

## Corps, action et cognition : la réalité virtuelle au défi des sciences cognitives

Isabelle VIAUD-DELMON\*

**RESUME** : De l'outil pour étudier l'intégration multisensorielle ou le contrôle moteur en neurosciences, au dispositif permettant de diagnostiquer et réhabiliter des patients en neurologie et psychiatrie, la réalité virtuelle n'a pas oublié de devenir un objet de recherche en soi. Un des atouts de la réalité virtuelle est de créer un espace artificiel, permettant de présenter un stimulus au sein d'un contexte. De plus, il est possible de faire participer le corps aux stimulations générées par l'ordinateur tout en immergeant le sujet dans l'espace virtuel.

Les diverses applications de la réalité virtuelle, de l'expérimental au thérapeutique, soulignent que *l'interaction*, basée sur une action volontaire de la part du sujet immergé, et que la *simulation*, sont des concepts essentiels auxquels cette technologie donne accès.

**Mots-clés** : simulation, interaction, intégration multisensorielle, émotion, psychiatrie, réhabilitation

**ABSTRACT: Body, action and cognition: virtual reality with regard to cognitive sciences.** Virtual reality technologies are used to study multisensory integration or motor control in neuroscience, have been employed as a diagnostic and rehabilitation tool in neurology and psychiatry. VR provides information and stimuli for researchers to foster further investigations and constitutes a research topic in itself. It has the potential to create an artificial space in which specific stimuli can be embedded. Furthermore, VR allows an experimentally controlled interaction with an environment in which the body of the user is an active participant. The numerous applications of VR techniques, from experimental research to clinical applications, indicate that *interaction*, based on a willing action of the immersed subject, and *simulation*, are the essentials features of VR.

**Keywords:** simulation, interaction, multisensory integration, emotion, psychiatry, rehabilitation

*“Virtual reality works because reality is virtual.”*

Lawrence Stark (1926—2004)

### 1. INTRODUCTION

Les dispositifs de réalité virtuelle ont permis la mise en place de nombreux paradigmes de recherche en neurosciences comportementales ces dernières années. La facilité avec laquelle il est possible de manipuler expérimentalement les différentes informations sensorielles fournies au sujet fait de la réalité virtuelle un outil de choix pour l'étude chez l'homme de l'intégration multisensorielle et de ses troubles (c.f. Lenggenhager et al., 2007 ; Ernst et al.,

---

\* UMR 7593 CNRS – UPMC, Centre Emotion, Hôpital de la Salpêtrière & IRCAM, 1 place Igor Stravinsky, 75004 Paris ; courriel : ivd@ext.jussieu.fr

2000 ; Warren et al., 2001 ; Viaud-Delmon et al., 1998). Elle permet d'étudier la dimension spatiale commune aux diverses modalités sensorielles contribuant à la cohérence de l'expérience perceptive multimodale.

Le plus souvent, la réalité virtuelle intègre du traitement de l'image en temps réel, des interfaces de tracking du corps et des interfaces visuelles afin d'immerger un utilisateur dans un environnement virtuel généré par ordinateur. D'autres interfaces sensorielles peuvent également être utilisées comme des systèmes à retour d'effort ou à retour tactile. Toutes ces interfaces permettent au sujet de devenir un participant actif au sein d'un environnement virtuel et de lui donner une sensation de présence<sup>1</sup> dans cet environnement (voir Loomis, 1992 pour une description phénoménologique de la présence). Les conditions dans lesquelles le sujet effectue une action peuvent être contrôlées par l'expérimentateur, enregistrées et mesurées. Les caractéristiques uniques de la réalité virtuelle et leur flexibilité en font un outil extraordinaire pour la recherche sur le comportement humain.

Ces nouvelles technologies sont de plus en plus répandues dans le domaine de la santé. Leur objectif est de représenter artificiellement l'environnement physique, et par là-même de stimuler l'intégration sensorielle telle qu'elle existe en situation naturelle. Cependant, nos sens sont trop riches pour pouvoir être stimulés avec un réalisme correspondant à l'environnement physique réel. En conséquence, une immersion en réalité virtuelle nécessite souvent de la part du sujet la simulation mentale d'un acte moteur, et de ce fait une imagerie motrice (Jeannerod, 1994). Dans la plupart des applications de réalité virtuelle pour la psychopathologie clinique, les patients sont exposés à des environnements virtuels via un visio-casque, et leurs déplacements en translation à l'intérieur de celui-ci se fait par la manipulation d'un joystick ou d'une souris. Un capteur de position de la tête est utilisé de sorte à coupler les rotations dans l'environnement virtuel aux rotations de la tête du patient. Ainsi, si les stimulations des canaux semi-circulaires sont (plus ou moins bien) couplées à une rotation visuelle de l'environnement, les déplacements en translation ne sont accompagnés d'aucune stimulation sensorielle autre que visuelle.

L'utilisation de la réalité virtuelle pour la psychopathologie clinique a fait ses preuves et a maintenant plus d'une dizaine d'années de recul. Le premier essai de traitement par exposition auprès d'étudiants sensibles à l'acrophobie a été publié en 1995 par l'équipe de Barbara Rothbaum (Rothbaum et al., 1995). Si le succès de l'utilisation de la réalité virtuelle en psychiatrie clinique n'est pas à mettre en question, il nécessite pourtant de réfléchir sur au moins deux concepts : l'opposition environnement physique/environnement virtuel, ren-

---

<sup>1</sup> Le message communément utilisé pour illustrer la réalité virtuelle aide à appréhender cette notion de *présence* : « vous mettez votre visiocasque et vous êtes transporté dans un autre monde, dans lequel vous pourrez faire des choses qu'il vous serait impossible de faire dans la réalité ». Si cette description relève encore du fantasme à la Philippe K. Dick, l'idée de *se transporter psychologiquement dans un autre monde* est pertinente, et représente la *présence*. Cette *présence* reste bien difficile à définir : il en existe sans doute autant de définitions que de chercheurs travaillant avec ou sur ce concept. D'une façon générale, on dira qu'elle renvoie à la notion d'immersion dans un environnement à l'exclusion d'un autre, comme celle que le lecteur peut ressentir à la lecture d'un livre. Pour une présentation exhaustive, le lecteur pourra se référer au chapitre de Mestre et Fuchs (2006) proposant une excellente revue des concepts impliqués dans les différentes définitions de la présence.

voyant à la notion de présence, et le paradoxe de l'intégration multisensorielle stimulée en conditions de simulation mentale d'un acte moteur.

Nous allons présenter dans cet article différents aspects de la réalité virtuelle envisagés sous l'angle de l'utilisation en clinique. La réalité virtuelle est utilisée pour représenter artificiellement des espaces, mais quelle est la nature des espaces dans lesquels les utilisateurs sont immergés ? Une immersion en réalité virtuelle demande l'adoption d'un nouveau cadre de référence, distinct de celui de l'environnement physique. Cette condition est nécessaire à l'établissement d'un sentiment de présence dans l'environnement virtuel. La présence est également liée à la richesse sensorielle des environnements proposés. Pourtant, la réalité virtuelle est souvent une métaphore inconsciente de réalité « visuelle », et la réalité virtuelle tire naturellement bénéfice du pouvoir de l'image, au prix de l'oubli de la richesse des autres canaux sensoriels qui pourraient être stimulés. Nous prendrons l'exemple des applications de la réalité virtuelle en psychiatrie et en réhabilitation motrice, pour tenter de démontrer que cette technologie permet de travailler en même temps sur l'intégration émotionnelle et sensorimotrice. Enfin, nous proposons de réfléchir à toutes les contradictions que présente la réalité virtuelle, et aux atouts ou risques sous-jacents à celles-ci.

## **2. REALITE VIRTUELLE ET PERCEPTION DE L'ESPACE**

La réalité virtuelle repose sur la représentation artificielle d'environnements et sur la simulation mentale de déplacements à l'intérieur de ceux-ci. Si l'on accepte que dans son environnement naturel, l'homme évolue dans au moins trois types d'espace, on peut se rendre compte que les frontières entre ces derniers sont remises en cause lors d'une immersion en réalité virtuelle, et ce d'autant plus dans le cas où l'utilisateur visualise l'environnement virtuel via un visiocasque. Les trois espaces considérés peuvent être définis comme suit :

- l'espace « multimodal égo-centré », qui permet de constituer le schéma corporel sur la base d'informations sensorielles ;
- l'espace « d'action », dans lequel une constante mise à jour des informations multisensorielles permet à l'homme d'évoluer dans son environnement, de s'y mouvoir et d'interagir avec celui-ci ;
- l'espace « cognitif », dans lequel l'environnement peut être représenté selon plusieurs cadres de référence, ne faisant pas intervenir de façon active l'intégration sensorielle, cet espace étant présent cognitivement en l'absence de mouvement et de locomotion.

### ***2.1. Les espaces de la réalité virtuelle***

Accepter d'évoluer dans un environnement de synthèse invoque un espace cognitif dans les cas où l'immersion repose sur une simulation mentale de déplacement. Par exemple, dans les jeux vidéo, les déplacements visualisés à l'écran ne sont pas accompagnés d'un déplacement dans l'environnement physique. Pour affronter une tâche de déplacement vertical par exemple (gravir un mur), le sujet peut s'aider efficacement d'une tâche d'imagerie mentale lui permettant de placer son avatar à des endroits plus stratégiques que d'autres pour l'aider dans sa progression. Même s'il s'agit d'une simulation mentale, celle-ci implique donc un espace d'action, en l'absence de toute intégration d'informations sensorielles.

L'espace multimodal égocentré est le plus rarement évoqué dans la réalité virtuelle quand un visiocasque est utilisé. Le plus souvent, par facilité, le corps de l'utilisateur est « négligé » et n'est pas représenté dans l'environnement synthétique<sup>2</sup>. Les dispositifs de type salle immersive (CAVE) et de réalité augmentée permettent d'éviter ce problème. Dans les applications utilisant un visiocasque, y a-t-il des effets potentiels de l'immersion sur l'image du corps et le schéma corporel de l'utilisateur ?

Le schéma corporel est une représentation interne dynamique des propriétés spatiales et biomécaniques du corps. Le schéma corporel se distingue de la représentation conceptuelle du corps, dénommée « image du corps ». Cette distinction, proposée par Head and Holmes (1912), considère le schéma corporel comme « un standard combiné par rapport auquel tous les changements de posture sont mesurés, avant même que le changement de posture ne soit conscient » et l'image du corps comme « une représentation interne de l'expérience consciente des informations visuelles, tactiles et motrices d'origine corporelle ». Afin de distinguer facilement les deux notions, nous reprendrons la proposition de Paillard (1999), qui définit l'image du corps comme le corps identifié et le schéma corporel comme le corps situé.

Lorsqu'un avatar est utilisé (représentation graphique de l'utilisateur au sein de l'environnement virtuel, le plus souvent partielle – un bras ou une main), le sujet doit se projeter dans l'avatar et l'accepter comme une partie de son corps identifié. Il est aussi possible d'utiliser un avatar qui sera une représentation à la troisième personne du sujet immergé : c'est le cas dans certains jeux où le joueur manipule la position et les mouvements de base (marcher, courir, sauter) d'un personnage dont il endosse le rôle, d'un point de vue allocentrique, renvoyant quelque peu à une expérience d'héautoscopie (Brugger, 2002). Le corps identifié sera ainsi complètement distinct de celui de l'utilisateur. Le schéma corporel de l'utilisateur sera également complètement détaché du schéma corporel de l'avatar (dont l'utilisateur devra cependant construire une représentation afin de contrôler efficacement l'avatar et maîtriser ses possibilités de mouvements).

Dans le cas où les mouvements du corps de l'utilisateur sont couplés à ceux de l'avatar, le schéma corporel de l'utilisateur pourra être malmené : les propriétés du corps de l'avatar peuvent difficilement reproduire en temps réel les propriétés biomécaniques du corps de l'utilisateur (dans le cas où le sujet serait complètement couplé à l'avatar via des capteurs sur chacune de ses articulations). Même si l'utilisateur est partiellement représenté dans l'environnement virtuel (son bras ou sa main), les mouvements de son avatar devront respecter certaines primitives de bases ne violant pas les seuils perceptifs au-delà desquels le sujet ne serait que spectateur des mouvements du corps de l'avatar censé le représenter.

Bien que les applications utilisées en psychopathologie clinique fassent appel en général à un visiocasque, rares sont celles dans lesquelles est utilisé un avatar. En conséquence, si le visiocasque est couplé à un capteur des mouvements de la tête, l'utilisateur voit le sol virtuel en baissant la tête mais ne voit pas ses pieds sur le sol virtuel. Il peut mettre la main devant son visiocasque

---

<sup>2</sup> Sauf dans le cas d'environnements créés pour travailler sur le contrôle moteur, dans lesquels une partie du corps du sujet (par exemple sa main), sera représentée visuellement et couplée par des capteurs aux mouvements exécutés.

mais ne la voit pas. Son corps est temporairement négligé en ce qu'il n'est plus accessible au système visuel. Si l'application prend le parti de représenter le corps du sujet dans l'environnement virtuel pour qu'il puisse voir ses pieds s'il regarde par terre, il faudra se demander comment on représentera celui-ci : doit-on scanner le sujet pour que son image fidèle soit incluse dans l'environnement virtuel, respectant ainsi son image du corps ? Doit-on au contraire le représenter de la façon la plus générique possible afin qu'il puisse s'y projeter facilement ? Pour toutes ces raisons, la plupart des applications du domaine de psychiatrie choisissent de ne pas représenter le corps, alors que le point de vue est à la première personne.

Cet aspect de la réalité virtuelle peut paraître contradictoire si l'on considère qu'il n'y a pas d'espace sans corps. Si l'on n'oublie pas que la réalité virtuelle, telle que la plupart des applications intégrant un visiocasque les utilisent, néglige le schéma corporel, elle s'avère au contraire un paradigme permettant de dissocier temporairement l'espace multimodal égocentré des deux autres espaces décrits. A ce titre, elle devient un outil rendant possible l'étude de la relation entre les différents espaces de l'Homme.

## *2.2. Quel cadre de référence en réalité virtuelle ?*

Nous avons utilisé la réalité virtuelle pour étudier les réponses perceptives à l'exposition à un conflit visuo-vestibulaire dans lequel l'amplitude des informations visuelles était deux fois plus importante que l'amplitude des informations vestibulaires. Nous avons ainsi observé que la recalibration du signal vestibulaire au niveau perceptif intervient sans conscience du conflit, suggérant que l'environnement virtuel a pourvu un cadre de référence stable pour l'interprétation des informations sensorielles (Viaud-Delmon et al., 2000). Cependant, nous avons également observé que l'intégration multisensorielle peut être sollicitée de façon différente dans un environnement physique et dans un environnement virtuel. Les post-effets visuo-vestibulaires liés à l'exposition à des rotations répétitives du corps entier ne sont pas les mêmes en environnement virtuel et physique. Alors que des rotations dans l'environnement physique aboutissent à une calibration précise de la perception vestibulaire, la même tâche effectuée en réalité virtuelle provoque des effets incohérents.

Cette observation soulève plusieurs questions, notamment au sujet des potentielles limitations de l'application de la réalité virtuelle à la santé. Le mapping imparfait entre l'information vestibulaire et l'information visuelle rendue dans le visiocasque provoque probablement une adaptation différente de celle observée dans l'environnement naturel : même s'il n'existe pas de conflit spatial entre les deux informations, il existe un décalage temporel entre celles-ci, du au temps de calcul et aux interfaces. Il est pour l'instant impossible d'échapper aux conflits sensoriels qui sont inhérents aux systèmes de réalité virtuelle, même si ceux-ci ne sont, dans le meilleur des cas, que d'ordre temporel. Il est également possible que cognitivement, l'immersion en réalité virtuelle nécessite l'adaptation à un autre cadre de référence passant par l'oubli temporaire de l'environnement physique. La réalité virtuelle ferait ainsi nécessairement appel à deux types d'adaptation, sensorielle et cognitive, qu'il serait sans doute intéressant de prendre en considération lors de l'utilisation de celle-ci.

### 3. REALITE VIRTUELLE, REALITE VISUELLE ?

Alors que le monde du son a évolué de concert avec les récents progrès technologiques, le monde des images semble toujours dominer notre perception. La réalité virtuelle est souvent une implicite réalité virtuelle visuelle, et les applications de réalité virtuelle, qu'elles relèvent du jeu, de l'apprentissage ou même de l'art, s'adressent principalement à la vision. Alors que l'on sait l'importance de la notion d'espace pour la sensation de présence dans les environnements virtuels (Hendrix et Barfield, 1996), peu de travaux s'attachent à exploiter le potentiel fourni par les stimulations virtuelles s'adressant au système auditif de l'utilisateur. L'audition est pourtant la seule modalité sensorielle de l'Homme à pouvoir le mettre en relation avec l'ensemble de l'espace qui l'entoure. Elle se distingue en cela de tous les autres organes sensoriels dont la disposition sur le corps permet la captation des stimuli dans un seul plan.

Les attributs spatiaux de la perception auditive et les signaux qui accompagnent ces attributs constituent ce qui est appelé l'audition spatiale (Blauert, 1997). La perception auditive est une des voies importantes, avec la vision, par lesquelles nous accédons à la connaissance de l'espace. Le plus souvent, dans les environnements virtuels, l'audition est uniquement sollicitée de manière associative : un événement visuel donné déclenche un son donné qui n'est pas spatialisé en 3D. Pourtant, le système auditif exploite simultanément des indices binauraux (perception directionnelle horizontale) et des indices monauraux (perception directionnelle verticale et distance) qui peuvent être synthétisés pour créer des scènes sonores virtuelles. Parallèlement, la perception auditive interprète la signature acoustique de la salle, liée aux réflexions et à la réverbération sur les parois, pour compléter la représentation spatiale de l'espace.

L'exposition à un environnement virtuel qui n'est que visuel manque donc d'une composante essentielle de notre environnement physique, puisque la modalité auditive fournit constamment des informations sur notre environnement et la façon dont nous y évoluons. Il est donc important de tenter d'intégrer à un dispositif de réalité virtuelle des outils de synthèse de scènes sonores gérant la restitution de la localisation statique ou dynamique des sources dans l'espace ainsi que la création d'un effet de salle associé (Tsingos et Warusfel, 2006).

Sur le plan technique, les applications de réalité virtuelle auditive ont généralement recouru au mode de restitution binaurale. Celle-ci repose sur la mesure préalable d'un jeu de filtres (Head Related Transfer Functions –HRTF) consignnant l'ensemble des indices nécessaires à la perception pour suggérer la présence d'une source selon une incidence particulière et constitue à ce titre un facteur important d'immersion pour les systèmes de réalité virtuelle. Associé à un dispositif d'écoute simple (écouteurs) et à un suivi des mouvements de l'auditeur, ce procédé constitue une technique idéale. En pratique, l'une des difficultés majeures auxquelles elle est confrontée est la dépendance individuelle des HRTFs. En particulier, l'utilisation de HRTF génériques (issues de mesures sur tête artificielle ou de moyennes statistiques) induit le repliement de la perception des stimuli auditifs de l'hémisphère avant dans l'hémisphère arrière, autour du plan de symétrie frontal.

L'ajout de la modalité auditive interactive lors du travail avec des patients anxieux permet d'améliorer le sentiment de présence exprimé par les patients (Viaud-Delmon et al., 2004), facteur essentiel à une exposition en réalité vir-

tuelle. Cependant, des problèmes peuvent surgir à l'ajout d'une nouvelle modalité sensorielle. En effet, la cohérence subjective des signaux sonores et visuels peut être difficile à obtenir. Ainsi, l'ajout de la modalité sensorielle auditive pose la question de la construction d'environnements virtuels multimodaux. Il n'est pas facile, aussi bien au plan technique que conceptuel, d'envisager des environnements artificiels dans lesquels chaque modalité sensorielle vient enrichir l'intégration sensorielle plutôt que de générer un canal d'information supplémentaire pouvant de fait créer une surcharge cognitive (Lipowski, 1975).

Finalement, intégrer des stimulations sonores à un système de réalité virtuelle nécessite de s'intéresser aux interactions visuo-auditives afin de comprendre de quelle façon le rendu visuel et auditif d'un environnement virtuel affecte la perception de l'utilisateur. Cette compréhension pourrait conduire au développement de nouveaux algorithmes pour le rendu des environnements virtuels. Les problèmes potentiellement générés incluent le rôle de la congruence spatiale et temporelle sur la perception de qualité de l'immersion, ainsi que l'influence du monde sonore sur la perception visuelle.

#### **4. REALITE VIRTUELLE ET THERAPEUTIQUE**

Les technologies de la réalité virtuelle proposent un nouvel abord de l'étude des déficiences des fonctions cognitives et motrices ainsi que des mécanismes de compensation ou de suppléance. Par conséquent, elle permet de repenser l'approche de la réhabilitation des fonctions cognitives et motrices (Klinger et al., 2006).

La réalité virtuelle a rapidement été saisie par le champ de la réhabilitation motrice, fournissant aux participants une pratique répétitive, un feedback sur leur performance, et améliorant la motivation (Holden, 2005 ; Weiss et al., 2004). En santé mentale, les applications des technologies de réalité virtuelle sont potentiellement nombreuses. La réalité virtuelle a été employée comme une alternative à l'exposition in vivo pour différentes phobies depuis plus d'une dizaine d'années (voir Riva, 2005 pour revue). Elle offre de nombreuses applications que ce soit au niveau diagnostique ou thérapeutique. Elle permet de travailler sur les aspects intégrés des troubles puisqu'elle autorise aussi bien l'évaluation des comportements cognitifs que sensoriels. L'exposition de patients à des environnements virtuels consiste ainsi en une nouvelle forme de thérapie, permettant notamment de démontrer que des facteurs sensoriels et cognitifs sont en jeu dans le maintien de certains comportements psychopathologiques.

Cependant, l'utilisation de dispositifs de réalité virtuelle en psychopathologie clinique et expérimentale nécessite de réfléchir en particulier sur deux obstacles éventuels (Viaud-Delmon et al., 2001) :

- l'outil ne sollicite qu'un nombre limité de modalités sensorielles, qui se restreint le plus souvent aux modalités visuelles et idiothétiques. Le nombre de modalités sensorielles stimulées étant lié à la sensation de présence (Sheridan, 1992), ce point est important. La présence du patient dans l'environnement virtuel est un facteur essentiel pour la réussite de sa thérapie. Si la plupart des études ne rapportent aucun lien entre le succès d'une thérapie et le sentiment de présence du patient, c'est bien souvent parce qu'un patient qui ne parvient pas à obtenir un sentiment de présence suffisamment convaincant lors de sa première séance, abandonne sa thérapie (voir par exemple Krijn et al., 2004). Ainsi, aucune relation

linéaire ne lie la présence au succès d'une intervention. Un seuil de présence, restant encore à définir, est par contre la condition sine qua non du succès de la thérapie.

- la réalité virtuelle revêt un caractère « déréalisant », et renvoie là encore à la notion de présence. En acceptant l'idée que l'immersion d'un sujet dans un environnement virtuel nécessite l'adhésion à un nouveau cadre de référence, distinct de l'environnement physique, nous acceptons qu'il s'agit là d'une déréalisation induite. Il est alors légitime de se demander dans quelle mesure le sujet exposé à l'environnement virtuel est capable de complètement dissocier deux cadres de référence, ou si au contraire les comportements suscités lors de l'immersion persistent lors de la réintroduction dans l'environnement physique. Plusieurs études ont déjà rapporté les liens existant entre la propension aux expériences dissociatives et le niveau de présence en réalité virtuelle (Wiederhold et al., 2003 ; Viaud-Delmon et al., 2006 ; Murray et al., 2007). Si les thérapies par exposition en réalité virtuelle tirent profit de cette capacité à confondre le réel et le virtuel, il est nécessaire de ne pas oublier les risques que cette confusion peut comporter pour certaines populations pathologiques dont une des caractéristiques est le sentiment d'irréalité de l'environnement physique. A l'opposé, un manque total de flexibilité par rapport au réel (impossibilité de s'enfuir du réel) sera la cause de l'échec d'une thérapie en réalité virtuelle, rendant impossible la présence dans l'environnement virtuel.

Un sujet ne peut s'immerger vraiment dans un environnement virtuel que s'il est capable de dépasser le rappel à la réalité de l'environnement physique qui s'exprime au travers de la pérennisation du conflit sensoriel inhérent à la réalité virtuelle. Il est nécessaire pour lui d'oublier ou d'inhiber les informations sensorielles fournies par sa présence physique dans l'environnement réel. On touche là à l'essence même du phénomène de « présence » ; il ne peut y avoir d'adhésion à l'environnement virtuel sans abstraction de l'environnement physique réel et donc sans inhibition des informations sensorielles qui nous rappellent son existence. On conçoit ainsi que ces opérations nécessaires d'abstraction de l'environnement physique réel représentent une sollicitation particulière pour les sujets sensibles à la déréalisation.

#### ***4.1. Corps et cognitions***

L'utilisation des nouvelles technologies en clinique propose un renouvellement thérapeutique dont les limites constituent certains de ses intérêts. En psychiatrie, la possibilité de présenter à des patients phobiques un objet phobogène virtuel permet une exposition en toute sécurité et simplifie les séances pour le thérapeute. Si un arachnophobe peut être effrayé à la seule pensée d'une araignée, il est intéressant de modéliser une araignée en contrôlant son apparence et en maîtrisant les paramètres qui font de cet objet une araignée. Dans certain cas, une tâche floue dont le patient s'imagine que c'est une araignée suffit à évoquer la phobie. Un autre patient éprouvera la peur à la simple vue du contexte dans lequel il a vu une araignée (Granado et al., 2007) ; il existe même des phobiques qui ont déjà peur à la seule idée de se représenter l'araignée. L'araignée dans sa stricte définition n'a plus grand-chose à voir dans le déclenchement de la peur. Toute une construction cognitive s'est mise en place facilitant un abrasement amygdalien à la moindre occasion (Larson et al., 2006) : les stimuli aversifs sont traités non consciemment mais peuvent

néanmoins provoquer l'apparition de symptômes du système nerveux autonome (Öhman & Soares, 1993 ; 1994). Il n'empêche, la possibilité qui est offerte au patient de promouvoir une pensée en lieu et place d'une action via une immersion dans un environnement virtuel lui permet à chaque instant, via un rappel aux références du réel, de décider que l'araignée qu'il perçoit n'existe pas.

Est-ce que les environnements virtuels permettront de dépasser les théories behavioristes à la base des thérapies cognitives et comportementales classiques en montrant que pour déconstruire une phobie, il est plus utile de travailler sur le contexte sensoriel que sur l'objet spécifique ? Un atout indéniable de la réalité virtuelle réside en effet dans le contexte d'association sensoriel et cognitif qu'elle permet de recréer, tout en laissant la liberté au sujet de croire ou ne pas croire à l'environnement. Toute construction de processus mental intervient dans un contexte sensoriel. Le cas extrême de l'attaque de panique illustre ce propos. Lors de la première attaque de panique, les symptômes sensoriels seront les déterminants d'un développement phobique de la pathologie, où le contexte environnemental sera facilement associé à la survenue des malaises intenses (Marks, 1988). Très souvent, les troubles psychopathologiques sont accompagnés de plaintes somatiques (Pinto et al., 1999). Que ces symptômes soient secondaires ou primaires ne justifie pas leur négligence. Sans relever d'une démarche étiopathogénique, la réalité virtuelle permet de prendre en considération les aspects sensoriels de certains troubles psychiatriques, en invoquant les difficultés sensorielles présentes lors des moments d'angoisse.

En psychiatrie, rares sont les pathologies qui sont accompagnées par un problème sensoriel isolé et bien cerné. Les manifestations relevant de l'intégration multisensorielle sont les plus fréquentes. Par exemple, le vertige est un des symptômes les plus courants des pathologies anxieuses (Kenardy et al., 1992), et est également présent dans la schizophrénie (Levy et al., 1983 ; Schilder, 1933). L'héautoscopie, symptôme transnosographique, relève également de l'intégration multisensorielle (Blanke et al., 2004). Ne plus considérer ces symptômes comme des manifestations secondaires de la pathologie mais viser à leur amélioration en se servant des nouvelles technologies interactives relève d'une démarche intégrative.

#### **4.2. Des jeux thérapeutiques**

Avec l'avènement de la réalité virtuelle, il a été possible de faire participer le corps aux stimulations générées par ordinateur. Les interfaces deviennent progressivement purement sensorielles au lieu d'être médiatisées par des instruments de contrôle du type clavier, souris ou joystick. L'industrie du jeu a rapidement vu l'intérêt que pouvait susciter cet apport auprès du grand public en proposant par exemple un tapis de danse, EyeToy™ (Sony PlayStation®, voir fig.1.A et B), puis la Wii™ (Nintendo). Le joueur n'a plus à contraindre ses mouvements pour provoquer et contrôler des actions dans le jeu : c'est avec les mouvements naturels de son corps qu'il interagit avec le programme. Dans le cas d'EyeToy™, la silhouette du joueur est filmée par une webcam et intégrée directement dans le jeu, en temps réel. Le joueur doit combattre ses ennemis ou percer des ballons qui lui tombent dessus en bougeant ses bras comme il le ferait dans l'environnement physique. Le tapis de danse contient des capteurs couplant les pas du sujet au jeu, permettant au programme de

calculer si le danseur est en rythme et exécute les pas recommandés. La Wii™ est équipée de capteurs couplant les mouvements auxquels elle est soumise avec l'action dans le jeu vidéo.

Ces outils sont robustes, clefs en main et peu onéreux en comparaison avec les systèmes de réalité virtuelle développés pour la recherche. Plusieurs équipes les ont déjà intégrés à leur matériel clinique (Weiss et al., 2004), même s'ils sont plus communément utilisés pour la réhabilitation motrice qu'en psychopathologie clinique. Comment associer ces outils relevant du domaine du jeu à de nouvelles formes de thérapie ? L'utilisation de ces jeux interactifs ne représenterait-elle que la modernisation d'une séance de pseudo-kinésithérapie axée sur le corps du patient ? Grâce à l'ordinateur, il est possible d'insérer une tâche dans un contexte visuel. Avec les interfaces permettant de capter les mouvements du corps de l'utilisateur, il est possible de faire agir ce dernier au sein d'un environnement virtuel. Ainsi, non seulement le patient est exposé à une situation phobogène, mais les réactions de son corps participent à l'évolution de l'environnement synthétique. A ce titre, les technologies de la réalité virtuelle incluant des outils aussi performants que ceux proposés par les jeux pourraient fournir un paradigme révolutionnaire luttant contre la dualité corps vs. esprit.

### **5. STIMULER L'INTEGRATION EMOTIONNELLE ET SENSORIMOTRICE**

En psychopathologie clinique, on se trouve souvent confronté à des populations de patients dont la plainte émotionnelle accompagne une pathologie neurologique ou vestibulaire. Il en est ainsi des pathologies neurologiques handicapant la motricité du patient, comme la sclérose en plaque ou la maladie de Parkinson. En psychiatrie, le rôle du clinicien ne sera pas d'améliorer la mobilité du patient, mais de réduire les conséquences de la neuropathologie sur sa vie émotionnelle. De nombreux patients développent des comportements phobiques par rapport à leur trouble moteur, finissant par restreindre leurs déplacements au point de rester cloîtrés chez eux. Dans cette population, les nouvelles technologies donnent l'opportunité unique de stimuler l'intégration émotionnelle et sensorimotrice pour améliorer la qualité de vie du patient, faisant de ce type d'intervention un modèle de ce que peut représenter l'apport des nouvelles technologies interactives.

#### ***5.1 Exemple de la relation entre troubles de l'équilibre et émotion***

La relation entre l'émotion et le vertige a été étudiée depuis des siècles (de Sauvages, 1770 ; Benedikt, 1870). Le vertige est un symptôme associé à de nombreuses pathologies psychiatriques. Réciproquement, les patients souffrant de troubles vestibulaires développent fréquemment des troubles anxieux. Plusieurs études ont trouvé une corrélation entre un trouble vestibulaire et une constellation de symptômes anxieux, surtout ceux caractérisant le trouble panique avec agoraphobie ou l'acrophobie (phobie des hauteurs). La corrélation entre anxiété et vertige est apparente aussi bien dans des études faites auprès de patients ayant des troubles de l'équilibre qu'auprès de patients anxieux. Si plusieurs études ont tenté d'établir une nature causale à cette relation en tentant de mettre à jour un trouble vestibulaire chez des patients anxieux, aucune n'a pu révéler que le système vestibulaire était la cause organique de l'anxiété (voir Asmundson et al., 1998 pour revue).

Il a été proposé que la symptomatologie du vertige chez les patients agoraphobes soit liée à une stratégie visuelle ou proprioceptive de maintien de l'équilibre ou de l'orientation (Jacob et al., 1997). Comme une vulnérabilité anormale à la déstabilisation a été démontrée chez ces patients lors des conditions conflictuelles de l'équitést (test de posturographie dynamique), il a également été envisagé qu'un traitement anormal de l'intégration des informations multisensorielles soient à l'origine des sensations de vertiges.

Le recouvrement entre l'anxiété et les troubles de l'équilibre peut être efficacement pris en compte dans les procédures thérapeutiques, par une prise en charge de l'anxiété aussi bien que de la réhabilitation vestibulaire. La réhabilitation vestibulaire s'avère efficace chez les patients agoraphobes ayant des symptômes vestibulaires (Jacob et al., 2001). Réciproquement, la réhabilitation vestibulaire a un rôle dans le dépassement de l'acrophobie lors de laquelle un vertige excessif des hauteurs est ressenti (Whitney et al., 2005 ; Pavlou et al., 2004).

Une étude récente rapporte le succès du traitement d'un patient agoraphobe ayant poursuivi sa thérapie comportementale par une réhabilitation vestibulaire. La conclusion de l'étude est que les deux types de traitement pourraient être menés parallèlement (Andersson et al., 2006). Jusqu'à maintenant, les dispositifs de réalité virtuelle ont été utilisés à des visées spécifiques, se focalisant sur une thérapie de type rééducation (réhabilitation motrice, vestibulaire...), ou sur une thérapie plutôt cognitive et comportementale. Le défi de la prochaine génération d'exercices de réhabilitation pourrait bien être de réconcilier ces deux aspects dans la même session.

Les patients atteints de sclérose en plaque peuvent souffrir de différents symptômes. Les troubles de l'équilibre, la rigidité musculaire, et les troubles moteurs contribuent au développement d'une peur de tomber, pouvant diminuer considérablement le niveau de qualité de vie. Il existe une relation entre l'anxiété et le comportement moteur : alors que la peur de tomber est une réponse adaptative aux symptômes moteurs de la maladie, elle est souvent à l'origine d'une restriction dans les activités quotidiennes qui nécessite d'être prise en compte dans le développement de la pathologie. En travaillant avec la réalité virtuelle et les outils multimédia interactifs, les patients renforcent la boucle perception-action (grâce à la présentation visuelle dans l'environnement virtuel des conséquences de leur action motrice), et mettent en œuvre des stratégies les préparant à la marche. Les exercices aident par ailleurs les patients à maîtriser leur équilibre postural, et à effectuer des actes moteurs qu'ils ont peur de faire dans la vie quotidienne, mais qui sont ici déclenchés sans crainte grâce au côté ludique des situations qui leur sont proposées. Un désamorçage du comportement phobique lié à la chute peut alors s'opérer, en aidant le patient à prendre conscience de ses limites motrices.

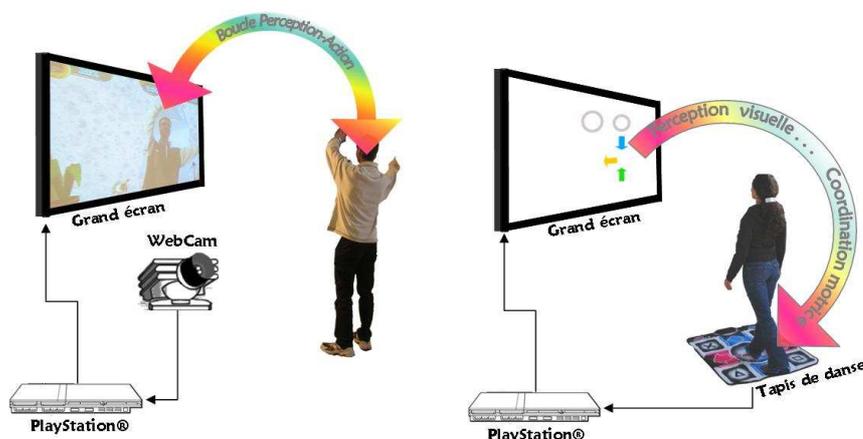


Figure 1. Dans EyeToy (à gauche), la silhouette du sujet est capturée par la webcam et insérée dans le jeu. Le joueur agit en fonction du résultat de ses actions en se voyant dans le jeu projeté sur grand écran. Avec le tapis de danse (à droite), le joueur doit effectuer des pas selon les consignes visuelles qui sont indiquées à l'écran. Aucun feedback de ses actions ne lui est donné en temps réel.

Lors de sa thèse, Feryel Znaïdi a observé auprès d'une telle population les effets bénéfiques de séances combinant navigation en réalité virtuelle et exercices pratiqués dans des jeux multimédia interactifs sur Sony PlayStation® (Znaïdi, 2007). Pendant les navigations virtuelles, les patients sont immergés via un visiocasque et un capteur des mouvements de la tête. Ils sont assis sur une chaise pouvant tourner facilement sur son axe vertical. Ils avancent dans l'environnement virtuel en cliquant sur une souris, et tournent en contrôlant les rotations de la chaise. Cette navigation a pour but de renforcer la perception d'une marche fluide sans risque de chute, et offre des possibilités de pratiquer des exercices d'imagerie motrice. Ici, l'imagerie motrice est renforcée par le feedback visuel de leurs rotations, et absoute de la réalité du corps puisque ce dernier n'est pas représenté dans l'environnement. La simulation mentale effectuée par le patient est dissociée de son schéma corporel et de son image du corps, alors qu'il est en même temps stimulé sensoriellement au niveau visuel, vestibulaire et proprioceptif. Il est demandé au patient de faire attention aux obstacles présentés dans l'environnement virtuel et de les confronter mentalement.

Les exercices interactifs sont pratiqués avec EyeToy™ et le tapis de danse (fig.1) sur PlayStation® Sony. Le feedback visuel du corps du patient, qui est incorporé dans le jeu, renforce le contrôle dynamique de l'action. Ces exercices facilitent la mise à jour des informations sensorielles et résultent en une adaptation appropriée de la posture. Les exercices pratiqués avec les technologies interactives évitent la situation décorporalisée de la réalité virtuelle. Ils permettent de diriger l'attention du patient sur les effets de leurs

mouvements sur l'environnement, et ainsi, de les détacher de l'exécution elle-même du mouvement. La capture vidéo du corps et le retour visuel de celui-ci renforcent l'expérience consciente d'être un agent, à l'origine de ses actions (Tsakiris et al., 2006).

### **5.2. La réalité virtuelle en réhabilitation motrice et en psychiatrie : quelle différence ?**

Dans l'exemple que nous venons de décrire, nous utilisons pour une application en psychiatrie les mêmes outils que ceux utilisés en réhabilitation motrice. Il nous arrivera de confronter un patient déprimé à EyeToy™ au même titre qu'un patient neurologique. Nous utiliserons la même ville virtuelle pour traiter le patient agoraphobe et le patient ayant des troubles moteurs. A ce titre, quelle que soit sa pathologie, tout patient fait des séances de réhabilitation motrice avec EyeToy, et des séances d'imagerie motrice avec la réalité virtuelle. En effet, les mécanismes mis en jeu par les thérapies sont souvent semblables, même si les symptômes ne se ressemblent pas en apparence. Si les outils et les mécanismes sont les mêmes pour la réhabilitation motrice et la réhabilitation émotionnelle, on peut se demander si les caractéristiques, qui particularisent cette technique par rapport aux techniques traditionnelles utilisées en psychiatrie, ne relèvent pas du simple fait de solliciter des mouvements du corps chez le patient.

On sait que l'implication du corps sous la forme d'une activité physique élémentaire est anxiolytique, et l'exercice physique peut être utilisé de façon thérapeutique : les symptômes de l'anxiété et du trouble panique s'améliorent avec la pratique régulière d'une activité physique (Paluska et Schwenk, 2000 ; Broman-Fulks et al., 2004 ; Strohle, 2005). Les mécanismes sous-jacents aux bénéfices de l'exercice physique sur la santé mentale ne sont pas clairs, mais les exercices faits en réalité virtuelle ne peuvent se résumer à des exercices physiques au même titre que le stretching ou l'aikido. Les technologies de la réalité virtuelle ne stimulent pas les modalités sensorielles en isolation mais promeuvent le couplage du corps aux cognitions. Le patient effectue une action dans un contexte parfois émotionnel, et de toute façon cognitif : il a une tâche à effectuer, qui fait elle-même partie d'un scénario donnant un sens à la tâche. Pourtant, le bénéfice potentiel des technologies interactives pour l'évaluation de la relation entre les symptômes sensoriels d'une part, et les symptômes cognitifs et émotionnels d'autre part, a rarement été étudié directement en psychiatrie et en neurologie.

Le défi commun aux différentes applications thérapeutiques de la réalité virtuelle est d'identifier des outils d'intervention efficaces et motivants, permettant de transférer les compétences acquises durant le traitement au fonctionnement dans l'environnement physique. Pour la réhabilitation motrice, le but est d'atteindre une généralisation des acquis à des tâches non entraînées. En psychiatrie clinique, le traitement doit permettre au patient de généraliser la réduction des symptômes à toutes les situations qui peuvent générer de la peur. Ainsi, les deux champs partagent le problème du transfert et de la généralisation à l'environnement physique. Cette question critique est encore ouverte mais des études tendent à prouver que ce but peut être atteint, aussi bien en réhabilitation qu'en psychiatrie clinique (Riva, 2005 ; Holden, 2005 ; Sveistrup, 2004).

### 5.2.1. *Du mapping sensoriel imparfait au feedback sensoriel manipulé*

Nous l'avons déjà souligné, les limitations technologiques des systèmes de réalité virtuelle sont à l'origine d'un mapping imparfait entre les actions motrices et le retour sensoriel de ces actions (par exemple le mouvement de la tête et ses conséquences visuelles). Les réactions physiologiques à cette situation peuvent prendre la forme de la cinétose (McCauley et Sharkey, 1992). Malgré ces limites, l'introduction d'une interface entre les actions motrices et le retour sensoriel fournit un moyen de manipuler la relation entre les différentes modalités sensorielles, et ainsi de stimuler l'intégration sensorielle.

La réalité virtuelle est un outil unique pour renforcer la boucle perception-action via un mapping imparfait entre les modalités sensorielles. Une des différences majeures entre la réhabilitation motrice et la psychiatrie est que le feedback sensoriel augmenté n'est pas utilisé en psychiatrie, alors qu'en réhabilitation motrice, la manipulation de la boucle perception-action est souvent le point crucial de la procédure. Les technologies permettent de fournir les informations pertinentes pour la réalisation de la tâche avec la coordination désirée, et assiste dans son exécution. Par exemple, un délai augmenté dans le retour visuel améliore le contrôle postural après immersion, ce qui représente un traitement potentiel pour les patients vestibulaires (Akizuki et al., 2005). Un feedback augmenté a également été utilisé pour entraîner les paramètres perceptifs de mouvements permettant l'amélioration de l'équilibre postural de patients atteints de sclérose en plaque (Baram et Miller, 2006).

L'agentivité peut être artificiellement renforcée de la même façon. Ainsi, les points faibles de la réalité virtuelle, s'ils sont pris en considération, peuvent être utilisés dans une autre perspective en psychiatrie. La réalité virtuelle a déjà été utilisée efficacement pour démontrer que les schizophrènes ne reconnaissent pas leurs actions quand un feedback visuel leur en est donné avec un délai temporel (Franck et al., 2001). Il serait ainsi intéressant de tenter une réhabilitation de l'agentivité par la manipulation de la boucle de retour sensoriel, en ajustant progressivement le délai temporel, ou en distribuant les conséquences d'une action sur de multiples modalités sensorielles.

### 5.2.3. *Présence et implication sensorielle*

Un des atouts essentiels des technologies de réalité virtuelle est l'interaction qu'elle permet de créer entre un environnement qui n'existe pas et le participant, et ce au travers de l'implication du corps et de l'action. Ceci permet de maintenir un haut niveau d'intérêt et un côté ludique dans le dur travail de réhabilitation, aussi bien que dans la confrontation avec un stimulus phobogène dans le domaine de la psychiatrie.

En psychiatrie, le but à atteindre est de donner au patient une illusion convaincante sur l'environnement dans lequel il a le sentiment d'être : il doit agir dans l'environnement virtuel et non plus dans l'environnement physique. Le nombre de modalités sensorielles par lesquelles le sujet est couplé à l'environnement virtuel contribue au sentiment de présence et l'implication multisensorielle est une des clefs des réussites de la réalité virtuelle. Un dispositif de réalité virtuelle engageant plusieurs canaux sensoriels supprime les stimuli de l'environnement physique, mais provoque également un conflit avec les canaux sensoriels qu'il ne stimule pas. Ces conflits peuvent interférer avec la sensation subjective de présence de l'utilisateur dans l'environnement vir-

tuel. Une corrélation négative a été observée entre les symptômes de cinétose et la sensation de présence, suggérant qu'il pourrait exister un lien entre l'adaptation sensorielle au conflit et la présence (Witmer et Singer, 1994).

Une étude sur l'acrophobie suggère que la présence est le meilleur prédicteur de la peur des hauteurs dans un environnement virtuel (Regenbrecht et al., 1998). Pour traiter une phobie, l'exposition virtuelle doit générer des réactions comportementales et émotionnelles, ressemblant à celles observables lors d'une expérience dans l'environnement physique. Si ces émotions sont liées au niveau de présence (Robillard et al., 2003), et que la présence peut être altérée par un mapping imparfait entre les mouvements de l'utilisateur et le feedback visuel de ces mouvements, la réalité virtuelle ne peut pas fournir un outil utile pour traiter les phobies. Cette observation met en évidence une autre limitation de l'utilisation de la réalité virtuelle : un utilisateur qui ne peut pas s'adapter au conflit sensoriel généré par le dispositif ne pourra bénéficier de la flexibilité mentale lui permettant de se sentir présent dans l'environnement virtuel. Par conséquent sa réaction émotionnelle lors de l'exposition aux stimuli phobogènes ne sera pas comparable à sa réaction émotionnelle lors de l'exposition dans l'environnement physique. Cet aspect est moins important pour la réhabilitation, lors de laquelle les visiocasques sont plus rarement utilisés qu'en psychiatrie, et pour laquelle le travail ne se construit pas autour de la réaction émotionnelle. Par ailleurs, il est à noter que les liens entre présence et émotion observés chez des volontaires sains sont difficilement comparables à ceux existant chez les patients anxieux. Le patient phobique est attentif à tous les éléments phobogènes de l'environnement, auxquels il répondra par une réponse anxieuse immédiate, que ce soit cognitivement ou sensoriellement (manifestations du système nerveux autonome). On pourrait ainsi penser que les émotions sont une condition essentielle à la présence, que celles-ci soient positives ou négatives. Cependant, trop d'anxiété lors d'une immersion ne sera pas favorable au traitement d'un patient. La réalité virtuelle permet de graduer facilement le côté aversif de l'environnement, et de permettre un monitoring des émotions du patient. A ce titre, un système immersif reproduisant toutes les caractéristiques sensorielles d'un environnement aversif dès la première séance, ne sera pas plus efficace qu'un système ne les reproduisant que partiellement (voir Mühlberger et al., 2003, qui compare une séance d'exposition pour des patients ayant la phobie des vols en avion, lors d'une immersion avec ou sans système reproduisant les vibrations d'un avion).

#### 5.2.4. *Que devient le schéma corporel dans un environnement virtuel ?*

Dans la réhabilitation motrice, les stimulations visuelles de la réalité virtuelle indiquent le but immédiat de chaque mouvement à effectuer, et fournissent au sujet un retour visuel en temps réel quant à la précision de ce mouvement. Mais en psychiatrie, le corps est le plus souvent absent de l'environnement virtuel, à l'exception des approches spécifiques tentant de modifier l'image du corps (corps identifié) dans les troubles des conduites alimentaires et l'obésité (Riva et al., 2003), mais ne s'intéressant pas au corps situé (schéma corporel). Nous avons déjà évoqué le paradoxe d'une immersion en réalité virtuelle lors de laquelle sont sollicitées les composantes sensorielles de troubles émotionnels dans des situations « décorporalisées ». Nous pensons que cette caractéristique est justement celle qui permet à certains patients de simuler mentalement des mouvements qu'ils seraient autrement incapables de

réaliser s'ils avaient un feedback visuel de leur corps. Bien contrôlée, la dissociation temporaire du schéma corporel et de l'image du corps peut fournir un moyen de renforcer la confiance en soi.

La réalité virtuelle et les technologies multimédia interactives permettent de solliciter les composantes cognitives, comportementales et motrices des symptômes de différentes pathologies. La combinaison de ces technologies paraît particulièrement intéressante pour la thérapie, et ce au moins pour deux raisons :

- Elle s'inscrit dans un refus de la dualité installée en psychopathologie clinique entre cognition/émotion d'une part et corps/action d'autre part.
- Elle invite à une redéfinition des approches thérapeutiques des symptômes cognitifs et émotionnels.
- Finalement, la combinaison de ces technologies permet de travailler sur les différents espaces du patients : dans un cas on permet à celui-ci d'oublier temporairement son corps (immersion en réalité virtuelle via un visiocasque), dans l'autre au contraire on tente de re-coupler l'espace du corps avec l'espace environnant (jeux interactifs). La réalité virtuelle devient ici un outil dont tous les inconvénients –délai temporel, difficulté de synchronisation spatiale, disparition du corps du sujet immergé – pourraient constituer des atouts importants pour la réhabilitation.

#### **6. AUX FRONTIÈRES DU REEL – DE LA PERCEPTION A L'HALLUCINATION**

La réalité virtuelle, en sciences cognitives, a d'abord représenté l'opportunité de « créer un espace ». En parallèle se sont développées les technologies interactives, via le développement des capteurs, permettant d'étudier le contrôle moteur chez l'homme. Dès que l'on a voulu rajouter un contexte visuel à ces paradigmes expérimentaux, l'avantage premier de la réalité virtuelle a été de fournir une mise en situation que certains pourraient qualifier d'« écologique ». De fait, la réalité virtuelle est à l'insu de tous devenue la métaphore d'une réalité visuelle.

La réalité virtuelle peut être critiquée pour les contradictions auxquelles elle confronte la perception (absence du corps, manque de réalisme) ; voire les contre-indications en ce qui concerne les applications en psychiatrie (risque de déréalisation). Son caractère non réaliste pourrait en faire à première vue un pauvre outil pour le domaine de la santé – recherche ou clinique. Pourtant, il contribue au contraire à en faire un formidable paradigme de recherche pour les neurosciences cognitives, en incarnant l'anti dualisme corps vs esprit. Qu'une action effectuée en réalité virtuelle ne reproduise pas les mêmes paramètres qu'une action effectuée dans l'environnement physique n'est peut-être pas important. La finalité de l'immersion pour un patient est qu'il arrive en haut des marches virtuelles alors qu'il n'oserait jamais gravir trois marches dans l'environnement physique. Enfin, la contribution de l'action volontaire à la reconnaissance de soi en fait là encore un paradigme extraordinaire pour l'étude de l'agentivité et ouvre ainsi la porte à de nombreuses applications.

L'intervention systématique des acquis des neurosciences permet de donner à cette technologie les lettres de noblesse scientifique qu'elle mérite. *Simulation mentale* et *interaction* sont paradoxalement les deux concepts clefs de la réalité virtuelle, et non réalisme et immersion. L'immersion n'est qu'un moyen pour faciliter la simulation mentale, plus facilement atteignable avec un certain niveau de réalisme. Mais si une immersion n'arrive à évoquer aucune

simulation mentale chez l'utilisateur, le côté bénéfique de la réalité virtuelle est perdu. Il faut abandonner le rêve d'une réalité virtuelle indistinguishable de l'environnement physique. C'est en ce qu'elle ne réplique pas l'environnement physique, mais permet d'en manipuler certaines composantes, que la réalité virtuelle possède les meilleurs atouts.

### ***6.1. A propos de l'oxymoron : Qu'est-ce qu'une réalité qui est virtuelle ?***

Nous admettons couramment que les choses sont telles que nous les percevons. Pourtant, nous savons, aussi bien avec les acquis des neurosciences qu'avec la phénoménologie, que notre représentation du monde extérieur est fautive ; elle est le produit de notre cerveau. Nos perceptions sensorielles ne concordent pas de façon absolue avec la réalité. Nos sens donnent du monde une image approximative et imparfaite. Alors, qu'est-ce que la Réalité ? Quelles sont les différences entre la Réalité et la Réalité Virtuelle, puisque l'on peut interagir sensoriellement avec les deux (à l'opposé de la fiction) ? Et, puisqu'il est essentiel à la survie de savoir distinguer ce qui est vrai de ce qui est virtuel (comme les rêves ou les hallucinations), comment une immersion en réalité virtuelle, dans laquelle l'objectif est d'aboutir à la présence dans l'environnement virtuel, peut ne pas être dangereuse ?

La réalité répond aux mêmes règles que la tragédie : unité de temps, lieu et action. Dans ce sens, la réalité virtuelle n'atteindra jamais un statut équitable à celui de la réalité sans négation de l'environnement physique. De plus, la réalité doit être partagée pour exister et être admise. Ainsi se regroupent les gens partageant les mêmes croyances. En partageant leurs croyances, ils partagent leur réalité et se créent un espace de communication.

Pendant longtemps, l'être humain a admis que la réalité correspondait à tout événement exogène n'étant ni une illusion, une hallucination ou un spectacle/fiction. Un niveau de fiction plus sophistiqué a été amené par le film et la télévision, qui proposent des représentations réalistes, sans jamais être confondues avec le réel. Ces médias n'impliquent pas d'action de la part du spectateur, protégeant sans doute par là l'intégrité du sujet, au même titre que l'atonie musculaire du sommeil protège le rêveur. Avec la réalité virtuelle, cette frontière est franchie. Quelles peuvent en être les conséquences ?

Dans le cas où un lecteur/spectateur de fiction n'arrive jamais à se plonger dans l'histoire proposée, on peut dire que sa difficulté réside dans un manque de flexibilité du monitoring de la réalité (comme celle du schizophrène). Incapacité de s'enfuir dans la fiction ou indistinction entre la fiction et le réel sont sans doute les extrêmes d'un même continuum. Ainsi, tout le danger de la réalité virtuelle réside dans la fragilité des patients quant au monitoring de la réalité, et il semble évident que les patients chez lesquels ce monitoring est altéré puissent être à risque si on les expose à une situation qui n'est ni réelle, ni pure fiction.

### ***6.2. Présence, émotion et réalité***

En psychiatrie, la présence en réalité virtuelle est corrélée à l'émotion ressentie par les patients (Robillard et al., 2003). Un patient arachnophobe sera très présent dans un environnement virtuel contenant une araignée, et cette présence sera corrélée positivement à son niveau d'anxiété. L'objectif de la thérapie sera d'obtenir une décorrélation des deux mesures : tout en maintenant

son niveau de présence dans l'environnement virtuel, le patient ne doit plus ressentir une émotion extrême.

La présence n'existe pas qu'en réalité virtuelle. Elle peut être attribuée à l'état du lecteur d'un roman ou au spectateur d'un film (voir Biocca, 2003). La fiction, lorsqu'elle génère de la présence, suscite elle aussi des émotions. Cependant, chez l'adulte sain, le monitoring de ces émotions est contrôlé : elles restent liées au monde de la fiction et ne contaminent pas les émotions du lecteur dans la réalité. L'émotion ressentie à la lecture d'un roman à suspense peut être potentialisée par un bruit d'impact intervenant subitement dans l'environnement physique, car d'un seul coup l'émotionalité de la fiction est confondue avec l'émotion générée par l'environnement physique, fragilisant ainsi les frontières entre les deux mondes.

Le patient qui a peur de s'imaginer une situation phobogène mélange ses émotions de l'imaginaire avec celles du réel. Il faut lui apprendre à les dissocier, à monitorer la réalité. C'est ainsi que dans les thérapies, on cherche finalement à travailler la flexibilité entre les réalités. Au début de la thérapie, le patient doit avoir une émotionnalité dans le virtuel qui se confonde à celle du réel. Il doit ensuite apprendre à la monitorer tout en gardant le plaisir de l'imaginaire.

Puisque la réalité virtuelle n'est pas la réalité, est-ce une illusion ? Une hallucination ? Souvent, pour décrire la sensation du sujet immergé dans un environnement virtuel, on mentionnera une « illusion » de présence dans l'environnement virtuel. Pourtant, une illusion est le produit de l'interprétation erronée de stimuli exogènes. A ce titre, elle se différencie de l'hallucination, perception sans objet (Esquirol, 1838). Mais on sait maintenant qu'au niveau cérébral, les deux phénomènes sont accompagnés de l'activation des aires sensorielles correspondant à la sensation. La différence essentielle entre hallucination et illusion est que, alors que cette dernière est provoquée par un événement exogène (l'objet), l'hallucination est provoquée par un événement endogène. La conséquence de la nature exogène ou endogène est que l'une peut être partagée, alors que l'autre ne le peut pas (même dans les cas de délires collectifs où le patient induit son délire en entraînant les autres protagonistes dans la pathologie). Cet aspect contribue au caractère insupportable de l'hallucination, car ce qui ne peut être partagé ne peut prétendre au statut de réalité. Cette observation me permet d'émettre deux hypothèses :

1. la réalité virtuelle n'est pas dangereuse à partir du moment où elle reste une expérience individuelle, comme dans le cas d'une séance à visée thérapeutique : elle est malgré tout partagée dans sa réalité avec le thérapeute (lui enlevant tout statut d'illusion ou d'hallucination), et surtout, elle est contrôlée. Ce pourraient être les immersions collectives qui fragiliseraient les frontières du réel.
2. rendre accessible à autrui l'hallucination d'un patient peut soulager ce dernier immédiatement. Son hallucination devient une réalité qu'il peut enfin partager, le sortant de son isolement. Dans cette même veine, on peut imaginer qu'externaliser un phénomène interne peut aider à le maîtriser sensoriellement. Ainsi, une personne souffrant d'acouphène pourrait peut-être apprendre à maîtriser celui-ci au niveau cortical, en jouant avec la spatialisation en réalité virtuelle auditive d'un avatar de son acouphène. Il serait sans doute possible d'appliquer cette même idée au schizophrène pour ses hallucinations. En lui donnant la possibilité de

contrôler la localisation ou les caractéristiques physiques d'un avatar de son hallucination, on lui permet de retrouver un sentiment d'agentivité.

## 7. CONCLUSION

La réalité virtuelle veut copier la réalité. Très souvent, les chercheurs et ingénieurs informaticiens sont en quête d'environnements virtuels indistinguables de l'environnement physique. La réalité virtuelle échoue pour l'instant dans cet objectif : elle nécessite le même "willing suspension of disbelief"<sup>3</sup> de la part de l'utilisateur que la fiction. Cependant, c'est en échappant au test de Turing que la réalité virtuelle offre tout son potentiel<sup>4</sup>. Grâce à cet échec, elle rend accessible à l'investigation scientifique de nombreuses questions sur le fonctionnement de l'Homme dans son espace.

Les acquis des neurosciences dans le domaine de la perception et de l'action permettent aujourd'hui de dissocier beaucoup des mécanismes cognitifs sollicités par la réalité virtuelle, et fait de celle-ci un modèle pour tester les propositions théoriques des neurosciences. La réalité virtuelle réunit des questions issues de l'Intelligence Artificielle, de la philosophie et des neurosciences, en faisant ainsi un formidable paradigme de recherche pour les sciences cognitives.

## REFERENCES

- Akizuki, H., Uno, A., Arai, K., Morioka, S., Ohyama, S., Nishiike, S., Tamura, K., Takeda N. (2005). Effects of Immersion in Virtual Reality on Postural Control. *Neuroscience Letters*, 379, 23-26.
- Andersson, G., Asmundson, G. J., Denev, J., Nilsson, J., Larsen, H. C. (2006). A Controlled Trial of Cognitive-behavior Therapy Combined with Vestibular Rehabilitation in the Treatment of Dizziness. *Behavior Research and Therapy*, 44, 1265-1273.
- Asmundson, G. J., Larsen, D. K., Stein, M. B. (1998). Panic Disorder and Vestibular Disturbance: an Overview of Empirical Findings and Clinical Implications. *Journal of psychosomatic research*, 44, 107-120.
- Baram, Y., Miller, A. (2006). Virtual Reality Cues for Improvement of Gait in Patients with Multiple Sclerosis. *Neurology*, 66, 178-181.
- Benedikt, N. (1870). Über "Platzschwindel". *Allgemeine Wiener Medizinische Zeitung*, 15, 488-489.
- Biocca, F. (2003). Can we Resolve the Book, the Physical Reality, and the Dream State Problems? From the Two-pole to a Three-pole Model of Shifts in Presence. *EU Future and Emerging Technologies, Presence Initiative Meeting*, Venice, Italy, 7 mai, 2003.
- Blanke, O., Landis, T., Spinelli, L., & Seeck, M. (2004). Out-of-body Experience and Autoscopia of Neurological Origin. *Brain*, 127, 243-258.
- Blauert, J. (1997). *Spatial Hearing, revised ed.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Broman-Fulks, J. J., Berman, M. E., Rabian, B. A., Webster, M. J. (2004). Effects of Aerobic Exercise on Anxiety Sensitivity. *Behavior Research and Therapy*, 42, 125-136.
- Brugger P. (2002). Reflective Mirrors: Perspective-taking in Autoscopic Phenomena. *Cognitive neuropsychiatry*, 7, 179-194.

<sup>3</sup> Samuel Taylor Coleridge (*Biographia Literaria*, 1817) a introduit la notion de "willing suspension of disbelief" décrivant la suspension volontaire des facultés critiques du lecteur pour pouvoir tirer du plaisir d'une fiction. Cette notion a également été utilisée pour décrire les phénomènes contributifs à la présence en réalité virtuelle.

<sup>4</sup> Qui plus est, le jour où un environnement virtuel passerait le test de Turing, nous devrions réfléchir sérieusement à la situation faisant la trame du film Matrix.

- de Sauvages, F. B. (1771). *Nosologie méthodique. Volume II*. Paris : Herrissant.
- Ernst, M. O., Banks, M. S., Bulthoff, H. H. (2000). Touch can Change Visual Slant Perception. *Nature Neuroscience*, 3, 69-73.
- Esquirol, E. (1838) *Des maladies mentales, considérées sous les rapports médical, hygiénique et medico-légal*. Paris : J.B. Baillière.
- Franck, N., Farrer, C., Georgieff, N., Marie-Cardine, M., Dalery, J., d'Amato, T., Jeannerod, M. (2001). Defective Recognition of One's Own Actions in Patients with Schizophrenia. *American Journal of Psychiatry*, 158, 454-459.
- Granado, L. C., Ranvaud, R., Peláez, J. R. (2007). A Spiderless Arachnophobia Therapy: Comparison Between Placebo and Treatment Groups and Six-month Follow-up Study. *Neural Plasticity*, 10241.
- Head H., Holmes, G. (1911). Sensory Disturbances from Cerebral Lesions. *Brain*, 34, 102-245.
- Hendrix, C., Barfield, W. (1996). The Sense of Presence within Auditory Virtual Environments. *Presence*, 3, 290-301.
- Holden, M. K. (2005). Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review. *Cyberpsychology & behavior*, 8, 187-211.
- Jacob, R. G., Furman, J. M., Durrant, J. D., Turner, S. M. (1997). Surface Dependence: a Balance Control Strategy in Panic Disorder with Agoraphobia. *Psychosomatic Medicine*, 59, 323-330.
- Jacob, R. G., Whitney, S. L., Detweiler-Shostak, G., Furman, J. M. (2001). Vestibular Rehabilitation for Patients with Agoraphobia and Vestibular Dysfunction: a Pilot Study. *Journal of Anxiety Disorders*, 15, 131-146.
- Jeannerod, M. (1994). The Representing Brain. Neural Correlates of Motor Intention and Imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 187-245.
- Kenardy, J., Evans, L., Oei, T.P. (1992). The Latent Structure of Anxiety Symptoms in Anxiety Disorders. *American Journal of Psychiatry*, 149, 1058-1061.
- Klinger, E., Marié, R. M., Viaud-Delmon, I. (2006). Applications de la réalité virtuelle aux troubles cognitifs et comportementaux. In P. Fuchs et G. Moreau (Eds.), *Traité de la Réalité Virtuelle 3ème édition, Volume 4* (pp. 119-145). Paris: Presses de l'École des Mines.
- Krijn, M., Emmelkamp, P. M., Biemond, R., de Wilde de Ligny, C., Schuemie, M. J., van der Mast, C. A. (2004). Treatment of Acrophobia in Virtual Reality: the Role of Immersion and Presence. *Behavior Research and Therapy*, 42, 229-239.
- Larson, C. L., Schaefer, H. S., Siegle, G. J., Jackson, C. A., Anderle, M. J., Davidson, R. J. (2006). Fear is Fast in Phobic Individuals: Amygdala Activation in Response to Fear-relevant Stimuli. *Biological Psychiatry*, 60, 410-417.
- Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger T., Blanke, O. (2007). Video Ergo Sum: Manipulating Bodily Self-consciousness. *Science*, 317, 1096-1099.
- Levy, D. L., Holzman, P. S., Proctor, L. R. (1983). Vestibular Dysfunction and Psychopathology. *Schizophrenia bulletin*, 9, 383-438.
- Lipowski, Z. J. (1975). Sensory and Information Inputs Overload: Behavioural Effects. *Comprehensive Psychiatry*, 16, 199-221.
- Loomis, J. M. (1992). Distal Attribution and Presence. *Presence*, 1, 113-119.
- Marks, I. M. (1988). The Syndromes of Anxious Avoidance: Classification of Phobic and Obsessive-compulsive Phenomena. In R. Noyes, M. Roth, & G. D. Burrows (Eds.), *Handbook of Anxiety: Volume 2. Classification, Etiological Factors and Associated Disturbances* (pp. 109-146). Amsterdam: Elsevier.
- McCauley, M. E., Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness: Perception of Self-motion in Virtual Environments. *Presence*, 1, 311-318.
- Mestre, D., Fuchs, P. (2006). Immersion et présence. In P. Fuchs et G. Moreau (Eds.), *Traité de la Réalité Virtuelle 3ème édition, Volume 1* (pp. 309-338). Paris: Presses de l'École des Mines.
- Muhlberger, A., Wiedemann, G., Pauli, P. (2003). Efficacy of a One-session Virtual Reality Exposure Treatment for Fear of Flying. *Psychotherapy Research*, 13, 323-336.

- Murray, C. D., Fox, J., & Pettifer, S. (2007). Absorption, Dissociation, Locus of Control and Presence in Virtual Reality. *Computers in Human Behavior*, 23, 1347-1354.
- Öhman, A., Soares, J. J. F. (1993). On the Automatic Nature of Phobic Fear: Conditioned Electrodermal Responses to Masked Fear-relevant Stimuli. *Journal of Abnormal Psychology*, 102, 121-132.
- Öhman, A., Soares, J. J. F. (1994). "Unconscious Anxiety": Phobic Responses to Masked Stimuli. *Journal of Abnormal Psychology*, 103, 231-240.
- Paillard, J. (1999). Body Schema and Body Image. A Double Dissociation in Deafferented Patients. In G.N. Gantchev, S. Mori, J. Massion (eds), *Motor Control, Today and Tomorrow* (pp. 197-214). Sophia: Academic publishing House.
- Paluska, S. A., Schwenk, T. L. (2000). Physical Activity and Mental Health: Current Concepts. *Sports Medicine*, 29, 167-180.
- Pavlou, M., Lingeswaran, A., Davies, R. A., Gresty, M. A., Bronstein, A. M. (2004). Simulator-based Rehabilitation in Refractory Dizziness. *Journal of Neurology*, 251, 983-995.
- Pinto, E., Gillet, I., Guelfi, J. D. (1999). Plaintes somatiques, troubles psychiatriques et MMPI 2. *Encephale*, 25, 103-109.
- Regenbrecht, H. T., Schubert, T. W., Friedman, F. (1998). Measuring the Sense of Presence and its Relation to Fear of Heights in Virtual Environments. *International Journal of Human-computer Interaction*, 10, 233-249.
- Riva, G. (2005). Virtual Reality in Psychotherapy: Review. *Cyberpsychology & Behavior*, 8, 220-230.
- Riva, G., Bacchetta, M., Cesa, G., Conti, S., Molinari, E. (2003). Six-month Follow-up of In-patient Experiential-cognitive Therapy for Binge Eating Disorders. *Cyberpsychology & Behavior*, 6, 251-258.
- Robillard, G., Bouchard, S., Fournier, T., Renaud, P. (2003). Anxiety and Presence During VR Immersion: a Comparative Study of the Reactions of Phobic and Non-phobic Participants in Therapeutic Virtual Environments Derived from Computer Games. *Cyberpsychology & Behavior*, 6, 467-476.
- Rothbaum, B. O., Hodges, L. F., Kooper, R., Opdyke, D., Williford, J. S., North, M. (1995). Effectiveness of Computer-generated (Virtual Reality) Graded Exposure in the Treatment of Acrophobia. *American Journal of Psychiatry*, 152, 626-628.
- Schilder, P. (1933). The Vestibular Apparatus in Neurosis and Psychosis. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 78, 1-23, 137-164.
- Sheridan, T.B. (1992). Musings on Telepresence and Virtual Presence. *Presence*, 1, 120-125.
- Strohle, A., Feller, C., Onken, M., Godemann, F., Heinz, A., Dimeo, F. (2005). The Acute Antipanic Activity of Aerobic Exercise. *American Journal of Psychiatry*, 162, 2376-2378.
- Sveistrup, H. (2004). Motor Rehabilitation Using Virtual Reality. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 1, p. 10.
- Tsakiris, M., Prabhu, G., Haggard, P. (2006). Having a Body Versus Moving your Body: How Agency Structures Body-ownership. *Consciousness and Cognition*, 15, 423-32.
- Tsingos, N., Warusfel, O. Dispositifs et interfaces de restitution sonore spatiale. In P. Fuchs et G. Moreau (Eds.), *Traité de la Réalité Virtuelle 3ème édition, Volume 2* (pp. 421-449). Paris: Presses de l'Ecole des Mines.
- Viaud-Delmon, I., Berthoz, A., Jouvent, R. (2001). *Angoisse, corps et espace : de la physiopathologie au traitement en réalité virtuelle*. Paris : Pil éditions.
- Viaud-Delmon, I., Ivanenko, Y. P., Berthoz, A., Jouvent, R. (1998). Sex, Lies and Virtual Reality. *Nature Neuroscience*, 1, 15-16.
- Viaud-Delmon, I., Ivanenko, Y.P., Berthoz, A., Jouvent, R. (2000). Adaptation as a Sensorial Profile in Trait Anxiety: a Study with Virtual Reality. *Journal of Anxiety Disorders*, 14, 583-601.

- Viaud-Delmon, I., Seguelas, A., Rio, E., Jouvent, R., Warusfel, O. (2004). 3-D Sound and Virtual Reality: Applications in Clinical Psychopathology. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 2, 143-152.
- Viaud-Delmon, I., Warusfel, O., Seguelas, A., Rio, E., Jouvent, R. (2006). High Sensitivity to Multisensory Conflicts in Agoraphobia Exhibited by Virtual Reality. *European Psychiatry*, 21, 501-508.
- Warren, W. H., Kay, B. A., Zosh, W. D., Duchon, A. P., Sahuc, S. (2001). Optic Flow is Used to Control Human Walking. *Nature Neuroscience*, 4, 213-216.
- Weiss PL, Rand D, Katz N, Kizony R. (2004). Video Capture Virtual Reality as a Flexible and Effective Rehabilitation Tool. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 1, p. 12.
- Whitney, S.L., Jacob, R.G., Sparto, P.J., Olshansky, E.F., Detweiler-Shostak, G., Brown, E.L., Furman, J.M. (2005). Acrophobia and Pathological Height Vertigo: Indications for Vestibular Physical Therapy? *Physical Therapy*, 85, 443-458.
- Wiederhold, B. K., Jang, D. P., Kaneda, M., Cabral, I., Lurie, Y., May, T., Kim, I. Y., Wiederhold, M. D., Kim S. I. (2003). An Investigation into Physiological Responses in Virtual Environments: an Objective Measurement of Presence. In G. Riva, C. Galimberti (eds.), *Towards Cyberpsychology: Mind, Cognitions and Society in the Internet Age* (pp. 175-183). Amsterdam: IOS Press.
- Witmer, B.G., & Singer, M.J. (1994). *Measuring Immersion in Virtual Environments* (Tech. Rep. 1014). Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Znaïdi, F. (2007). *Peur, anxiété spatiale et réalité virtuelle, de la recherche expérimentale à la thérapeutique*. Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie, Paris.