

# RÉALITÉ VIRTUELLE ET SCIENCES COGNITIVES

## APPLICATIONS EN PSYCHIATRIE ET NEUROPSYCHOLOGIE

Évelyne KLINGER<sup>1</sup>, Rose-Marie MARIÉ<sup>2</sup>, Philippe FUCHS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LTCI – ENST, 46 rue Barrault, 75634 Paris

<sup>2</sup>Université de Caen, UPRES-EA 3917, Caen

<sup>3</sup>Centre de Robotique – École des Mines de Paris, 60 bd St-Michel 75272 Paris

Méls : [klinger@enst.fr](mailto:klinger@enst.fr), [marie-rm@chu-caen.fr](mailto:marie-rm@chu-caen.fr), [philppe.fuchs@ensmp.fr](mailto:philppe.fuchs@ensmp.fr)

---

### Résumé

*La Réalité Virtuelle (RV) est un domaine interdisciplinaire qui s'appuie, pour son essor, sur de nombreux domaines scientifiques et techniques. Elle tient également compte de différentes disciplines des sciences humaines, l'humain se situant au cœur de la problématique de la réalité virtuelle. Dans cet article, nous présentons tout d'abord une démarche d'immersion et d'interaction d'un individu dans un environnement virtuel (EV), ainsi que les apports des sciences cognitives dans la résolution des problèmes rencontrés. Nous abordons la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux présentant d'une part les principes des outils traditionnels et leurs limites, et d'autre part les atouts des technologies de la réalité virtuelle. Puis nous présentons une revue des différents travaux menés en psychiatrie et neuropsychologie. Enfin nous revenons sur les aspects cognitifs intervenant dans la conception des environnements virtuels et sur les limites actuelles de ce domaine.*

*Mots-clés : réalité virtuelle, immersion, interaction, sciences cognitives, cognition, comportement, fonctions exécutives.*

### Abstract

*VIRTUAL REALITY AND THE COGNITIVE SCIENCES*

*Virtual Reality (VR) is an interdisciplinary field whose development is supported by many scientific and technical fields. VR also takes into consideration various disciplines in the social sciences, since the human is situated at the core of VR questions. In this paper, we first present an interactive immersion approach of an individual in a virtual environment (VE), as well as the advantages offered by the cognitive sciences in solving the issues encountered. We tackle the assessment and the treatment of cognitive behavioral disorders, showing on one hand, the bases and limits of the traditional tools, and on the other hand, the advantages of virtual reality technologies. We then present a review of the work carried out in psychiatry and neuropsychology. Finally, we return to the cognitive aspects contributing to the design of virtual environments and the current limits of this field.*

*Keywords: Virtual reality, immersion, interaction, cognitive sciences, cognition, behavior, executive functions.*

## Resumen

### REALIDAD VIRTUAL Y CIENCIAS COGNITIVAS

*La realidad Virtual (RV) es un dominio interdisciplinario que se apoya, para su desarrollo, en numerosos dominios científicos y técnicos. También tiene en cuenta diferentes disciplinas de las ciencias humanas, ya que el ser humano se sitúa en el corazón mismo de la problemática de la realidad virtual. En este artículo, presentamos primero un método de inmersión e interacción de un individuo en un ambiente virtual, así como el aporte de las ciencias cognitivas a la resolución de los problemas encontrados. Asimismo abordamos los problemas cognitivos y de comportamiento mostrando, por una parte, los principios de las herramientas tradicionales y sus límites, y por otra parte, las ventajas de las tecnologías de la realidad virtual. Después presentamos una panorámica de los diferentes trabajos realizados en psiquiatría y en neuropsicología. Finalmente retomamos los aspectos cognitivos que intervienen en la concepción de los entornos virtuales y en los límites actuales de este dominio.*

*Palabras-claves: realidad virtual, inmersión, interacción, ciencias cognitivas, cognición, comportamiento, funciones ejecutivas.*

## Resumo

### REALIDADE VIRTUAL E CIÊNCIAS COGNITIVAS

*A Realidade Virtual (RV) é uma área interdisciplinar que se apóia, para desenvolver-se, sobre inúmeros campos técnicos e científicos. Ela também leva em conta diferentes disciplinas das ciências humanas, visto que o humano se situa no centro de interesses da RV. Neste artigo, apresentamos primeiramente uma abordagem de imersão e interação de um indivíduo em um ambiente virtual, assim como a contribuição das ciências cognitivas para a resolução dos problemas encontrados. Abordamos a consideração dos distúrbios cognitivos e comportamentais, apresentando de um lado, os princípios das ferramentas tradicionais e seus limites e, de outro lado, os trunfos das tecnologias da RV. Em seguida apresentamos uma visão de conjunto dos diferentes trabalhos conduzidos em psiquiatria e neuropsicologia. Enfim, voltamos aos aspectos cognitivos que intervm na concepção dos ambientes virtuais e aos limites atuais desta área.*

*Palavras-chave: realidade virtual, imersão, interação, ciências cognitivas, cognição, comportamento, funções executivas.*

## Riassunto

### LA REALTÀ VIRTUALE E LE SCIENZE COGNITIVE

*La Realtà Virtuale (RV) è un ambito interdisciplinare che si basa, per il suo sviluppo, su numerosi campi della scienza e della tecnica. Essa tiene conto anche delle diverse discipline delle scienze umane, dal momento che l'essere umano si situa al centro della problematica della realtà virtuale. In questo articolo, viene presentato un procedimento d'immersione e d'interazione di un individuo in un ambiente virtuale, e viene evidenziato l'apporto delle scienze cognitive alla soluzione dei problemi incontrati. Viene quindi affrontato il trattamento dei problemi cognitivi e comportamentali, mostrando, da un lato, i principi di utilizzo degli strumenti tradizionali e i loro limiti, e, dall'altro, i vantaggi delle tecnologie della realtà virtuale. Successivamente, viene esposta una rassegna dei lavori condotti in ambito psichiatrico e neuropsichiatrico. Infine, l'attenzione torna a concentrarsi sugli aspetti cognitivi*

*implicati nella concezione e nella progettazione degli ambienti virtuali e sui limiti attuali di quest'ambito di ricerca.*

*Parole chiave: realtà virtuelle, immersione, interazione, sciences cognitive, cognitione, comportemento, funzioni esecutive.*

## 1. La réalité virtuelle a besoin des sciences cognitives

### 1.1. Objectifs de la réalité virtuelle

La réalité virtuelle (RV) offre des environnements virtuels (EV) *interactifs* en procurant à l'Homme un espace dans lequel il devient *acteur*. Mais que peut-on dire de cette nouvelle science et technique ? La RV a acquis maintenant une certaine maturité et peut s'appliquer dans bien des domaines socio-économiques, même si beaucoup de questions restent en suspens, dont un grand nombre concerne les sciences cognitives. De nombreuses disciplines des sciences humaines et des sciences de l'ingénieur concourent à réaliser la finalité de la RV. Dans le domaine des sciences humaines, l'Homme étant au cœur de la RV, une vision centrée sur celui-ci doit tenir compte des disciplines suivantes : la psychologie, l'ergonomie et la physiologie principalement. Dans le domaine des sciences de l'ingénieur, l'informatique est indispensable pour créer un monde numérique. La mécanique, l'optique et l'acoustique sont exploitées pour créer des interfaces matérielles et la modélisation de cet environnement. La RV occupe en conséquence, par le couplage des sciences humaines et des sciences dures, une position particulière dans le schéma scientifique habituel. Cette position représente à la fois un avantage par l'interdisciplinarité intrinsèque du domaine et une difficulté que cette dualité engendre.

*La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité **sensori-motrice** et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel.*

Pour préciser la finalité de la RV, les termes « activité sensori-motrice » sont employés pour signifier qu'au fondement de la RV la personne perçoit et agit physiquement. Bien évidemment, il en découle que la personne a aussi une activité cognitive. Mais n'avoir qu'une activité cognitive dans un environnement virtuel sans activité sensori-motrice est hors du domaine de la RV. Cette potentialité d'activité sensori-motrice virtuelle est exploitée dans trois cas différents :

- Soit pour proposer à un sujet une simulation de certains aspects du monde réel, utile par exemple pour l'industriel qui veut valider la conception d'un nouveau produit, pour une formation à un geste technique, ou en thérapie pour l'exposition à un stimulus spécifique.
- Soit un monde symbolique : on peut exploiter des représentations symboliques pour améliorer la compréhension du monde simulé. La RV est alors exploitée soit pour représenter un phénomène (la structure de molécules, l'écoulement de fluide,...), soit pour ajouter au monde réel simulé des concepts symboliques. Ceux-ci permettent à l'utilisateur de se faire une meilleure représentation mentale de son environnement.
- Soit un monde imaginaire que les artistes, par exemple, vont exploiter pour créer des mondes irréels, sortis de leur imagination.

Une présentation de toutes les applications de la RV ainsi que des techniques du domaine est réalisée dans le « Traité de la réalité virtuelle » (Fuchs *et al.*, 2003) (<http://caor.ensmp.fr/interlivre>).

Avoir une activité sensori-motrice dans un monde virtuel repose sur deux notions qui sont la clef de voûte de la réalité virtuelle : l'immersion et l'interaction. Ces deux notions peuvent être étudiées sous un regard des sciences de l'ingénieur ou sous celui des sciences humaines. Dans cet article, nous poserons les problématiques d'immersion et d'interaction, qui sont à traiter en premier lieu par les sciences humaines, bien que ce papier soit rédigé par des ingénieurs (E. Klinger et P. Fuchs).

Dans les années 90, les ingénieurs ont commencé à réaliser des applications de réalité virtuelle. Mais bien vite, ils se sont aperçus que l'apport des chercheurs en sciences cognitives était indispensable pour résoudre bien des problèmes d'immersion et d'(inter)action d'un sujet dans un monde virtuel. La démarche, proposée en 1999 par P. Fuchs (Fuchs *et al.*, 1999) est présentée dans le paragraphe suivant. Elle repose sur les deux notions d'immersion et d'interaction avec une approche de l'*activité* du sujet et non de communication, comme employée dans le domaine des Interfaces Homme Machine (IHMs).

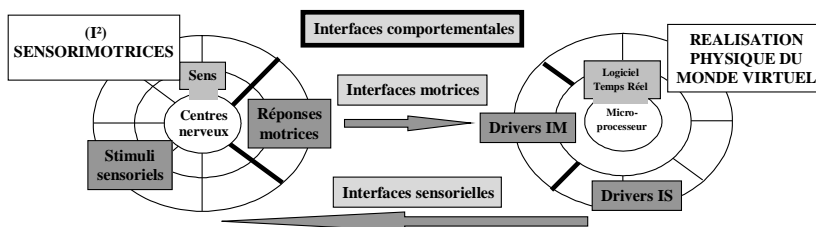
## 1.2. Démarche

Nous pouvons nous référer au comportement de l'Homme dans le monde réel, que nous utiliserons aussi pour un monde virtuel, avec un point de vue anthropocentrique. L'Homme est au centre du système artificiel, perçoit un environnement virtuel par ses sens et agit par ses muscles sur celui-ci. Physiquement, techniquement, ceci n'est possible que par l'intermédiaire d'interfaces. Comment les interfaces doivent-elles transmettre les stimuli sensoriels et les réponses motrices ? Comment les utiliser pour permettre un interfaçage efficace ? Nous avons choisi d'appeler ces dispositifs des interfaces *comportementales*. Elles sont composées d'interfaces *sensorielles*, d'interfaces *motrices* et d'interfaces *sensori-motrices* bidirectionnelles. L'utilisateur agit sur l'environnement virtuel grâce à l'usage d'interfaces motrices qui captent ses actions (gestes, déplacements, voix, etc.). Ces activités sont transmises au calculateur qui les interprète comme une demande de modification de l'environnement. Conformément à cette sollicitation de modification, le calculateur évalue les transformations à apporter à l'environnement virtuel et les restitutions sensorielles (images, sons, efforts, etc.) à transmettre aux interfaces sensorielles. Nous obtenons donc une boucle de l'activité du sujet en environnement virtuel (figure 1), qui passe par des dispositifs techniques. Cette boucle en environnement virtuel interactif n'est que la transposition de la boucle « perception, cognition, action » du comportement de l'Homme dans un monde réel. Mais deux contraintes majeures, inhérentes aux techniques, vont perturber la boucle « perception, cognition, action » et en conséquence le comportement du sujet : la latence et les incohérences sensori-motrices.

La latence est le décalage temporel entre une action de l'utilisateur sur les interfaces motrices et la perception des conséquences de cette action sur l'environnement virtuel à travers les interfaces sensorielles. L'existence de la latence dans la boucle influe sur la qualité de toute application de réalité virtuelle. Cette latence est un artefact inhérent aux environnements virtuels interactifs.

Les incohérences sensori-motrices sont d'autres artefacts de la réalité virtuelle. Quel que soit le nombre de canaux sensoriels exploités dans une application, quel que soit

le nombre d'interactions à la disposition du sujet, il y a presque toujours des incohérences sensori-motrices par rapport au comportement sensori-moteur du sujet dans le monde réel (voir un exemple au paragraphe suivant). Ces incohérences sensori-motrices perturberont-elles le comportement du sujet ? L'interfaçage technique du sujet au monde virtuel sera-t-il transparent pour lui ? C'est un point important pour la conception d'une interface comportementale : sa transparence, qui est la capacité de l'interface à ne pas être perçue par l'utilisateur au cours de son utilisation.



(I<sup>2</sup>)= IMMERSION ET INTERACTION

Figure 1 — Schéma technocentrique d'immersion et d'interaction sensori-motrices.

Ces deux problématiques de latence et d'incohérences sensori-motrices et leur conséquence sur la transparence de l'interfaçage s'analysent en premier au niveau sensori-moteur. Mais il est nécessaire d'analyser plus finement le processus d'interfaçage. Nous avons fait le choix fondamental d'analyser ce processus à trois niveaux : au premier niveau (que nous venons d'expliquer), on peut schématiser l'interfaçage entre l'Homme et le monde virtuel au niveau physique. Nous parlons dans ce cas d'immersion et d'interaction sensori-motrices, puisque physiquement l'ordinateur est connecté au corps de l'utilisateur au niveau de ses sens et de ses réponses motrices.

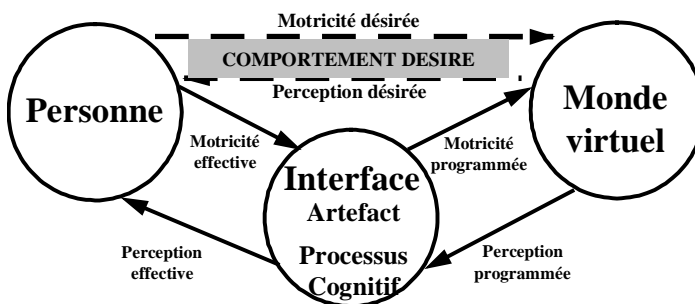


Figure 2 — Schéma triadique de l'interfaçage en réalité virtuelle.

Ce premier niveau est restrictif car il ne représente que partiellement les problèmes d'immersion et d'interaction. L'interfaçage comportemental pose une problématique de l'interfaçage proche de celle d'un opérateur avec sa machine ou avec son outil. Dans ce cas, il ne s'agit pas seulement de penser l'interfaçage au niveau physique (boutons de commande et retours d'informations sur les actions), mais aussi de comprendre à partir de quels modèles mentaux la personne va penser et agir. Comme l'a décrit Rabardel dans son approche instrumentale de l'interfaçage (Rabardel, 1995), l'instrument (l'interface) est un médiateur d'activité. Il est composé de deux entités :

l'artefact (le dispositif matériel) et le processus cognitif. Il est souhaitable de présenter l'interfaçage dans un schéma triadique dont nous proposons l'équivalent en réalité virtuelle pour l'interfaçage comportemental (figure 2) : il est schématisé par deux types de liaisons physiques de la personne à l'interface matérielle et de cette dernière à l'ordinateur. Mais l'utilisateur doit avoir une activité (un comportement) dans le monde virtuel, l'interface devant lui être transparente. La liaison directe du schéma représente cette activité désirée (motricité et perception).

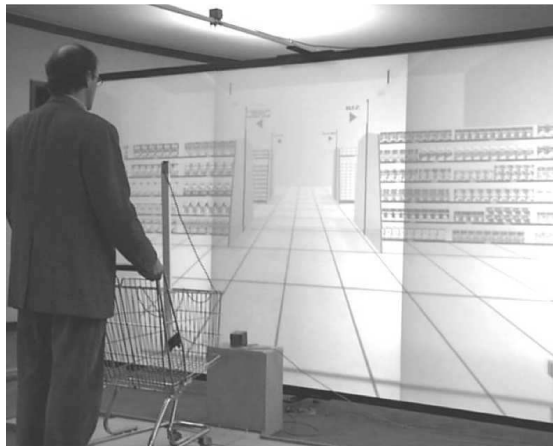
Nous expliciterons au prochain paragraphe les différentes possibilités de processus cognitifs qui peuvent être employés. Pour faciliter l'utilisation des interfaces comportementales, il ne faut pas perdre de vue que, dans notre cas, l'ordinateur peut aider l'utilisateur à employer efficacement ces dispositifs. Il y a de multiples possibilités exploitables et programmables. Par exemple, on peut rajouter des contraintes spécifiques aux mouvements des objets pour aider l'utilisateur à obtenir la motricité désirée (la face d'appui d'un objet proche d'une table se mettra parallèlement à la table quand elle sera proche de sa surface (Maman, 1998)). Nous regroupons toutes ces aides d'utilisation des interfaces sous le terme « Aides Logicielles Comportementales » (ALC), détaillées dans (Fuchs *et al.*, 2003). Il y a par conséquent à concevoir et à programmer le couplage entre l'interface et le monde virtuel programmé, d'où les termes de motricité et de perception programmées dans le schéma précédent.

### 1.3. Processus cognitif dans l'interfaçage comportemental

Nous désirons proposer à l'utilisateur une interaction et une immersion relativement naturelles, pour que celles-ci soient efficaces par rapport à l'application. Qu'est-ce que cette notion recouvre ? L'utilisateur fait appel dans son activité sensori-motrice à un schème qu'il a assimilé dans le monde réel, par exemple, un automatisme qu'il a acquis comme l'apprentissage de la marche. La notion de schème est celle proposée par le psychologue Piaget. Nous basons sur ce concept notre démarche pour obtenir des interfaces vraiment comportementales, proposant une immersion et une interactivité pseudo-naturelles. L'interface comportementale est donc une entité mixte comprenant à la fois un artefact (son dispositif matériel) et un schème, que nous appelons Schème Comportemental Importé (SCI). Ce schème est importé de l'environnement réel pour être transposé et adapté en environnement virtuel. Le SCI ne peut être isolé. Il a une relation d'interdépendance avec l'artefact qui lui est associé dans une application donnée. Prenons un exemple : s'il faut que des personnes se déplacent dans un magasin virtuel, il est souhaitable de leur proposer d'exploiter un automatisme qu'elles ont acquis lors de leurs achats dans un magasin réel. L'interface technique exploitée est alors un chariot qu'elles vont pousser pour se déplacer virtuellement dans le magasin. Les actions motrices effectives seront partiellement différentes (faibles mouvements relatifs devant un grand écran) de celles dans un monde réel (mouvement absolu). Mais avec ce SCI du monde réel, l'interfaçage, dit comportemental, deviendra vite transparent pour ces personnes, malgré les (faibles ici) incohérences sensori-motrices : les systèmes vestibulaires indiqueront l'absence de grands mouvements à l'opposé du système visuel qui percevra des grands mouvements grâce au phénomène devection créé par les images de synthèse (figure 3).

Dans le cas de difficultés techniques, économiques ou théoriques ne permettant pas d'exploiter un SCI, nous pouvons contourner ces difficultés en employant une métaphore. Au lieu d'exploiter un comportement sensori-moteur et acquis de la

personne, nous lui proposons, visuellement en général, une image symbolique de l'action ou de la perception souhaitée. L'utilisation d'une métaphore peut demander plus d'efforts cognitifs si la symbolique métaphorique n'est pas connue par les utilisateurs. Ils devront faire l'effort de la comprendre et de l'assimiler, pour qu'elle devienne par l'usage un schème d'usage. Mais un SCI peut demander lui aussi certains efforts car il doit être adapté à un monde virtuel avec un certain artefact et sous la contrainte d'incohérences sensori-motrices. L'exploitation de métaphores nous éloigne-t-elle de la finalité de la réalité virtuelle ? Nous le pensons *a priori* au regard de notre finalité, que nous avons explicitée au premier paragraphe (activité sensori-motrice). Nous utiliserons une métaphore au lieu d'un SCI en cas de difficultés théorique, économique ou technique. Dans la pratique, nous pouvons avoir quelques fois l'exploitation associée de métaphores et de SCI, selon le type et l'importance des activités désirées. Une autre possibilité, en cas de difficultés pour exploiter un SCI ou une métaphore employant les mêmes sens et réponses motrices que dans le monde réel, est d'employer une *métaphore avec substitution sensorielle* ou une *métaphore avec substitution motrice*. Par exemple, comme il est souvent difficile techniquement de bloquer la main de l'utilisateur, en cas de collision de l'objet manipulé avec un autre objet virtuel, on change la couleur de l'objet manipulé (ou l'on émet un son) pour indiquer la collision des deux objets.



**Figure 3** — Déplacement virtuel dans un magasin par SCI.

Actuellement, pour une activité précise du sujet, le choix du processus cognitif « efficace » entre SCI ou métaphore, avec ou sans substitution, se fait souvent de manière empirique. Nous manquons de recul, d'expérience et d'approche cognitive théorique pour justifier nos choix. L'apport des connaissances et des recherches en sciences cognitives doit fournir un regard plus perspicace sur cette problématique au *niveau de l'immersion et de l'interaction cognitives* du sujet dans un environnement virtuel.

#### **1.4. Le modèle de référence en RV**

Les considérations précédentes sur les processus cognitifs liés à l'interfaçage comportemental ne suffisent pas à établir une méthode de conception d'un dispositif en réalité virtuelle. Dans ce but, nous proposons un modèle général pour la réalité

virtuelle qui définit trois niveaux d'immersion et d'interaction avec leurs caractéristiques propres. Nous avons déjà explicité qu'au niveau physique, nous parlons d'immersion et d'interaction sensori-motrices, puisque physiquement l'ordinateur est connecté à l'Homme par ses sens et ses réponses motrices. Ce niveau d'immersion et d'interaction est quantifiable par rapport aux caractéristiques des sens et des réponses motrices exploités. L'utilisateur doit s'immerger mentalement dans le monde virtuel, le niveau « inférieur » d'immersion et d'interaction sensori-motrices devant lui être mentalement invisible (transparent). Nous parlons dans ce cas d'immersion et d'interaction cognitives. À un troisième niveau concernant l'application de réalité virtuelle, l'objectif est de s'attacher à réaliser une immersion de l'Homme pour une tâche donnée (ou une fonctionnalité) et non pour une simple immersion mentale de l'Homme dans ce monde virtuel. Nous parlons dans ce cas d'*immersion et d'interaction fonctionnelles*. Le fondement de notre démarche est basé sur ce modèle hiérarchique à trois niveaux et aussi sur un découpage transversal entre le sujet et le monde virtuel : parallèlement aux différents niveaux d'immersion et d'interaction sensori-motrices et cognitives pour la personne, nous avons deux niveaux de fonctionnement logiciel pour le monde virtuel. Symétriquement aux niveaux d'immersion et d'interaction sensori-motrices, l'ordinateur doit gérer la partie logicielle temps réel (noyau temps réel et *drivers* pour les interfaces matérielles), permettant une réalisation physique du monde virtuel. Cette dernière concerne la simulation basée sur les lois physiques (mécaniques, optiques, biomécaniques, etc.) agissant sur les objets et les êtres animés. Face au niveau d'immersion et d'interaction cognitives, la partie logicielle spécifique de réalité virtuelle doit gérer la modélisation comportementale du monde virtuel. Cette partie logicielle doit fournir la simulation des comportements des êtres animés et les « Aides Logicielles Comportementales », associées aux processus cognitifs exploités, pour faciliter les immersions et les interactions cognitives de la personne.

Au niveau de l'immersion et de l'interaction fonctionnelles, par rapport à l'application et ses objectifs, il faut se poser la question suivante : quelles sont les activités que l'utilisateur doit exécuter ? Dans toutes les applications RV, les activités du sujet sont toujours décomposables en quelques comportements de base que nous appelons les « Primitives Comportementales Virtuelles » (PCV). Il faut donc au niveau de l'immersion et de l'interaction fonctionnelles bien définir les PCV et leur spécificité. Quelle que soit l'application, ces dernières peuvent être regroupées en quatre catégories :

- observer le monde virtuel ;
- se déplacer dans le monde virtuel ;
- agir sur le monde virtuel ;
- communiquer avec autrui ou avec l'application.

Nous obtenons en final le schéma de référence de la RV (figure 4) qui nous sert de canevas dans notre démarche de conception de toute application de RV. Avec ce schéma pluridisciplinaire (à chaque bloc on peut associer : le physicien (pour les interfaces comportementales), le neurophysiologiste (sens et réponses motrices), l'informaticien (logiciels), le psychologue (processus cognitifs) et l'ergonome (perception et motricité désirées)), nous avons clarifié les notions d'immersion et d'interaction. Dans l'optique de la conception d'un dispositif RV, au lieu de chercher à reproduire le plus fidèlement possible la réalité, nous nous intéressons à présent à l'optimum d'immersion et d'interaction fonctionnelles liées à l'application, et par

analyse et déduction aux optimums des immersions et des interactions cognitives et sensori-motrices. Cette démarche est détaillée dans Fuchs *et al.* (2003).

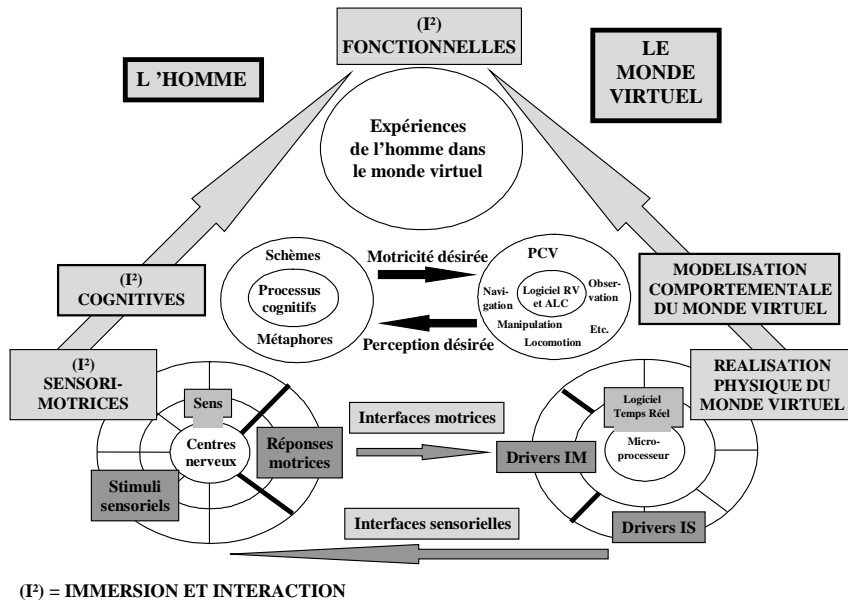


Figure 4 — Schéma technocentrique de référence en RV.

### 1.5. La RV en psychiatrie et neuropsychologie

En psychiatrie et neuropsychologie, les applications de RV ont pour objectifs de comprendre le fonctionnement cognitif et comportemental de l'individu, d'aider ce dernier dans ses handicaps et de le soigner dans ses dysfonctionnements. Elles sont donc centrées sur le patient et développées afin que celui-ci y accomplisse une activité déterminée ou y soit soumis à une exposition précise. L'approche décrivant des applications dont la finalité est de proposer des activités sensori-motrices aux utilisateurs est adaptée aux attentes des domaines de la psychiatrie et de la neuropsychologie. La conception des environnements virtuels (EVs) est donc fondée sur la structure hiérarchique décrite précédemment.

Dans ces domaines médicaux, les utilisateurs sont soit des sujets sains, soit des patients souffrant de troubles cognitifs et comportementaux, les conduisant souvent à envisager les situations nouvelles avec anxiété. Par conséquent, un de nos soucis, lors du développement d'un EV à des fins thérapeutiques est de choisir les interfaces comportementales les moins perturbantes possible, les plus transparentes possible. Les EVs sont généralement visualisés sur l'écran de l'ordinateur ou par l'intermédiaire de visiocasques, parfois également sur de grands écrans. Les outils de base de l'interaction sont la souris, le clavier et le joystick ; des gants ou un levier de commande peuvent parfois être proposés. Des dispositifs ont également été développés pour que l'utilisateur interagisse de façon naturelle, non intrusive. Des caméras peuvent ainsi capter les positions et déplacements des mains, de la tête ou du corps pour les traduire en actions dans le monde virtuel. La visualisation de l'EV

peut également être asservie aux mouvements de la tête du sujet grâce à un traqueur de tête, dont sont souvent dotés les visiocasques. Ces quelques exemples reflètent la variété des outils usuellement utilisés en psychothérapie et en neuropsychologie.

Le choix de l'interface dans les applications psychothérapeutiques est lié à différents facteurs, tels le degré d'immersion souhaité, le coût, les capacités de la population de patients considérée, mais aussi à la faculté de l'interface d'exploiter un comportement naturel humain, sans entraînement préliminaire (ou avec très peu). Dans un souci d'ergonomie, de confort, il est parfois nécessaire de créer des interfaces spécifiques.

L'immersion des patients dans un EV dépendra également d'un facteur clef qui est celui de leur niveau émotionnel. Cette possibilité de susciter des émotions dans un EV est à la base des thérapies d'exposition en psychiatrie, mais peut aussi perturber les performances dans les tâches à effectuer dans des applications d'évaluation en neuropsychologie.

## **2. La réalité virtuelle et les troubles cognitifs et comportementaux**

### **2.1. Introduction**

*« Les sciences cognitives ont pour objet de décrire, d'expliquer et le cas échéant de simuler les principales dispositions et capacités de l'esprit humain – langage, raisonnement, perception, coordination sensori-motrice, planification ... » (Ardler, 1992).*

La neuropsychologie cognitive a pour objectif de mieux connaître les dysfonctionnements cognitifs qui caractérisent les patients atteints de lésions cérébrales focales ou présentant des pathologies d'origine neurodégénérative, tout en jouant également un rôle considérable dans l'évolution des conceptions sur le fonctionnement cognitif du sujet normal. Par ailleurs, l'étude des déficiences d'une fonction cognitive peut et devrait se conjuguer à l'étude des mécanismes de compensation ou de suppléance, et par conséquent à l'approche de la réhabilitation des fonctions cognitives. Les concepts et les méthodes des sciences cognitives peuvent être également utilisés pour étudier et traiter les troubles cognitifs qui accompagnent les pathologies psychiatriques.

Dans la perspective de l'étude et du traitement des dysfonctionnements de la cognition, chercheurs et thérapeutes ont créé et utilisé des outils que nous qualifierons de traditionnels. Mais depuis une vingtaine d'années, ils se sont saisis des possibilités offertes par les technologies de la réalité virtuelle. Des équipes, mêlant scientifiques et cliniciens, ont mis en œuvre des recherches et des applications afin de tester l'efficacité clinique de ces nouveaux outils. Deux domaines d'application ont été largement investigués : celui de la psychiatrie, en se basant sur les thérapies d'exposition et celui de la neuropsychologie, en considérant les possibilités de création de conditions d'évaluation et de réhabilitation dites écologiques, *i.e.*, proches des activités de vie quotidienne. Des EVs à visée diagnostique, thérapeutique mais aussi de soutien ont ainsi été développés.

## 2.2. Les outils traditionnels et leurs limites

### 2.2.1. En psychiatrie

C'est principalement dans le traitement des phobies que la Réalité Virtuelle (RV) a été expérimentée et évaluée. Une phobie, c'est une peur irrationnelle et persistante, obsédante, angoissante qui survient dans des circonstances déterminées, qui sont toujours les mêmes pour un individu (APA, 1994). Le comportement phobique concerne une grande variété de sujets puisque les taux de prévalence à vie de ce trouble peuvent atteindre 11,3 % (APA, 1994) ; il entraîne des conséquences physiologiques, comportementales et sociales (Kessler *et al.*, 1994 ; André et Légeron, 1995).

À ce jour, l'exposition est le seul traitement des phobies dont l'efficacité a été prouvée de façon empirique (Antony et Swinson, 2000). L'exposition du sujet aux situations phobogènes est menée de façon progressive, prolongée et complète. Elle est réalisée par imagination, ou plus efficacement *in vivo*. Ces stratégies d'exposition représentent l'une des composantes des Thérapies Cognitives et Comportementales (TCC ; Wolpe, 1969 ; Marks, 1987).

Les TCC reposent sur le modèle du conditionnement, et par conséquent sur le principe suivant : les difficultés présentées par les patients ont été apprises, il est alors possible de les désapprendre. Les stratégies d'exposition, noyau dur des TCC, s'appuient sur le fait qu'éviter les situations anxiogènes accroît la peur et l'entretient, alors qu'au contraire la confrontation fait diminuer la peur. Enfin l'approche cognitive repose sur la notion de schémas cognitifs (Beck *et al.*, 1979 ; Cottraux, 2001), *i.e.*, des structures imprimées par l'expérience sur l'organisme. Stockés dans la mémoire à long terme, les schémas cognitifs sélectionnent et traitent l'information de manière inconsciente. Le sujet phobique opérant une distorsion de l'information reçue, l'objectif sera de lui proposer de réfléchir aux facteurs qui déclenchent son interprétation erronée.

Les thérapies d'exposition (Cottraux, 1994) peuvent se pratiquer *in vivo* : le sujet affronte par étapes la situation redoutée en réalité. Le thérapeute peut aussi précéder le sujet dans la situation, lui servir de modèle, le guider et le renforcer. Elles peuvent aussi se pratiquer en imagination : le sujet suit une présentation hiérarchisée de stimuli de plus en plus intenses. L'objectif des deux techniques est qu'au maximum d'intensité de la situation anxiogène l'angoisse du patient s'éteigne.

Mais les obstacles à ces techniques de désensibilisation sont nombreux : impossibilité d'imaginer la scène anxiogène pour certains patients ou difficulté pour le thérapeute de savoir ce que le patient imagine ; forte aversion du patient pour les expositions *in vivo* ; contrôle difficile et/ou coût important des expositions *in vivo* ; irrespect de la confidentialité de la consultation.

Les techniques de la RV présentent des atouts qui vont permettre de surmonter ces difficultés inhérentes au traitement traditionnel des troubles anxieux.

### 2.2.2. En neuropsychologie

La neuropsychologie, branche de la spécialité psychologie, peut être considérée comme « une science appliquée concernée par l'expression comportementale du dysfonctionnement du cerveau » (Lezak, 1995). Elle procède en dissociant les comportements complexes en différents domaines cognitifs, qui sont : l'attention, la

mémoire, et différentes activités cognitives de niveau supérieur comme le raisonnement inductif et déductif, la capacité d'abstraction, la formation de concept, récemment regroupées sous le terme de fonctions exécutives.

Les populations d'étude concernées sont les patients souffrant de lésions cérébrales, de pathologies d'origine neurodégénérative ou de troubles du développement. Les lésions cérébrales créent des dégradations dans le domaine cognitif, mais aussi dans les domaines physique, émotionnel, professionnel et social (Lezak, 1995).

Une évaluation neuropsychologique efficace peut servir de nombreux objectifs : le diagnostic des troubles ; la description des forces et déficits fonctionnels du patient ; l'aide à la définition des stratégies de réadaptation ; l'évaluation du traitement ; la recherche et la compréhension des détériorations cognitives et fonctionnelles (Rizzo et Buckwalter, 1997).

Le souci premier des neuropsychologues a été de créer des tests fiables et valides qui permettent de mesurer avec précision le comportement humain. Ils ont ainsi développé de multiples paradigmes pour évaluer les capacités cognitives, sensorielles, motrices et comportementales. Leur tendance a été d'expliquer le comportement en tentant de le fractionner entre capacités cognitives séparées. Malgré leur utilité théorique, il existe un décalage entre les demandes des tests neuropsychologiques et celles du fonctionnement dans la vie quotidienne, réduisant ainsi le pouvoir prévisionnel de ces tests (Neisser, 1978).

L'inventaire des principales épreuves publiées montre le large éventail de tests susceptibles d'évaluer les différents aspects des fonctions cognitives et malgré tout le nombre de travaux ayant examiné la sensibilité, spécificité et reproductibilité des épreuves reste encore restreint. La validité d'une épreuve pour la pratique clinique dépend de son aptitude à montrer la présence d'un déficit et à quantifier son intensité. Initialement le bilan neuropsychologique avait un rôle essentiel pour le diagnostic d'une pathologie cérébrale et cela explique probablement pourquoi la plupart des travaux initiaux ont examiné l'aptitude des tests à dépister la présence d'une pathologie. Actuellement le clinicien attend plutôt d'une épreuve qu'elle précise la nature des processus unitaires altérés et leur retentissement fonctionnel dans la vie quotidienne.

Concernant le premier point certaines épreuves récentes ont tenté de répondre à cet objectif en examinant plus spécifiquement une opération en référence à un cadre théorique spécifié, comme par exemple le test des scripts (modèle de Grafman ; Grafman, 1995). Un nombre croissant de travaux suggère par exemple que le polymorphisme clinique du syndrome dysexécutif serait lié à l'atteinte de différentes opérations de contrôle. Ainsi des corrélations inter-tests faibles, un regroupement des performances aux différents tests selon des facteurs différents et l'observation de déficits avec dissociations doubles suggèrent que les fonctions exécutives reposent sur différentes opérations dont l'atteinte peut être sélective, pour revue (Godefroy *et al.*, 2004). Cependant la spécification des opérations requises pour effectuer une tâche reste encore difficile.

Concernant le second point, il est le plus utile pour le clinicien puisqu'il permet de préciser la nature et l'intensité des déficits du patient et leurs retentissements fonctionnels, préliminaire indispensable à une prise en charge adaptée. Si on prend l'exemple des troubles exécutifs, seuls quelques travaux ont été réalisés dans ce sens. En effet, l'évaluation des fonctions exécutives s'avère en fait souvent difficile surtout lorsqu'il s'agit d'appréhender le retentissement fonctionnel des déficits ;

certain auteurs (Shallice et Burgess, 1991 ; Grafman, 1995) proposent de nouveaux outils d'évaluation ayant pour but d'observer le patient dans des situations proches de la vie quotidienne. En effet, certaines observations ont montré que des patients avec des troubles principalement comportementaux consécutifs à une lésion préfrontale pouvaient réussir aux épreuves classiques alors que l'organisation de leur existence quotidienne était perturbée. Une des hypothèses sous-tendant ces tests écologiques est que la pathologie frontale perturbe l'aptitude à définir un but alors que celui-ci est très contraint, voire prédéfini, dans les épreuves traditionnelles (Lezak, 1995 ; Goel *et al.*, 1997). Cependant la plupart de ces tests sont soit non réalisables en routine soit en fait très éloignés des préoccupations de la vie quotidienne.

De plus ces procédures ont échoué dans l'évaluation de l'impact précis des stimuli, de l'effet du changement dans leur présentation ou contenu, n'analysant pas en détail les réponses caractéristiques, ce qui pourrait justement être important dans la prédiction des performances dans la vie quotidienne.

Les outils traditionnels présentent donc des limites : manque de naturel, de validité écologique (degré de pertinence qu'un système d'entraînement présente par rapport au monde réel) ; influence de l'impact de l'examineur, des conditions de test ; manque de fiabilité et de validité des tests par rapport à l'activité du cerveau.

Les technologies de la réalité virtuelle présentent le potentiel d'aborder et de résoudre la majorité des demandes formulées ci-dessus (Rizzo *et al.*, 2004b).

## **2.3. Les atouts de la réalité virtuelle**

### **2.3.1. En psychiatrie**

L'Exposition par Réalité Virtuelle (ERV) offre de nombreux avantages dans le traitement des troubles anxieux (North *et al.*, 1998b). Elle permet l'exposition, sous contrôle, du patient à des stimuli anxiogènes à la fois complexes, dynamiques, et interactifs en 3D. Elle offre la possibilité de graduer, répéter des situations anxiogènes qui peuvent être nombreuses et variées, et ainsi de planifier un traitement qui est délivré en toute sécurité pour le patient. Le patient, comme le thérapeute, a la possibilité d'arrêter immédiatement la simulation en cas de malaise. L'ERV se déroulant dans le cabinet du thérapeute, la confidentialité de la consultation est préservée et l'embarras du patient est limité. L'aspect attractif de l'ERV et la facilité de sa programmation dans l'emploi du temps du patient limitent les abandons de traitement et augmentent les chances de succès thérapeutique.

Comme le remarquent Glantz *et al.* « une des raisons pour lesquelles il est si difficile de faire évoluer les *a priori* d'un sujet est que tout changement doit être précédé d'une étape préparatoire qu'est la distinction entre la supposition et la perception » (Glantz *et al.*, 1997). La réalité virtuelle est un environnement privilégié pour le processus de mise en œuvre, offrant au patient un milieu protégé où il est possible d'explorer et d'agir sans la sensation de menace.

### **2.3.2. En neuropsychologie**

L'utilisation de la RV dans les applications neuropsychologiques peut servir trois objectifs majeurs : a) l'étude scientifique des mécanismes cognitifs (mémoire, attention, planification) ; b) l'évaluation neuropsychologique ; et c) la réhabilitation (cognitive, motrice).

La RV permet de simuler des environnements naturels, dans lesquels il est possible de présenter de manière plus écologique des stimuli adaptés, insérés dans un contexte significatif et familier (salle de classe, bureau, magasin). La RV permet de gérer le chronométrage et le contrôle des éléments distracteurs, le chargement et la complexité des stimuli, l'altération de ces variables de façon dynamique, en réponse aux actions du participant. Différentes caractéristiques des réponses (précision, rythme, consistance) peuvent être collectées pour permettre leur analyse plus fine et plus détaillée. La RV permet, par ailleurs, d'explorer tous les différents domaines cognitifs (attention, mémoire, planification).

Cette méthodologie peut améliorer la fiabilité des évaluations classiques en minimisant la variabilité due aux différences entre les examinateurs, l'environnement de test et la qualité des stimuli. Enfin, elle peut en améliorer la validité en permettant des mesures plus précises et plus spécifiques des comportements, en améliorant la validité écologique de ce qui est mesuré (Pugnetti *et al.*, 1995). Les résultats obtenus ont plus de pertinence clinique et ont des conséquences directes sur le développement de systèmes de réhabilitation cognitive.

Un des avantages majeurs de la réalité virtuelle pour les médecins et psychologues réside dans le transfert possible d'habiletés apprises à partir d'un environnement virtuel, dans le monde réel, pour des patients présentant des troubles cognitifs ou psychomoteurs. À titre d'exemple, le groupe VIRART (Brown *et al.*, 1998b), a créé plusieurs environnements virtuels dont en particulier un supermarché en vue d'aider des enfants ayant des difficultés d'apprentissage. Dans cette expérience, le groupe expérimental s'entraînait régulièrement, à partir d'un supermarché virtuel, à acheter une liste d'articles variés, tandis que le groupe témoin utilisait un environnement virtuel sans aucun rapport avec le sujet de l'expérience (à savoir le supermarché virtuel). Dans la phase de test, dans un supermarché réel, les auteurs mettent en évidence un temps significativement moindre du groupe expérimental pour effectuer les achats, que le groupe contrôle. Par conséquent, le fait d'effectuer certaines tâches dans un monde virtuel favorise un relatif transfert des habiletés précédemment apprises, dans la réalité. Ce dernier point concernant le transfert d'habiletés que l'on semble pouvoir envisager grâce aux EVs est un élément déterminant pour la prise en charge rééducative des patients et explique pour une bonne part l'intérêt des cliniciens pour la RV.

## **2.4. Les applications en psychiatrie**

De nombreuses techniques de réalité virtuelle ont été expérimentées et évaluées depuis maintenant une quinzaine d'années dans le traitement des troubles anxieux, et en particulier celui des phobies.

### **2.4.1. Les phobies**

Les premières expériences d'exposition par réalité virtuelle ont vu le jour en 1992. Dans un premier temps et de façon générale l'ERV se déroule de la façon décrite ci après. Les patients sont informés du déroulement de la thérapie, et consentants à y être soumis. L'ERV est conduite comme toute autre forme d'exposition graduée, durant 8 à 12 séances d'environ 20 minutes chacune. Après avoir été soumis aux stimuli anxiogènes, les patients mesurent leur anxiété vis-à-vis des situations proposées grâce par exemple à l'échelle subjective d'inconfort (SUDS : *Subjective Unit of Discomfort Scale*, 0-10 ou 0-100) (Wolpe, 1969). Dès que leur niveau d'anxiété dans une étape a chuté (SUDS relativement bas), ils sont encouragés à passer à

l'étape suivante, un peu plus anxiogène. Le thérapeute est présent ; il commente, analyse, soutient. Et finalement les patients sont amenés à aborder le plus souvent possible les situations anxiogènes dans le monde réel.

Souvent l'ERV n'utilise que des techniques d'exposition et des encouragements, sans intervention cognitive ni relaxation. La plupart des études ne concernent que des études de cas (Krijn *et al.*, 2004). Mais des protocoles cliniques ont également vu le jour, permettant de standardiser les approches et d'appréhender les composantes cognitives et comportementales liées à ces troubles anxieux (Riva *et al.*, 2003a).

De nombreuses études de cas ont été réalisées et ont conclu à l'efficacité de l'ERV dans le traitement des phobies par la mise en évidence d'une amélioration significative des symptômes d'anxiété et d'évitement. Elles ont été suivies par des études contrôlées comparant selon les cas l'ERV à une liste d'attente, à un traitement de référence qui est la TTC, à l'exposition *in vivo* ou encore à l'exposition par imagination. Ces études concernent l'acrophobie, ou peur des hauteurs (Rothbaum *et al.*, 1995 ; North *et al.*, 1996 ; Emmelkamp *et al.*, 2002 ; Bouchard *et al.*, 2003), l'aérophobie, ou peur de voler en avion (Rothbaum *et al.*, 1996 ; North *et al.*, 1997 ; Maltby *et al.*, 2002 ; Wiederhold *et al.*, 2002 ; Muhlberger *et al.*, 2003), le trouble panique et agoraphobie (Vincelli *et al.*, 2003 ; Botella *et al.*, 2004), la peur de parler en public (Anderson *et al.*, 2000 ; Harris *et al.*, 2002 ; Slater *et al.*, 2004), la phobie sociale (Anderson *et al.*, 2003 ; James *et al.*, 2003 ; Roy *et al.*, 2003 ; Klinger *et al.*, 2004b ; Klinger *et al.*, 2005) (figure 5), l'arachnophobie ou peur des araignées (Carlin *et al.*, 1997 ; Garcia-Palacios *et al.*, 2002), la claustrophobie (Botella *et al.*, 2000) et la phobie de la conduite (Wald et Taylor, 2003 ; Walshe *et al.*, 2003).



**Figure 5** — Phobie sociale : Anxiété de performance (Klinger *et al.*, 2005).

#### 2.4.2. Les autres troubles anxieux

D'autres troubles anxieux ont également été abordés avec les technologies de la RV. Citons tout d'abord les troubles post traumatiques (PTSD) dont souffrent par exemple les vétérans du Vietnam ou les témoins de l'attentat du World Trade Center (Rothbaum *et al.*, 1999 ; Difede et Hoffman, 2002). L'ERV aide les patients à aborder les souvenirs et les émotions fortes associés aux événements traumatiques ; à les traiter et à s'y habituer. Citons enfin les Troubles Obsessionnels Compulsifs (TOC) pour lesquels la RV donnerait au patient la possibilité d'aller jusqu'au bout de sa compulsion (Clark *et al.*, 1998).

Les techniques de la RV ont également été utilisées pour corriger l'image du corps dans certains troubles alimentaires (boulimie et anorexie ; Riva, 1997 ; Riva *et al.*, 2003b), pour traiter les troubles sexuels masculins (impuissance et éjaculation précoce ; Optale *et al.*, 1998 ; Optale *et al.*, 2004), pour éduquer des enfants autistes à des conduites sécuritaires (Strickland *et al.*, 1996 ; Strickland, 1997). Actuellement des recherches sont menées sur le désir (de fumer, de prendre de la drogue) en présence de stimuli évocateurs de l'addiction correspondante (Kuntze *et al.*, 2001 ; Lee *et al.*, 2003b ; Graap, 2004).

#### **2.4.3. L'efficacité de la réalité virtuelle en psychiatrie**

Les résultats des études précédemment évoquées ont montré l'efficacité de l'ERV et ont permis de déduire une série d'affirmations (North *et al.*, 1998a) : 1) L'exposition d'une personne à une situation anxiogène dans un EV peut évoquer les mêmes réactions et émotions que l'exposition à une situation réelle semblable ; 2) La sensation de présence dans l'EV peut exister même en l'absence de réalisme graphique, l'important étant le réalisme des stimuli et par conséquent les émotions induites ; 3) Chaque personne introduit son propre vécu dans une ERV ; 4) La concentration du sujet est importante dans l'EV dès qu'il dispose de suffisamment de moyens d'interaction ; 5) Les perceptions des situations et le comportement d'une personne dans le monde réel peuvent être modifiés sur la base de ses expériences dans un monde virtuel.

L'efficacité de la RV est à ce jour validée pour le traitement de six troubles psychologiques : l'acrophobie, l'arachnophobie, l'agoraphobie avec trouble panique, les troubles du schéma corporel, l'hyperphagie compulsive et l'aérophobie. Des études contrôlées complémentaires sont nécessaires pour confirmer les résultats concernant les autres troubles.

Un effort de standardisation des matériels de RV, des logiciels, des protocoles cliniques est mené actuellement. Il a été initié par un projet européen, le projet VEPSY\_Updated, dont l'objectif avait été de prouver la viabilité technique et clinique de l'utilisation de systèmes de RV portables et partagés en psychologie clinique (phobie sociale, trouble panique et agoraphobie, obésité, troubles sexuels masculins) (Riva *et al.*, 2003a ; Klinger *et al.*, 2005).

Cependant il faut également avoir conscience des limites de cet outil innovant, limites que nous évoquerons ultérieurement dans cet article.

### **2.5. Les applications en neuropsychologie**

Des applications utilisant les technologies de la RV ont été développées pour évaluer, puis réhabiliter les fonctions cognitives comme l'attention, les fonctions exécutives et la mémoire, mais aussi pour évaluer et entraîner les patients dans des activités de la vie quotidienne (AVQs).

#### **2.5.1. L'attention**

Les déficits de l'attention peuvent ainsi être évalués chez des enfants hyperactifs dans une classe virtuelle (Rizzo *et al.*, 2002 ; Rizzo *et al.*, 2004a), ou chez d'autres groupes de patients plus âgés dans des environnements virtuels (EVs) adaptés comme des situations de travail en bureau (Schultheis et Rizzo, 2002). Il est demandé au sujet de se concentrer sur une tâche dans un EV écologique alors que des éléments perturbateurs vont venir le distraire. Les diverses composantes de l'attention

(sélective, soutenue, divisée) peuvent être examinées grâce à des tâches appropriées. L'attention est mesurée en termes de performance (temps de réaction) par rapport à une variété de défis attentionnels ajustés selon l'âge de la personne ou le niveau escompté de la performance. Des mesures comportementales sont également possibles ; elles sont corrélées avec des composantes comme la distractabilité et/ou l'hyperactivité (*i.e.*, mouvements de la tête, mouvements moteurs inhabituels) et les comportements impulsifs non liés à la tâche (*i.e.*, le temps passé à jouer avec des items distrayeurs). L'attention divisée a également été évaluée dans des situations de conduite (Lengenfelder *et al.*, 2002).

La RV offre de nouvelles possibilités d'évaluation et de réhabilitation de la négligence visuelle, ou inattention dans un champ visuel, qui peut apparaître à la suite d'accidents vasculaires cérébraux ou de traumatismes crâniens. En effet, ses technologies permettent de traquer la position du patient, de suivre le regard du sujet (Kodgi *et al.*, 1999), d'essayer d'ancrer l'attention sur la région spatiale négligée (Wann *et al.*, 1997 ; Myers et Bierig, 2000).

### 2.5.2. Les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont des processus de contrôle qui permettent entre autres l'adaptation à des situations nouvelles ; elles comportent notamment l'inhibition, la flexibilité mentale et la planification qui intègre la formulation d'un but et l'anticipation. La RV permet de proposer des tâches complexes proches de celles de la vie de tous les jours, en prenant en considération le temps, la difficulté, l'intérêt et l'engagement émotionnel des sujets (Zhang *et al.*, 2001). Les premiers EVs développés ont repris la problématique du *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), test exécutif très largement utilisé, destiné à évaluer le fonctionnement des lobes frontaux pendant lequel le sujet doit classer de longues séries de cartes en fonction de catégories (forme, couleur, nombre) gérées par l'examineur (Mendozzi *et al.*, 1998 ; Pugnetti *et al.*, 1998a ; Elkind *et al.*, 2001).

Puis dans un souci de validité écologique, des EVs représentant des situations de la vie quotidienne ont été créés : un magasin de fruits virtuel (Lo Priore *et al.*, 2003), un appartement (Zalla *et al.*, 2001), des supermarchés (Lee *et al.*, 2003a ; Klinger *et al.*, 2004a), une cuisine (Zhang *et al.*, 2001). L'objectif de ces applications est de définir un outil d'évaluation des fonctions exécutives, comme la planification des tâches (Marié *et al.*, 2003), grâce à la réalisation d'une tâche, à la mesure de performances, de stratégies, à l'analyse de trajectoires. Ces études sont en cours auprès de patients atteints de dysfonctionnement exécutif.

### 2.5.3. La mémoire

Les incapacités résultant d'altérations de la mémoire concernent la désorientation (*i.e.*, ne pas connaître le temps, ne pas reconnaître les personnes ou les lieux, se perdre), la désorganisation (*i.e.*, oublier les rendez-vous, les intentions, les activités quotidiennes) et les actes répétitifs (*i.e.*, répéter la même question, la même action) (Brooks et Rose, 2003). La RV offre des possibilités de créer des approches visant de façon systématique les capacités de mémoire dans des EVs. Les efforts dans ce domaine sont particulièrement utiles du fait de l'inconsistance des méthodes traditionnelles dans la réhabilitation de la mémoire (Wilson, 1997).

L'étude de la mémoire prospective a débuté à l'université de East London (UEL) avec pour premier objectif la spécification des types de mémoire pouvant être mis en valeur lors de la réalisation d'une tâche de navigation, avec *joystick* et souris, dans une

maison virtuelle de quatre pièces (Attree *et al.*, 1996 ; Rose *et al.*, 1996), et pour second objectif l'évaluation des déficits de mémoire chez des patients. Puis avec cet EV les auteurs ont exploré la mémoire explicite ouvrant une importante discussion sur la dichotomie *actif / passif* dans la mémorisation des objets, des événements et de l'espace (Andrews *et al.*, 1995 ; Wilson *et al.*, 1997 ; Pugnetti *et al.*, 1998b).

L'étude de la mémoire spatiale a été envisagée avec le développement d'EVs créés sur le modèle du *Morris Water Task* (Morris, 1981). Dans la tâche virtuelle, les sujets naviguent dans une enceinte à la recherche d'une plate-forme cachée, en se dirigeant grâce à des repères visuels mémorisés (Sandstrom *et al.*, 1998 ; Skelton *et al.*, 2000 ; Astur *et al.*, 2002 ; Moffat et Resnick, 2002).

L'analyse du traitement de l'espace est également explorée dans des applications de RV. Par exemple, VETO est un EV utilisé comme outil complémentaire dans l'évaluation et la réhabilitation des désordres d'orientation topographique (Bertella *et al.*, 2001). Il est basé sur le modèle théorique de *wayfinding* (*i.e.*, la capacité à apprendre et à se rappeler un itinéraire dans un environnement, avec comme but d'être capable de se localiser depuis n'importe quel endroit, dans un grand espace) (Chen et Stanney, 1999).

Le développement de capacités spatiales chez des enfants dont les incapacités physiques limitent leur motricité est également un des enjeux de la réalité virtuelle. Il est ainsi donné à ces personnes la possibilité d'explorer un EV de façon indépendante et de générer plus aisément des cartes cognitives (Foreman *et al.*, 1989 ; McComas *et al.*, 1997). Le transfert d'apprentissage des lieux de l'EV vers l'environnement réel a également été montré (Wilson et Evans, 1996 ; Stanton *et al.*, 1998 ; Foreman *et al.*, 2003).

Un autre domaine prometteur d'exploration de la mémoire a récemment émergé : il s'agit de l'utilisation d'EVs immersifs audio délivrant des sons 3D spatialisés qui peuvent ainsi produire des signaux en rapport avec l'environnement simulé (Kyriakakis, 1998), augmenter l'information environnementale pour des sujets déficients visuels (Berka et Slavik, 1998 ; Cooper et Taylor, 1998), ou encore favoriser la génération de cartes spatiales et cognitives chez les aveugles (Lumbreras et Sanchez, 1998).

#### **2.5.4. Les Activités de la Vie Quotidienne (AVQs)**

Les approches fonctionnelles appuient le développement d'EVs écologiques pour tester et entraîner un grand répertoire de comportements chez des personnes limitées dans leur capacité à apprendre de façon indépendante dans le monde réel. Ces EVs peuvent délivrer un entraînement hiérarchique et sécuritaire, libérant ainsi du temps au thérapeute pour par exemple des tête-à-tête avec le patient plus intensifs si le besoin se présente.

Des EVs ont été développés pour cibler les compétences fonctionnelles requises lors de la traversée de rues (Inman *et al.*, 1997 ; Strickland, 1997 ; Desbonnet *et al.*, 1998 ; Weiss *et al.*, 2003), du déplacement avec des chaises roulantes (Harrison *et al.*, 2002), de la préparation des repas (Christiansen *et al.*, 1998 ; Davies *et al.*, 1999 ; Gourlay *et al.*, 2000 ; Davies *et al.*, 2002 ; Zhang *et al.*, 2003), de la conduite automobile (Wald et Liu, 2001 ; Ku *et al.*, 2002), du déplacement en ville (Brown *et al.*, 1998a ; Cobb *et al.*, 1998), des achats dans un supermarché (Cromby *et al.*, 1996b), ou encore de la marche et de l'évitement d'obstacles chez les personnes âgées (Jaffe *et al.*, 2004).

Les techniques d'apprentissage mises en œuvre sont variées (essai et erreur, sans erreur), adaptées aux pathologies, avec assistance ou non du thérapeute.

### 2.5.5. La réhabilitation cognitive

La réhabilitation cognitive peut être définie comme étant « le processus thérapeutique d'accroissement ou d'amélioration de la capacité d'un individu à traiter et utiliser l'information entrante de façon à permettre un fonctionnement augmenté dans la vie de tous les jours » (Sohlberg et Mateer, 1989). L'approche réadaptative pure se focalise sur le ré-entraînement systématique de composants des processus cognitifs (attention, mémoire, perception visuelle, résolution de problèmes, fonctionnement exécutif) en considérant le cerveau comme un muscle. L'importance est donnée à l'entraînement et à la pratique d'exercices présentés de façon hiérarchique en fonction du succès. L'approche fonctionnelle pure met l'accent sur l'entraînement des comportements et des habiletés observables, des activités utiles de la vie de tous les jours (AVQs). Les exemples doivent inclure l'entraînement à des activités dans des environnements de travail bien ciblés tels que cuisines, usines, magasins, bureaux, etc.

La plupart des études réalisées chez les patients évaluent l'efficacité de traitement au moyen de mesures psychométriques et non en fonction de résultats dans la vie quotidienne (Cicerone *et al.*, 2000). Même lorsque les améliorations mesurées peuvent être attribuées au traitement, le rapport entre ces changements et les améliorations fonctionnelles peut ne pas être clair ou être limité par manque de généralisation à des situations journalières.

En outre, parfois, le but d'intervention était d'entraîner des sujets à l'utilisation de stratégies adaptatives et compensatoires pour des affaiblissements cognitifs résiduels. Dans ces cas, les avantages réels de traitement peuvent ne pas être évidents sur les mesures qui ne fournissent pas l'occasion d'employer de telles compensations.

La réadaptation cognitive devrait toujours être orientée vers l'amélioration du fonctionnement journalier (Van der Linden et Juillerat, 2004) et devrait inclure des tentatives actives pour favoriser la généralisation.

Par ailleurs peu de chercheurs ont évalué l'effet à long terme des améliorations produites par la réadaptation cognitive. Dans plusieurs études indiquant le suivi des patients, il s'est avéré que les avantages durables du traitement dépendaient de l'utilisation continue par les sujets des stratégies compensatoires dans les situations fonctionnelles.

Les EVs, avec tous leurs attributs dont leurs aspects interactifs et immersifs, peuvent intégrer les caractéristiques de ces deux approches et fournir des applications d'entraînement systématique pour une amélioration des performances. Ainsi peuvent être abordés : la réhabilitation de la négligence visuelle (Myers et Bierig, 2000), la restauration de la mémoire par l'entraînement à des tâches répétitives (Stanton *et al.*, 1998 ; Foreman *et al.*, 2003), la réorganisation de la mémoire en utilisant les systèmes intacts pour aider ou remplacer les fonctions altérées (Glisky *et al.*, 1986 ; Glisky et Schacter, 1988 ; Brooks *et al.*, 1999), l'apprentissage procédural (Rose *et al.*, 1999), la réhabilitation de la mémoire par l'exercice physique (Grealy *et al.*, 1999), la réhabilitation dans les activités de la vie quotidienne à partir de cités virtuelles (Brown *et al.*, 1998a), supermarchés (Cromby *et al.*, 1996a ; Lee *et al.*, 2003a), maisons (Rose *et al.*, 2001), cuisines (Christiansen *et al.*, 1998 ; Brooks *et al.*, 2002), bureaux

(Rizzo *et al.*, 2002), etc. Citons encore AVIRC, un EV intégré pour la réhabilitation cognitive, conçu sur la base de modèles cognitifs (da Costa et de Carvalho, 2004).

Les résultats encourageants de toutes ces études soutiennent le rôle bénéfique que peut jouer la RV dans l'évaluation et la réhabilitation cognitive. Mais les travaux doivent en général être menés sur des échantillons plus grands afin d'aborder les questions de fiabilité et de validité.

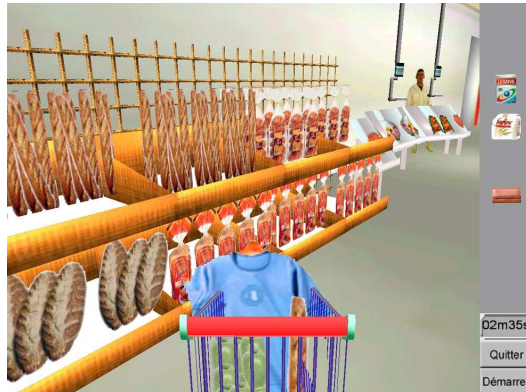
## **2.6. Aspects cognitifs de la conception des environnements virtuels**

Les applications de RV décrites ci-dessus ont été développées afin que le participant (utilisateur) y accomplisse une activité (fonctionnalité) déterminée. Les choix matériels (interfaces), environnementaux (EV), conceptuels (actions, tâches) pour l'obtention de l'immersion et de l'interaction fonctionnelles souhaitées du participant dépendent de différents facteurs : la population des patients avec ses atouts et ses éventuels handicaps ; l'objectif clinique de l'application ; les possibilités matérielles (lieux, informatique).

Ici le point de vue du clinicien, du thérapeute ou du chercheur en neuropsychologie est fondamental. L'interactivité entretenue avec l'ingénieur de développement en charge de la création matérielle de l'environnement est elle aussi de première importance. En effet, les problèmes conceptuels posés sont très différents de ceux liés à la création ou à la validation d'un test cognitif dit classique. Le principe de base de ces environnements consiste en la simulation de situations de vie quotidienne. Ceci est source d'une complexification considérable : la couleur, la taille, la position et l'interactivité ou non de TOUS les objets créés dans l'environnement sont à prendre en compte or, puisque cet environnement simule la vie quotidienne, ces « objets » sont multiples et beaucoup plus nombreux que dans un paradigme cognitif classique. Deux principales questions doivent se poser en permanence : ces objets vont-ils interférer et dans quel sens, avec le processus cognitif mesuré ? Chaque modification ou nouvelle création dans l'EV, réalisée par exemple pour des raisons de limites techniques, peut perturber le but poursuivi.

Mais prenons un exemple, celui de l'évaluation de la planification des tâches chez les malades parkinsoniens dans un supermarché virtuel (Marié *et al.*, 2003 ; Klinger *et al.*, 2004a). Pour réaliser cet objectif clinique, les patients sont amenés à réaliser une tâche basée sur le Test des Commissions (Martin, 1972) : une liste de courses leur est proposée, ils doivent effectuer les achats dans un supermarché. Des premières questions se posent concernant la façon de présenter la tâche (oralement, visuellement avec du texte, visuellement avec des images), le besoin ou non de laisser la liste à disposition pendant le déroulement de l'application. Étant donné que le travail ne portait pas sur la mémorisation de la liste, le choix a été fait de garder cette liste de courses présente à l'écran sous forme d'icônes semblables à l'apparence des objets dans l'EV (figure 6).

Comme dans toute application de RV, se pose la question de la représentation du participant dans l'EV (utilisation ou non d'un avatar, incrustation d'une image de l'utilisateur dans l'EV, pas de représentation). En l'occurrence, pour des raisons écologiques, le patient n'est pas représenté mais est placé juste derrière le caddie et est la caméra qui observe l'environnement, à partir de ce point de vue. Intuitivement les schèmes de la vie réelle sont adaptés et le participant comprend qu'il bouge avec le caddie.



**Figure 6** — Supermarché Virtuel (Marié et al., 2003 ; Klinger et al., 2004a).

Le participant doit également pouvoir se déplacer dans l'EV. Pour ces patients parkinsoniens, sujets à d'éventuels tremblements (les critères d'inclusion permettent d'exclure les participants dont les troubles moteurs seraient trop importants), le choix des flèches de direction du clavier a été fait : le sens du déplacement est intuitif, la sensibilité à des mouvements un peu désordonnés est moindre que dans le cas d'un joystick.

L'utilisateur regarde, observe l'EV. Afin de ne pas perturber ou stresser ces patients à l'assurance fragilisée par la maladie, le choix de la vision directe sur écran a été fait.

Puis le sujet doit interagir, acheter des produits, les déposer aux caisses, les reprendre, payer. Ces opérations doivent être simples, montrer l'intention et l'action sans avoir besoin de l'accomplissement total du geste. La souris a été choisie pour les mener à bien, par simple clic sur le bouton gauche. La métaphore de l'achat dans un EV est ainsi définie. Puis des aides logicielles comportementales ont été développées. Ainsi pour faire un achat, des pommes par exemple, le participant clique sur l'étal des pommes et il voit alors un lot de pommes quitter l'étal et se placer dans le caddie. Le participant peut à tout moment vérifier le contenu de son caddie. Par ailleurs, dès qu'un achat est effectué, l'icône du produit sur l'écran disparaît, ce qui représente une autre façon de rayer son produit sur sa liste comme il peut être habituel de le faire dans un supermarché réel.

Bien que les actions des participants aient été simplifiées au maximum pour tenir compte de leur âge et de leurs déficits, nous avons souhaité préserver leur part d'interactivité et d'exploration indépendante de l'EV. Ainsi nous aurions pu adopter un autre point de vue et leur demander de diriger une personne compétente pour effectuer à leur place les actions.

Ces exemples illustrent l'ampleur des aspects cognitifs qui accompagnent la conception d'un environnement virtuel.

## 2.7. Les limites de la réalité virtuelle

Si la réalité virtuelle apparaît comme un outil innovant efficace dans l'évaluation et le traitement des troubles cognitifs et comportementaux, son utilisation présente des limites, voire des contre-indications. La réalité virtuelle peut ne pas s'avérer être un outil de choix pour tous les troubles psychologiques ou pour tous les patients.

Les recherches et les expériences de thérapie basée sur la RV ont par exemple conduit à la mise en évidence d'une série de considérations (Anderson *et al.*, 2004) :

- Des effets secondaires liés à la technologie peuvent apparaître : La *cybersickness* qui se produit lorsqu'il y a conflit entre les perceptions des différentes modalités sensorielles et les *aftereffects* qui peuvent inclure des symptômes tels que locomotion perturbée, changements dans le contrôle de la posture, perturbations sensori-motrices, somnolence, fatigue (Kennedy et Stanney, 1996), et peuvent être liés à la réadaptation du sujet au monde réel après une expérimentation dans le monde virtuel. L'étude de ces effets a permis de définir une durée maximale de 20 minutes pour les séances immersives.
- L'exacerbation des symptômes d'anxiété liés à l'utilisation de la technologie, cette dernière pouvant aider à sécuriser, mais risquant par ailleurs d'isoler socialement le sujet, ou au contraire permettant d'augmenter les possibilités d'interaction sociale.

### 3. Conclusion

Avoir une activité sensori-motrice dans un monde virtuel repose sur les deux notions **d'immersion** dans ce monde virtuel et **d'interaction** avec lui. Ces deux objectifs peuvent être étudiés sous un regard des sciences de l'ingénieur ou sous celui des sciences humaines. Beaucoup de recherches interdisciplinaires devront être entreprises pour développer efficacement la réalité virtuelle sur des fondements solides issus des sciences humaines, puisque l'Homme est au cœur de toute application RV. Certains chercheurs font déjà des travaux dans ce sens, comme le montre le lien entre les approches de théorie de l'instrument en IHM et le modèle d'interaction et d'immersion en réalité virtuelle (Tyndiuk *et al.*, 2003).

Les thérapeutes se sont saisis des possibilités offertes par les technologies de la RV pour développer des EVs à visée diagnostique, thérapeutique mais aussi de soutien. Toutefois la mise en place de plus d'études contrôlées est nécessaire pour valider les premiers résultats concernant l'efficacité de la RV. Les solutions « clés en main » ne sont pas actuellement disponibles. On note un manque de standardisation des matériels de la RV et des logiciels, mais aussi beaucoup de diversité dans les protocoles expérimentaux. Par ailleurs la prise en compte de considérations éthiques et sécuritaires est indispensable lors du développement et de l'utilisation d'EVs.

Néanmoins, toutes les études premières et en cours conduisent à penser que les EVs sont des méthodes fructueuses pour enseigner des compétences de vie indépendante à des personnes handicapées intellectuellement. Elles montrent aussi qu'un tel apprentissage se transfère dans les situations de vie réelle où ces compétences sont requises. Cependant pour exploiter efficacement leur potentiel éducatif, l'interaction avec l'EV doit être guidée, par un tuteur humain, ou virtuel (Standen *et al.*, 2001).

La RV permet de nouvelles approches et annonce, en particulier en psychiatrie, une réflexion sur la place du thérapeute dans la triade Patient – Thérapeute – Système Virtuel. Enfin, son rôle dans les processus de réadaptation cognitive et motrice constitue l'un des points fondamentaux pour les années à venir.

## Références bibliographiques

- Anderson P., Rothbaum B.O., Hodges L. (2000). Virtual reality exposure therapy for the fear of public speaking: A case study. Proceedings of the *annual meeting of the American psychological association*. Washington, DC.
- Anderson P., Rothbaum B.O., Hodges L.F. (2003). Virtual reality in the treatment of social anxiety: Two case reports. *Cognitive and behavioral practice*. 10(3), 240-247.
- Anderson P., Jacobs C., Rothbaum B.O. (2004). Computer-supported cognitive behavioral treatment of anxiety disorders. *Journal of Clinical Psychology*. 60(3), 253-267.
- Andler D. (1992). Introduction aux sciences cognitives. Folio Essais.
- André C., Légeron P. (1995). La phobie sociale : approche clinique et thérapeutique. *Encéphale*. 21(1), 1-13.
- Andrews T.K., Rose F.D., Leadbetter A.G., Attree E.A., Painter J. (1995). Virtual reality: Its use in the assessment of cognitive ability. Proceedings of the *British Psychology Society*. 3(2), 112.
- Antony M.M., Swinson R.P. (2000). Phobic disorders and panic in adults: A guide to assessment and treatment. Washington, DC: American Psychological Association.
- APA (1994). DSM-IV: Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 4th Edition. Washington DC: American Psychiatric Press.
- Astur R.S., Taylor L.B., Mamelak A.N., Philpott L., Sutherland R.J. (2002). Humans with hippocampus damage display severe spatial memory impairments in a virtual Morris water task. *Behavioural brain research*. 132(1), 77-84.
- Attree E.A., Brooks B.M., Rose F.D., Andrews T., Leadbetter A., Clifford B. (1996). Memory processes and virtual environments: I can't remember what was there but I can remember how I got there — Implications for people with disabilities. Proceedings of the *1st European Conference On Disability, Virtual Reality And Associated Technologies (ECDVRAT)*. Maidenhead, UK. 117-121.
- Beck A.T., Rush A.J., Shaw B.F., Emery G. (1979). Cognitive therapy of depression: A treatment manual. New York: Guilford.
- Berka R., Slavik P. (1998). Virtual reality for blind users. In Sharkey P., Rose D., Lindstrom J. (eds.), Proceedings of the *2nd Conference On Disability, Virtual Reality And Associated Technologies (ECDVRAT)*. Skovde, Sweden. 89-98.
- Bertella L., Marchi S., Riva G. (2001). Virtual Environments for Topographic Orientation (VETO): Clinical rationale and technical characteristics. *Presence*. 10(4), 440-449.
- Botella C., Banos R.M., Villa H., Perpina C., Garcia Palacios A. (2000). Virtual reality in the treatment of claustrophobic fear: A controlled multiple-baseline design. *Behavior therapy*. 31(3), 583-595.
- Botella C., Villa H., Garcia-Palacios A., Quero S., Baños R.M., Alcañiz M. (2004). The use of VR in the treatment of panic disorders and agoraphobia. *Studies in health technology and informatics*. 99, 73-90.
- Bouchard S., St-Jacques J., Robillard G., Côté S., Renaud P. (2003). Efficacité de l'exposition en réalité virtuelle pour le traitement de l'acrophobie : une étude préliminaire. *Journal de thérapie comportementale et cognitive*. 13(3), 107-112.
- Brooks B.M., McNeil J.E., Rose F.D., Greenwood R., Attree E.A., Leadbetter A. (1999). Route learning in a case of amnesia: A preliminary investigation into the efficacy of training in a virtual environment. *Neuropsychological rehabilitation*. 9(1), 63-76.

- Brooks B.M., Rose F.D., Attree E.A., Elliot-Square A. (2002). An evaluation of the efficacy of training people with learning disabilities in a virtual environment. *Disability & Rehabilitation*. 24(11-12), 622-626.
- Brooks B.M., Rose F.D. (2003). The use of virtual reality in memory rehabilitation: Current findings and future directions. *NeuroRehabilitation*. 18(2), 147-157.
- Brown D.J., Kerr S.J., Bayon V. (1998a). The development of the Virtual City: A user centred approach. In Sharkey P., Rose D., Lindstrom J. (eds.), *Proceedings of the 2nd European Conference On Disability, Virtual Reality And Associated Technologies (ECDVRAT)*. Reading UK: University of Reading. 11-16.
- Brown D.J., Standen P.J., Cobb S.V. (1998b). Virtual environments special needs and evaluative methods. *Studies in health technology and informatics*. 58, 91-102.
- Carlin A.S., Hoffman H.G., Weghorst S. (1997). Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: A case report. *Behaviour research and therapy*. 35(2), 153-158.
- Chen J.L., Stanney K.M. (1999). A theoretical model of way finding in virtual environments: Proposed strategies for navigational aiding. *Presence: Teleoperators and virtual environments*. 8(6), 632- 656.
- Christiansen C., Abreu B., Ottenbacher K., Huffman K., Masel B., Culpepper R. (1998). Task performance in virtual environments used for cognitive rehabilitation after traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 79(8), 888-892.
- Cicerone K.D., Dahlberg C., Kalmar K., Langenbahn D.M., Malec J.F., Bergquist T.F., Felicetti T., Giacino J.T., Harley J.P., Harrington D.E., Herzog J., Kneipp S., Laatsch L., Morse P.A. (2000). Evidence-based cognitive rehabilitation: Recommendations for clinical practice. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 81(12), 1596-1615.
- Clark A., Kirkby K.C., Daniels B.A., Marks I.M. (1998). A pilot study of computer-aided vicarious exposure for obsessive-compulsive disorder. *Australian and New Zealand journal of psychiatry*. 32(2), 268-275.
- Cobb S.V.G., Neale H.R., Reynolds H. (1998). Evaluation of virtual learning environment. *Proceedings of the 2nd European conference on disability, virtual reality and associated technologies*. Skovde, Sweden. 17-23.
- Cooper M., Taylor M.E. (1998). Ambisonic sound in virtual environments and applications for blind people. In Sharkey P., Rose D., Lindstrom J. (eds.), *Proceedings of the 2nd European conference on disability, virtual reality and associated technologies*. Skovde, Sweden. 113-118.
- Cottraux J. (1994). *Les thérapies cognitives et comportementales*, 3ème édition. Paris: PUF.
- Cottraux J. (2001). *Les thérapies cognitives*, 2ème édition. Paris : Retz.
- Cromby J., Standen P., Newman J., Tasker H. (1996a). Successful transfer to the real world of skills practiced in a virtual environment by student with severe learning disabilities. In Sharkey P.M. (ed.), *Proceedings of the 1st European conference on disability, virtual reality and associated technologies*. Reading UK: University of Reading. 305-313.
- Cromby J.J., Standen P.J., Brown D.J. (1996b). The potentials of virtual environments in the education and training of people with learning disabilities. *Journal of intellectual disability research*. 40 (6), 489-501.
- da Costa R.M., de Carvalho L.A. (2004). The acceptance of virtual reality devices for cognitive rehabilitation: A report of positive results with schizophrenia. *Computer methods and programs in biomedicine*. 73(3), 173-182.
- Davies R.C., Johansson G., Boschian K., Linden A., Minör U., Sonesson B. (1999). A practical example using virtual reality in the assessment of brain injury. *The international journal of virtual reality*. 4(1), 3-10.

- Davies R.C., Löfgren E., Wallergard M., Linden A., Boschian K., Minör U., Sonesson B., Johansson G. (2002). Three applications of virtual reality for brain injury rehabilitation of daily tasks. Proceedings of *International Conference on Disabilities, Virtual Reality and Associated Technology (ICDVRAT)*. Hungary. 87-92.
- Desbonnet M., Cox S.L., Rahman A. (1998). Development and evaluation of a virtual reality based training system for disabled children. Proceedings of the *2nd European Conference on Disabilities, Virtual Reality and Associated Technology (ECDVRAT)*. Skovde, Sweden. 177-182.
- Difede J., Hoffman H.G. (2002). Virtual reality exposure therapy for World Trade Center post-traumatic stress disorder: A case report. *Cyberpsychology & Behavior*. 5(6), 529-535.
- Elkind J.S., Rubin E., Rosenthal S., Skoff B., Prather P. (2001). A simulated reality scenario compared with the computerized Wisconsin card-sorting test: An analysis of preliminary results. *Cyberpsychology & Behavior*. 4(4), 489-496.
- Emmelkamp P.M., Krijn M., Hulsbosch A.M., de Vries S., Schuemie M.J., van der Mast C.A. (2002). Virtual reality treatment versus exposure in vivo: A comparative evaluation in acrophobia. *Behaviour research and therapy*. 40(5), 509-516.
- Foreman N., Stanton D., Wilson P., Duffy H. (2003). Spatial knowledge of a real school environment acquired from virtual or physical models by able-bodied children and children with physical disabilities. *Journal of experimental psychology applied*. 9(2), 67-74.
- Foreman N.P., Orenca C., Nicholas E., Morton P., Gell M. (1989). Spatial awareness in seven- to 11-year-old physically handicapped children in mainstream schools. *European Journal of Special Needs Education*. 4(3), 171-179.
- Fuchs P., Nashashibi F., Lourdeaux D. (1999). A theoretical approach of the design and evaluation of a virtual reality device. Actes du *colloque scientifique international réalité virtuelle et prototype*. Laval.
- Fuchs P., Moreau G., Arnaldi B., Burkhardt J.M., Chauffaut A., Coquillart S., Donikian S., Duval T., Grosjean J., Harrouet F., Klinger E., Lourdeaux D., Mellet d'Huart D., Paljic A., Papin J.P., Stergiopoulos P., Tisseau J., Viaud-Delmon I. (2003). *Le traité de la réalité virtuelle*. Presses de l'École des Mines de Paris, 2ème édition.
- Garcia-Palacios A., Hoffman H., Carlin A., Furness T.A., Botella C. (2002). Virtual reality in the treatment of spider phobia: A controlled study. *Behaviour research and therapy*, 40(9), 983-993.
- Glantz K., Durlach N.I., Barnett R.C., Aviles W.A. (1997). Virtual reality (VR) and psychotherapy: Opportunities and challenges. *Presence: Teleoperators and virtual environments*. 6(1), 87-105.
- Glisky E.L., Schacter D.L., Tulving E. (1986). Learning and retention of computer-related vocabulary in memory-impaired patients: Method of vanishing cues. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*. 8(3), 292-312.
- Glisky E.L., Schacter D.L. (1988). Long-term retention of computer learning by patients with memory disorders. *Neuropsychologia*. 26(1), 173-178.
- Godefroy O., Aithamon B., Azouvy P., Didic M., le Gall D., Marié R.M., Meulemans T., Chrystelet M., Peres B., Pillon B., Robert P. (2004). Groupe de réflexion sur l'évaluation des fonctions exécutives — Syndromes frontaux et dysexécutifs. *Revue de neurologie*. 160(10), 899-909.
- Goel V., Grafman J., Tajik J., Gana S., Danto D. (1997). A study of the performance of patients with frontal lobe lesions in a financial planning task. *Brain*. 120(10), 1805-1822.
- Gourlay D., Lun K.C., Lee Y.N., Tay J. (2000). Virtual reality for relearning daily living skills. *International journal of medical informatics*. 60(3), 255-261.
- Graap K. (2004). Virtual crack house. *Science*. 303(5664), 1608-1608.
- Grafman J. (1995). Similarities and distinctions among current models of prefrontal cortical functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 769(1), 337-368.

- Grealy M.A., Johnson D.A., Rushton S.K. (1999). Improving cognitive function after brain injury: the use of exercise and virtual reality. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 80(6), 661-667.
- Harris S.R., Kemmerling R.L., North M.M. (2002). Brief virtual reality therapy for public speaking anxiety. *CyberPsychology & Behavior*. 5(6), 543-550.
- Harrison A., Derwent G., Enticknap A., Rose F.D., Attree E.A. (2002). The role of virtual reality technology in the assessment and training of inexperienced powered wheelchair users. *Disability and rehabilitation*. 24(11-12), 599-606.
- Inman D.P., Loge K., Leavens J. (1997). VR education and rehabilitation. *Communications of the ACM*. 40(8), 53-58.
- Jaffe D.L., Brown D.A., Pierson-Carey C.D., Buckley E.L., Lew H.L. (2004). Stepping over obstacles to improve walking in individuals with post-stroke hemiplegia. *Journal of rehabilitation research and development*. 41(3A), 283-292.
- James L.K., Lin C.Y., Steed A., Swapp D., Slater M. (2003). Social anxiety in virtual environments: results of a pilot study. *CyberPsychology & Behavior*. 6(3), 237-243.
- Kennedy R.S., Stanney K.M. (1996). Postural instability induced by virtual reality exposure: Development of a certification protocol. *International journal of human-computer interaction*. 8(1), 25-47.
- Kessler R.C., McGonagle K.A., Zhao S., Nelson C.B., Hughes M., Eshleman S., Wittchen H.U., Kendler K.S. (1994). Lifetime and 12-month prevalence of DSM-III-R psychiatric disorders in the United States: Results from the National comorbidity survey. *Archives of general psychiatry*. 51(1), 8-19.
- Klinger E., Chemin I., Lebreton S., Marié R.M. (2004a). A virtual supermarket to assess cognitive planning. *CyberPsychology & Behavior*. 7(3), 292-293.
- Klinger E., Legeron P., Roy S., Chemin I., Lauer F., Nugues P. (2004b). Virtual reality exposure in the treatment of social phobia. *Studies in health technology and informatics*. 99, 91-119.
- Klinger E., Bouchard S., Légeron P., Roy S., Lauer F., Chemin I., Nugues P. (2005). Virtual reality therapy versus cognitive behavior therapy for social phobia: A preliminary controlled study. *CyberPsychology & Behavior*. 8(1), 76-88.
- Kodji S.M., Gupta V., Conroy B., Knott B.A. (1999). Feasibility of using virtual reality for quantitative assessment of hemineglect: A pilot study. *Proceedings of American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation, 61st annual assembly*. Washington DC.
- Krijn M., Emmelkamp P.M., Olafsson R.P., Biemond R. (2004). Virtual reality exposure therapy of anxiety disorders: A review. *Clinical psychology review*. 24(3), 259-281.
- Ku J.H., Jang D.P., Lee B.S., Lee J.H., Kim I.Y., Kim S.I. (2002). Development and validation of virtual driving simulator for the spinal injury patient. *CyberPsychology & Behavior*. 5(2), 151-156.
- Kuntze M.F., Stoermer R., Mager R., Roessler A., Mueller-Spahn F., Bullinger A.H. (2001). Immersive virtual environments in cue exposure. *CyberPsychology & Behavior*. 4(4), 497-501.
- Kyriakakis (1998). Fundamental and technological limitations of immersive audio systems. In: *Proceedings of the IEEE*. 86(5), 941-951.
- Lee J.H., Ku J., Cho W., Hahn W.Y., Kim I.Y., Lee S.M., Kang Y., Kim D.Y., Yu T., Wiederhold B.K., Wiederhold M.D., Kim S.I. (2003a). A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. *CyberPsychology & Behavior*. 6(4), 383-388.
- Lee J.H., Ku J., Kim K., Kim B., Kim I.Y., Yang B.H., Kim S.H., Wiederhold B.K., Wiederhold M.D., Park D.W., Lim Y., Kim S.I. (2003b). Experimental application of virtual reality for nicotine craving through cue exposure. *CyberPsychology & Behavior*. 6(3), 275-280.

- Lengenfelder J., Schultheis M.T., Al-Shihabi T., Mourant R., DeLuca J. (2002). Divided attention and driving: A pilot study using virtual reality technology. *Journal of head trauma rehabilitation*. 17(1), 26-37.
- Lezak M.D. (1995). *Neuropsychological assessment*. New-York: Oxford University Press.
- Lo Priore C., Castelnuovo G., Liccione D. (2003). Experience with V-STORE: Considerations on presence in virtual environments for effective neuropsychological rehabilitation of executive functions. *CyberPsychology & Behavior*. 6(3), 281-287.
- Lumbreras M., Sanchez J. (1998). 3D aural interactive hyperstories for blind children. In Sharkey P, Rose D, Lindstrom J, (eds.), *Proceedings of the 2nd European conference on disability, virtual reality and associated technologies*. Skovde, Sweden. 119-128.
- Maltby N., Kirsch I., Mayers M., Allen G.J. (2002). Virtual reality exposure therapy for the treatment of fear of flying: A controlled investigation. *Journal of consulting and clinical psychology*. 70(5), 1112-1118.
- Maman D. (1998). Recalage de modèles tridimensionnels sur des images réelles : application à la modélisation interactive par des techniques de réalité augmentée. Thèse de doctorat. Paris : École des Mines de Paris.
- Marié R.M., Klinger E., Chemin I., Josset M. (2003). Cognitive planning assessed by virtual reality. *Proceedings of VRIC 2003, Laval virtual conference*. Laval, France. 119-125
- Marks I. (1987). *Fears, phobias and rituals: Panic, anxiety and their disorders*. New-York: Oxford University Press.
- Martin R. (1972). *Test des commissions*, 2ème édition. Bruxelles : Editest.
- McComas J., Dulberg C., Latter J. (1997). Children's Memory for Locations Visited: Importance of Movement and Choice. *Journal of motor behavior*. 29(3), 223-229.
- Mendozzi L., Motta A., Barbieri E., Alpini D., Pugnetti L. (1998). The application of virtual reality to document coping deficits after a stroke: Report of a case. *CyberPsychology & Behavior*. 1, 79-91.
- Moffat S.D., Resnick S.M. (2002). Effects of age on virtual environment place navigation and allocentric cognitive mapping. *Behavioral neuroscience*. 116(5), 851-859.
- Morris R.G.M. (1981). Spatial localization does not depend on the presence of local cues. *Learning and motivation*. 12, 239-260.
- Muhlberger A., Wiedemann G.C., Pauli P. (2003). Efficacy of a one-session virtual reality exposure treatment for fear of flying. *Psychotherapy research*. 13, 323-336.
- Myers R.L., Bierig T. (2000). Virtual reality and left hemineglect: A technology for assessment and therapy. *CyberPsychology & Behavior*. 3(3), 465-468.
- Neisser U. (1978). Memory: What are the important questions? In Neisser U (ed.), *Memory Observed: Remembering in natural contexts*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- North M., North S., Coble J.R. (1996). Effectiveness of virtual environment desensitization in the treatment of agoraphobia. *Presence: Teleoperators and virtual environments*. 5(4), 346-352.
- North M., North S., Coble J.R. (1997). Virtual environment psychotherapy: A case study of fear of flying disorder. *Presence: Teleoperators and virtual environments*. 6(1), 87-105.
- North M., North S.M., Coble J.R. (1998a). Virtual Reality Therapy: An effective treatment for psychological disorders. In Stanney K. (ed), *Handbook of virtual environments*.
- North M.M., North S.M., Coble J.R. (1998b). Virtual reality therapy: An effective treatment for phobias. *Studies in health technology and informatics*. 58, 112-119.

- Optale G., Munari A., Nasta A., Pianon C., Baldaro Verde J., Viggiano G. (1998). Virtual reality techniques in the treatment of impotence and premature ejaculation. *Studies in health technology and informatics*. 50, 186-192.
- Optale G., Pastore M., Marin S., Bordin D., Nasta A., Pianon C. (2004). Male sexual dysfunctions: Immersive virtual reality and multimedia therapy. *Studies in health technology and informatics*. 99, 165-178.
- Pugnetti L., Mendozzi L., Motta A., Cattaneo A., Barbieri E., Brancotti A. (1995). Evaluation and retraining of adults' cognitive impairment: Which role for virtual reality technology? *Computers in biology and medicine*. 25(2), 213-227.
- Pugnetti L., Mendozzi L., Attree E.A., Barbieri E., Brooks B.M., Cazullo C., Motta A., Rose F.D. (1998a). Probing memory and executive functions with virtual reality, past and present studies. *CyberPsychology & Behavior*. 1(2), 151-161.
- Pugnetti L., Mendozzi L., Brooks B.M., Attree E.A., Barbieri E., Alpini E., Motta A., Rose F.D. (1998b). Active versus passive exploration of virtual environments modulates spatial memory in MS patients: A yoked control study. *The Italian journal of neurological sciences*. 19, 424-432.
- Rabardel P. (1995). *Les Hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.
- Riva G. (1997). The virtual environment for body-image modification (VEBIM): development and preliminary evaluation. *Presence*. 6(1), 106-117.
- Riva G., Alcaniz M., Anolli L., Bacchetta M., Banos R., Buselli C., Beltrame F., Botella C., Castelnovo G., Cesa G., Conti S., Galimberti C., Gamberini L., Gaggioli A., Klinger E., Legeron P., Mantovani F., Mantovani G., Molinari E., Optale G., Ricciardiello L., Perpina C., Roy S., Spagnoli A., Troiani R., Weddle C. (2003a). The VEPSY UPDATED project: Clinical rationale and technical approach. *CyberPsychology & Behavior*. 6(4), 433-439.
- Riva G., Bacchetta M., Cesa G., Conti S., Molinari E. (2003b). Six-month follow-up of in-patient experiential cognitive therapy for binge eating disorders. *CyberPsychology & Behavior*. 6(3), 251-258.
- Rizzo A.A., Buckwalter J.G. (1997). Virtual reality and cognitive assessment and rehabilitation: the state of the art. *Studies in health technology and informatics*. 44, 123-145.
- Rizzo A.A., Bowerly T., Buckwalter J.G., Schultheis M.T., Matheis R., Shahabi C., Neumann U., Kim L., Sharifzadeh M. (2002). Virtual environments for the assessment of attention and memory processes: The virtual classroom and office. In Sharkey P., Lanyi C.S., Standen P. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on disability, virtual reality and associated techniques*. Reading UK: University of Reading. 3-12.
- Rizzo A.A., Bowerly T., Shahabi C., Buckwalter J.G., Klimchuk D., Mitura R. (2004a). Diagnosing attention disorders in a virtual classroom. *IEEE Computer*. 37(6), 87-89.
- Rizzo A.A., Schultheis M.T., Kerns K.A., Mateer C. (2004b). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological rehabilitation*. 14, 207-239.
- Rose F.D., Attree E.A., Johnson D.A. (1996). Virtual reality: An assistive technology in neurological rehabilitation. *Current opinion in neurology*. 9(6), 461-467.
- Rose F.D., Brooks B.M., Attree E.A., Parslow D.M., Leadbetter A.G., McNeil J.E., Jayawardena S., Greenwood R., Potter J. (1999). A preliminary investigation into the use of virtual environments in memory retraining after vascular brain injury: Indications for future strategy? *Disability and rehabilitation*. 21(12), 548-554.
- Rose F.D., Attree E.A., Brooks B.M., Andrews T.K. (2001). Learning and memory in virtual environments: A role in neurorehabilitation? — Questions (and occasional answers) from UEL. *Presence: Teleoperators and virtual environments*. 10(4), 345-358.

- Rothbaum B.O., Hodges L.F., Opdyke D., Kooper R., Williford J.S., North M.M. (1995). Virtual reality graded exposure in the treatment of acrophobia: A case study. *Journal of behavioral therapy and experimental psychiatry*. 26(3), 547-554.
- Rothbaum B.O., Hodges L.F., Watson B.A., Kessler C.D., Opdyke D. (1996). Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying: A case report. *Behaviour research and therapy*. 34(5-6), -481.
- Rothbaum B.O., Hodges L.F., Alarcon R., Ready D., Shahar F. Graap K., Pair J., Hebert P., Gotz D., Wills B., Baltzell D. (1999). Virtual reality exposure therapy for PTSD Vietnam Veterans: A case study. *Journal of traumatic stress*. 12(2), 263-271.
- Roy S., Klinger E., Légeron P., Lauer F., Chemin I., Nugues P. (2003). Definition of a VR-based protocol to treat social phobia. *CyberPsychology & Behavior*. 6(4), 411-420.
- Sandstrom N.J., Kaufman J., Huettel S.A. (1998). Males and females use different distal cues in a virtual environment navigation task. *Cognitive brain research*. 6(4), 351-360.
- Schultheis M.T., Rizzo A.A. (2002). The virtual office. Proceedings of *10th annual medicine meets virtual reality conference*. Newport Beach, CA.
- Shallice T., Burgess P.W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*. 114, 727-741.
- Skelton R.W., Bukach C.M., Laurance H.E., Thomas K.G., Jacobs J.W. (2000). Humans with traumatic brain injuries show place-learning deficits in computer-generated virtual space. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*. 22(2), 157-175.
- Slater M., Pertaub D.P., Barker C., Clark D. (2004). An experimental study on fear of public speaking using a virtual environment. Proceedings of the *3rd international workshop on virtual rehabilitation*. Lausanne, Switzerland.
- Sohlberg M.M., Mateer C.A. (1989). Introduction to cognitive rehabilitation: Theory and practice. New York: The Guilford Press.
- Standen P.J., Brown D.J., Cromby J. (2001). The effective use of virtual environments in the education and rehabilitation of students with intellectual disabilities. *British journal of educational technology*. 32(3), 289-301.
- Stanton D., Foreman N., Wilson P.N. (1998). Uses of virtual reality in clinical training: developing the spatial skills of children with mobility impairments. *Studies in health technology and informatics*. 58, 219-232.
- Strickland D., Marcus L.M., Mesibov G.B., Hogan K. (1996). Brief report: Two case studies using virtual reality as a learning tool for autistic children. *Journal of autism and developmental disorders*. 26(6), 651-659.
- Strickland D. (1997). Virtual reality for the treatment of autism. *Studies in health technology and informatics*. 44, 81-86.
- Tyndiuk F., Schlick B., Clavierie B., Thomas G. (2003). Modèles et facteurs humains en IHM : application à la réalité virtuelle. Actes des *Secondes journées francophones, Modèles Formels de l'Interaction MFI'03*. Lille.
- Van der Linden M., Juillerat A.C. (2004). La revalidation neuropsychologique dans la maladie d'Alzheimer à un stade précoce : principes, méthodes et perspectives. *Revue de Neurologie*. 160, 6470.
- Vincelli F., Anolli L., Bouchard S., Wiederhold B.K., Zurloni V., Riva G. (2003). Experiential cognitive therapy in the treatment of panic disorders with agoraphobia: A controlled study. *CyberPsychology & Behavior*. 6(3), 321-328.
- Wald J., Liu L. (2001). Psychometric properties of the driVR: A virtual reality driving assessment. *Studies in health technology and informatics*. 81, 564-566.

- Wald J., Taylor S. (2003). Preliminary research on the efficacy of virtual reality exposure therapy to treat driving phobia. *CyberPsychology & Behavior*. 6(5), 459-465.
- Walshe DG, Lewis EJ, Kim SI, O'Sullivan K, Wiederhold BK (2003). Exploring the use of computer games and virtual reality in exposure therapy for fear of driving following a motor vehicle accident. *CyberPsychology & Behavior*. 6(3), 329-334.
- Wann J.P., Rushton S.K., Smyth M., Jones D. (1997). Virtual environments for the rehabilitation of disorders of attention and movement. *Studies in health technology and informatics*. 44:157-164.
- Weiss P.L., Bialik P., Kizony R. (2003). Virtual reality provides leisure time opportunities for young adults with physical and intellectual disabilities. *CyberPsychology & Behavior*. 6(3), 335-342.
- Wiederhold B.K., Jang D.P., Gevirtz R.G., Kim S.I., Kim I.Y., Wiederhold M.D. (2002). The treatment of fear of flying: a controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy. *IEEE transactions on biomedical engineering*. 6(3), 218-223.
- Wilson B.A., Evans J.J. (1996). Error-free learning in the rehabilitation of people with memory impairments. *Journal of head trauma rehabilitation*. 11(2), 54-64.
- Wilson B.A. (1997). Cognitive rehabilitation: How it is and how it might be. *Journal of the international neuropsychological society*. 3(5), 487-496.
- Wilson P.N., Foreman N., Gillet R. (1997). Active versus passive processing of spatial information in a computer-simulated environment. *Ecological psychology*. 9, 207-222.
- Wolpe J. (1969). The practice of behavior therapy. New York: Pergamon Press.
- Zalla T., Plassiat C., Pillon B., Grafman J., Sirigu A. (2001). Action planning in a virtual context after prefrontal cortex damage. *Neuropsychologia*. 39(8), 759-770.
- Zhang L., Abreu B.C., Masel B., Scheibel R.S., Christiansen C.H., Huddleston N., Ottenbacher K.J. (2001). Virtual reality in the assessment of selected cognitive function after brain injury. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 80(8), 597-604, quiz 605.
- Zhang L., Abreu B.C., Seale G.S., Masel B., Christiansen C.H., Ottenbacher K.J. (2003). A virtual reality environment for evaluation of a daily living skill in brain injury rehabilitation: Reliability and validity. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 84(8), 1118-1124.

---

## Les auteurs



Évelyne Klinger, Ingénieur de l'ENST, Paris, s'est investie dans le domaine de la réalité virtuelle dans le cadre d'un projet européen, le projet Vepsy Updated, au sein du laboratoire GREYC à Caen. Ce projet avait pour but d'évaluer l'efficacité de la réalité virtuelle dans le traitement de certains troubles anxieux. Depuis elle a pris en charge de nouveaux projets basés sur la mise en œuvre des technologies de la réalité virtuelle dans divers domaines cliniques (psychiatrie, neuropsychologie, handicap). Avec le CHU de Caen, dans le cadre d'un Projet Hospitalier de Recherche Clinique (PHRC) elle a mis au point, en collaboration avec le Dr Marié, un paradigme d'évaluation de la planification utilisant la réalité virtuelle. À l'Institut des Hauts Thébaudières près de Nantes, elle a piloté la mise en place d'un projet de sensibilisation des voyants aux difficultés de la malvoyance. Elle a finalement décidé de valoriser ses activités de recherche par une thèse sur laquelle elle travaille actuellement avec Alain Grumbach à l'ENST, Paris et le Dr Rose-Marie Marié au CHU de Caen. Parallèlement à ces activités, elle est chargée de cours à l'ENST, Paris et L'ENSICAEN, Caen.



Philippe Fuchs, Professeur de l'École des Mines de Paris, est le responsable de l'équipe de recherche « réalité virtuelle & réalité augmentée ». Philippe Fuchs est un expert français de la réalité virtuelle et son équipe de recherche est une des premières à avoir mené des recherches dans le domaine de la réalité virtuelle en France. Spécialisée en réalité virtuelle, l'équipe RV/RA a pour objectif la conceptualisation et la réalisation de l'interfaçage, de l'immersion et de l'interaction d'une personne en environnement virtuel, grâce au développement de compétences avec des collaborations industrielles. Les axes de recherche de l'équipe portent principalement sur « l'interfaçage comportemental » de l'Homme dans un monde virtuel, exploitant au mieux des comportements naturels de la personne. L'équipe a mis au point une méthodologie de conception de système de réalité virtuelle, en prenant en compte les dimensions techniques, informatiques, physiologiques, ergonomiques et psychologiques de l'immersion et de l'interaction. Des travaux de thèse et d'applications professionnelles portent principalement sur les interfaces visuelles de tout type, avec ou sans vision stéréoscopique pour une immersion visuelle de qualité dans les environnements virtuels d'images de synthèse.



Rose-Marie Marié, neurologue, médecin des hôpitaux au CHU de Caen et Docteur en sciences est responsable scientifique du groupe 1 de l'UPRES-EA 3917 « Attention, orientation et fonctions exécutives » de l'université de Caen. Les travaux de recherche de Rose-Marie Marié ont commencé en 1990 concernant alors le support neuroanatomique et neurobiologique des fonctions exécutives dans la maladie de Parkinson. Ces fonctions font référence à la planification, l'élaboration de stratégies, la flexibilité mentale, l'inhibition, capacités toutes essentielles dans le comportement au cours des activités quotidiennes et capacités très fréquemment altérées au cours des maladies neurologiques liées au vieillissement. Grâce à son expérience de médecin spécialiste en neurologie et à sa formation en neuropsychologie et en neurosciences, Rose-Marie Marié a développé des compétences portant essentiellement sur la cognition, l'imagerie cérébrale, et les pathologies dégénératives et démyélinisantes, tout particulièrement maladie de Parkinson et Sclérose en Plaques. Plus récemment, elle s'est particulièrement investie dans le développement de paradigmes informatisés utilisables en réhabilitation cognitive, notamment, au travers d'un PHRC (Projet Hospitalier de Recherche Clinique) elle a mis au point en collaboration avec Évelyne Klinger un paradigme d'évaluation de la planification utilisant la réalité virtuelle et adapté à la prise en charge rééducative.

