la notion de présence.

Cinq acceptions coexistent avec des conséquences méthodologiques pour la conception et l'investigation expérimentale. La première traduit l'usage courant de la notion de réalisme. La seconde acception est un paradigme de conception fondé sur la construction des simulations à

partir de lois ou de modèles scientifiques concernant la perception, la physique, etc... Les trois suivantes sont trois niveaux d'analyse possibles des effets psychologiques liés à l'exposition à un EV : la fidélité perceptive, la fidélité psychologique, et enfin l'illusion du réel ; nous assimilons cette dernière à la notion de présence telle que celle-ci semble majoritairement comprise.

Acception 1. La conception d'un EV amène inmanquablement à évoquer le réalisme, soit en termes d'objectif à atteindre, soit en termes de critères pour l'évaluation ou la comparaison. Le réalisme est ainsi une demande spontanée des utilisateurs invités à s'exprimer sur les améliorations qu'ils souhaiteraient pour un EV. Le réalisme constitue aussi un objectif plus ou moins explicite du cahier des charges de nombreux EV. Cet usage courant traduit souvent un jugement personnel, c'est-à-dire une évaluation subjective du degré de la (1) ressemblance ou de la (2) crédibilité d'une situation/ d'un objet pour un observateur donné. Les critères de cette estimation sont généralement non explicites, peu définis. Trois facteurs contribuent aussi à la diversité des échelles et critères spontanément associés à l'idée de réalisme :

- le grain de l'objet évalué (ex. une image, une réaction, un comportement, une simulation pour l'apprentissage) ;
- le rôle/statut de l'observateur (ex. : utilisateurs vs concepteur) ;
- la tâche, selon qu'elle consiste à évaluer la ressemblance (réalisme d'apparence) ou la crédibilité (illusion d'une « réalité » qui n'existe pas).

Acception 2. La notion de réalisme fait parfois référence à l'appariement recherché entre la construction de la simulation et les modèles biologiques/physiologiques de la perception (Carr, 1995), ou les lois de la physique. Ainsi, un EV pourra être qualifié de réaliste s'il intègre des lois ou des modèles formels de la physique, de l'évolution ou du comportement humain. Dans le domaine de la perception visuelle en particulier, la notion de réalisme est vu par certains auteurs comme la modélisation des processus perceptifs naturels de la vision, en essayant de faire coller à ces mécanismes les méthodes permettant de calculer une scène visuelle tridimensionnelle (Christou & Parker, 1995, p. 53).

Acception 3. La *fidélité perceptive* est une autre acception de la notion de réalisme qui coexiste avec la précédente. Pour Carr (1995), le réalisme fait alors référence à la création d'une expérience perceptive qui serait crédible si elle était vécue dans le monde réel. Cette définition correspond à l'idée de "fidélité subjective de l'expérience" (Stoffregen, *et al.* 2003), les auteurs soulignant que ce niveau de fidélité implique un jugement de ressemblance sans qu'il y ait doute ou illusion sur la nature artificielle du simulacre. Sur le plan de la pratique, la fidélité perceptive peut être déclinée à plusieurs niveaux :

- un niveau élémentaire considérant chaque modalité d'interaction avec l'utilisateur de façon isolée (visuelle; sonore; tactile; haptique...);
- un niveau global considérant la structure d'information répartie à travers les différentes modalités considérées dans l'EV (Stoffregen & Bardy, 2001).

En outre, un lien entre les acceptions 2 et 3 est souvent postulé. Ainsi, un processus de construction de la simulation proche des mécanismes perceptifs « naturels » s'accompagnerait d'un plus haut degré de fidélité de l'expérience subjective (Christou & Parker, 1995 ; Carr, 1995) ; toutefois, l'ampleur et le caractère systématique d'un tel lien est une question de recherche. Typiquement, l'évaluation de cette dimension du réalisme pourrait porter sur la capacité des sujets à discriminer un stimulus réel de son simulacre, dans une tâche de discrimination perceptive.

Acception 4. Une autre acception du réalisme correspond à la notion de *fidélité*

psychologique, déjà abondamment discutée dans le domaine de l'utilisation de la simulation, notamment à visée de formation (e.g. Leplat, 1997 ; Grau, Doireau & Poisson, 1998 ; Patrick, 1992 p. 497-502), et qui commence à être discutée dans le cadre de la conception d'EV (Burkhardt, 2003 ; Stoffregen, *et al.*, 2003). La fidélité psychologique se définit comme « la mesure selon laquelle le simulateur produit un comportement semblable à celui exigé dans la situation réelle » (Leplat, 1997, p. 173), ou en d'autres termes, «la proportion dans laquelle la tâche simulée engendre une activité et des processus psychologiques identiques à ceux de la tâche réelle » (Patrick, 1992, p. 487). Stoffregen *et al.* (2003) utilisent la notion similaire de "fidélité de l'action" pour traduire la relation entre la performance dans le monde réel et la performance dans l'EV. Une conséquence importante de cette définition est que l'évaluation de ce niveau de la fidélité passe obligatoirement par l'analyse des performances et des comportements de sujets ; il n'est pas accessible de façon directe par l'introspection ou l'évaluation subjective. Spécifier a priori et prédire le niveau de la fidélité psychologique est une question de recherche importante (pour l'efficacité des systèmes ET pour la connaissance des déterminants de l'activité humaine) non complètement résolue (Patrick, 1992, p. 498)

Acception 5. La notion de réalisme est parfois enfin comprise comme l'illusion d'une réalité qui n'existe pas (Carr, 1995 ; Stoffregen, *et al.*, 2003). Cette illusion est généralement associée à la notion de « présence » (Stoffregen, *et al.*, 2003 ; Burkhardt, 2003). Cette acception diffère des précédentes qui traitaient de qualités de la simulation dans l'EV, le caractère virtuel et simulé étant connu par le sujet. Chez un certain nombre d'auteurs (ex. : Draper, Kaber, & Usher, 1998), la *présence* désigne ainsi l'effet de faire percevoir comme réels ou vivants les objets, événements ou personnages avec lequel l'utilisateur interagit dans l'EV (Burkhardt, 2003). Une acception proche a trait à la déformation de la perception de l'espace chez les utilisateurs ; Lombard et Ditton (1997) relèvent trois types de déformation : l'illusion de quitter l'espace réel et d'être transporté dans l'espace engendré par l'EV, l'illusion que l'espace engendré par l'EV s'introduit et envahit l'espace réel, l'illusion d'être proche et de partager un espace commun avec des utilisateurs distants.

Quelques données empiriques sur le réalisme et la présence

Les rares études expérimentales sur le réalisme ne montrent pas de supériorité en termes d'apprentissage. Une série d'expériences récentes (Moreno, Mayer, Spires & Lester, 2001) montre que le degré de réalisme de la représentation visuelle n'a pas d'effet sur l'apprentissage : les performances des sujets sont peu différentes suivant que l'avatar ait l'apparence d'un personnage de fiction exhibant peu de comportement de « communication sociale », ou qu'il s'agisse d'un visage humain réel (vidéo) exhibant de surcroît un comportement social de communication fort (fixation du regard durant l'explication). Il existe par ailleurs une longue tradition de résultats dans le domaine des simulateurs physiques pleine-échelle montrant que la fidélité de l'apparence physique n'est pas corrélée avec la performance en termes de transfert et d'apprentissage (voir Patrick, 1992, pp 497-502). La « fidélité psychologique » n'a pas de lien direct et simple avec les autres niveaux de fidélité. D'une part, les caractéristiques intrinsèques de fidélité d'un EV ne sont pas seules responsables du niveau de fidélité psychologique puisque viennent s'ajouter l'effet des caractéristiques de l'utilisateur, ainsi que la tâche choisie. D'autre part, les études en psychologie et en ergonomie montrent qu'un aspect important de l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage et le transfert réside dans l'identification et la transposition des indices de la tâche qui permettront effectivement aux opérateurs de développer une activité similaire à celle développée en situation réelle.

L'hypothèse selon laquelle la présence facilite la performance ou l'apprentissage reçoit un soutien mitigé du fait du caractère contradictoire des résultats dans la littérature, voire de l'absence de résultats. La majorité des travaux utilise le questionnaire pour évaluer cette dimension psychologique de la cognition en EV, sans mise en relation avec d'autres

indicateurs de performance ou de comportement. Deux remarques font relativiser ce constat. La première est la diversité des usages et le flou avec lesquels le terme de présence a longtemps été utilisé. La seconde est que l'analyse de cette dimension nécessite de s'appuyer sur une méthodologie solide en même temps qu'elle doit faire référence aux théories du comportement et de la cognition humaine, ce qui n'a pas toujours été le cas.

IV Conclusion

Les propriétés les plus pertinentes d'un EV dépendent de l'objectif et de la façon dont il est (ou va) être concrètement utilisé (recherche, évaluation de compétences, formation, conception, réhabilitation). La notion de réalisme, par exemple, apparaît de façon récurrente comme une propriété explicitement nécessaire. Le réalisme s'apparente ainsi souvent à une propriété générique sans qu'il soit fait référence à une quelconque justification par rapport à la finalité du dispositif. En outre, on a vu qu'il s'agissait d'une notion mal définie. Cette tendance à considérer les propriétés des EV indépendamment (au moins relativement) de leur usage semble aussi vérifiée pour ce qui est des deux autres notions discutées dans ce papier : l'immersion, et la présence. Or, les activités perceptives et mentales des sujets ne sont pas passives : elles devraient être analysées dans le cadre d'une tâche/d'un objectif d'action à réaliser ou à apprendre.

En ergonomie, des adaptations et des recherches sont nécessaires pour contribuer à des méthodes et des principes prenant en compte les spécificités du domaine (Burkhardt, 2003). Nous suggérons de remplacer la notion de réalisme par les niveaux de fidélité pertinents pour ce qui est de l'évaluation de la qualité des EV, pour ce qui est de l'analyse des problèmes à traiter au cours de leur conception, et enfin pour ce qui est du questionnement scientifique concernant la perception et la cognition dans l'univers des manipulations rendues possibles en EV. En termes de recherche, le développement à la fois théorique et pratique d'une métrologie des EV est un premier axe. Le second axe de recherche porte sur la cognition et la perception dans les EV. Un troisième axe de recherche porte sur l'efficacité et les modes de représentation des entités et des utilisateurs dans l'EV, en quelque sorte le développement d'une « Psychologie des avatars ».

V Références

- Adams, N., & Lang, L. (1995). VR improves Motorola Training Program. *AI Expert*, may 1995, 13-14.
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques. *Le Travail Humain*, 66, 65-91.
- Burkhardt, J.-M., Lourdeaux, D., & Fuchs, P. (1999). *Conception d'un système de RV pour la formation des agents de conduites aux opérations en milieu ferroviaire*. In A. Grumbach & N. Richard (Eds.), *Journées Réalité Virtuelle et Cognition* (pp. 123-132). Paris : ENST.
- Byrne, C. M. (1996) *Water on Tap: the use of virtual reality as an educational Tool*. PhD. Dissertation, Department of Industrial Engineering, University of Washington, Seattle.
- Carr, K. (1995). *Introduction*. In K. Carr & R. England (Eds.), *Simulated and virtual realities: Elements of perception* (pp. 1-9). London: Taylor & Francis.
- Christou, C., & Parker, A. (1995). *Visual realism and virtual reality: a psychological perspective*. In K. Carr & R. England (Eds.), *Simulated and virtual realities: elements of perception* (pp. 53-84). London: Taylor & Francis.

- Draper, J. V., Kaber, D. B., & Usher, J. M. (1998). Telepresence. *Human Factors*, 40, 354-375.
- Frejus, M. (1998). *Evaluation of a virtual environment-based training tool through trainer-trainees interaction analysis*. Paper presented at ECCE-9, (pp. 115-120). University of Limerick, Ireland, August 24-26.
- Fuchs, P., & Moreau G. (2003). *Le traité de la Réalité Virtuelle*(2nd édition). Paris : Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris.
- Gay, E. (1994). Is virtual reality a good teaching tool? *Virtual Reality Special Report, Winter*, 51-59.
- Grau, J.-Y., Doireau, P., & Poisson, R. (1998). Conception et usage de la simulation. *Le Travail Humain*, 61, 361-385.
- Johnson, A., Moher, T., Ohlsson, S., & Leigh, J. (2001). *Exploring multiple representations in elementary school science education*. In H. Takemura & K. Kiyokawa (Eds.), *IEEE Virtual Reality Conference*, (pp. 201-208). Los Alamitos, CA : IEEE Press.
- Lapointe, J.-F., & Robert, J.-M. (2000). Using VR for efficient training of forestry machine operators. *Education and Information Technologies*, 5, 237-250.
- Leplat, J. (1997). Simulation et simulateur : principes et usages. In J. Leplat (Ed.) *Regards sur l'activité en situation de travail : contribution à la psychologie ergonomique* (pp. 157-181). Paris: PUF.
- Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the heart of it all : the concept of telepresence. *JCMC*, 3. Téléchargeable à l'adresse <http://jcmc.huji.ac.il>
- Moreno, R., Mayer, R. E., Spires, H. A., & Lester, J. C. (2001). The case for social agency in computer-based teaching: do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents? *Cognition and Instruction*, 19, 177-213.
- Morineau, T. (2000) Context effect on problem solving during a first immersion in a virtual environment. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 19, 533-555.
- Patrick, J. (1992). *Training : research and Practice*. London: Academic Press.
- Péruch, P. and Gaunet, F. (1998). Virtual environments as a promising tool for investigating human spatial cognition. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 17, 881-899.
- Riva, G. (1998). *Virtual Reality in Neuro-Psycho-Physiology*. Amsterdam: IOS press.
- Stanney, K. M. (1998). Aftereffects and sense of presence in virtual environments : formulation of a research and development agenda. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 10, 135-187.
- Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2001). On specification and the senses. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 195-261.
- Stoffregen, T. A., Bardy, B. G., Smart, L. J., & Pagulayan, R. J. (2003, sous presse). *On the nature and evaluation of fidelity in virtual environments*. In L. J. Hettinger & M. W. Hass (Eds.), *Psychological issues in the design and use of virtual environments* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Syseca (1998). *Industrial application of VR* (report 1786-DOC-97-D-2700-C0017165). Paris : Syseca.