

Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux

Evelyne Klinger

▶ **To cite this version:**

Evelyne Klinger. Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux. Autre [q-bio.OT]. Télécom ParisTech, 2006. Français. NNT : . tel-00161903

HAL Id: tel-00161903
https://pastel.hal.science/tel-00161903

Submitted on 11 Jul 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.





École Doctorale
d'Informatique,
Télécommunications
et Électronique de Paris

Thèse

présentée pour obtenir le grade de Docteur
de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications

Spécialité : **Informatique et Réseaux**

Evelyne KLINGER

Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux

Soutenue le 7 février 2006 devant le jury composé de

Philippe Fuchs	Président
Stéphane Bouchard	Rapporteurs
Pierre Nugues	
Simon Richir	Examinateur
Alain Grumbach	Directeurs de thèse
Rose-Marie Marié	

Remerciements

Le travail relatif à ce mémoire a été accueilli par le Laboratoire du Traitement et de la Communication de l'Information (LTCI) de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications (ENST) de Paris, et par l'équipe « Processus exécutifs et attentionnels : physiopathologie et thérapies » de l'UPRES EA 3917 de l'université de Caen. Quant aux travaux présentés dans ce mémoire, ils ont été réalisés dans le laboratoire GREYC[1]-ENSICAEN, à Caen, tandis que les applications cliniques se sont déroulées d'une part dans l'Unité de Thérapie Cognitive et Comportementale de l'hôpital Sainte-Anne, à Paris, et d'autre part dans le Service de Neurologie du CHU de Caen.

Cette thèse pourrait être le point d'orgue d'un parcours atypique. Elle restera pour moi une aventure humaine fondée sur la confiance et l'espoir. Elle repose sur mon intérêt pour la compréhension du fonctionnement humain et mon souci d'apporter des aides à ceux qui souffrent de dysfonctionnements.

Mes premiers remerciements vont à tous les membres de mon jury de thèse, notamment pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux.

Merci à Alain Grumbach, directeur de ma thèse, professeur à l'ENST, pour l'accueil chaleureux qu'il m'a réservé dans son bureau, pour nos échanges fructueux, pour ses avis éclairés sur le fond et la forme de ce mémoire, et pour ses apports pertinents dans l'abord cognitif de mon travail. Merci enfin d'avoir compris mon parcours quelque peu atypique.

Merci à Rose-Marie Marié, directrice de ma thèse, neurologue au CHU de Caen, pour m'avoir proposé de collaborer à cette étude passionnante de la planification de l'action, pour m'avoir ainsi facilité l'enrichissement de mes connaissances dans le domaine de la neuropsychologie et pour m'avoir fait jouer un rôle moteur, au sein de son équipe, dans la conception et la mise en place d'applications cliniques fondées sur la RV.

Merci à Pierre Nugues, rapporteur de ma thèse, professeur à l'université de Lund en Suède, pour la confiance qu'il m'a accordée au GREYC-ENSICAEN lorsque cette aventure a en fait démarré, pour son aide et son soutien amicaux et précieux, même si lointains, lors du projet VEPSY.

Merci à Stéphane Bouchard, rapporteur de ma thèse, professeur à l'université du Québec en Outaouais, rencontré au hasard d'une conférence sur la cyberthérapie, pour ses conseils et apports dans le domaine de la psychothérapie, pour notre efficace collaboration à distance.

Merci à Simon Richir, examinateur de ma thèse, professeur à l'ENSAM d'Angers, pour l'intérêt qu'il a porté à mes travaux et la confiance dont il a toujours fait preuve à mon égard.

[1] GREYC : Groupe de Recherche en Informatique, Image, Automatique et Instrumentation de Caen

Merci enfin à Philippe Fuchs, président du jury de ma thèse, professeur à l'École des Mines de Paris, pour ses travaux pertinents dans le domaine de la RV dont je me suis inspirée, pour le regard averti et exigeant qu'il a porté sur les aspects RV de ce mémoire, pour nos échanges amicaux.

Cette thèse n'aurait pu aboutir sans le concours de toutes les personnes qui m'ont secondée dans la conception et le déroulement des applications cliniques. Qu'elles soient remerciées pour avoir rendu ces projets possibles, ainsi que pour les collaborations amicales que nous avons entretenues : Patrick Légeron, psychiatre, Stéphane Roy et Françoise Lauer, psychologues, qui m'ont initiée à l'approche cognitive et comportementale des troubles anxieux ; Sophie Lebreton, psychologue, qui a mené les expérimentations à Caen ; et enfin Isabelle Chemin, artiste graphiste, qui m'a aidée avec talent dans la création des environnements virtuels.

Merci également à Régis Carin, directeur du GREYC, qui m'a apporté son aide constante dans la gestion administrative du projet VEPSY.

Certaines personnes ont eu un rôle déterminant dans l'aboutissement de ma thèse, par la confiance et le soutien qu'elles m'ont accordés, par la motivation, l'enthousiasme et les exigences qu'elles ont entretenus. Qu'elles en soient ici remerciées : Michel Louvel, Christian Grillon, Isabelle Viaud-Delmon.

Merci à tous ceux rencontrés lors de projets, conférences ou symposiums, qui m'ont permis de découvrir l'ampleur de ce champ d'application de la RV et dont je retiens leur amicale générosité : Giuseppe, Christina, Fabrizzia, Andrea, Mariano, Skip, Tamar, Naomi, Ken, Steve, Robert.

Merci à Bernard et Françoise, mes amis qui m'ont gâtée de leur accueil chaleureux lors de mes séjours parisiens.

Merci à tous mes autres amis proches qui ont toujours cru en moi ; je ne les cite pas tous de crainte d'oublier l'un d'entre eux. Ils se reconnaîtront.

Mais je n'en serais pas arrivée à ce point sans le soutien constant de mes proches : Amnon, mon mari ; Einat, Lital, Alex et Emma, mes filles ; mes parents et beaux-parents.

Ce parcours atypique est aussi une sorte de message d'espoir que j'adresse en particulier à mes filles : « A cœur vaillant rien d'impossible »

Résumé

Les technologies de la réalité virtuelle permettent à un utilisateur d'interagir en temps réel, au moyen de diverses interfaces, avec un monde tridimensionnel engendré par l'ordinateur. Les thérapeutes se sont saisis des possibilités de ce nouveau mode d'interaction, et ont contribué au développement d'environnements virtuels ciblant le diagnostic, la thérapie, la réhabilitation, et l'évaluation. Nous avons choisi de nous concentrer sur la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux rencontrés dans les domaines de la psychiatrie et de la neuropsychologie.
Les technologies de la réalité virtuelle offrent de nouveaux moyens d'évaluer et de réhabiliter les fonctions cognitives. Elles permettent de surmonter certaines difficultés inhérentes aux méthodes traditionnelles et proposent des solutions plus adaptées. Typiquement, les tâches « papier-crayon » sont remplacées par des mises en situation proches des activités de la vie quotidienne. La contribution de cette recherche concerne ainsi l'adéquation de l'approche réalité virtuelle au diagnostic et à la thérapie, et les apports conséquents.

Deux thèmes, encore peu investigués, ont retenu notre attention : le traitement de la phobie sociale en psychiatrie, et l'évaluation de la planification de l'action en neuropsychologie. La recherche que nous avons menée a ainsi visé deux objectifs. Le premier a été de concevoir deux applications fondées sur la réalité virtuelle concernant ces deux thèmes et d'en évaluer la faisabilité. Le second a été de dégager les apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de dysfonctionnements de l'individu.

La création et la mise en place d'une thérapie de la phobie sociale fondée sur la réalité virtuelle a soulevé différents enjeux : créer des situations d'interaction sociale suscitant des réactions émotionnelles chez des patients phobiques sociaux ; investiguer les différentes facettes de la phobie sociale. Les résultats de l'étude clinique menée auprès de patients phobiques sociaux ont conclu à l'efficacité de la thérapie par réalité virtuelle.
La conception d'un système virtuel dédié à la prise en charge de dysfonctionnements cognitifs de l'individu nous a conduits à aborder l'évaluation de la planification de l'action. Elle est fondée sur la création d'une tâche de planification et d'un environnement virtuel dits écologiques. L'application s'est déroulée dans le contexte du vieillissement et de la maladie de Parkinson. L'étude menée auprès de patients parkinsoniens laisse entrevoir la pertinence et les potentialités de l'utilisation de la réalité virtuelle.

Les expérimentations menées nous permettent ainsi de dégager les apports de la réalité virtuelle dans la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux. Les apports tels que le contrôle des stimuli, la flexibilité, etc. ouvrent la voie à de nouveaux thèmes de réflexion concernant la place de la réalité virtuelle dans le processus clinique.

Mots clés : Réalité virtuelle, phobie, fonctions cognitives, planification, thérapie, diagnostic, évaluation

Abstract

Virtual Reality technology allows the user to be an active participant, by means of various interfaces, in a three-dimensional world generated by the computer. Therapists became acquainted with the possibilities of this new interaction paradigm, and contributed to the development of virtual environments for diagnosis, therapy, rehabilitation and assessment. We chose to focus on the assessment and the treatment of the cognitive and behavioral disorders met in psychiatry and neuropsychology.
Virtual Reality technology offers new means to evaluate and rehabilitate cognitive functions. It allows us to overcome some difficulties inherent in traditional methods and provides more appropriate solutions. Typically, "paper and pencil" tasks are replaced by simulations of daily life activities. The contribution of this research concerns the appropriacy of the virtual reality approach to diagnosis and therapy, and the resulting benefits.

Two little-researched subjects held our attention: the treatment of social phobia in psychiatry, and the assessment of action planning in neuropsychology. Our first objective was to design an application based on virtual reality for each of these subjects and to evaluate their feasibility. The second objective was to identify the contribution of virtual reality to the assessment and treatment of human dysfunctions.

The design and the implementation of a therapeutic treatment of social phobia, based on virtual reality brought different challenges: the design of social interaction situations arousing emotional reactions among social phobic patients; the investigation of the various types of social phobia. The results of the clinical trial, carried out among patients suffering from social phobia, showed the efficacy of the virtual reality therapy.
The design of a virtual system dedicated to human cognitive dysfunctions led us to tackle the assessment of action planning. It is based on the design of a planning task and a virtual environment, both of them called ecological. The application was unfolded in the context of aging and Parkinson's disease. The study, carried out among patients suffering from Parkinson's disease, helped us see the relevance and the potential of virtual reality approach.

According to the experiments we carried out, we are now able to identify the contribution of virtual reality to the assessment and treatment of cognitive and behavioural disorders. The contribution features, such as stimuli control, flexibility, etc. opens the way to new topics of reflection related to the role of virtual reality in the clinical process.

Keywords: virtual reality, phobia, cognitive functions, planning, therapy, diagnosis, assessment

Table des Matières

Chapitre 1 Introduction 11

Chapitre 2 La Réalité Virtuelle en Psychiatrie et Neuropsychologie 13

2.1 La Réalité Virtuelle 13
2.1.1 Acception de la réalité virtuelle 13
2.1.2 Conception d'un environnement virtuel 14

2.2 La Réalité Virtuelle en Psychiatrie et Neuropsychologie 16
2.2.1 La conception et la création d'une application 16
2.2.2 Les interfaces utilisées 17
2.2.3 Réalisme et pertinence du monde virtuel 17
2.2.4 Les précautions à prendre 18

2.3 La Réalité Virtuelle et nos applications 19

Chapitre 3 État de l'art de l'utilisation de la réalité virtuelle en psychiatrie et neuropsychologie 21

3.1 Exploitation de la réalité virtuelle en psychiatrie 21
3.1.1 Quelques théories concernant le traitement des troubles anxieux 21
3.1.2 Thérapies cognitives et comportementales 22
3.1.3 Principes des thérapies d'exposition 23
3.1.3.1. Les thérapies d'exposition traditionnelles 23
3.1.3.2. Les thérapies d'exposition par réalité virtuelle 23
3.1.4 Les applications en psychothérapie 25
3.1.4.1. Les phobies 25
3.1.4.2. Les autres troubles anxieux 38
3.1.4.3. Les troubles des conduites alimentaires 39
3.1.4.4. Les troubles sexuels masculins 40
3.1.4.5. L'autisme 41
3.1.4.6. Les addictions 42
3.1.5 Bilan des applications en psychiatrie 43

3.2 Des techniques de distraction de la douleur 48

3.3 Exploitation de la réalité virtuelle en neuropsychologie 51
3.3.1 L'évaluation en neuropsychologie 51
3.3.1.1. Les tests traditionnels 51
3.3.1.2. L'évaluation fondée sur la réalité virtuelle 52
3.3.2 Les applications relatives aux fonctions cognitives 52
3.3.2.1. Les processus attentionnels 52
3.3.2.2. Les fonctions exécutives 57
3.3.2.3. La mémoire 60
3.3.3 Les autres applications en neuropsychologie 67
3.3.3.1. Les activités de la vie quotidienne 67
3.3.3.2. La réhabilitation cognitive 70
3.3.4 Bilan des applications en neuropsychologie 75

3.4 Exploitation de la réalité virtuelle en psychophysiologie 81
3.4.1 Exploration objective des réactions 81
3.4.2 Investigation des performances et des comportements 82
3.4.3 Bilan des applications en psychophysiologie 83

3.5 Conclusion 83

Chapitre 4 Expérimentation 1 : Le traitement de la phobie sociale 85

4.1 Le contexte : Le projet européen VEPSY 85

4.2 La phobie sociale 86

4.3 Les traitements traditionnels 87
4.3.1 Les traitements médicamenteux 87
4.3.2 Les thérapies cognitives et comportementales 88

4.4 Le nouveau traitement fondé sur la réalité virtuelle 89
4.4.1 Présentation des études relatives à la phobie sociale 89
4.4.2 Présentation de l'essai « Phobie Sociale et Réalité Virtuelle » 91

4.5 La conception et la création des environnements virtuels 91
4.5.1 Cadre du projet VEPSY 91
4.5.2 Conception des situations virtuelles 92
4.5.3 Création des environnements virtuels 92
4.5.3.1. Les outils et les principes 92
4.5.3.2. Les environnements virtuels 93
4.5.4 Interfaçage 95

4.6 Méthodologie de l'essai clinique « Phobie Sociale et Réalité Virtuelle » 95
4.6.1 Population 95
4.6.2 Mesures 96
4.6.2.1. Sélection des participants 96
4.6.2.2. Mesure d'efficacité principale : la phobie sociale 97
4.6.2.3. Mesures d'efficacité secondaires : le fonctionnement social 97
4.6.2.4. Mesures d'efficacité exploratoires : le fonctionnement général 97
4.6.3 Traitement 98
4.6.3.1. La thérapie par réalité virtuelle (TRV) 98
4.6.3.2. La thérapie cognitive et comportementale (TCC) 100
4.6.3.3. Description des tâches à mener entre les séances de thérapie 100
4.6.3.4. Vue d'ensemble des analyses statistiques 101

4.7 Résultats 101
4.7.1 Mesure d'efficacité principale 101
4.7.2 Mesures d'efficacité secondaires 104
4.7.3 Mesure d'efficacité exploratoires 104

4.8 Discussion et conclusion 104

Chapitre 5 Expérimentation 2 : L'évaluation de la planification de l'action 109

5.1 Le contexte : Le Projet Hospitalier de Recherche Clinique 109

5.2 Le processus de planification – Application à la maladie de Parkinson 109
5.2.1 Description du processus de planification 109
5.2.2 Modèles de la planification 110
5.2.3 La maladie de Parkinson 110

5.3 L'évaluation traditionnelle de la planification de l'action 111
5.3.1 Les tests cognitifs standard 111
5.3.2 Les tests écologiques 111
5.3.3 Les tests de scripts 111
5.3.4 Limites de l'évaluation traditionnelle 112

5.4 L'évaluation de la planification de l'action fondée sur la réalité virtuelle 112
5.4.1 Présentations d'études abordant l'évaluation cognitive 113
5.4.2 Présentation de l'essai « Planification et Réalité Virtuelle » 114

5.5 La conception et la création de l'application virtuelle 114
5.5.1 Conception de l'application virtuelle 115
5.5.2 Conception de la tâche 115
5.5.3 Création de l'application virtuelle 115

5.5.3.1. Le Supermarché Virtuel ... 115
5.5.3.2. La tâche ... 117
5.5.3.3. L'enregistrement des données ... 118
5.5.3.4. L'analyse des données ... 118
5.5.4 Interfaçage ... 119

5.6 Méthodologie de l'essai clinique Planification et Réalité Virtuelle ... 119
5.6.1 Population ... 119
5.6.2 Évaluation cognitive ... 120
5.6.2.1. Évaluation de l'efficience intellectuelle globale ... 120
5.6.2.2. Exploration des processus exécutifs ... 120
5.6.3 Évaluation par la réalité virtuelle ... 121
5.6.4 Analyse des données ... 122
5.6.4.1. Connaissance sémantique liée à la tâche ... 122
5.6.4.2. Vitesse de traitement de l'information ... 122
5.6.4.3. Organisation spatio-temporelle ... 123

5.7 Résultats ... 124
5.7.1 Connaissance sémantique liée à la tâche ... 124
5.7.2 Vitesse de traitement de l'information ... 124
5.7.3 Organisation spatio-temporelle ... 125
5.7.4 Analyse décisionnelle des résultats ... 125

5.8 Discussion et Conclusion ... 128

Chapitre 6 Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux ... 133

6.1 Apports de la réalité virtuelle ... 133
6.1.1 Apports provenant des techniques ... 133
6.1.1.1. Apports informatiques ... 134
6.1.1.2. Apports propres à la réalité virtuelle ... 135
6.1.2 Apports liés aux fonctions intrinsèques de la réalité virtuelle ... 138
6.1.3 Apports au contexte humain ... 140

6.2 Raisons de l'efficacité et de l'intérêt de la réalité virtuelle ... 140

6.3 Limites de la réalité virtuelle ... 142
6.3.1 Limites de fond ... 142
6.3.2 Limites techniques ... 142
6.3.3 Limites éthiques et culturelles ... 143

6.4 Discussion ... 144
6.4.1 Processus clinique fondé sur la RV ... 144
6.4.2 Relation « Patient – Thérapeute – Système virtuel » ... 145

Chapitre 7 Conclusion et Perspectives ... 147

7.1 Conclusion ... 147

7.2 Perspectives ... 148
7.2.1 Expérimentation d'un utilisateur dans un EV : inclusion d'un agent virtuel ... 149
7.2.2 Induction d'émotions dans un EV ... 150
7.2.3 Réhabilitation cognitive ... 150
7.2.4 Monitoring physiologique ... 151
7.2.5 Automatisation de traitement ... 152
7.2.6 Auto entraînement ... 153

7.3 Bilan ... 154

Table des figures ... 155

Table des tableaux ... 157

Glossaire ... 159

Annexes *161*
Publications *203*
Bibliographie *205*
Index *225*

Chapitre 1 Introduction

Les travaux présentés dans cette recherche ont pour objectif de discerner les apports de la réalité virtuelle dans la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux. La réalité virtuelle, domaine hautement pluridisciplinaire qui s'appuie sur un vaste éventail de technologies, peut en effet contribuer à comprendre le fonctionnement humain, à aider l'individu dans ses handicaps et à soigner ses troubles et dysfonctionnements.

Notre démarche repose sur deux applications menées l'une en psychiatrie dans le cadre du projet européen Vepsy (Telemedicine and Portable Virtual Environments for Clinical Psychology), l'autre en neuropsychologie dans le cadre d'un PHRC (Projet Hospitalier de Recherche Clinique). Ces travaux s'inscrivent dans le contexte de l'étude de la faisabilité technique et clinique de l'utilisation de la réalité virtuelle dans la thérapie d'une part et dans l'évaluation d'autre part. Ils entraînent une réflexion sur la création d'environnements virtuels générateurs d'émotions et adaptés à la reconstruction cognitive et comportementale dans le premier cas ; permettant d'évaluer des sujets dans des situations proches de la vie quotidienne dans le second cas.

Le mémoire de thèse est organisé en six principaux chapitres.

Dans le **Chapitre 2**, nous présentons notre vision de la réalité virtuelle au sens général, puis notre acception de cette technologie dans le cadre de la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux.

Dans le **Chapitre 3**, nous présentons un état de l'art des utilisations de la réalité virtuelle dans la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux. Ces derniers perturbent la vie quotidienne des patients atteints, leurs relations sociales et professionnelles, et touchent toutes les tranches d'âge de la société. Leur évaluation et leur traitement sont donc des problèmes de santé publique majeurs. La prise en charge de ces troubles, c'est-à-dire leur diagnostic, leur évaluation, leur traitement, est classiquement menée grâce à des techniques traditionnelles auxquelles les thérapeutes reconnaissent certaines limites. De nouvelles approches ont été élaborées, fondées sur les techniques de la réalité virtuelle.

Dans le **Chapitre 4**, nous présentons la méthodologie que nous avons développée pour évaluer l'utilisation de l'exposition par réalité virtuelle (ERV) dans le traitement de la phobie sociale, trouble très peu investigué jusqu'alors avec la réalité virtuelle et en tout cas jamais dans la diversité de ses formes.

Dans le **Chapitre 5**, nous développons notre méthode d'évaluation de la planification des tâches dans un environnement virtuel, appliquée au vieillissement et à la maladie de Parkinson. Les résultats obtenus avec les outils existants étant controversés, les thérapeutes sont en effet sensibles aux potentiels des technologies de la réalité virtuelle.

Dans le **Chapitre 6**, nous discutons des apports que nous avons pu déceler dans ces démarches fondées sur la réalité virtuelle. Nous les déclinons selon deux aspects, le premier évoquant les apports provenant de l'usage des techniques et le second soulignant les apports bénéficiant au contexte humain.

Enfin dans le **Chapitre 7**, nous concluons puis nous évoquons diverses perspectives de recherche et de thérapie.

Chapitre 2 La Réalité Virtuelle en Psychiatrie et Neuropsychologie

La réalité virtuelle est un domaine pluridisciplinaire qui se trouve à la croisée des chemins des sciences et techniques et des sciences humaines. Des applications fondées sur ses techniques se sont développées dans des domaines nombreux et variés, dont ceux de la psychiatrie et de la neuropsychologie. La réalité virtuelle (RV) fut d'abord entrevue par les thérapeutes comme une technologie leur permettant de réaliser un nouveau paradigme[2] d'interaction « Humain – Monde virtuel ». Mais nous le verrons, la RV est plus qu'une technique et offre d'autres possibilités.

Après avoir défini notre vision de la réalité virtuelle au sens général, nous préciserons son acception dans le cadre de la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux, et finalement grâce aux deux études que nous présenterons, nous nous concentrerons sur l'utilisation que nous en avons faite.

2.1 *La Réalité Virtuelle*

2.1.1 Acception de la réalité virtuelle

Depuis son introduction par Jaron Lanier en 1986, la réalité virtuelle a connu de nombreuses définitions focalisées sur sa finalité, ses aspects technologiques, ses applications ou ses fonctions. La définition que nous proposons s'appuie sur les travaux et réflexions menés ces dernières années (Fuchs et al., 2003; Fuchs and Richir, 2003a, b; Grumbach, 2003). La réalité virtuelle est un domaine scientifique et technique permettant à un individu (ou à plusieurs) d'interagir en temps réel avec des entités 3D au moyen d'interfaces comportementales, dans un monde artificiel dans lequel il est plus ou moins immergé. Ce monde artificiel est soit imaginaire, soit symbolique, soit une simulation de certains aspects du monde réel. L'interaction avec le monde virtuel est cognitive et sensorimotrice.

L'immersion peut être décrite comme « l'état d'un participant lorsque l'un ou plusieurs de ses sens … est isolé du monde extérieur et n'enregistre plus que des informations issues de l'ordinateur. » (Pimentel and Teixeira, 1994). Le degré d'immersion est dépendant des interfaces utilisées tandis que le niveau d'immersion nécessaire et bénéfique est variable selon les applications (Stanney et al., 1998).

L'interaction de l'utilisateur avec le monde virtuel est assurée par les interfaces comportementales par le biais des canaux sensorimoteurs. Ces interfaces peuvent informer l'utilisateur de l'évolution du monde virtuel (interfaces sensorielles), ou informer l'ordinateur des actions motrices de l'homme sur le monde virtuel (interfaces motrices). L'éventail des interfaces comportementales est vaste, du profil minimal constitué par le couple écran-souris

[2] Un paradigme est une représentation du monde, une façon de voir les choses

aux moyens les plus sophistiqués et les plus immersifs tel le visiocube, ou CAVE[3], et pourra être consulté dans différents ouvrages (Burdea and Coiffet, 1993; Pimentel and Teixeira, 1994; Fuchs, 1996; Fuchs et al., 2003).

L'interaction en temps réel est assurée par les interfaces comportementales dans la mesure où l'individu ne perçoit aucun décalage temporel entre son action sur l'environnement virtuel (EV) et la réponse sensorielle de ce dernier. Lors de cette interaction dans l'EV, les fonctions cognitives et sensorielles de l'individu sont sollicitées de façon pseudo-naturelle, c'est-à-dire différemment de leur sollicitation naturelle dans un environnement réel, des conflits sensoriels pouvant par exemple naître.

2.1.2 Conception d'un environnement virtuel

Les applications de réalité virtuelle sont centrées sur les individus, et développées pour que ceux-ci y soient immergés pour y accomplir une activité déterminée. Afin de permettre l'immersion et l'interaction, le concepteur doit analyser les processus d'interfaçage entre l'utilisateur et le système virtuel ainsi que les dispositifs à concevoir.

Nous mettons en rapport notre démarche de conception d'un système virtuel avec le modèle hiérarchique proposé par Fuchs concernant l'immersion et l'interaction dans un EV (Fuchs, 1999), et comportant trois niveaux :

- le niveau sensorimoteur, puisque l'individu est connecté à l'ordinateur par ses sens et ses réponses motrices. Il est à noter, qu'à ce niveau, les interfaces et l'ordinateur sont incorporés dans la boucle « perception, cognition, action » de l'utilisateur, et viennent la perturber, du fait par exemple des temps de latence ;
- le niveau cognitif, qui correspond aux processus cognitifs mis en œuvre par l'utilisateur lors de l'immersion et de l'interaction. Il s'agit alors de comprendre à partir de quels modèles mentaux il pense et agit. Au travers de schèmes (Piaget and Chomsky, 1979) qu'il a acquis dans les situations réelles, l'individu interagit avec le monde virtuel. Lorsque l'utilisation de schèmes est impossible, des métaphores (image symbolique de l'action ou de la perception souhaitée : par exemple valider un achat en cliquant) ou des substitutions (sensorielles ou motrices : par exemple, un son émis lors de collision avec des objets) lui sont proposées ;
- et le niveau fonctionnel, i.e. celui de l'immersion et l'interaction pour une tâche donnée.

Cette structuration hiérarchique est également fondée sur un découpage transversal entre le sujet et le monde virtuel. Ainsi au niveau sensorimoteur, l'ordinateur gère la réalisation physique du monde virtuel, tandis qu'au niveau cognitif, le logiciel de RV en gère la modélisation comportementale. Pendant ces étapes, le système virtuel fournit à l'utilisateur des aides logicielles comportementales facilitant immersion et interaction sensorimotrices et cognitives. Les aides logicielles sensorimotrices (ALS-M) vont permettre par exemple d'améliorer, grâce à des filtres, la qualité des signaux, ou bien d'améliorer, en cas de tremblements, les réponses motrices de l'utilisateur. Les aides logicielles cognitives (ALCog) vont, elles, lui faciliter la tâche dans l'EV tout en respectant l'objectif de l'immersion et de l'interaction fonctionnelles. Prenons comme exemple l'individu qui doit s'asseoir sur une

[3] Le CAVE, ou visiocube, est une interface sensorielle de visualisation composée principalement d'une station graphique et d'un ensemble de vidéo projecteurs (trois au minimum) permettant l'affichage d'une image sur plusieurs écrans à taille humaine, l'observateur étant à l'intérieur du cube.

chaise dans un EV ; il se dirige vers la chaise, et à proximité de celle-ci le logiciel prend en main l'action de s'asseoir, libérant ainsi l'individu des soucis de précision dans la navigation. Enfin, au niveau fonctionnel, ce modèle est complété par une décomposition en Primitives Comportementales Virtuelles (PCV) telles que l'observation, la manipulation, la navigation, etc. (Figure 1).

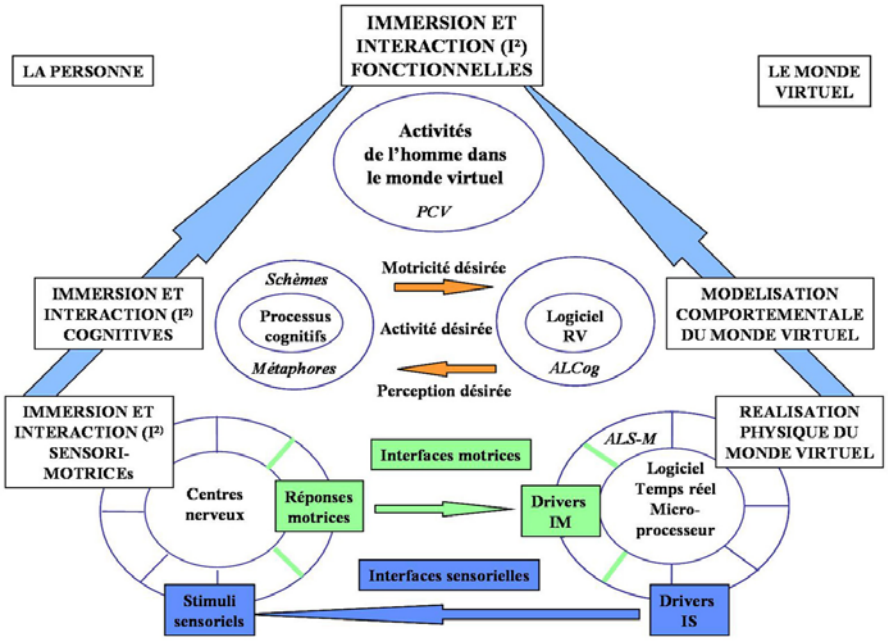


Figure 1 : Schéma technocentrique en RV *(Fuchs, le Traité de la RV, Edition 3, nov 2005)* [4]

Les deux conditions, interaction et immersion, sont un objectif à atteindre (Fuchs, 1996). Elles doivent être en partie réalisées, même modestement, pour parler d'un système fondé sur les techniques de la réalité virtuelle.

Lors de la conception d'un EV se pose également la question du réalisme de l'EV. Mais les critères de réalisme sont nombreux, rendant le recours à cette notion problématique. Le réalisme peut être atteint de diverses manières selon l'objet évalué (image, réaction, comportement), le rôle de l'observateur, ou la tâche (évaluation d'une apparence ou de la crédibilité) : a) réalisme de la construction de la simulation par le respect des lois de la physique, de l'évolution ou du comportement humain ; b) fidélité de l'expérience perceptive, i.e. l'expérience perceptive serait crédible si elle était vécue dans le monde réel (Carr, 1995) ; c) fidélité psychologique, i.e. « la proportion dans laquelle la tache simulée engendre une activité et des processus psychologiques identiques à ceux de la tâche réelle » (Patrick, 1992) ; d) illusion du réel, ou encore illusion d'une réalité qui n'existe pas (Carr, 1995), souvent associée à la notion de présence[5]. La notion de réalisme dépendra évidemment du monde artificiel que nous choisirons de développer, celui-ci pouvant être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du réel.

[4] Avec l'aimable autorisation de reproduction de l'auteur
[5] La présence peut être décrite comme l'impression d'être physiquement dans l'EV

2.2 *La Réalité Virtuelle en Psychiatrie et Neuropsychologie*

2.2.1 La conception et la création d'une application

En psychiatrie et neuropsychologie, les applications de RV ont pour objectif 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 cognitives et sensorimotrices aux utilisateurs est globalement adaptée aux attentes des domaines de la psychiatrie et de la neuropsychologie. La conception des EVs est facilitée par l'utilisation, au moins partielle, du modèle hiérarchique décrit précédemment. En neuropsychologie, fréquemment, l'immersion cognitive et l'immersion fonctionnelle sont, à ce jour, privilégiées. Cette étape de conception nécessite une étroite collaboration interdisciplinaire, la compréhension des besoins cliniques des uns et des possibilités techniques des autres.

La conception d'un EV dans ces domaines est guidée par une question clinique (e.g. le traitement d'une phobie) qui détermine la population de patients ciblée ainsi que le choix des situations virtuelles à développer. L'objectif clinique, défini par le thérapeute, est diagnostique ou thérapeutique ; il concerne le patient. L'application virtuelle sera développée pour atteindre cet objectif. Il s'agit donc de s'interroger sur des questions telles que :

- Les activités du patient dans l'EV : Sera-t-il passif, par exemple simplement soumis à des stimuli d'exposition ? Ou sera-t-il actif ? Exécutera-t-il des tâches ?
- Les modalités sensorielles à mettre en œuvre : Même si en majeure partie les Evs s'adressent aux sens visuels et moteurs (perception et action), tous nos autres sens peuvent a priori être sollicités dans un EV.
- La place du thérapeute : Quel sera son rôle ? Sera-t-il présent ?
- La gestion de la progression de la séance : Sera-t-elle confiée au thérapeute, au patient, ou sera-t-elle automatisée ? Comment l'évolution du patient sera-t-elle évaluée ?
- La nécessité d'enregistrement de variables, de performances : Quelles mesures seront nécessaires pour évaluer l'atteinte de l'objectif ?

Ces réflexions une fois menées, il est possible de se pencher sur les PCVs à développer : navigation dans l'EV (Quelles interfaces choisir ? Quelle liberté de navigation donner au patient ?), actions du patient pour réaliser les tâches (Quels gestes privilégier ?), observation de l'EV (Quelle échelle pour l'EV ? Quelle interface choisir ? Quel point de vue adopter ?), etc. Puis les interfaces comportementales sont choisies ou développées en vue d'un emploi aussi naturel que possible, avec un temps d'adaptation minimal. Leurs caractéristiques métrologiques (résolution, champ visuel, latences) sont déterminées en fonction des patients concernés, ou encore de la question posée. Des aides logicielles peuvent être imaginées sur la base de schèmes, métaphores, ou substitutions, pour faciliter le déplacement ou l'action du patient. Enfin, la phase de modélisation de l'EV et de programmation des divers éléments nécessaires (Aides logicielles, drivers) peut débuter.
Cette démarche de conception doit être validée à différentes étapes par les concepteurs. Puis, une fois réalisée, l'application fondée sur la réalité virtuelle est testée sur un petit échantillon de patients et/ou de sujets contrôle sains afin de vérifier sa fonctionnalité, son ergonomie, l'atteinte des objectifs. Selon les résultats de ces tests, des modifications sont éventuellement apportées avant de passer à l'utilisation de l'application dans l'objectif clinique initial.

2.2.2 Les interfaces utilisées

Dans ces domaines médicaux de la psychiatrie et de la neuropsychologie, les utilisateurs sont soit des sujets contrôle 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 cliniques est de choisir les interfaces comportementales les moins perturbantes possible, les plus transparentes possible. Le degré d'immersion sensorimotrice requis sera variable selon les applications ; en effet, alors que l'immersion sensorimotrice peut être nécessaire dans les situations d'exposition en psychothérapie, elle peut s'avérer perturbante dans la réalisation de tâches en neuropsychologie. Mais les choix sont également dépendants des moyens financiers liés à l'application, des possibilités matérielles du centre de soins (e.g. la possibilité de dédier une pièce aux activités de réalité virtuelle).

Les Evs sont généralement visualisés sur l'écran de l'ordinateur ou par l'intermédiaire de visiocasques, parfois également par projection sur de grands écrans. Le visiocasque (HMD : Head Mounted Display) est surtout utilisé en psychothérapie. Il facilite l'immersion sensorimotrice du sujet grâce à deux écrans de visualisation placés tout près des yeux (la vision est presque totalement occupée par l'image présentée dans le casque) mais aussi, en général, grâce à un capteur de position de la tête ou traqueur (l'image est ainsi asservie aux mouvements de la tête). Enfin, si besoin est, il peut permettre la vision stéréoscopique (l'image appropriée à chaque œil est visualisée sur l'écran correspondant). Notons que certains visiocasques sont dotés d'équipements supplémentaires tels que ceux permettant le suivi du mouvement des yeux, ou bien des écouteurs.

Les outils de base de l'interaction sont la souris, le clavier et le joystick ; des gants (position des doigts) ou un levier de commande (retour d'effort) 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. D'autres dispositifs permettent de transmettre des informations vers d'autres modalités sensorielles : sons spatialisés ; odeurs.

Ces quelques exemples reflètent la variété des outils usuellement utilisés en psychothérapie et en neuropsychologie. Le choix de l'interface est lié à différents facteurs (tels le degré d'immersion sensorimotrice 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.

2.2.3 Réalisme et pertinence du monde virtuel

L'essentiel est invisible pour les yeux
Le Petit Prince, 1961. Antoine de Saint-Exupéry

La conception d'un EV amène à s'interroger sur la notion subjective de réalisme. En effet, pour chaque sujet, « ce qui apparaît comme réel et vrai est appelé réaliste, et ce qui est considéré comme fictif et faux est appelé irréaliste » (Hoorn et al., 2003). Ainsi c'est le réalisme de l'expérience du sujet dans l'EV que nous envisageons. Il dépend d'une part du

réalisme proprement dit du système virtuel, mais aussi et surtout de la pertinence de l'expérience vécue par le sujet.

Le degré de réalisme du système virtuel peut être caractérisé par son degré de ressemblance avec la réalité, son degré de modélisation. Il se décline au niveau : du graphisme (précision de la modélisation, textures, rendu, etc.), de l'agencement des lieux (cohérence), des tâches à réaliser (écologiques, symboliques, etc.), de l'interaction avec l'EV (basique, naturelle), des modalités sensorielles sollicitées (vision, autres sens), des réponses motrices attendues (par le biais d'une interface basique, naturelles, etc.), de la qualité de l'interaction sociale (images, vidéos, agents autonomes), etc. Il peut aussi être caractérisé par la notion de fidélité : fidélité perceptive (ressemblance avec le réel sans doute sur la nature artificielle du simulacre)(Stoffregen et al., 2003) ; fidélité psychologique (« proportion dans laquelle la tache simulée engendre une activité et des processus psychologiques identiques à ceux de la tâche réelle ») (Patrick, 1992) ; fidélité physique (respect des lois de la physique).

Mais, tout comme dans la réalité, la perception du réalisme est fortement influencée par l'expérience émotionnelle et par le vécu du sujet ainsi que par la logique contextuelle de la situation. L'implication du sujet avec le contenu (e.g. le message ou la tâche) nécessite donc un engagement personnel par le biais de la pertinence tout en maintenant une certaine distance entre le sujet et le système virtuel. « Le virtuel nous propose une autre expérience du réel » (Quéau, 1993). Il est ainsi nécessaire que l'expérience virtuelle ait un sens pour le sujet, que ses caractéristiques s'accordent avec les objectifs et les intérêts du sujet. Dans un objectif de pertinence, lors de la conception de l'EV, il faudra donc s'interroger sur le degré de réalisme à apporter. Par ailleurs, le réalisme peut être associé à l'illusion d'une réalité qui n'existe pas et ainsi être associé à la notion de présence.

Le réalisme attendu est également dépendant du domaine clinique dans lequel nous nous situons. En psychiatrie, dans le contexte des phobies, l'objectif est souvent de créer des situations anxiogènes, le réalisme des stimuli et donc des émotions induites sera visé. En neuropsychologie, des EVs et des tâches, dits écologiques, i.e. proches des situations de la vie quotidienne, sont nécessaires pour mener les actions d'évaluation. Par conséquent le réalisme sera recherché dans les tâches à accomplir, l'agencement écologique des EVs.

Un facteur clef dans l'immersion de patients dans un EV est donc celui de leur niveau émotionnel. Nous verrons que cette possibilité de susciter des émotions dans un EV est à la base des thérapies d'exposition en psychiatrie, que cette présence des émotions peut perturber les performances dans les tâches à effectuer dans des applications d'évaluation en neuropsychologie. Cette induction des émotions dans les EVs est également à la base de nouvelles procédures d'investigation du comportement humain en psychophysiologie.

2.2.4 Les précautions à prendre

Les technologies actuelles permettent a priori l'exploitation de toutes nos modalités sensorielles. Si la sollicitation de plusieurs sens favorise l'immersion dans un EV, il faut cependant s'en méfier, du fait d'une part que la cohérence entre les signaux est difficile à obtenir, et d'autre part que cette sollicitation fait naître des conflits sensoriels et de ce fait peut accroître les symptômes de « cybersickness » ou cinétose (symptômes du mal des transports) (Viaud-Delmon et al., 2005). En effet, ces symptômes (maux de tête, nausées, fatigue, suées, vertige, …) peuvent apparaître après une expérimentation en RV, essentiellement lorsque le

sujet porte un visiocasque. Ils peuvent résulter : de conflits entre les trois centres de perception du mouvement (le système vestibulaire de l'oreille interne, la vision et la proprioception[6]) ; ou d'incongruence entre le signal sensoriel et ce que ressent le corps ; ou encore d'incongruence entre le signal sensoriel et le vécu du sujet dans le monde réel (Stanney et al., 2002; Berthoz, 2003). Ils peuvent également résulter d'immersions trop longues, la durée maximale ayant ainsi été définie à une vingtaine de minutes (Jaeger and Mourant, 2001) ou d'immersions successives trop rapprochées. Les conflits sensoriels existent ; il faut par conséquent s'interroger sur notre capacité à les assumer. Des précautions sont donc à prendre lorsqu'un sujet expérimente une application de RV, la dernière étant de garder le sujet une quinzaine de minutes avant de le laisser quitter le bureau du thérapeute. Peuvent survenir également des « aftereffects » ou effets secondaires tels que locomotion perturbée, changements dans le contrôle de la posture, perturbations sensorimotrices, somnolence, fatigue (Kennedy and Stanney, 1996). Ils peuvent être liés à la réadaptation du sujet au monde réel après une expérimentation dans le monde virtuel. Par ailleurs, certaines maladies représentent des contre indications à l'expérimentation de la RV. Nous pouvons citer l'épilepsie, certaines maladies cardiaques.

2.3 *La Réalité Virtuelle et nos applications*

Nous allons décrire deux applications fondées sur la réalité virtuelle abordant deux aspects du domaine clinique, la thérapie et l'évaluation. L'une est menée en psychiatrie et concerne le traitement de la phobie sociale tandis que l'autre est menée en neuropsychologie et s'intéresse à l'évaluation de la planification des tâches appliquée au vieillissement et à la maladie de Parkinson. La conception et création des différents EVs, le choix des interfaces sont fondés sur les principes décrits précédemment, mais aussi parfois sur des contraintes techniques, économiques que nous aborderons au fil des expériences.

[6] La proprioception désigne la capacité du cerveau humain de connaître à tout instant la position du corps dans l'espace

Chapitre 3 État de l'art de l'utilisation de la réalité virtuelle en psychiatrie et neuropsychologie

Depuis une dizaine d'années, les psychothérapeutes se sont saisis des possibilités offertes par la réalité virtuelle (RV). Des équipes, mêlant scientifiques et cliniciens, ont mis en œuvre des recherches et des applications afin d'attester de l'efficacité clinique des outils développés. Ce domaine d'utilisation de la RV suscite un intérêt grandissant en raison des nombreux avantages présentés par la réalité virtuelle. Les techniques de la RV permettent d'une part l'exposition, sous contrôle, du patient à des stimuli à la fois complexes, dynamiques, interactifs en 3D, et d'autre part l'évaluation et le traitement des performances cognitives, comportementales et fonctionnelles du patient, dans des tâches pouvant être proches de celles de la vie quotidienne. Couplées à des mesures physiologiques, elles permettent aussi un nouvel abord de la compréhension du fonctionnement humain, et à court terme elles participeront au monitoring des applications.
Ces technologies offrent donc la possibilité de développer des environnements à visée diagnostique, thérapeutique mais aussi de soutien. Phobies, désordres alimentaires, désordres sexuels, troubles post-traumatiques, autisme, soins palliatifs, réhabilitation sont des exemples de domaines dans lesquels l'utilisation de la RV a pour l'instant été le plus souvent envisagée (Klinger and Viaud-Delmon, 2003; Klinger et al., 2006b; Klinger et al., 2006c).
Dans ce chapitre, nous envisagerons l'exploitation de la RV dans deux disciplines : la psychiatrie et la neuropsychologie, et nous évoquerons les applications en psychophysiologie.

3.1 *Exploitation de la réalité virtuelle en psychiatrie*

Les études utilisant la RV dans un but psychothérapeutique concernent principalement les troubles anxieux pour lesquels diverses théories tentent d'expliquer les mécanismes de traitement. Ces études fondées sur la RV se sont largement appuyées sur les postulats théoriques et méthodologiques des thérapies cognitives et comportementales (TCC) (Cottraux, 1994), au centre desquelles se trouvent les stratégies d'exposition.

3.1.1 Quelques théories concernant le traitement des troubles anxieux

La théorie du traitement émotionnel de Foa et Kozak (Foa and Kozak, 1986) suggère que les mémoires de la peur peuvent être considérées comme des structures qui contiennent l'information relative aux stimuli (e.g. turbulences), aux réponses (e.g. palpitations cardiaques) et à la signification (e.g. l'avion va s'écraser). Pour vaincre la peur, la structure de la peur doit être activée, et une nouvelle information, incompatible avec celle qui évoquait la peur, doit être fournie afin de créer une nouvelle structure de mémoire. Le succès des thérapies d'exposition réside donc dans le fait qu'elles conduisent à des structures de mémoire nouvelles et plus neutres qui rejettent les anciennes qui étaient anxiogènes. L'intégration émotionnelle nécessite donc l'activation de la structure de la peur et l'habituation par présentation prolongée et répétée de stimuli.

La théorie cognitive du traitement de l'information de Beck (Beck and Emery, 1985) est fondée sur la notion de schémas cognitifs. Ces derniers sont définis comme des structures imprimées par l'expérience sur l'organisme. Stockés dans la mémoire à long terme, ils sélectionnent et traitent l'information de manière inconsciente, puis gèrent l'action. Un trouble anxieux serait constitué d'une multitude de schémas non adaptés à la vie courante. Les thérapies cognitives ont ainsi pour objectif de favoriser les processus cognitifs contrôlés (conscients, lents, en rapport avec la pensée logique) par rapport aux processus de traitement automatique de traitement de l'information par les schémas perturbés.

Enfin, la théorie de la perception d'efficacité personnelle de Bandura (Bandura, 1977) accorde au sentiment d'impuissance apprise face à des situations phobogènes un rôle central dans la psychopathologie. La diminution de l'anxiété et l'augmentation des habiletés à composer avec les situations a lieu dans la mesure où le sujet se considère capable de présenter un comportement et qu'il pense que ce comportement aboutira. Cette théorie peut être considérée comme une interprétation cognitive des théories d'apprentissage que nous allons découvrir ci-dessous dans le contexte des thérapies cognitives et comportementales.

3.1.2 Thérapies cognitives et comportementales

Les recherches menées depuis les années 1970 en France, mais depuis la fin des années 1950 dans les pays anglo-saxons, ont montré l'efficacité de des thérapies cognitives et comportementales dans le traitement des troubles anxieux, et en particulier des phobies (Canceil et al., 2004).

Elles se sont tout d'abord fondées sur les théories de l'apprentissage avec

- le conditionnement classique (ou pavlovien) (Pavlov, 1963) qui a pour effet de mettre en place les réponses du système nerveux végétatif). Il explique l'ensemble des réponses émotionnelles physiques : un stimulus neutre, comme une image ou un son, induit automatiquement une réaction émotionnelle ;
- le conditionnement opérant (ou skinnerien) (Skinner, 1971) qui décrit le développement et le maintien des réponses motrices et verbales : l'organisme opère sur l'environnement et les conséquences de son action le conduisent à modifier son comportement ;
- et la théorie de l'apprentissage social qui procède par imitation de modèles (Bandura, 1977) : le patient s'inspire du modèle pour donner sa propre version (technique de « modeling »).

Les TCC ont également pris pour référence les théories cognitives du fonctionnement psychologique (Beck et al., 1979), décrites précédemment.

Conditionnement classique et conditionnement opérant contribuent à maintenir le trouble anxieux. Afin de réduire l'anxiété et encourager les comportements d'affrontement, le plus connu des principes utilisés en TCC est l'exposition aux situations anxiogènes (Wolpe, 1969; Marks, 1987).

3.1.3 Principes des thérapies d'exposition

3.1.3.1. Les thérapies d'exposition traditionnelles

L'exposition du patient aux situations anxiogènes doit être progressive, prolongée et complète. Dans les thérapies cognitives et comportementales, elle se pratique suivant différents types exposés par Cottraux :

- Désensibilisation systématique : Le sujet relaxé suit une présentation hiérarchisée de stimuli imaginaires de plus en plus intenses. Il est invité à affronter dans la réalité les situations désensibilisées (ayant perdu leur caractère anxiogène).
- Désensibilisation *in vivo* : Le sujet relaxé affronte par étapes la situation redoutée en réalité.
- Exposition graduée *in vivo* : Le sujet qui n'est pas relaxé affronte par étapes la situation redoutée en réalité.
- Modeling de participation : Le thérapeute précède le sujet dans la situation réelle, il lui sert de modèle, puis le guide et le renforce dans son affrontement de la situation.
- Immersion *in vivo* : Le sujet est immergé en réalité dans la situation anxiogène au niveau maximum d'intensité jusqu'à ce que son angoisse s'éteigne (trois quarts d'heure au moins)

Mais les obstacles aux 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 l'intimité du patient.

3.1.3.2. Les thérapies d'exposition par réalité virtuelle

Les techniques de la réalité virtuelle peuvent en effet être utilisées pour surmonter certaines difficultés inhérentes au traitement traditionnel des troubles anxieux. Elles permettent d'une part l'exposition, sous contrôle, du patient à des stimuli à la fois complexes, dynamiques, interactifs en 3D, et d'autre part l'évaluation et le traitement des performances cognitives, comportementales et fonctionnelles du patient. Dans le cabinet du thérapeute, elles préservent l'intimité du patient et limitent son embarras (North et al., 1998a), (Figure 2).



Figure 2 : Le patient et son thérapeute

Les premières expériences d'exposition sous réalité virtuelle ont vu le jour en 1992, et se sont appuyées sur la théorie du traitement émotionnel de Foa : si un EV peut générer l'anxiété et activer les structures anxiogènes, il pourra devenir une alternative d'exposition. Comme dans l'exposition *in vivo*, l'information qui contredit les convictions anxieuses pourra être expérimentée, et l'accoutumance pourra se produire. Depuis, les études se sont multipliées, profitant des avancées de la technologie. La plupart se sont focalisées sur les troubles anxieux, mais les recherches concernant les désordres alimentaires, les troubles sexuels, les addictions, le contrôle de la douleur se multiplient.

Divers facteurs participent à l'efficacité de l'exposition sous réalité virtuelle (ERV), comme les trois conditions suivantes : 1) les patients doivent se sentir présents dans l'EV et avoir la possibilité de l'expérimenter d'un point de vue subjectif ; 2) les stimuli délivrés dans l'EV doivent susciter des émotions, par exemple l'anxiété ; 3) les comportements appris et les changements dans les façons de penser doivent être généralisables aux situations réelles.

Dans un premier temps et de façon générale, l'ERV a été délivrée de la façon décrite ci après. L'ERV est conduite comme toute autre forme d'exposition graduée et répétée, sur environ une dizaine de séances hebdomadaires, pendant lesquelles le patient apprend à développer des comportements adaptés et à modifier ses cognitions. Après avoir été exposés aux stimuli anxiogènes, les patients mesurent leur anxiété vis à vis des situations proposées grâce à une échelle subjective comme l'échelle subjective d'inconfort (SUDS : Subjective Unit of Discomfort Scale ; 0-10 ou 0-100). Des niveaux supérieurs d'exposition leur sont proposés en fonction de ces scores. Le thérapeute commente et analyse comme dans l'exposition *in vivo*. Les patients sont informés qu'ils seront exposés aux situations anxiogènes de façon graduée. 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. Et finalement les patients sont amenés à aborder le plus souvent possible les situations anxiogènes dans le monde réel. En préalable à toute ERV, les patients sont informés du fonctionnement du système virtuel et du déroulement de la thérapie, mais aussi des risques éventuels et des précautions à prendre si besoin est.

Souvent l'ERV n'utilise que des techniques d'exposition et des encouragements, sans intervention cognitive ni relaxation. Il est généralement demandé aux patients de s'impliquer autant que possible et de se concentrer sur les stimuli les plus anxiogènes de l'EV qu'ils expérimentent. La plupart des études ne concernent que des études de cas (Krijn et al., 2004b). 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; Roy et al., 2003; Cottraux et al., 2005). Dans la littérature que nous avons consultée, la description des dispositifs techniques de RV utilisés est souvent lacunaire de sorte qu'une présentation de ceux-ci et qu'une comparaison des méthodes utilisées sont souvent difficiles.

3.1.4 Les applications en psychothérapie

3.1.4.1. Les phobies

Une phobie est une peur persistante, irrationnelle, survenant dans des circonstances déterminées (APA, 1994). Les technologies de la RV ont été expérimentées et évaluées depuis maintenant une quinzaine d'années afin de traiter les phobies. L'objectif des séances de thérapie d'exposition par réalité virtuelle (TERV) est de désensibiliser le patient phobique en l'exposant au stimulus générateur d'angoisse. L'évaluation de l'évolution du patient (anxiété, évitement) est réalisée au moyen d'échelles subjectives, d'auto questionnaires. Certains comme le SUDS sont généraux, et d'autres sont plus spécifiques de la phobie traitée (e.g. ATHQ : Attitudes Towards Heights Questionnaire).

L'acrophobie

La plupart des recherches menées sur l'ERV ont concerné l'acrophobie, ou peur des hauteurs. Toutes les études proposent, en plus des stimuli auditifs et visuels, une forme de stimulus tactile matérialisé par l'appui sur une plateforme ou sur une balustrade.

Trois études de cas ont conclu à l'efficacité de l'ERV dans le traitement de l'acrophobie (Rothbaum et al., 1995b; North et al., 1996b; Choi et al., 2001), et nous nous pencherons plus particulièrement sur la première réalisée par une équipe faisant office de référence dans le domaine. Traditionnellement, dans l'exposition *in vivo,* le patient évalue tout d'abord les huit situations qui lui causent le plus d'anxiété. Puis, grâce à une exposition graduée, le thérapeute organise les séances de thérapie pour guider le patient dans un processus d'exposition et d'ajustement à ces situations (habituation). C'est ainsi que cette équipe a développé un ensemble de situations d'ERV à l'acrophobie : un ascenseur transparent dans un hôtel de 49 étages (le patient se trouve sur une plate-forme en bois avec une main courante à hauteur de taille) (Figure 5) ; un immeuble avec des balcons à différents niveaux (sol ; 6m ; 30m ; 60m ; utilisation de la plate-forme et de la main courante) ; un canyon avec des ponts à des hauteurs différentes (7m ; 50m ; 80m) mais aussi des apparences de solidité variable. L'environnement virtuel est généré par des stations Silicon Graphics et visualisé dans un visiocasque.

La première étude de cas a ainsi été menée auprès d'un patient acrophobe (Rothbaum et al., 1995b). Il lui a tout d'abord été demandé de classer les situations pouvant générer un vertige des hauteurs en fonction du degré de l'anxiété suscitée. Pendant la première séance, le patient était familiarisé à la technologie des environnements virtuels grâce à plusieurs démonstrations. Puis, pendant les huit séances suivantes, d'environ 15 minutes, un traitement individuel était conduit de façon standardisée. La première séance commençait par le niveau le moins menaçant qui était au niveau du sol près d'un pont traversant un fleuve au milieu d'une ville virtuelle. Le patient évaluait l'anxiété et l'inconfort qu'il ressentait (SUDS) périodiquement, toutes les cinq minutes en répondant à des questionnaires préétablis. Le déroulement était totalement sous le contrôle du patient. Mais quand le score au SUDS s'annulait, l'expérimentateur recommandait au patient de passer au niveau supérieur. Après un mois de traitement on a demandé au patient de remplir une échelle en dix points évaluant le degré de changement de ses symptômes depuis le test précédant son traitement. Les résultats ont indiqué une accoutumance significative du patient en ce qui concerne à la fois les symptômes d'anxiété et l'évitement des situations génératrices d'anxiété.

Ces mêmes EVs ont été repris dans la première étude contrôlée qui concerne vingt étudiants acrophobes (Hodges et al., 1995; Rothbaum et al., 1995a), répartis de façon aléatoire en deux groupes : un groupe soumis à une TERV(n=12) avec port de visiocasque, et un groupe de comparaison (n=8 ; liste d'attente de traitement). Les séances étaient conduites individuellement sur huit semaines, et duraient de 35 à 45 minutes. Les EVs représentaient trois ponts, quatre balcons et l'ascenseur transparent. Le résultat du traitement était évalué en comparant les mesures de l'anxiété, de l'évitement, des attitudes et de la détresse associés à l'exposition aux hauteurs, faites avant et après le traitement. Des différences significatives ont été trouvées sur toutes les mesures entre les sujets ayant subi la TERV et ceux de la liste d'attente.

Depuis ces études pionnières, de nouvelles études contrôlées ont été menées, dans l'objectif de valider les premiers résultats mais aussi de tester l'efficacité de solutions plus économiques comme des ordinateurs de bureau ordinaires. Ainsi l'ERV a été comparée à l'exposition *in vivo* dans le traitement de l'acrophobie (Emmelkamp et al., 2001). Tous les participants (n=10) étaient soumis à deux séances d'une heure d'ERV suivies par deux séances d'une heure d'exposition *in vivo*. Les patients devaient également remplir une batterie de tests « pre », intermédiaires (entre les deux séries) et « post ». Les EVs représentaient un plongeoir avec une piscine et un immeuble avec un ascenseur transparent. Les situations *in vivo* étaient un escalier de secours, les balcons d'un immeuble de 18 étages et le toit d'un immeuble de 5 étages (Figure 4). Pendant la séance d'ERV qui se déroulait dans une pièce sombre, le patient, porteur d'un visiocasque, était placé sur une grille en métal située à quelques centimètres du sol et entourée d'une main courante. La tête du patient était de plus recouverte d'un morceau de tissu pour mieux l'isoler du monde extérieur. L'exposition, menée de façon graduée, était ponctuée par les indications orales du thérapeute. Ce dernier contrôlait le déroulement de la séance à partir de l'écran et du clavier d'un ordinateur, alors que l'EV vu par le patient était affiché sur un dispositif vidéo. Le patient évaluait régulièrement son niveau d'anxiété grâce à l'échelle SUDS, tandis que le thérapeute pouvait observer l'évolution de la fréquence cardiaque du patient. Les résultats ont ainsi montré que l'ERV permettait de réduire les niveaux d'anxiété et d'évitement. Mais la démonstration de l'efficacité manque de fiabilité, notamment en raison de l'échantillon trop petit, des analyses utilisées ou encore de l'absence de mesure objective.

Le même groupe a poursuivi dans la comparaison ERV / *in* vivo, en exposant des sujets soit à un EV (n=17) soit à une situation réelle (n=16), les situations virtuelles étant la réplique des situations réelles (une galerie commerciale, un escalier de secours et un jardin de toit). Les auteurs ont conclu que l'ERV s'est avérée aussi efficace que l'exposition *in* vivo sur toutes les mesures, et ont noté le maintien des améliorations à six mois (Emmelkamp et al., 2002).

Enfin une troisième étude contrôlée a comparé deux situations d'ERV, différant par le degré d'immersion et donc de présence (CAVE versus visiocasque) (Krijn et al., 2004a). Un groupe contrôle sans traitement a également été mis en place pour étudier l'effet temps. Les 36 patients ont été affectés de façon aléatoire à l'un des trois groupes. Les EVs représentaient un escalier de secours, un jardin sur un toit et un immeuble. La thérapie a consisté en 3 séances d'ERV d'une heure. Aucun effet temps n'a été observé sur aucune mesure pour la liste d'attente. Les résultats n'ont montré aucune différence d'efficacité entre les deux situations d'exposition, même si la sensation de présence était bien sûr supérieure dans le CAVE. L'ERV était significativement plus efficace que la liste d'attente pour le traitement du trouble.

L'efficacité de l'ERV dans le traitement de l'acrophobie est désormais bien établie. Des recommandations ont été émises sur la façon de mener des études sur l'efficacité de l'ERV (Bouchard et al., 2003): importance des mesures physiologiques pour soutenir les résultats aux questionnaires, ainsi que d'une mesure objective de la peur des hauteurs ; inclusion de situations témoin afin d'évaluer l'impact réel du traitement fondé sur la RV .

L'aéro-acrophobie

Dans le traitement de l'aéro-acrophobie ou peur de prendre l'avion, les avantages de l'ERV sur les thérapies d'exposition standard sont considérables : coût moindre, possibilité de répéter sans fin dans le bureau du thérapeute, possibilité de placer le sujet dans différentes conditions météorologiques de vol ou à divers moments du vol.

Les dispositifs de RV utilisés pour traiter l'aéro-acrophobie s'apparentent aux simulateurs de vol. Le patient s'assied dans un fauteuil et porte un visiocasque. Des stimuli visuels, auditifs et parfois tactiles (vibrations du fauteuil) lui sont administrés. Toutes les phases d'un vol sont simulées, depuis l'attente dans l'avion avant le décollage jusqu'à celle qui suit l'atterrissage en passant par le vol proprement dit (Figure 5). Pendant ce dernier, diverses conditions atmosphériques peuvent être proposées (ciel calme, turbulences, tonnerre, jour/nuit, …). Grâce aux écouteurs du visiocasque, le patient entend les stimuli auditifs liés à l'EV mais aussi les paroles du thérapeute (encouragements, conseils, explications).

Cinq études de cas ont été menées pour mesurer l'efficacité de la RV dans le traitement de l'aéro-acrophobie et toutes ont rapporté des résultats positifs. La première expérience date de 1992 et a été conduite auprès d'une jeune femme de 32 ans (North et al., 1998a). La scène virtuelle était une ville vue du ciel, simulée sur un ordinateur Silicon Graphics. La patiente a participé à huit séances d'ERV, d'environ trente minutes chacune. Son niveau d'anxiété, élevé au début de chaque séance, diminuait au fur et à mesure de l'exposition, pour atteindre parfois un niveau zéro. Afin d'évaluer l'effet de transfert de l'ERV dans le monde réel, la patiente a été confrontée à une expérience in vivo, accompagnée de son thérapeute : un vol de dix minutes, en hélicoptère, à basse altitude, sur une plage. L'évolution de son anxiété était semblable à celle décrite lors des séances virtuelles. La patiente parvient désormais à voler sur de longues distances avec un niveau d'anxiété raisonnable.

La seconde étude a été menée auprès d'un homme de 42 ans, dont la peur de l'avion gênait ses activités professionnelles (North et al., 1997b). Accompagné de son thérapeute virtuel, le patient était placé dans le cockpit d'un simulateur de vol et volait pendant cinq séances au-dessus d'une ville virtuelle, Atlanta, d'une rivière et d'un lac. Un système de vibrations était placé sous le cockpit physique pour ajouter de l'augmentation tactile aux stimuli visuels et auditifs. Le patient évaluait l'anxiété ressentie au moyen de l'échelle SUD (Subjective Units of Discomfort), graduée de 0 ou calme complet à 10 ou panique complète. Dans la thérapie virtuelle, plus le sujet était exposé à des situations stressantes, plus son anxiété augmentait, mais elle diminuait quand le temps d'exposition augmentait. Par ailleurs, le sujet ressentait des symptômes physiques et émotionnels liés à son anxiété, comme les mains moites, la perte de l'équilibre, etc. La thérapie virtuelle a permis à ce sujet de réduire ses symptômes liés à l'anxiété et d'affronter cette situation phobogène in vivo. Le patient est désormais capable de voler dans un confort raisonnable.

Puis la troisième étude s'est intéressée à l'exploration de variables physiologiques et a mis en évidence la réduction de la conductance de la peau après une séance de 20 minutes pendant laquelle le sujet était exposé à des vols virtuels (Wiederhold et al., 1998). Les deux dernières études de cas (Rothbaum et al., 1996; Klein, 2000) impliquaient un traitement composé d'entraînement à la gestion de l'anxiété (i.e. séances de relaxation et techniques d'arrêt des pensées) et d'ERV (i.e. s'asseoir dans un avion, démarrage des moteurs, décollage, vol normal ou avec turbulences, atterrissage doux ou brutal). Les résultats ont montré l'efficacité du traitement sur les mesures d'anxiété, d'évitement, d'amélioration générale.

Ces études de cas ont depuis été suivies par des essais contrôlés. Un premier essai rapporte le suivi pendant douze mois de 49 patients ayant peur de prendre l'avion, affectés de façon aléatoire dans trois groupes : une thérapie par ERV, une thérapie par exposition standard et une liste d'attente. Il montre qu'un traitement à cours terme, mené sur huit séances, peut avoir des effets durables ; le suivi à un an indiquait en effet, chez environ 90% des patients, un maintien des gains du traitement dans les deux conditions, ERV et exposition standard (Rothbaum et al., 2000; Rothbaum et al., 2002) (Figure 5).

Un second essai incluant 30 patients aéro-acrophobes a montré d'une part qu'une thérapie fondée sur huit séances d'ERV graduées et hebdomadaires était plus efficace qu'une thérapie fondée sur une exposition par imagination, et d'autre part que le feedback physiologique ajoutait à l'efficacité de la thérapie par RV (Wiederhold et al., 2002a) (Figure 6).

Un troisième essai, mené auprès de 45 patients aéro-acrophobes, a comparé deux conditions de traitement : cinq séances d'ERV et cinq séances placebo de traitement de groupe (éducation à la sécurité, conversations sur les peurs du patient) (Maltby et al., 2002). L'EV proposait dix niveaux hiérarchisés, débutant par l'arrivée dans l'aéroport, la marche vers l'avion, le vol et se terminant par le retour à l'aéroport. Il présentait également trois niveaux d'intensité, calme, turbulent et orageux. Les déplacements étaient effectués au moyen d'un joystick. A l'issue des deux traitements, une amélioration significative a été constatée chez tous les sujets, avec toutefois de meilleurs résultats pour le groupe soumis à l'ERV. Mais dans le suivi à six mois, la plupart des différences entre les deux groupes avaient disparu.

Citons encore cette étude contrôlée (Muhlberger et al., 2003) dont l'objectif était de tester l'efficacité d'une seule séance d'ERV pour traiter l'aéro-acrophobie. 45 participants aéro-acrophobes ont été répartis de façon aléatoire sur 3 types de traitement : a) traitement cognitif (TC, 60 minutes) avec ERV et simulation de mouvement (4 vols de 18 minutes), b) TC avec ERV sans simulation de mouvement et c) TC seul, sans ERV. L'efficacité des diverses thérapies a aussi été comparée à une liste d'attente de 10 personnes. Pendant l'ERV, le patient se retrouvait soumis à toutes les phases du vol ainsi que tous les stimuli visuels et auditifs correspondants. Un système avec 6 degrés de liberté a été utilisé pour manipuler la position du corps du patient et simuler le mouvement (accélérations, décélérations, turbulences). Les résultats ont montré d'une part que la réduction de l'anxiété ne concernait que les groupes ERV (éveil de la peur, puis habituation) et d'autre part que la simulation du mouvement n'avait pas accru l'efficacité du traitement, même si elle avait accru la peur. L'exposition aux stimuli visuels et auditifs est apparue comme la composante principale de la thérapie.

Et enfin citons cette dernière étude qui a exploré l'efficacité à court et long terme (un an) de l'ERV (6 séances) dans le cas de l'aéro-acrophobie (Botella et al., 2004b). Le vol ainsi que les situations qui le précèdent et le suivent dans un aéroport étaient simulées. Tous les participants (n=9) ont été capables de voler à l'issue du traitement.

La plupart de ces études permettent de conclure à l'efficacité de l'ERV dans le traitement de la peur de voler. Certaines d'entre elles affirment une efficacité maintenue dans le long terme, comme l'indique le suivi de trois ans de cette étude (Wiederhold et al., 1998).

La peur de parler en public

Un sujet souffrant de la peur de parler en public est saisi d'une peur persistante et intense dès lors qu'il est en contact avec des personnes non familières qui le regardent et peuvent s'adresser à lui. Diverses expériences fondées sur la RV ont été menées pour étudier ce trouble et examiner la possibilité de le traiter grâce à l'ERV. Généralement, le participant, debout devant un podium, porte un visiocasque et se retrouve devant une audience virtuelle (images, vidéo, agents virtuels) dont le comportement est contrôlé par le thérapeute. Il peut être demandé au participant de faire un exposé, de parler de lui-même ou de lire un texte proposé. La durée de l'exposition est d'environ vingt minutes.

La première étude contrôlée concernait seize sujets, souffrant de la peur de parler en public, recrutés par l'Université Clark d'Atlanta (North et al., 1998b), affectés à deux groupes de traitement : un groupe TRV, thérapie par réalité virtuelle (n=8) et un groupe de comparaison (n=8). Pour les patients du groupe TRV, l'environnement virtuel était composé d'un auditorium pouvant accueillir 100 personnes et doté d'un podium en bois. Un haut-parleur était branché pendant les séances, permettant aux sujets d'entendre l'écho de leur voix. Le traitement consistait en cinq séances hebdomadaires, de 10 à 15 minutes chacune : le patient debout derrière le podium devait parler face à l'auditoire. Au cours de la séance, le thérapeute avait la possibilité de faire varier le nombre de personnes de l'audience mais aussi l'attitude de ces personnes, en faisant alterner des séquences vidéo préenregistrées. Les patients du groupe de comparaison étaient exposés à une scène virtuelle quelconque, sans audience. La comparaison avec le groupe contrôle, rapportée par les auteurs, ne concerne que les patients pour lesquels la TRV a été efficace. Les auteurs relatent ainsi que les patients ont expérimenté diverses manifestations physiques et émotionnelles (accélération du rythme cardiaque, mains moites, perte de l'équilibre, …), semblables à celles ressenties in vivo. Cette étude a montré que l'ERV pouvait permettre de réduire l'anxiété des patients face à un public.

Dans la seconde étude contrôlée, quatorze étudiants souffrant de la peur de parler en public ont été recrutés et répartis selon deux groupes : un traitement individuel par réalité virtuelle (n=8) et une liste d'attente (n=6) (Harris et al., 2002). Les EVs étaient un auditorium vide et un auditorium qui se remplissait progressivement avec une audience à l'attitude positive ou négative. L'expérience était menée par un thérapeute, le traitement s'est déroulé sur quatre séances hebdomadaires de 12 à 15 minutes chacune. Diverses mesures, incluant l'Échelle d'Anxiété Sociale de Liebowitz (LSAS) (Liebowitz, 1987) et le test sur la confiance de parler en public (Personal Report of Confidence as a Speaker, PRCS) ainsi que des mesures physiologiques (fréquence cardiaque), ont été réalisées. Les résultats rapportés montrent que la principale différence entre la condition ayant reçu le traitement et la condition témoin se situe sur la confiance de parler en public, et non pas sur les questionnaires d'anxiété.

De nombreux EVs ont été développés dans le cadre de la peur de parler en public, soit pour aller vers une meilleure compréhension des mécanismes impliqués et des stimuli efficaces, soit pour proposer de nouvelles approches thérapeutiques. Certains envisagent l'utilisation de la télépsychologie (Botella et al., 2000a; Botella et al., 2004a) : le programme Talk To Me propose via l'Internet une intervention auprès des patients (diagnostic, traitement, évaluation)

par le biais d'exposition à des séquences vidéo. D'autres sont fondés sur le rendu d'images animées et de vidéos capturées en temps réel (Lee et al., 2002). Enfin l'exposition à des audiences constituées de séquences vidéo a été envisagée selon des procédures semblables à celle utilisée par North (Anderson et al., 2000; Hodges et al., 2001) (Figure 7).

L'influence de l'attitude de l'audience virtuelle à laquelle le sujet est confronté a également été examinée (Slater et al., 1999; Slater et al., 2000; Pertaub et al., 2001; Pertaub et al., 2002). La dernière étude citée avait pour objectif de mesurer les réponses anxieuses de 40 participants donnant une présentation de cinq minutes devant une audience constituée de huit agents virtuels, cette audience pouvant être neutre, positive ou négative (Figure 8). Les résultats ont montré que les trois conditions d'exposition pouvaient générer de l'anxiété chez les participants.
Cette équipe a poursuivi ses travaux en comparant les comportements et réponses de non phobiques (n=20) et de phobiques (n=16) alors qu'ils devaient faire un exposé devant une pièce vide ou une pièce peuplée de cinq agents virtuels (Slater et al., 2004). Les non phobiques réagissent aux deux conditions de la même façon. Les phobiques ont éprouvé une anxiété significativement supérieure dans la condition 2. Les résultats montrent qu'une réaction anxieuse est obtenue chez les phobiques même dans les situations relativement neutres.

Les résultats de ces études concernant l'étude de l'efficacité de l'ERV pour traiter la peur de parler en public sont encourageants. De nombreuses questions restent néanmoins posées quand à la façon de représenter les humains virtuels, et notamment celle de leur réalisme nécessaire (traits, expressions du visage, attitudes gestuelles, comportements, …)

La phobie sociale

La phobie sociale, encore appelée anxiété sociale, consiste en une crainte persistante d'une ou de plusieurs situations dans lesquelles le sujet est exposé à une éventuelle observation attentive d'autrui et dans lesquelles il craint d'agir de façon humiliante ou embarrassante (APA, 1994; Légeron and Gailledreau, 1998). Il s'agit d'une véritable peur du jugement et de l'évaluation de la part de l'autre.

La peur de parler en public, décrite ci-dessus, ne représente qu'un des aspects de la phobie sociale encore appelé anxiété de performance. Une classification a précisé trois autres types de situations qui sont l'anxiété d'affirmation (exprimer son désaccord, donner son avis, refuser), l'anxiété d'intimité (être présenté à des personnes inconnues, être invité à une soirée où l'on ne connaît personne), et l'anxiété d'observation (effectuer une tâche, manger, boire, marcher sous le regard des autres) (Holt et al., 1992).

Nous reviendrons en détail sur ce thème de la phobie sociale dans le chapitre 4 étant donné que notre première expérimentation porte sur ce trouble anxieux et nous aborderons alors en détail les différentes études qui ont été menées (Herbelin et al., 2002; Anderson et al., 2003; James et al., 2003; Roy et al., 2003; Slater et al., 2004; Klinger et al., 2005).

Le trouble panique et l'agoraphobie

Le trouble panique et l'agoraphobie sont des troubles fréquents et handicapants. Les attaques de panique se manifestent par des épisodes soudains et récurrents d'anxiété ou d'inconfort intense relatifs à l'appréhension d'attaques. Elles s'accompagnent de dyspnée, de vertiges, de palpitations, de la peur de mourir ou de perdre le contrôle (APA, 1994). Le trouble panique est souvent associé à l'agoraphobie, i.e. la peur de se trouver dans des endroits ou des situations d'où il est difficile ou embarrassant de s'échapper, la peur des espaces découverts. Des études ont été menées pour tester l'efficacité de l'ERV dans le traitement de ces troubles. Dans les exemples décrits ci-dessous les patients portent un visiocasque.

Dans une première étude (North et al., 1996a), soixante sujets agoraphobes ont été sélectionnés selon les critères du DSM IV (APA, 1994); trente constituant le groupe expérimental exposé à une thérapie virtuelle (TRV), les trente autres constituant le groupe contrôle sans traitement. Les participants du groupe TRV ont été graduellement exposés à 8 (ou moins) séances d'ERV de 15 minutes chacune. Les EVs étaient des balcons, une pièce vide, une grange sombre avec ou sans chat noir, un pont couvert, un ascenseur, un canyon et des montgolfières. Les résultats ont montré une amélioration significative de l'état des patients du groupe TRV. Les attitudes négatives envers les situations phobogènes ont décru de façon significative dans le groupe TRV alors qu'elles restaient stables dans le groupe de contrôle. Les scores moyens à l'échelle SUD ont diminué régulièrement au fur et à mesure des séances, indiquant l'accoutumance.

Vincelli et al. se sont intéressés aux attaques de panique avec agoraphobie (Vincelli et al., 2003). Douze patients ont été sélectionnés et répartis selon trois groupes : le groupe de thérapie cognitive expérimentale (TCE) utilisant la réalité virtuelle (visiocasque et joystick) comme une des composantes du traitement cognitif et comportemental (huit séances), le groupe de thérapie cognitive et comportementale traditionnelle (TCC) (douze séances), et enfin une liste d'attente. Les EVs utilisés représentaient un ascenseur (familiarisation avec le système virtuel), un supermarché (possibilité de naviguer pour faire des achats), un wagon de métro (déplacement entre différentes stations) et une grande place. Les résultats montrent que TCE et TCC permettent de réduire le nombre d'attaques panique. D'autre part l'ERV permet de solliciter différents canaux sensoriels et ainsi de vivre l'exposition de manière plus réaliste que la TCC. Le faible nombre de participants dans chaque groupe de traitement ne permet pas de conclure en terme d'efficacité.

Une autre étude s'intéressant aux attaques de panique traite des patients agoraphobes et présente un protocole clinique (Botella et al., 2004c) (Figure 11). Cinq environnements ont été créés pour les besoins de la thérapie d'exposition virtuelle : une chambre, un bus, un métro, un centre commercial et un tunnel. Plusieurs sensations corporelles sont simulées telles que les palpitations cardiaques, l'essoufflement, la vision trouble. Le simple fait de présenter des images brouillées ou des sons de battements de cœur fait travailler l'imagination du patient. Il s'agit de stimuli incitant le patient à se replonger dans les symptômes qu'il peut connaître lors d'attaques de panique. Différents modulateurs peuvent graduer la difficulté de la situation, comme le nombre de personnes, des conversations inquiétantes, la longueur des trajets, etc. Les résultats de cette étude, menée dans le cadre du projet VEPSY auprès de 47 patients, confortent l'efficacité de l'exposition virtuelle dans le traitement des troubles panique et de l'agoraphobie.

Enfin citons cette récente étude contrôlée multicentrique (Cottraux et al., 2005) dont l'objectif est de comparer une TRV « pure » (douze séances) à une TCC « pure » (douze séances), avec un groupe contrôle (liste d'attente) auprès de 90 patients. Douze EVs ont été créés (tunnels, ascenseurs, supermarché, voyage en avion, …), ainsi qu'un scénario de déréalisation (une pièce vide est soumise à diverses distorsions). Le traitement des patients s'étale sur trois mois, un suivi à six mois et un autre à un an sont prévus. Les résultats de cette étude sont attendus.

Par ailleurs, une étude s'est intéressée à l'exploration des réponses physiologiques (température et conductance de la peau, fréquence cardiaque, respiration) de sujets non phobiques (n=9) exposés aux EVs destinés au trouble panique et à l'agoraphobie (ascenseur, supermarché, place dans une ville et plage) (Moore et al., 2002). Les résultats montrent une excitation physiologique pendant l'exposition (conductance de la peau). L'objectif de telles études est de fournir une ligne de base pour l'étude des réponses physiologiques des phobiques.

L'arachnophobie

L'arachnophobie, ou peur des araignées, peut perturber profondément la vie du patient et le tourner vers des conduites obsessionnelles de vigilance, de nettoyage.

Une étude de cas a rapporté l'efficacité de l'ERV couplée à de l'augmentation tactile pour le traitement de l'arachnophobie (Carlin et al., 1997). La patiente portait un visiocasque et se déplaçait dans une cuisine virtuelle au moyen d'une souris 3D. Un premier capteur Polhemus 6D[7], placé dans sa main droite, permettait de contrôler la position de la main virtuelle à l'écran tandis qu'un second capteur permettait de contrôler la position de l'araignée virtuelle (Figure 10). Pendant les séances d'augmentation tactile, ce dernier capteur était placé dans un jouet représentant une araignée velue. Ainsi pendant que la patiente explorait l'objet virtuel avec la main virtuelle, sa main réelle manipulait le jouet (sensations tactiles, poids du jouet). Le traitement consistait en douze séances d'une heure sur une période de trois mois. Pendant ces séances, des ERVs de cinq minutes se succédaient interrompues par des pauses pour éviter la cinétose. Parfois la patiente était encouragée à toucher l'araignée. Les résultats ont été évalués grâce à des mesures d'anxiété, d'évitement et de changements de comportements, et ont montré la diminution de la peur des araignées chez la participante.

Une étude contrôlée a conforté ces résultats (Garcia-Palacios et al., 2002). Elle a été menée, avec la même approche, auprès de 23 patients phobiques, affectés soit à une TERV (n=12), soit à une liste d'attente (n=11). La fin du traitement était déterminée par la capacité du sujet à tenir la grosse araignée virtuelle avec feedback tactile tout en rapportant des niveaux bas d'anxiété, ce qui a nécessité en moyenne quatre séances d'ERV. Les résultats de étude ont rapporté l'efficacité de l'ERV avec augmentation tactile dans le traitement de l'arachnophobie.

[7] Capteur Polhemus 6D : Capteur de localisation à 6 degrés de liberté

La claustrophobie

Une étude de cas relate l'utilisation des techniques de la réalité virtuelle dans le traitement de la claustrophobie, ou peur des espaces confinés, de l'enfermement (Botella et al., 1998). L'EV utilisé était constitué d'un petit jardin (2x5m), d'une pièce avec fenêtres et portes (4x5m), d'une pièce sans mobilier et sans fenêtre (3x3m) et d'un mur mobile qui pouvait réduire l'espace à 1m² (Figure 11). Huit séances individuelles d'ERV graduée (visiocasque) ont été menées chez une patiente claustrophobe de 43 ans. Entre les séances 6 et 7, le sujet fut exposé à une situation réelle sans possibilité d'évitement. Les auto questionnaires ont montré un déclin de l'anxiété et de l'évitement après la thérapie, maintenu un mois après. Puis ce groupe de recherche a évalué l'effet de l'ERV sur un patient claustrophobe et sur trois patients souffrant de désordre panique (Botella et al., 2000b). Tous les patients furent traités pour claustrophobie au moyen de huit séances d'exposition mais l'EV précédent s'est enrichi d'un ascenseur virtuel qui pouvait être petit ou vaste, opérationnel ou bloqué. Le traitement s'est avéré efficace sur toutes les mesures, avec le maintien à trois mois du déclin de l'évitement. Mais des études contrôlées sont nécessaires pour évaluer l'efficacité de l'ERV dans le traitement de la claustrophobie.

La phobie de conduire

La phobie de conduire peut apparaître à la suite d'un accident, mais également s'installer sans raison spécifique. Les patients sont perturbés par les dangers potentiels de la conduite (e.g. accidents, blessures), par les situations de conduite déplaisantes (e.g. embouteillages) et à un moindre degré par les symptômes anxieux ressentis pendant la conduite.

Deux premières études ont publié des résultats concernant l'efficacité de la RV dans le traitement de la phobie de conduire (Wald and Taylor, 2000, 2003). L'ERV a été délivrée dans le simulateur de conduite *driVR*™[8]. Il consiste en un ordinateur de bureau, des contrôleurs de conduite (volant, pédales d'accélérateur et de frein) et un visiocasque. Le logiciel permet au thérapeute de choisir des scénarios de route (zone résidentielle, zone urbaine, voies à grande vitesse) mais aussi de définir des conditions de route (e.g. nuit, pluie). Le traitement est mené, selon un protocole standardisé, de façon graduée et répétée à partir de la situation jugée la moins stressante par le patient. La durée de l'ERV passe graduellement de 25 à 50 minutes au cours du traitement.

La première étude publiée consistait en une étude de cas (Wald and Taylor, 2000). Une femme souffrant de la phobie de conduire a été traitée en trois séances d'ERV de 60 minutes, sur une période de dix jours. Elle a expérimenté quatre scénarios (deux voies rapides et deux zones résidentielles). Chaque étape de conduite durait 1 à 5 minutes et était répétée jusqu'à atténuation de l'anxiété. La thérapie a permis le déclin de l'évitement et de l'anxiété, et le maintien à 7 mois de ce déclin a été mesuré.
La seconde étude menée par la même équipe (Wald and Taylor, 2003)a permis de tester cinq sujets après huit séances d'ERV hebdomadaires. Les résultats sont variés selon les participants, sont prometteurs.

Par ailleurs, une étude ouverte a exploré l'efficacité de l'utilisation combinée de jeux de conduite sur ordinateur (RJ : Réalité de Jeu) et de RV dans la thérapie d'exposition de 14

[8] *driVR*™ [Version 2] : www.drivr.com

sujets venant de subir un accident et souffrant de la phobie de conduire (Walshe et al., 2003) (Figure 12). Un volant à retour d'effort ainsi que des pédales d'accélérateur et de frein sont fixés à un écran de moniteur. Le patient s'assied sur un siège de voiture positionné sur une plateforme équipée de haut-parleurs. L'EV est visualisé dans le visiocasque tandis que le jeu l'est sur le moniteur ou dans le visiocasque. Dans les EVs le participant expérimente la conduite en ville, dans la campagne et dans un tunnel. Les jeux proposent des scènes de conduite en ville ou à la campagne, avec la possibilité de faire varier les conditions de circulation (e.g.fluide, dense) et/ou de route (e.g. nuit, pluie). Au fur et à mesure de l'habituation des participants aux expositions, des tâches peuvent leur être proposées (e.g. négocier des obstacles, causer un accident). La fréquence cardiaque est enregistrée.

Cette combinaison d'expositions a généré des réponses anxieuses auprès de 7/14 (50%) des participants. Elle montre que RV et RJ peuvent jouer un rôle dans le traitement de la phobie de la conduite après accident même en cas de comorbidités (dépression, stress post traumatique). Cette étude montre également que les sujets habitués aux jeux vidéo ont accordé moins de chance à la RJ et par extension à la RV. En effet, pour être effectives, RV et RJ nécessitent la bonne volonté à entrer dans une réalité artificielle avec « mise en suspens de l'incrédulité ». Le sens de présence a été plus fortement ressenti quand le retour d'effort était opérationnel. L'utilisation du visiocasque a été jugée désorientante : le volant n'était pas vu et l'image n'était pas claire ; la navigation en RV était plus difficile. La projection sur grand écran ou dans un CAVE est envisagée par cette équipe.

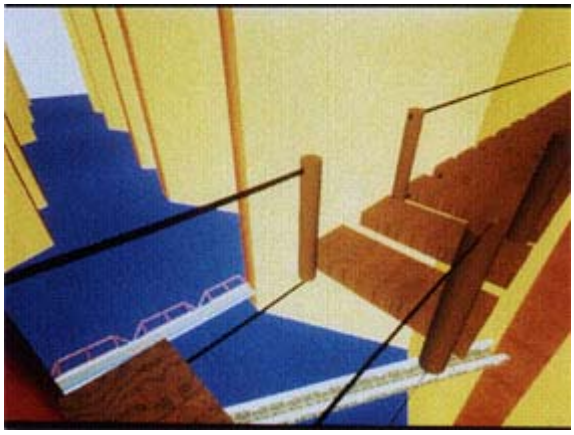


Figure 3 : L'acrophobie (Hodges & Rothbaum, 1995)[9]



Figure 4 : L'acrophobie (Emmelkamp, 2002)[10]



Figure 5 : L'aéro-acrophobie (Hodges & Rothbaum, 2000)[9]



Figure 6 : L'aéro-acrophobie (Wiederhold, 2002)[10]



Figure 7 : La peur de parler en public (Hodges & Rothbaum, 2001)[9]



Figure 8 : La peur de parler en public (Pertaub, 2001)[10]

[9] Avec l'aimable autorisation de reproduction de Virtually Better, Inc. www.virtuallybetter.com
[10] Avec l'aimable autorisation de reproduction des auteurs



Figure 9 : L'agoraphobie (Botella, 2003)[10]



Figure 10 : L'arachnophobie (Hoffman, 2002)[11]



Figure 11 : La claustrophobie (Botella, 1998)[10]



Figure 12 : La peur de conduire (Kim, 2003)[10]



Figure 13 : SPT – Vietnam (Hodges & Rothbaum, 1999)[9]



Figure 14 : SPT – World Trade Center (Difede & Hoffman, 2002)[11]

[11] Copyrighted by Hoffman, U. of W., www.vrpain.com



Figure 15 : Les troubles alimentaires (Riva et al., 2001)[10]



Figure 16 : Les troubles sexuels (Optale, 1998)[10]



Figure 17 : Autisme et sécurité routière (Strickland et al., 1996)[10]



Figure 18 : Autisme et sécurité incendie (Strickland et al., 1996)[10]



Figure 19 : Addictions : Tabac (Lee et al., 2003)[10]



Figure 20 : Addictions : Drogue (Graap, 2004)[10]

3.1.4.2. Les autres troubles anxieux

Stress Post Traumatique (SPT)

Les personnes victimes de traumatismes (e.g. guerre, attentat, accident, agression) peuvent développer un Stress Post Traumatique (SPT ou PTSD : Post Traumatic Stress Disorder) qui s'accompagne d'anxiété, d'hallucinations, d'insomnies, … et vient détériorer leur vie personnelle, familiale et sociale. Pour traiter le patient, il faut débloquer la mémoire et les émotions négatives stockées, en permettant au patient de verbaliser, de retraiter l'information et ses émotions. Les thérapies existantes n'offrent aucun bénéfice chez certains patients en raison de leur difficulté à imaginer, visualiser, décrire et verbaliser les scènes source d'angoisse.
La RV offre la possibilité de suppléer aux capacités d'imagination des patients, mais en plus de leur proposer des expériences visuelles, auditives et au besoin haptiques, facilitant ainsi leur engagement émotionnel. Les diverses études proposées ci-dessous sont fondées sur ces caractéristiques. Les EVs relatif à un événement traumatique (e.g. guerre du Vietnam, attaque du World Trade Center, guerre en Irak) proposent diverses situations de la chronologie de cet événement. Les expositions sont répétées jusqu'à être supportées par le patient. Le thérapeute est présent pour écouter, aider le patient qui expérimente en portant un visiocasque.

Les deux premières études, une étude de cas et un essai clinique, concernent les vétérans de la guerre du Vietnam, pour lesquels deux environnements ont été développés : un hélicoptère virtuel volant au-dessus d'un Vietnam virtuel et une clairière entourée par la jungle (Rothbaum et al., 1999; Rothbaum et al., 2001). L'ambiance sonore de ces EVs correspond à la situation de guerre (e.g. mitraillettes, hélices, sirènes, cris, ordres). Relaxation, ERV aux deux EVs créés et exposition par imagination aux souvenirs anxiogènes ont été combinés dans un protocole clinique. Les réactions des patients ont été enregistrées alors qu'ils expérimentaient les EVs et les résultats montrent que les patients établissent un rapport entre le monde virtuel et les souvenirs de leurs expériences dans la guerre du Vietnam. Dans l'étude de cas (Rothbaum et al., 1999), un vétéran a été soumis à 14 séances de 90 minutes réparties sur 7 semaines. Les mesures montrent un déclin de ses symptômes maintenu six mois après. L'essai clinique ouvert qui a suivi concernait dix patients (Rothbaum et al., 2001). Les résultats obtenus après un suivi de six mois ont confirmé une certaine efficacité de la RV dans le traitement du SPT chez les vétérans du Vietnam. Mais ces résultats restent limités, les traumatismes des soldats étant enfouis depuis trop longtemps. La rapidité avec laquelle la thérapie par réalité virtuelle est proposée semble donc jouer un rôle.

Cette approche a été reprise avec les survivants ou témoins de l'attentat du World Trade Center. Une étude de cas relate l'engagement émotionnel et le traitement d'une survivante (Difede and Hoffman, 2002). Pendant six séances d'une heure d'exposition virtuelle, la patiente a été graduellement et systématiquement exposée à des avions virtuels volant sur le World Trade Center, des avions s'écrasant avec des explosions, des sons, des personnes sautant des immeubles. L'exposition virtuelle graduée a permis la ré-expérience du traumatisme, l'habituation de la patiente et par conséquent la réduction de ses symptômes aigus de SPT. Et désormais les thérapeutes utilisent l'ERV pour préparer ou soigner les soldats de la guerre en Irak (Rizzo et al., 2005). L'application a été créée à partir du jeu vidéo Full Spectrum Warrior qui s'inspire de la simulation d'entraînement tactique de soldats.

Troubles Obsessionnels Compulsifs (TOC)

Les obsessions les plus fréquentes sont la peur de la contamination, la peur de faire des erreurs, la peur de blesser l'autre. Les compulsions courantes incluent le nettoyage et le lavage, le rangement, la collecte, le fait de compter et de répéter. Les médicaments et les thérapies comportementales sont les remèdes usuels. La réalité virtuelle peut donner au patient la possibilité d'aller au bout de sa compulsion et de chercher des comportements substitutifs (North et al., 1997c). Une étude portant sur treize patients et dix sujets contrôle, soumis à trois séances hebdomadaires d'exposition virtuelle, a appuyé le rôle potentiel des technologies de la RV dans la thérapie comportementale (Clark et al., 1998).

3.1.4.3. Les troubles des conduites alimentaires

Les techniques de la réalité virtuelle sont également utilisées pour corriger l'image du corps dans certains troubles des conduites alimentaires (boulimie, anorexie, obésité). VEBIM (The Virtual Environment for Body Image Modification) est un système développé en Italie pour traiter les troubles de l'image du corps présents en cas de désordre alimentaire (Riva, 1997). Il vise à définir l'image que le sujet a de son corps afin de la modifier (Figure 15).
L'environnement virtuel est constitué d'un ensemble de zones dans lesquelles le sujet, qui porte un visiocasque, est amené à évoluer tout en exécutant des tâches. Les stimuli qui contribuent à des comportements alimentaires anormaux sont identifiés et l'anxiété associée ainsi que les expériences corporelles sont ciblées afin d'être modifiées. Ainsi, dans certaines zones de l'EV, le sujet a la possibilité de « manger », dans d'autres le sujet doit se « peser » pour évaluer l'effet de ce qu'il a consommé. Ailleurs le sujet peut voir son propre corps numérisé dans l'environnement virtuel et le déformer pour créer son image de corps idéal. L'écart entre les deux images représente l'insatisfaction du sujet à l'égard de son corps. A la fin, le sujet doit choisir la porte qui correspond à son corps réel pour quitter la zone finale. Cette approche a tout d'abord été testée auprès de 71 sujets sains qui se sont auto évalués grâce à des échelles relatives à la perception du corps. Puis elle a été validée par de nombreux essais cliniques.

Une première étude contrôlée a été menée chez des femmes obèses (n=28) (Riva et al., 2001b), et une seconde étude chez des femmes boulimiques (Riva et al., 2002). Dans les deux cas, les femmes, soumises à une diète et à un entraînement physique, ont été réparties de façon aléatoire soit dans un groupe avec thérapie virtuelle, soit dans un groupe psychonutritionnel traditionnel fondé sur une approche cognitive et comportementale. Les patientes ont été soumises à une batterie de tests permettant de mesurer la symptomatologie de leur désordre alimentaire, leurs attitudes vis-à-vis de la nourriture, leur mécontentement corporel, leur niveau d'anxiété, leur motivation au changement, leur niveau d'affirmation et d'autres symptômes psychiatriques. Les résultats préliminaires montrent que le traitement sous réalité virtuelle est plus efficace que le traitement traditionnel dans l'amélioration de l'état psychologique de l'ensemble des patientes, en particulier au niveau de la satisfaction corporelle, de l'auto efficacité et de la motivation au changement.
Un suivi à six mois de 36 femmes boulimiques a permis de comparer trois types de traitement des troubles alimentaires (Riva et al., 2003b) : a) traitement multifactoriel incluant l'ERV ; b) TCC ; c) groupes nutritionnels. Il montre la supériorité de l'efficacité du traitement incluant la RV, notamment au niveau de la représentation corporelle. Puis ces travaux ont été poursuivis lors du projet européen VEPSY, ajoutant la comparaison à un groupe contrôle (Riva et al., 2004). La publication des résultats des essais cliniques est attendue.

Un groupe de recherche espagnol a de son côté étudié les réactions émotionnelles (anxiété, dépression) de patientes souffrant de désordres alimentaires lors de leur exposition à des EVs (Gutierrez-Maldonado and Ferrer-Garcia, 2005). Trente femmes furent ainsi exposées à quatre conditions expérimentales grâce à deux EVs (cuisine et restaurant) dans lesquels il leur était présenté de la nourriture basse ou haute calorie. Dans le restaurant la prise de nourriture se faisait en présence de personnes alors que dans la cuisine elle se faisait sans témoins. Une mesure des états d'anxiété et de dépression était faite après chaque exposition. Les résultats montrent que les EVs dans lesquels les patientes sont contraintes d'ingérer de la nourriture haute calorie provoquent les plus hauts niveaux d'anxiété et de dépression.
Les auteurs ont par ailleurs développé le logiciel BIAS (Body Image Assessment Software) qui permet d'évaluer les distorsions de l'image corporelle ainsi que l'insatisfaction par rapport à cette image. Placée devant une image de corps féminin, visualisée sur écran et proportionnelle à sa taille, la patiente peut en modifier différents composants dans des vues de face et de côté. L'objectif est que la patiente exprime d'une part l'image qu'elle a de son corps et d'autre part l'image idéale du corps qu'elle aimerait avoir.

L'intérêt des différents EVs décrits ci-dessus dans les désordres alimentaires réside dans la possibilité de faire prendre conscience aux patientes de l'évolution de leur corps et donc de maintenir leurs efforts et leur traitement.

3.1.4.4. Les troubles sexuels masculins

L'utilisation de la réalité virtuelle dans le traitement de troubles sexuels masculins, tels que l'impuissance et l'éjaculation précoce, est envisagée depuis une dizaine d'années (Optale, 1993). Ces deux troubles induisent une perte de l'estime de soi et peuvent conduire le patient vers la dépression.
La thérapie développée est répartie sur douze séances (Optale et al., 1998). Elle mêle des séances acoustiques, une séance de psychothérapie et des séances de réalité virtuelle, et se conclut par une discussion finale. L'environnement virtuel est constitué de différents mondes qui reproduisent les expériences narrées dans les séances acoustiques : ré-expérience de l'enfance, participation à un tournoi et marche le long d'un chemin dans une forêt. On y trouve des routes et des rues, avec des endroits de référence tels que des immeubles ou des arbres (Figure 16). Le sujet peut aussi activer de petits films, durant 10 à 20 secondes, toujours en relation avec l'ontogenèse de l'identité sexuelle masculine.
Dans l'expérience virtuelle, le patient suit des chemins qui accélèrent un processus psychodynamique qui élude les défenses cognitives et stimule directement le subconscient, tout étant en relation avec son expérience dans la sphère sexuelle. Les obstacles qui mènent au dysfonctionnement sexuel sont mis en évidence. Comme le patient prend conscience que les causes de ce dysfonctionnement peuvent être modifiées, guidé par le thérapeute, il acquiert des moyens supplémentaires pour prendre part au processus de guérison.
Les combinaisons thérapeutiques de ce traitement semblent permettre de réduire le coût des soins médicaux, mais aussi le risque d'addiction lié à la prise de drogues afin d'atteindre la performance sexuelle désirée.
Par ailleurs, les résultats d'études en imagerie cérébrale fonctionnelle, pratiquées avant et après la thérapie, conduisent ses auteurs à affirmer qu'il est ainsi possible d'obtenir des changements dans l'activité métabolique de régions spécifiques du cerveau impliquées dans les mécanismes de l'érection (Optale et al., 2000). Ces travaux ont été poursuivis dans le cadre du projet VEPSY (Optale et al., 2004). Les résultats de l'étude contrôlée sont attendus.

3.1.4.5. L'autisme

Chez les enfants autistes, trois caractéristiques reviennent communément : une réponse anormale à des stimuli, un déficit dans l'engagement relationnel et enfin l'incapacité à généraliser à partir de différentes expériences. Les avantages que peut présenter la réalité virtuelle chez les enfants autistes sont nombreux : sécurité des expériences, contrôle fin de l'environnement, recours aux sens dominants des enfants autistes (vision, audition), traitement individualisé et surtout non nécessité d'engagement relationnel de l'enfant avec un tiers pendant l'expérience

Un premier système fondé sur la RV a ainsi été développé pour apprendre aux enfants autistes à traverser des rues (Strickland et al., 1996). L'EV est constitué de rues, bordées de quelques bâtiments, dans lesquelles peuvent circuler des voitures. Le nombre, la couleur et la vitesse des voitures peuvent être modifiées et l'enfant peut être placé dans diverses situations de rue (Figure 17). Différentes tâches sont proposées à l'enfant : par exemple, reconnaître une voiture et nommer sa couleur ; localiser un panneau de stop et se diriger vers lui. En cas de réussite, un signal de récompense est donné. L'étude de cas (n=2) (Strickland et al., 1996) montre que les enfants ont accepté de porter le visiocasque, d'identifier des objets familiers dans l'EV et de se mouvoir autour. Ils ont accepté de participer.
D'autres EVs ont été développés par ces chercheurs, notamment une cuisine virtuelle dans laquelle les enfants apprennent à reconnaître et utiliser divers objets, tels que fourchette, tasse, etc. Après entraînement les enfants furent capables d'utiliser les objets dans le monde réel, parfois pour la première fois. L'apprentissage des conduites sécuritaires dans une maison a également été envisagé (Figure 18). L'objectif de ces environnements est d'apprendre aux enfants autistes des comportements de base transférables dans le monde réel.

Par ailleurs, le groupe de recherche sur l'autisme de l'Université Catholique d'Amérique (CUA) a mis en place quatre projets dont l'objectif est d'exploiter les technologies de la RV pour développer des techniques visant l'amélioration des compétences sociales des autistes (Trepagnier et al., 2005).
Le projet « Face Gaze » s'intéresse au traitement des visages. Dans une première expérience, les participants (5 autistes et 6 sujets contrôle) ont porté un visiocasque, équipé d'un système de suivi du regard, et visualisé successivement des séries d'images en indiquant celles qui avaient déjà été vues (Trepagnier et al., 2002). Les images représentaient des visages ou des objets, pouvaient être présentées à l'endroit ou à l'envers. Des différences significatives ont été décelées entre les deux groupes : alors que les sujets contrôle regardent à l'intérieur des visages, les autistes ont une plus grande tendance à regarder à la périphérie. Mais les difficultés rencontrées avec le visiocasque (e.g. difficultés de calibrage, d'acceptation) ont conduit l'équipe à poursuivre l'étude avec un écran et un trackeur de bureau.
Dans la continuation de ce projet, « Early Intervention » a pour objectif d'apprendre aux jeunes autistes, de 2 à 5 ans, à diriger leur regard vers la zone des yeux dans les visages. L'équipe est actuellement en train de mettre en place et de calibrer le dispositif : un siège d'auto d'enfant avec appui-tête pour assurer la stabilisation nécessaire au suivi du regard.
Le « Virtual Mall » a été développé pour entraîner le participant à explorer un EV au travers de différentes tâches (e.g. se diriger vers un magasin, y trouver une boîte contenant une sphère de couleur portant un numéro ; lire le numéro et nommer la couleur), à porter de l'attention aux humains virtuels qui peuplent cet EV et ne pas les considérer comme de simples obstacles. Le participant utilise un joystick pour déplacer son avatar.
Enfin cette équipe travaille sur le développement d'un simulateur de conversation pour adultes. L'agent virtuel est représenté par toute une série de clips vidéo. Les réponses verbales

et gestuelles de l'agent virtuel, sa volonté à continuer l'entretien constituent un feedback intrinsèque. Par ailleurs des stimuli peuvent être fournis par un autre agent virtuel sensé apporter de l'aide (e.g. applaudissements). Le but est d'apporter au participant une expérience qui sera couronnée de succès à l'issue de son déroulement.

L'objectif de tous ces projets est de fournir un entraînement approprié aux autistes afin d'améliorer notamment leurs interactions sociales.

3.1.4.6. Les addictions

Les consommateurs de drogue (e.g. médicaments, tabac, substances illicites) ressentent une augmentation de leur désir de consommer (« craving » ou besoin impérieux, obsédant de prendre la drogue) quand ils sont exposés aux stimuli relatifs à la drogue (signaux évocateurs). La thérapie par exposition aux stimuli (TES) est le traitement désigné pour réduire la consommation de la substance par extinction des réactions de « craving » aux stimuli associés avec la prise de la drogue (Havermans and Jansen, 2003). Les stimuli typiques jusque là utilisés en TES sont les images de drogue, les images et vidéos relatives à la drogue, l'imagination et tout l'attirail relatif à la drogue. Théoriquement, l'exposition répétée diminue les réactions de « craving » et soutient l'apprentissage de l'abstinence dans des environnements incitant à la rechute. Cependant ces méthodes sont peu efficace dans le maintien de l'abstinence (Conklin and Tiffany, 2002): elles suscitent effectivement le désir cognitif de consommer mais n'éveillent pas les réactions physiologiques fortes qui sont typiques du « craving » intense. De plus elles n'entraînent pas de transfert de l'apprentissage vers le monde réel.

Les chercheurs ont alors exploré les potentiels de l'exposition par RV aux stimuli (ERVS) évocateurs de la substance considérée (e.g. tabac, drogue). Des applications de RV ont été développées se déroulant comme suit. Le participant porte un visiocasque et est amené à se déplacer dans un EV (e.g. un bar) dans lequel sont présentés des stimuli relatifs à la substance. Son besoin de consommer est mesuré grâce à des auto questionnaires ou à des échelles introduites dans l'EV. Des mesures objectives sont parfois réalisées grâce au suivi de variables physiologiques (e.g. activité cardiaque, fréquence respiratoire). Dans les situations de traitement, après l'ERVS et l'éveil des symptômes de manque, les participants participent à une TCC.

Ainsi des chercheurs se sont fixé comme objectifs de montrer que l'ERVS est efficace pour éveiller les symptômes subjectifs et physiologiques de manque chez des participants dépendants de l'opium ; puis de comparer l'ERVS à des techniques d'exposition standard (Kuntze et al., 2001). L'EV est un bar, les stimuli sont liés à la drogue (e.g. héroïne, seringues, aiguilles, sang). Des mesures physiologiques sont effectuées. Après un test auprès de 15 participants, une étude contrôlée a été lancée. Les auteurs soulignent la nécessité de se préoccuper des questions d'éthique et de ne pas négliger le risque pour certains participants de voir leur situation par rapport à la drogue s'aggraver.

Puis une autre équipe s'est intéressée à l'ERVS évocateurs de nicotine (Lee et al., 2003b). Avant de créer un EV, ils ont questionné 64 fumeurs pour définir le lieu et les objets les plus évocateurs du tabagisme (lieu : bar ; objets : boisson alcoolisée, paquet de cigarettes, briquet, cendrier, verre de bière). Un bar virtuel a été développé. Il a été peuplé d'agents virtuels pouvant avoir des comportements de fumeurs (Figure 19). 22 fumeurs ont participé au test :

11 dans le groupe ERVS et 11 dans le groupe à exposition classique (images). Les résultats montrent que l'ERVS est significativement plus efficace que l'exposition classique pour générer le besoin de fumer.
Une différence dans l'activation du cerveau entre l'exposition à un EV induisant le désir de fumer et l'exposition à des images 2D a été montrée, chez 8 adolescents, au moyen de l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique (IRMf) (Lee et al., 2004). L'IRMf est une technique d'imagerie qui permet d'identifier de façon non invasive les zones du cortex qui sont activées lors d'une stimulation donnée. Elle repose sur l'augmentation du flux sanguin, et donc de l'oxygénation, dans les zones du cortex impliquées dans une tâche cognitive donnée. Les stimuli étaient de six types différents : relatifs au tabagisme : images 2D (posters) et 3D (dans un bar virtuel) ; neutres : images 2D et 3D (paysages de mer) ; non relatifs au tabagisme : images 2D (contexte général, logos) et 3D (bureau virtuel). Dans le scanner les participants pouvaient regarder les stimuli visuels (2D et 3D) grâce à un masque compatible avec la résonance magnétique. Dans la condition 3D, les participants devaient regarder les stimuli relatifs au tabac tout en avançant automatiquement sur un chemin prédéfini. Il semble que dans cette condition les patients aient eu besoin de plus d'attention et d'équilibre visuel que dans la condition 2D, ce qui correspondrait avec l'activation des zones gyrus temporal supérieur et du cervelet.
Grâce à cette technique d'exploration (IRMf) mise en place lors de la navigation de sujets (n=15) dans un EV pouvant être doté de stimuli évocateurs de tabac (Baumann, 2004), il a été montré que des stimuli virtuels pouvaient activer le cerveau de façon appropriée et être utilisés pour manipuler le besoin de fumer chez des fumeurs dépendants.

Citons encore ces études qui proposent une exposition guidée et standardisée à des stimuli évocateurs de tabac (Bordnick et al., 2004; Bordnick et al., 2005) ou de drogue (Graap, 2004) (Figure 20). L'EV est constitué de pièces neutres (galerie d'art, scènes d'aquarium) et de pièces évocatrices (e.g. une pièce avec des objets évocateurs de la substance, une pièce avec des personnes aux comportements évocateurs). Le participant qui porte un visiocasque est guidé par l'ordinateur sur un chemin chronométré le faisant passer par une série de pièces neutres ou évocatrices, avec des pauses prédéfinies devant certains stimuli. Après le passage dans chaque pièce, le participant est invité à évaluer, en utilisant le joystick, l'intensité du besoin subjectif qu'il ressent sur une échelle visuelle (0-100) projetée sur l'EV. Les premiers résultats montrent que les stimuli créés sont efficaces pour générer le besoin de consommer.

Ces travaux laissent entrevoir le rôle que peut jouer l'ERVS dans le traitement des addictions. L'objectif sera de concevoir des EVs entraînant des réactions physiologiques fortes et permettant un transfert de l'apprentissage vers le monde réel.

3.1.5 Bilan des applications en psychiatrie

Ainsi que le montre cette revue, l'utilisation de l'ERV en psychologie clinique continue de se développer. A ce jour, l'efficacité clinique de l'ERV est validée pour le traitement de l'acrophobie, l'arachnophobie, l'agoraphobie avec conduite de panique, les troubles du schéma corporel, l'hyperphagie compulsive et la peur de prendre l'avion (Riva, 2003). De nouvelles études contrôlées et randomisées sont nécessaires pour étudier la possibilité de recommandation de l'ERV en pratique clinique. De nombreuses interrogations demeurent concernant l'efficacité à long terme, le transfert dans le monde réel, les risques potentiels.
Le tableau suivant (Tableau 1) récapitule les avancées de la réalité virtuelle en psychothérapie.

Tableau 1 : Applications de la réalité virtuelle dans le traitement des troubles psychologiques

Intervention	Auteurs	Objectif	Conclusion
Acrophobie	(Rothbaum et al., 1995b)	Étude de cas, traitement par ERV[12] pendant huit séances (visiocasque)	Accoutumance du patient, diminution des symptômes d'anxiété, d'évitement
	(Hodges et al., 1995)	Étude contrôlée, comparaison ERV et liste d'attente (visiocasque)	L'ERV graduée est efficace dans le traitement de l'acrophobie
	(North et al., 1996b)	Étude de cas, traitement par ERV pendant huit séances	La RV est efficace pour traiter l'acrophobie
	(Choi et al., 2001)	Etude de cas, traitement par 8 séances d'ERV et 4 séances de relaxation (visiocasque)	La RV, accompagnée de relaxation, est efficace pour traiter l'acrophobie
	(Emmelkamp et al., 2001)	Etude contrôlée (n=10), 2séances ERV puis 2 séances *in vivo* (visiocasque)	L'ERV permet de réduire les niveaux d'anxiété et d'évitement
	(Emmelkamp et al., 2002)	Étude contrôlée (n=33), comparaison ERV et exposition *in vivo* (visiocasque)	L'ERV est aussi efficace que l'exposition *in vivo*. Maintien des améliorations à six mois.
	(Bouchard et al., 2003)	Évaluation de l'efficacité d'une thérapie par ERV, exploration du mécanisme d'efficacité (n=7) (visiocasque)	Différence significative pour l'ensemble des sujets sur majorité des variables évaluées, maintien des gains
	(Krijn et al., 2004a)	Étude contrôlée, comparaison de moyens d'immersion (n=37) (CAVE versus visiocasque)	Pas de différence d'efficacité entre les deux moyens d'immersion. Mais présence supérieure dans le CAVE
Aéro-acrophobie	(North et al., 1998a)	Étude de cas, traitement par ERV pendant huit séances (visiocasque)	Mise en évidence du transfert des acquis en ERV dans le monde réel
	(North et al., 1997b)	Étude de cas, traitement par ERV pendant cinq séances (visiocasque)	L'ERV permet de réduire les symptômes liés à l'anxiété
	(Rothbaum et al., 1996)	Étude de cas, traitement par ERV pendant six séances + gestion de l'anxiété (visiocasque)	Efficacité du traitement sur les mesures d'anxiété, d'évitement et d'amélioration générale
	(Wiederhold et al., 1998)	Étude de cas, traitement par ERV graduée (visiocasque)	Mise en évidence de la réduction de la conductance de la peau après ERV
	(Klein, 2000)	Étude de cas, description du protocole de traitement par ERV associée à de la relaxation (visiocasque)	Efficacité du traitement par ERV et maintien des bénéfices à long terme
	(Rothbaum et al., 2002)	Étude contrôlée, comparaison traitement par ERV, traitement standard et liste d'attente (n=49) (visiocasque)	Maintien des gains du traitement 12 mois après
	(Wiederhold et al., 2002a)	Étude contrôlée, comparaison traitement par ERV et exposition par imagination (n=30) (visiocasque)	Le traitement par ERV est plus efficace, le feedback physiologique ajoute à l'efficacité
	(Maltby et al., 2002)	Étude contrôlée, comparaison ERV versus placebo traitement de groupe (n=45) (visiocasque)	La RV est plus efficace, mais disparition des différences dans le suivi à six mois

[12] cf le Glossaire p 159

	(Muhlberger et al., 2003)	Étude contrôlée, comparaison de trois traitements avec ou sans ERV, avec ou sans mouvement (n=55) (visiocasque)	Le mouvement augmente la peur mais n'accélère pas l'habituation. Importance de l'exposition aux stimuli visuels et auditifs dans ERV
	(Wiederhold and Wiederhold, 2003)	Suivi à 3 ans de patients (n=30) ayant subi 3 conditions de traitement	Rôle du feedback visuel des signaux physiologiques dans le maintien des gains
	(Botella et al., 2004b)	Étude contrôlée, efficacité à court et long terme (n=9) (visiocasque)	Efficacité de l'ERV, maintien des gains
Trouble panique et Agoraphobie	(North et al., 1996a)	Étude contrôlée (n=60), comparaison traitement ERV et pas de traitement (Visiocasque)	Amélioration significative liée à l'ERV, diminution de l'anxiété liée à l'accoutumance
	(Moore et al., 2002)	Exploration des réponses physiologiques de non phobiques (n=9) à des EVs (Visiocasque)	Définition de niveaux de réponses pour les comparaisons ultérieures avec des personnes phobiques
	(Vincelli et al., 2003)	Étude contrôlée (n=12), comparaison ERV, TCC[12] et liste d'attente (visiocasque)	ERV et TCC permettent de réduire le nombre d'attaques panique. L'ERV raccourcit le traitement.
	(Botella et al., 2004c)	Étude contrôlée (n=47), exposition graduée de patients à cinq EVs, protocole clinique (Visiocasque)	L'ERV est efficace dans le traitement de l'agoraphobie avec troubles panique
	(Cottraux et al., 2005)	Étude contrôlée multicentrique (n=90), TRV pure, TCC, liste d'attente (Visiocasque)	Les résultats des 90 patients prévus sont à venir
Peur de parler en public	(North et al., 1998b)	Première étude contrôlée (n=16), prise de patients parole face à une audience (visiocasque)	L'exposition sous RV peut réduire l'anxiété
	(Slater et al., 1999)	Étude de l'influence sur des participants de l'attitude d'une audience d'agents virtuels (visiocasque)	Les humains répondent de façon appropriée à des audiences positives ou négatives, même si elles sont totalement virtuelles
	(Anderson et al., 2000)	Étude de cas (visiocasque)	La RV est efficace dans ce cas
	(Botella et al., 2004a)	Programme de télépsychologie: Talk To Me : diagnostic, traitement, évaluation (n=1) (écran d'ordinateur)	Diminution des niveaux d'anxiété et d'évitement
	(Lee et al., 2002)	ERV fondée sur le rendu d'images et de vidéos capturées en temps réel et le contrôle individuel de l'audience (visiocasque)	Pas de résultats publiés
	(Pertaub et al., 2002)	Étude de l'influence de l'attitude d'une audience d'agents virtuels, comparaison de moyens d'immersion (n=40) (écran plat, visiocasque)	Réponses appropriées des sujets, niveaux d'anxiété plus élevés avec l'audience négative. Impact de l'immersion supérieur chez les femmes
	(Harris et al., 2002)	Étude contrôlée sur 14 sujets, comparaison ERV à liste d'attente (visiocasque)	L'ERV améliore la confiance de parler en public
	(Slater et al., 2004)	Étude contrôlée auprès de phobiques (n=16) et non phobiques (n=20), ERV à une audience ou une pièce vide (visiocasque)	Augmentation significative des niveaux d'anxiété des phobiques lors de l'ERV à l'audience, pas de changement chez les non phobiques

Phobie sociale	(Herbelin et al., 2002)	Traiter des phobiques sociaux par ERV brève, représentation symbolique d'une audience (visiocasque)	Ce système d'ERV provoque l'anxiété et peut remplacer l'exposition *in vivo*
	(Roy et al., 2003)	Étude pilote auprès de phobiques sociaux (n=8), Protocole clinique pour comparer l'ERV (4 situations d'exposition) à la TCC (écran d'ordinateur)	Les résultats préliminaires montrent l'efficacité de l'ERV dans le traitement de la phobie sociale
	(Anderson et al., 2003)	Étude de deux cas, thérapie supportée par ERV (visiocasque)	Ces résultats préliminaires montrent que l'ERV peut être efficace dans le traitement de la phobie sociale
	(James et al., 2003)	Étude pilote (n=10), comparaison d'une ERV de 2 minutes à deux EVs (un métro et un bar, des agents virtuels) (CAVE)	L'ERV génère l'anxiété sociale malgré absence de réalisme. Réduction de la génération de l'anxiété lors d'expositions répétées Niveau d'anxiété sociale supérieur dans le bar à vin
	(Klinger et al., 2005)	Étude contrôlée (n=36), comparaison ERV et TCC auprès de phobiques sociaux (écran d'ordinateur)	Améliorations statistiquement et cliniquement significatives dans les 2 conditions. Concluion : Efficacité de l'ERV
Arachnophobie	(Carlin et al., 1997)	Étude de cas, ERV sur 12 séances, augmentation tactile (visiocasque)	L'ERV avec augmentation tactile diminue la peur des araignées
	(Garcia-Palacios et al., 2002)	Étude contrôlée auprès de 23 patients phobiques, comparaison ERV et liste d'attente (visiocasque)	L'ERV avec augmentation tactile est efficace dans le traitement de l'arachnophobie
Claustrophobie	(Botella et al., 1998)	Étude de cas, huit séances d'ERV graduée (visiocasque)	Déclin de l'anxiété et de l'évitement, maintenu un mois après
	(Botella et al., 2000b)	Étude de 4 cas, enrichissement de l'EV précédent (visiocasque)	L'ERV est efficace sur toutes les mesures, maintien à trois mois
Phobie de la conduite	(Wald and Taylor, 2000)	Étude de cas, trois séances d'ERV, quatre EVs (visiocasque)	Déclin de l'évitement et de l'anxiété, maintien à 7 mois
	(Wald and Taylor, 2003)	Étude de 5 nouveaux cas, huit séances d'ERV hebdomadaires (visiocasque)	Résultats prometteurs, même si variés selon les participants
	(Walshe et al., 2003)	Étude ouverte (n=14), Efficacité de l'utilisation combinée de jeux de conduite et d'EVs (visiocasque ou écran)	Ces deux techniques d'exposition ont un rôle à jouer dans le traitement de la peur de conduire
SPT	(Rothbaum et al., 1999)	Étude de cas, traitement d'un vétéran du Vietnam par ERV (visiocasque)	L'ERV est efficace dans le traitement de SPT, maintien à six mois
	(Rothbaum et al., 2001)	Étude ouverte (n=10) Vietnam virtuel (visiocasque)	Rôle prometteur de l'ERV dans le traitement du SPT
	(Difede et al., 2002)	Étude de cas auprès d'un survivant du World Trade Center (visiocasque)	L'ERV graduée permet de diminuer les symptômes aigus de SPT

	(Rizzo et al., 2005)	Développement d'une ERV pour les soldats d'Irak (visiocasque)	Description du système virtuel fondé sur un jeu vidéo
TOC	(Clark et al., 1998)	Étude contrôlée (n=13 + 10), trois séances hebdomadaires d'ERV	Rôle potentiel de l'ERV dans les TOC
Troubles conduites alimentaires	(Riva, 1997)	Développement du système VEBIM pour traiter les troubles de l'image du corps (visiocasque)	Efficacité de la RV testée lors de deux études
	(Riva et al., 2001b)	Étude contrôlée chez 28 obèses, comparaison ERV et TCC (visiocasque)	L'ERV est plus efficace que la TCC : satisfaction, motivation
	(Riva et al., 2002)	Étude contrôlée auprès de 20 personnes boulimiques, comparaison ERV et TCC (visiocasque)	A court terme, l'ERV est plus efficace que la TCC
	(Riva et al., 2003b)	Suivi à six mois (n=36), comparaison de 3 traitements : traitement multifactoriel incluant la RV, TCC et groupes nutritionnels (visiocasque)	Efficacité supérieure du traitement incluant la RV
	(Riva et al., 2004)	Reprise des travaux précédents dans le projet VEPSY, ajout d'un groupe de contrôle (visiocasque)	Résultats prometteurs de l'utilisation de la RV, nécessité de nouveaux essais cliniques
	(Gutierrez-Maldonado and Ferrer-Garcia, 2005)	Étude des réactions émotionnelles de 30 patientes avec troubles alimentaires. Proposition du BIAS pour l'évaluation de l'image du corps	Les EVs comportant de la nourriture haute calorie sont les plus anxiogènes. Le BIAS évalue la distorsion de l'image corporelle et l'insatisfaction du patient
Troubles sexuels masculins	(Optale et al., 1998)	Création d'un EV fondé sur retour à l'enfance, participation à un tournoi et marche en forêt (visiocasque)	Définition d'un protocole thérapeutique au cours de 12 séances
	(Optale et al., 2000)	Traitement couplé avec IRMf[12] (visiocasque)	Mise en évidence de changements de l'activité de régions du cerveau impliquées dans les mécanismes de l'érection
	(Optale et al., 2004)	Étude contrôlée menée dans le cadre du projet VEPSY et reprenant l'EV précédent (visiocasque)	Résultats attendus
Troubles développement apprentissage	(Strickland et al., 1996)	Enfants autistes (n=2) Expérience dans des EVs (visiocasque)	Acceptation du visiocasque Participation des enfants
	(Trepagnier et al., 2002)	Exploration du traitement des visages, 5 autistes et 6 contrôles (visiocasque avec suivi des yeux)	Les contrôles regardent l'intérieur des visages ; les autistes regardent à la périphérie.

Addictions	(Kuntze et al., 2001)	ERVS[12] évocateurs de drogue, comparaison aux techniques classiques (n=15) (visiocasque)	La RV est aussi efficace que les moyens traditionnels d'évocation
	(Lee et al., 2003b)	ERVS évocateurs du désir de fumer, comparaison aux techniques classiques (images) (n=22) (visiocasque)	La RV est plus efficace, l'envie de fumer est plus forte que devant des images
	(Lee et al., 2004)	ERVS évocateurs tabagisme couplée avec IRMf (n=8) (visiocasque)	Mise en évidence des différences d'activation du cerveau lors de l'envie
	(Baumann, 2004)	ERVS évocateurs tabagisme couplée avec IRMf (n=15) (écran)	Les signaux évocateurs suscitent l'envie de fumer, activent de façon appropriée le cerveau
	(Bordnick et al., 2004)	Étude contrôlée, comparaison de l'effet de signaux évocateurs / neutres dans un EV (n=13) (visiocasque)	Efficacité des signaux évocateurs dans l'induction de l'envie de fumer.
	(Bordnick et al., 2005)	Étude de cas, exploration du rôle de variables physiologiques (visiocasque)	Réactions spécifiques sur la conductance de la peau lors de l'ERVS tabac
	(Graap, 2004)	ERVS évocateurs drogue	Attente de résultats

3.2 *Des techniques de distraction de la douleur*

L'intensité de la douleur et les souffrances vécues par les patients pendant leurs soins ou leurs exercices est un problème critique rencontré par les brûlés mais aussi par bon nombre d'autres patients. Les calmants, qui sont appropriés en période normale, deviennent inefficaces dans ces moments de crise. La douleur, exacerbée par les réponses émotionnelles, monopolise l'attention des patients et peut les décourager dans le suivi de leurs soins ou de leurs exercices.

Partant de ces constats, des chercheurs se sont demandé si l'immersion dans un environnement virtuel pouvait jouer le rôle d'un analgésique non pharmacologique dans le cas de douleurs sévères. C'est ainsi que Hoffman et al. ont démarré des travaux se fondant sur l'hypothèse que la RV serait un médium capteur d'émotion capable de : détourner au maximum l'attention du patient de sa douleur ; permettre aux patients de tolérer leurs soins ou leurs exercices (Figure 21).
Un environnement typique, développé par cette équipe est le Snow World. Cet EV présente une vallée glacée avec une rivière et des chutes d'eau (Figure 22). Le patient suit un chemin prédéfini dans l'EV et peut regarder autour de lui grâce au visiocasque, ou grâce à la souris dans les expérimentations avec lunettes sans trackeur de tête. Les participants lancent des boules de neige sur des bonhommes de neige et des igloos soit avec leur regard soit avec le clavier. Les boules de neige explosent avec des animations et des effets 3D.
Une étude contrôlée auprès de 12 adultes brûlés a permis de comparer deux conditions de kinésithérapie : sans distraction et avec immersion dans un EV (visiocasque). Dans la condition RV, la douleur ressentie a été moindre dans son intensité et dans sa durée (Hoffman et al., 2000b).



Figure 21 : Distraction pendant les soins (Hoffman et al., 2000)[11]

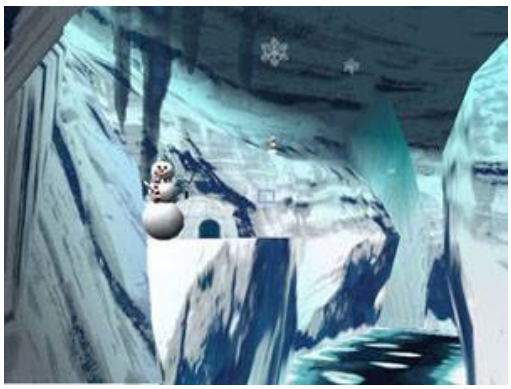


Figure 22 : Distraction pendant les soins (Hoffman et al., 2000)[11]

Puis considérant le cas de deux adolescents brûlés, l'ERV fut comparée à l'interaction avec une console de jeu Nintendo (joystick ; courses de jet ski ou de voitures) (Hoffman et al., 2000a). Dans la condition RV, le participant portait un visiocasque ; sa main était trackée et ses mouvements transmis à une main virtuelle dans l'EV (tâche : manipulation de meubles et d'objets dans une cuisine virtuelle). Les niveaux de douleur relevés sous ERV étant inférieurs, les auteurs ont conclu au pouvoir distracteur supérieur de l'ERV. Ils se sont interrogés sur le fait que dans la condition ERV les patients ne pouvaient pas voir leurs brûlures, alors que c'était possible dans la condition de jeu.

Continuant leurs travaux sur la douleur, ils se sont intéressés au cas de personnes souffrant de douleurs dentaires (Hoffman et al., 2001a) et ont comparé, auprès de deux patients, trois situations de soins : a) sous ERV (lunettes et souris) ; b) en regardant un film ; c) sans distraction. Les résultats montrent que la réalité virtuelle a le fort potentiel de capter l'attention, de la détourner du monde réel, permettant ainsi aux sujets de mieux supporter des soins douloureux. Le rôle analgésique de la RV peut venir du fait de la réduction des stimuli associés à la douleur (dans le cas présent, le cabinet du dentiste, les outils, les bruits).

Puis cette équipe a exploré l'influence d'une utilisation répétée de l'ERV chez sept patients brûlés (Hoffman et al., 2001b). Les résultats confirment le pouvoir analgésique de la réalité virtuelle et montrent que son usage répété n'en diminue pas l'efficacité.

Une nouvelle situation d'exposition a été envisagée. Le patient, assis dans une baignoire et porteur d'un visiocasque, est immergé dans l'EV Snow World pendant que des soins sont prodigués à ses blessures. Ce traitement permet de réduire les douleurs sensorielles et affectives du patient et de lui accorder un répit dans ses pensées concentrées sur la douleur (Hoffman et al., 2004a).

Enfin l'activité du cerveau liée à la douleur a été mesurée par IRMf dans deux conditions : sous ERV et sans réalité virtuelle. Le pouvoir de la RV à réduire l'activité des cinq zones d'intérêt du cerveau a été mis en évidence. Les résultats montrent une modulation directe des réponses du cerveau par la distraction sous réalité virtuelle (Hoffman et al., 2004b).
Cette équipe poursuit ses travaux conjoints sur la RV et la douleur dans l'objectif de comprendre le pouvoir analgésique de la RV (Hoffman et al., 2004c).

Étant donné le pouvoir distracteur de la RV révélé dans les études décrites ci-dessus, des chercheurs ont pensé utiliser ce potentiel pour soutenir les personnes cancéreuses. Ces

dernières, lorsqu'elles subissent une chimiothérapie, peuvent ressentir des symptômes de détresse et avoir des difficultés à adhérer au programme de soins prescrit. Une étude pilote a envisagé l'utilisation de la réalité virtuelle pour distraire des enfants cancéreux lors de leurs séances de chimiothérapie (Schneider and Workman, 2000). Ses résultats ont mis en évidence un certain rôle distracteur de la réalité virtuelle et ont été confirmés par des études ultérieures comparant différentes conditions de chimiothérapie chez des femmes souffrant de cancer du sein (Schneider et al., 2004) ou différentes conditions de traitement invasif chez un enfant cancéreux (Gershon et al., 2003). Des études sur des échantillons plus importants, comparant différents éléments distracteurs sont nécessaires pour confirmer ces résultats.

Détourner l'attention du patient de sa souffrance, de sa détresse est donc l'un des objectifs de toutes ces applications des technologies de la réalité virtuelle.

Tableau 2 : Applications de la réalité virtuelle dans la distraction de la douleur

Intervention	Auteurs	Objectif	Conclusion
Techniques de distraction	(Hoffman et al., 2000b)	Étude contrôlée, auprès de 12 adultes brûlés, du pouvoir de distraction de l'ERV (visiocasque)	La RV peut jouer le rôle d'un analgésique non pharmacologique
	(Hoffman et al., 2000a)	Étude de 2 cas d'adolescents brûlés, comparaison ERV / jeu vidéo (visiocasque si ERV)	Niveaux de douleur inférieurs sous ERV, meilleur pouvoir distracteur de la RV, importance de la réalisation d'une tâche
	(Hoffman et al., 2001a)	Étude de 2 cas dans le cadre de douleurs dentaires, comparaison de 3 situations de traitement (lunettes si ERV)	La RV permet de capter l'attention, de supporter des soins douloureux, importance de la réduction des stimuli visuels liés à la douleur
	(Hoffman et al., 2001b)	Exploration de l'influence de l'ERV répétée chez des brûlés (visiocasque)	La RV fonctionne comme un analgésique, la répétition ne diminue pas l'effet
	(Hoffman et al., 2004a)	Étude de cas, ERV d'un patient brûlé lors de soins dans une baignoire (visiocasque)	La RV permet de détourner l'attention des sujets
	(Hoffman et al., 2004b)	Mesure par IRMf de l'activité du cerveau liée à la douleur avec ou sans ERV	Modulation des réponses du cerveau par la distraction sous RV
	(Schneider and Workman, 2000)	Étude pilote auprès d'enfants cancéreux lors de chimiothérapie (visiocasque)	La RV semble efficace pour distraire lors de soins difficiles
	(Gershon et al., 2003)	Étude de cas chez un jeune cancéreux lors de procédure médicale invasive, comparaison de conditions de traitement (visiocasque)	L'ERV permet de diminuer les niveaux d'anxiété et de douleur
	(Schneider et al., 2004)	Étude croisée auprès de 20 femmes ayant un cancer de la poitrine, comparaison de 2 conditions lors chimiothérapie (visiocasque)	La distraction par ERV diminue les niveaux d'anxiété

3.3 *Exploitation de la réalité virtuelle en neuropsychologie*

La neuropsychologie, branche de la spécialité psychologie, est « la discipline qui traite des fonctions mentales supérieures dans leur rapport avec les structures cérébrales » (Hecaen and Lanteri-Laura, 1983). Elle procède en dissociant les comportements complexes en différents domaines cognitifs, qui sont : l'attention, la mémoire, les différentes activités cognitives de niveau supérieur comme le raisonnement inductif et déductif, la capacité d'abstraction, la formation de concept, mais aussi les capacités visuospatiales, le langage. Cantonnée à ses débuts dans le rôle de diagnostic, la neuropsychologie s'est attachée, dans les années 1980, à la description des troubles par rapport à des modèles théoriques (Hecaen and Lanteri-Laura, 1983). Puis dans les années 1990, son objectif a été également d'apprécier le retentissement fonctionnel de ces troubles dans la vie quotidienne, point tout à fait fondamental pour le clinicien.
L'utilisation de la réalité virtuelle dans les applications neuropsychologiques peut servir trois objectifs majeurs : l'étude scientifique des mécanismes cognitifs (mémoire, attention, planification, capacités visuospatiales), l'évaluation neuropsychologique et la réhabilitation cognitive (Schultheis et al., 2002).

Les populations cliniques concernées par l'évaluation cognitive (EC) et la réhabilitation cognitive (RC) sont diverses :

- Les patients ayant des lésions cérébrales, suite par exemple à des accidents de la route, des chutes, des blessures par balle, des accidents sportifs, des actes chirurgicaux, etc. En raison des avancées médicales, la survie après ce type d'accidents est désormais possible. La population concernée est jeune et doit par conséquent se préparer à affronter une longue lutte avec des dégradations cognitives et fonctionnelles.
- Les patients présentant des pathologies d'origine dégénérative : maladie d'Alzheimer, maladie de Parkinson, sclérose en plaques (SEP) ou démyélinisante, etc.
- Les patients souffrant de troubles de l'apprentissage et du développement : déficit de l'attention / hyperactivité, retard mental, etc.

Les lésions cérébrales créent des dégradations dans le domaine cognitif, mais aussi dans les domaines physique, émotionnel, professionnel et social (Lezak, 1995).

Après avoir abordé l'évaluation en neuropsychologie, nous présenterons une revue des applications de la réalité virtuelle en neuropsychologie dans le cadre des fonctions cognitives, des activités de la vie quotidienne (AVQs) et de la réhabilitation cognitive. Il est à signaler que des applications examinées dans une catégorie, par exemple la mémoire, peuvent aussi l'être dans d'autres comme les AVQs.

3.3.1 L'évaluation en neuropsychologie

3.3.1.1. Les tests traditionnels

Les neuropsychologues ont développé un large éventail de mesures pour évaluer les capacités cognitives, ainsi que les fonctions comportementales et d'auto-régulation (Lezak, 1995). Leur tendance a été d'expliquer le comportement en tentant de le fractionner en capacités cognitives séparées. Certaines épreuves ont tenté d'évaluer des troubles cognitifs en se basant sur un modèle théorique, comme par exemple le test de scripts (Grafman, 1995). Cependant la spécification des opérations requises pour effectuer une tâche reste encore difficile.

Une prise en charge adaptée d'un patient passe par la précision de la nature et de l'intensité de ses déficits et de leurs retentissements fonctionnels. Certains auteurs (Shallice and 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. Malheureusement la plupart de ces tests sont non réalisables en routine. Ces procédures ont par ailleurs échoué dans l'évaluation de l'impact précis des stimuli, de l'effet du changement dans leur présentation ou contenu. En effet, elles n'analysent pas en détail les réponses caractéristiques, ce qui pourrait justement être important dans la prédiction des performances dans la vie quotidienne.

Les outils traditionnels, comme les tests papier-crayon, présentent donc des limites : manque de naturel, de spécificité, de validité écologique (degré de pertinence qu'un système d'entraînement présente par rapport au monde réel) (Neisser, 1978) ; influence de l'examinateur, des conditions de test ; manque de fiabilité et de validité des tests par rapport à l'activité du cerveau.

3.3.1.2. L'évaluation fondée sur la réalité virtuelle

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).
La réalité virtuelle (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, la mise en place 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 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 et en améliorant le caractère 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.

3.3.2 Les applications relatives aux fonctions cognitives

Nous développerons plus spécialement les paragraphes concernant l'attention, les fonctions exécutives et la mémoire qui sont en relation avec notre travail.

3.3.2.1. Les processus attentionnels

Les difficultés attentionnelles se rencontrent chez des sujets souffrant de troubles déficitaires de l'attention et d'hyperactivité (HADA : Hyperactivité avec Déficit de l'Attention), de traumatismes cérébraux, de formes variées de démences liées à l'âge (i.e., maladie d'Alzheimer, démence vasculaire, etc), mais également dans toute pathologie neurologique entraînant un dysfonctionnement des lobes frontaux.

L'attention étant un nécessaire pré requis de toutes les fonctions cognitives, des outils d'évaluation et de réhabilitation plus efficaces sont nécessaires afin d'aborder les compétences attentionnelles pour de multiples raisons :

- Chez les enfants, pour anticiper d'éventuelles difficultés lors des activités éducatives.
- Chez les enfants, pour la prise de décision concernant le placement en éducation spécialisée, pour la détermination de l'usage et de l'efficacité de certains traitements pharmacologiques, et pour la mesure de l'efficacité du traitement et des résultats.
- Chez les personnes ayant subi des traumatismes crâniens (TCs), pour aborder le travail de réhabilitation sur des processus cognitifs plus élaborés comme la mémoire, les capacités visuo spatiales, les fonctions exécutives et la résolution de problèmes.
- Chez les personnes âgées, pour évaluer de façon plus précoce des symptômes liés à la démence et suggérer des domaines fonctionnels dans lesquels la personne âgée peut rencontrer des risques (i.e., conduite automobile, travail sur des machines), ou dans lesquels des stratégies compensatoires peuvent être nécessaires pour maximiser ou maintenir une indépendance fonctionnelle.

Le niveau de contrôle expérimental apporté par les technologies de la réalité virtuelle permet potentiellement le développement de tâches d'évaluation et de réhabilitation de l'attention plus proches de celles rencontrées dans le monde réel. Par conséquent la validité écologique des méthodes de mesure et de traitement concernant l'attention peut être améliorée.

Attention

Les déficits d'attention chez les enfants hyperactifs (HADA) ont ainsi pu être évalués dans une classe virtuelle (Rizzo et al., 2002a; Rizzo et al., 2004a). Le scénario consiste en une salle de classe rectangulaire avec des rangées de bureaux, des bancs, le bureau de l'enseignant avec un grand tableau mural, des élèves, un instituteur ou une institutrice, une grande fenêtre donnant sur l'extérieur avec la rue et des immeubles, deux portes dans la classe par lesquelles des personnes vont aller et venir. Alors qu'il est demandé à l'élève de se concentrer sur une tâche adaptée à son âge, des éléments perturbateurs, dans la classe ou à l'extérieur, vont venir le distraire (Figure 23) : bruit ambiant de salle de classe, mouvements des élèves, activités se produisant à l'extérieur, etc. L'enfant, porteur d'un visiocasque, est assis à un bureau virtuel au sein de la classe, et l'environnement peut varier en fonction de certains facteurs tels que la position de l'enfant, le nombre d'élèves, le sexe de l'enseignant. L'attention à la tâche peut être mesurée en termes de performance (temps de réaction) par rapport à une variété de défis attentionnels qui sont ajustés selon l'âge de l'enfant, ou le niveau escompté de performance.

Les diverses composantes de l'attention peuvent être ainsi abordées :

- *Attention sélective* : il est par exemple demandé à l'enfant de presser une section colorée du bureau virtuel à la demande directe de l'enseignant ou chaque fois que l'enfant entend le nom de la couleur mentionnée par l'enseignant ;
- *Attention soutenue* : la tâche de vigilance nécessite que l'enfant réponde à des stimuli en fonction d'exigences temporelles ;
- *Attention divisée* : l'enfant doit par exemple presser la section colorée seulement si l'enseignant évoque la couleur en fonction d'un animal (i.e., « le chien marron » et non pas « j'aime la couleur marron ») et si seulement le mot « chien » est écrit sur le tableau.

Des mesures comportementales peuvent être envisagées, mesures qui sont corrélées avec des composantes comme la distractibilité et/ou l'hyperactivité (i.e., mouvements de la tête, mouvements moteurs inhabituels des jambes et des bras) et les comportements impulsifs non liés à la tâche (i.e., le temps passé à jouer avec les items distracteurs du bureau).

Un essai clinique a ainsi comparé les performances et le comportement de 9 enfants diagnostiqués souffrant de HADA à ceux de 10 enfants non diagnostiqués. L'attention a été mesurée lors d'une tâche de vigilance : les enfants devaient presser un bouton de la souris quand ils voyaient sur le tableau de la classe virtuelle « la lettre X précédée de la lettre A ». Deux conditions de test étaient menées : l'une sans distraction, et l'autre avec distraction auditive et/ou visuelle (bruits de classe, mouvements des autres élèves, activités extérieures). Les résultats montrent que les enfants hyperactifs ont des temps de réaction plus longs, commettent plus d'erreurs et bougent plus que les enfants contrôle. Ils sont plus négativement touchés par la distraction que ces derniers. Ce système offre donc la possibilité de diagnostiquer, chez les enfants, les symptômes de HADA.

D'autres scénarios (i.e., situations de travail, environnements d'habitation, etc.) utilisant la même logique et la même approche que le scénario précédent sont actuellement conceptualisés pour aborder ces questions avec d'autres groupes cliniques, tels que sclérose en plaques (SEP), lésions cérébrales, accidents vasculaires cérébraux (AVC), ou encore maladie d'Alzheimer (Schultheis and Rizzo, 2002). Ces environnements seront également utilisés dans l'évaluation des troubles de la mémoire.

Une étude des performances dans des tâches virtuelles visant l'attention divisée a été menée chez trois patients droitiers ayant subi des traumatismes cérébraux et chez trois contrôles sains droitiers (Lengenfelder et al., 2002). L'environnement virtuel consistait en une séance de conduite (Figure 24), avec une tâche primaire (conduire une voiture) et une tâche secondaire (reconnaître des chiffres présentés sur l'écran pendant la conduite). La tâche secondaire pouvait être graduée en difficulté (position des chiffres sur l'écran, rythme de leur présentation). Parallèlement les mesures traditionnelles de l'attention étaient menées : l'Auditory Consonant Trigams (Brown, 1958) et le Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT) (Brittain et al., 1991) pour mesurer l'attention divisée, la mémoire de travail et le traitement de l'information ; une tâche de fluence verbale et une tâche d'annulation menées conjointement pour mesurer l'attention divisée. Les résultats préliminaires n'ont pas montré de différence entre les deux groupes sur la vitesse de conduite. Mais les patients ont commis plus d'erreurs dans la tâche secondaire exécutée en conduisant. Les travaux sont actuellement poursuivis sur des échantillons plus grands afin d'aborder les questions de fiabilité et de validité, de comparer les résultats de la tâche d'attention divisée sous RV aux tests traditionnels et aux mesures de conduite.

Héminégligence visuelle

L'héminégligence visuelle ou l'inattention dans un champ visuel apparaît parfois après des AVCs ou des traumatismes crâniens et est définie par une négligence perceptive et/ou motrice de l'hémi-espace contralatéral à la lésion. Les tests standard utilisent des matériels 2D statiques tels que demander au patient de déterminer le centre de lignes sur une feuille, ou de rayer des cibles spécifiques sur une page contenant un tableau de stimuli. La réalité virtuelle offre la possibilité de suivre la position du sujet ou de son regard, d'essayer d'ancrer son attention sur la région spatiale négligée, d'évaluer des facteurs de profondeur et de

mouvement et par conséquent de définir de nouvelles stratégies d'évaluation neuropsychologique ou de réhabilitation cognitive (EN/RC).

Ainsi une étude propose d'éliminer les référentiels vestibulaire et visuel en faisant tourner le monde visuel et en dirigeant l'attention vers des objets qui sont dans le champ négligé (Wann et al., 1997). Dans cette application un scénario virtuel est présenté sur un écran plat ; il consiste en une série de labyrinthes et nécessite des niveaux d'attention variables ainsi qu'une prise de décision pour naviguer. Des résultats d'essais cliniques sont attendus.

Des chercheurs (Myers and Bierig, 2000) ont développé un système virtuel pour le diagnostic de l'héminégligence visuelle. L'EV est une maison de trois pièces avec une arrière cour. Le système est fondé sur le suivi de la tête et la délivrance de signaux. Dans le cas de l'héminégligence gauche, des objets sont présentés de la droite vers la gauche conduisant les patients à une attention directe de ce côté de l'EV. Simultanément, une zone sombre est présentée sur 30% de la zone droite de l'EV. Si le patient est capable de tourner la tête vers la gauche, la zone sombre diminue jusqu'à disparaître, forçant le patient à diriger son attention sur la zone négligée. Ce système mesure trois aspects du comportement du sujet dans l'EV : 1) l'angle maximum de rotation de la tête à droite et à gauche ; b) le temps mis pour atteindre cet angle maximal dans chaque direction ; et c) s'il s'agit d'une héminégligence gauche, le nombre de signaux nécessaires au patient pour tourner la tête à gauche. Dans la phase initiale de cette recherche, cinq patients ont été testés. Les résultats montrent un angle maximal vers la droite supérieur à celui vers la gauche.

Un autre groupe a visé l'évaluation de la négligence visuelle en utilisant un visiocasque équipé du suivi du regard afin d'enregistrer les mouvements des yeux dans un tableau d'objets virtuels 3D (Kodgi et al., 1999). Des résultats initiaux auprès de quatre patients avec héminégligence gauche ont confirmé que les mouvements d'yeux des sujets ne concernaient que les objets qu'ils notaient regarder, c'est-à-dire ceux situés à droite de l'EV. L'intégration du suivi du regard dans ce scénario virtuel semble bien adaptée aux objectifs d'évaluation de la négligence visuelle et le travail ultérieur avec des stimuli mobiles présente de nouvelles options concernant l'EN/CR de cette altération.

Orientation attentionnelle

Dans une autre étude, vingt étudiants de l'University College of London (UEL), ayant une vision normale avec ou sans correction, ont été répartis aléatoirement sur deux groupes, l'un ayant une représentation de leur corps (tronc et main), l'autre ne l'ayant pas (Maringelli et al., 2001). L'objectif était d'examiner l'orientation attentionnelle dans un EV, ce dernier consistant en un jardin avec mur de clôture, un chemin, des arbres. Les stimuli consistaient en un paradigme expérimental de l'attention : les signaux étaient des flèches jaunes et les cibles étaient des ballons 3D qui apparaissaient soit au dessus du signal, soit dans la position correspondante du champ visuel opposé. La moitié des essais étaient présentés dans l'espace proche, à 50 cm de la tête, les autres étaient présentés dans l'espace lointain, à 20 m de la tête du sujet. Les résultats montrent une distribution différente des ressources attentionnelles dans les deux conditions d'expérimentation, suggérant une dissociation entre les systèmes attentionnels contrôlant l'espace visuel proximal et distal. En particulier, l'attention était focalisée dans l'espace péri personnel quand le corps du sujet était virtuellement représenté, et dans l'espace extra personnel si la représentation du corps n'existait pas. Ces résultats sont consistants avec une organisation parallèle de deux systèmes attentionnels indépendants.



Figure 23 : La salle de classe virtuelle (Rizzo et al., 2004)[10]



Figure 24 : Scène du système de RV de réhabilitation à la conduite (Schultheis and Mourant, 2001)[10]



Figure 25 : Wisconsin virtuel (Pugnetti et al., 1995)[10]



Figure 26 : Wisconsin virtuel (Elkind et al., 2001)[10]

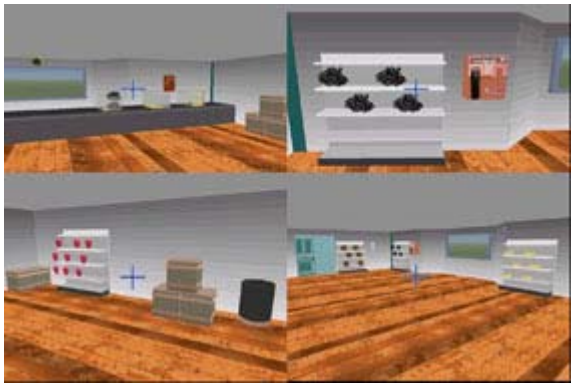


Figure 27 : Reconnaissance d'objets (Lo Prioré et al., 2003)[10]



Figure 28 : Appartement: cuisine et salle à manger (Baumann, 2005)[10]

3.3.2.2. Les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont des processus de contrôle qui permettent l'adaptation à des situations nouvelles ; la formulation d'un but ; l'anticipation, la planification et la sélection des séquences permettant d'atteindre ce but ; l'inhibition d'autres solutions possibles ; la surveillance du déroulement de ce plan et la flexibilité en fonction des réponses obtenues (adaptation, correction des erreurs) (Luria, 1978; Crawford, 1998; Godefroy et al., 2004). L'altération de ces processus est une conséquence de lésions cérébrales situées dans le cortex préfrontal, mais apparaît aussi fréquemment lors de pathologies neurologiques comme la maladie de Parkinson (Marié and Defer, 2005), la sclérose en plaques (SEP) (Marié and Defer, 2001).

La complexité de ces processus cognitifs fait que leur évaluation et leur réhabilitation au moyen des méthodes psychométriques traditionnelles est contestable (Pugnetti et al., 1995; Marié et al., 2003). En effet, les patients cérébrolésés réussissent souvent les tests neuropsychologiques traditionnels visant une capacité cognitive spécifique (i.e., attention, mémoire, fonction visuo spatiale, langage, etc.) alors qu'ils relatent des dysfonctionnements dans les activités de la vie quotidienne qui nécessitent planification, initiation, aptitude aux tâches multiples, auto évaluation des compétences (Damasio, 1994). Elliot, le célèbre patient de Damasio, est le prototype du patient au fonctionnement frontal apparemment normal (performances normales aux tests cognitifs, réponses normales aux situations proposées en laboratoire) qui expérimente de sérieuse difficultés dans la vie quotidienne (détérioration de la prise de décision et dérégulation des émotions).

De nombreuses raisons peuvent être évoquées pour comprendre ces différences entre les performances en laboratoire et dans la vie, parmi lesquelles : a) les choix et les décisions ne sont qu'évoqués, mais pas réalisés ; b) les événements qui se produisent normalement en cascade, comme actions et réactions, sont absents ; c) l'espace temps est compressé ; d) les situations ne sont pas représentées mais seulement décrites par le langage (Damasio, 1994). Les technologies de la réalité virtuelle possèdent des attributs qui permettent d'aborder ces processus cognitifs, soit en reproduisant les tests traditionnels (Pugnetti et al., 1998a), soit en proposant des tâches plus complexes proches de celles de la vie quotidienne, en prenant en considération le temps, la difficulté, l'intérêt et l'engagement émotionnel des sujets (Zhang et al., 2001).

Reproduction de tests traditionnels

Des environnements virtuels ont été développés pour l'évaluation et la réhabilitation des fonctions exécutives chez des personnes victimes de traumatismes crâniens, d'AVC, ou souffrant de SEP (Pugnetti et al., 1995; Pugnetti et al., 1998a; Pugnetti et al., 1998b). Ces auteurs ont tout d'abord repris la problématique du Wisconsin Card Sorting Test (WCST), épreuve destinée à évaluer les lobes frontaux, en explorant les stratégies de planification et d'organisation conceptuelle (Kolb and Wishaw, 2003). Etant donné l'éventail de la littérature concernant le WCST, le choix de ce test comme modèle de cette application initiale en réalité virtuelle est très utile et les résultats obtenus par cette application sont très encourageants.

L'épreuve virtuelle que Pugnetti et al. ont créée (Figure 25) se situe dans un immeuble virtuel dans lequel le participant navigue de pièce en pièce en utilisant des indices environnementaux

situés sur des portes pour choisir le chemin approprié vers la sortie. Ce choix se fait en fonction de catégories (forme, couleur, nombre de hublots) gérées par l'administrateur. Quand le critère de choix est modifié, après sept sélections consécutives justes, le sujet doit changer de plan cognitif, analyser des indices et concevoir une nouvelle stratégie de choix. Les paramètres de ce système sont totalement ajustables de sorte que les applications d'entraînement peuvent suivre les évaluations standardisées initiales.

Ces auteurs ont comparé un groupe mixte de patients cérébrolésés (n=36) (Traumatismes crâniens, AVC, et SEP) à des sujets témoins (n=32) dans leur performance au WCST traditionnel et à la tâche virtuelle, le WCST virtuel, testant les fonctions exécutives avec port de visiocasque (Pugnetti et al., 1998b). Alors que les propriétés psychométriques de la tâche virtuelle étaient comparables à celles du WCST en terme de différentiation grossière des patients et des contrôles, de faibles corrélations entre les deux méthodes suggèrent qu'elles mesurent, au moins partiellement, des processus différents. Une différence nette apparaît entre patients et contrôles après la quatrième catégorie dans le WCST et dès la première catégorie dans la tâche virtuelle. Cette dernière paraît donc spécifier les altérations plus tôt que la tâche traditionnelle correspondante, sans doute à cause des demandes cognitives plus complexes et plus complètes du système de réalité virtuelle : au début du test, les différents aspects de la tâche (sensorimoteurs, visuo spatiaux, conceptuels et liés à la mémoire) demandent à être complètement intégrés pour générer une démarche efficace.

Les systèmes virtuels peuvent s'avérer plus précis pour spécifier les déficits des fonctions exécutives, comme le montrent les résultats obtenus avec un sujet de niveau d'étude élevé ayant subi un AVC (Mendozzi et al., 1998). Le système de RV a réussi à détecter des déficits qui limitaient les performances du sujet dans sa vie quotidienne, détection non faite par les tests classiques. Ces chercheurs ont de plus rapporté des déductions se rapportant aux variables psychophysiologiques (EEG, fréquence cardiaque) qui étaient enregistrées pendant la participation à l'expérience virtuelle (Pugnetti et al., 1998b) et ce domaine continue d'être exploré (cf Chapitre 3 § 3.4).

Plus récemment, une autre étude a comparé les performances de sujets sains (n=63) à un test du Wisconsin traditionnel informatisé et à un WCST virtuel, appelé Look for a Match (LFAM). Le test virtuel consiste en une scène de plage (Figure 26) dans laquelle les participants sont invités à apporter des frisbees, des sodas, des pop et des ballons à des baigneurs assis sous des parasols (Elkind et al., 2001). Sur chaque parasol est représenté un des objets en question, différant en type, couleur et nombre. Les auteurs ont montré un transfert d'apprentissage entre les deux tâches (effet d'ordre) ainsi qu'une plus grande motivation pour la tâche virtuelle, pourtant plus difficile à réaliser que la tâche traditionnelle informatisée. La plupart des performances des deux tests étaient significativement corrélées, suggérant la mise en œuvre des mêmes fonctions dans le WCST informatisé et dans le LFAM.

La détection des difficultés d'intégration des fonctions cognitives complexes est d'une importance vitale pour la prédiction des capacités dans la vie quotidienne (Marié, 2005). Chez les patients cérébrolésés, l'épreuve en réalité virtuelle est plus souvent déficitaire que la version papier-crayon. De même, chez un malade porteur d'un syndrome frontal ayant des troubles dans les activités de vie quotidienne, l'épreuve virtuelle était la seule épreuve exécutive régulièrement déficitaire. Ces résultats obtenus dans les épreuves virtuelles laissent à penser que les demandes cognitives y sont plus complètes et plus complexes que dans les épreuves traditionnelles.

Environnements écologiques

Dans un souci de validité écologique, des EVs représentant des situations proches de celles de la vie quotidienne ont été créés (McGeorge et al., 2001). Ainsi V-Store (Lo Priore et al., 2003) est un magasin de fruits virtuel dans lequel les sujets sont placés devant un tapis roulant grâce auquel des paniers (de un à trois) traversent la pièce (Figure 27). La tâche des sujets consiste à remplir les paniers avec des fruits qui se trouvent sur quatre étagères situées le long des murs. Au début de chaque essai, le patient est averti de la consigne par une commande verbale plus ou moins longue et complexe (comment remplir les paniers ; avec quels fruits). La tâche doit être accomplie avant que les paniers ne sortent de la pièce. Il est possible de fixer différents paramètres comme le nombre de mouvements du sujet, la difficulté de la tâche (six niveaux de dix tâches). Des éléments distracteurs peuvent être introduits tels la sonnerie d'un téléphone, la variation de la vitesse du tapis ou de l'intensité de la lumière dans la pièce. Pour chaque essai, le système enregistre les performances des sujets : la précision, le temps d'exécution, les mouvements, la stratégie, la gestion des éléments distracteurs. Des études sont actuellement en cours auprès de sujets préfrontaux.

Ces technologies de la RV ont également permis d'aborder l'évaluation cognitive de patients « frontaux », i.e. pour lesquels un diagnostic de syndrome frontal a été établi (Zalla et al., 2001) et de patients souffrant de dommages cérébraux traumatiques (Zhang et al., 2001; Lee et al., 2003a). Ces applications seront décrites dans le chapitre 5, § 5.4 lorsque nous présenterons l'évaluation de la planification fondée sur la RV (Klinger et al., 2004b; Marié et al., 2005).

Par ailleurs une étude pilote récente, concernant les fonctions exécutives (Baumann, 2005), couple navigation et réalisation de tâches dans un EV avec imagerie fonctionnelle à résonance magnétique (IRMf). L'EV consiste en un petit appartement comprenant une entrée, une cuisine, une salle à manger, un salon, une chambre et une salle de bains (Figure 28). Des tâches de difficulté croissante sont proposées : 1) exploration simple de l'appartement (navigation avec un joystick) ; 2) exploration de l'appartement et activation du plus grand nombre d'objets possible (activation avec un touchpad) ; 3) changement de l'état de toutes les lumières dans l'appartement ; 4) vérification de la fonctionnalité de toute la plomberie, des lumières et des tiroirs dans la cuisine ; et 5) recherche et ouverture de toutes les penderies (quatre) dans l'appartement avec catégorisation mentale et compte du nombre d'items dans chaque penderie.
Le sujet est couché dans le scanner (GE Sigma 1.5 Tesla) et la visualisation se fait sur un écran par projection ou sur un système monté sur la bobine principale. Le sujet navigue avec un joystick ou un touchpad. Il est à noter que dans ces expérimentations utilisant l'IRMf, pour des raisons de sécurité, tous les composants ferromagnétiques doivent être enlevés des câbles et des interfaces. Les résultats préliminaires auprès de trois sujets sains montrent une corrélation significative entre la difficulté de la tâche à accomplir et l'importance de l'activation dans les lobes frontaux antérieurs. Ils illustrent une nouvelle approche plus écologique de l'étude fondée sur l'IRMf des fonctions exécutives et fournissent des normes pour des comparaisons ultérieures avec des sujets souffrant de déficits cognitifs.

Cet EV ne représente qu'un des éléments du système virtuel créé par les auteurs de cette étude. Le système virtuel global consiste en 15 EVs : une zone urbaine, un appartement dans un complexe, un restaurant avec un bar, une banque, un casino, un complexe de cinéma, un métro avec trois stations, un aéroport, un village de banlieue, une maison, un cabinet médical et un mini centre commercial avec une épicerie. Tous les EVs sont interconnectés permettant

aux sujets de les explorer librement, navigant avec un joystick ou un gant de données, activant les objets interactifs avec un touchpad. Ces EVs sont peuplés de plus de 50 agents virtuels, la plupart d'entre eux animés et capables d'interagir avec le participant. La navigation peut être facilitée par l'affichage de cartes semi transparentes qui recouvrent l'EV local. Tous les mouvements et toutes les actions des sujets sont enregistrés, ainsi que les actions des humanoïdes qui ont pu intervenir. Toute la simulation peut également être enregistrée sur une cassette vidéo. L'objectif des auteurs est l'exploration et la réhabilitation des fonctions cognitives dans des activités de la vie quotidienne.

3.3.2.3. La mémoire

L'évaluation et la réhabilitation des troubles de la mémoire représentent l'un des domaines les plus étudiés en neuropsychologie. Il en résulte une meilleure spécification des processus liés à la mémoire, une explication de mécanismes sous-jacents du système nerveux central (SNC) et un plus grand effort pour déterminer les problèmes dans la vie quotidienne qui sont la conséquence de ces troubles de la mémoire. Évaluer les déficits de la mémoire dans le cas de traumatismes crâniens et de désordres neuro dégénératifs est également vital dans les objectifs de réhabilitation fonctionnelle immédiate et à long terme. Le diagnostic précoce des troubles de la mémoire est aussi important dans la détection des démences afin de mettre en place des traitements ralentissant l'installation de la maladie et améliorant la qualité de la vie.

La mémoire n'est pas une fonction unitaire. Elle est décrite sous la forme de plusieurs systèmes d'apprentissage et de mémoire (procédural, perceptif, sémantique, primaire ou de travail, épisodique). Différentes hypothèses d'organisation de la mémoire ont été émises comme l'hypothèse hiérarchique de Tulving (Tulving, 2002). Mais les travaux développés en réalité virtuelle s'appuient plutôt sur la classification des incapacités résultant d'altérations de la mémoire (Collerton, 1993). Ces dernières impliquent 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 messages, les intentions, les instructions, les activités quotidiennes, perdre les choses) et les actes répétitifs (i.e. répéter la même question, la même histoire, la même action) (Brooks and Rose, 2003).

De nombreux tests standardisés ont été développés pour mesurer les différentes formes de mémoire. Citons par exemple le Rivermead Behavioral Memory Test (RBMT) qui a été créé pour tester les capacités de mémoire relatives aux situations de la vie quotidienne (se souvenir d'un rendez-vous, d'un chemin ; reconnaître une image ; s'orienter ; etc) (Wilson et al., 1985). Mais les résultats de ces tests en laboratoire sont faiblement corrélés avec la mémoire de la vie quotidienne. Par ailleurs, l'inconsistance des méthodes traditionnelles dans la réhabilitation de la mémoire a été rapportée (Wilson, 1997). Une des raisons des faibles résultats de ces méthodes est peut-être l'incapacité à maintenir la motivation des patients quand on les confronte à une série d'exercices d'apprentissage répétitifs, en utilisant par exemple des listes de mots.

La réalité virtuelle offre des possibilités pour créer des approches visant de façon systématique les capacités de mémoire dans des EVs, mais aussi fournissant des environnements d'apprentissage qui utilisent au départ des facteurs motivants ludiques, suivis graduellement d'environnements fonctionnels dont le but est de développer la mémoire dans un domaine spécifique.

La mémoire prospective

La détérioration de la mémoire prospective (i.e. la mémoire qui nous permet de faire des projets, de nous projeter dans le futur) est très invalidante et conduit aux incapacités liées à la désorganisation, comme oublier d'éteindre sous une casserole, ou d'allumer le gaz. Le besoin de tests appropriés de la mémoire prospective est évident. Le test existant le plus pertinent est le RBMT mais seulement deux ou trois de ses items sont relatifs à la mémoire prospective. A l'Université de East London (UEL), des chercheurs se sont focalisés sur la spécification des types de mémoire qui peuvent être mis en valeur lors de la réalisation d'une tâche de navigation dans une maison virtuelle de quatre pièces (Attree et al., 1996; Rose et al., 1996) avec l'objectif de viser les déficits de mémoire dans différentes populations de patients. L'EV est présenté sur un ordinateur de bureau et contrôlé avec un joystick et une souris.

Un test de la mémoire prospective a ainsi été conçu ; il évalue le recouvrement de la mémoire prospective fondé sur des signaux réalistes, sur le temps ou sur l'activité. Il a été testé sur 42 patients ayant subi un AVC et sur 29 sujets contrôle du même âge (Brooks et al., 2004). Dans le test, les participants exécutaient une tâche de déplacement de meubles : ils devaient indiquer à l'expérimentateur de transporter des meubles et des items de la maison virtuelle vers chacune des huit pièces d'une autre maison. Pendant le déroulement de la tâche, les participants devaient se souvenir d'indiquer à l'expérimentateur de mettre l'étiquette « Fragile » sur cinq items en verre (tâche fondée sur un signal) ; de garder la porte de la cuisine fermée pour que le chat ne sorte pas (tâche fondée sur l'activité) ; et de se rendre auprès d'une horloge située dans le couloir toutes les cinq minutes et d'appuyer sur un bouton (tâche fondée sur le temps).

Il s'avère qu'après avoir déplacé les meubles, 17 des 42 patients et 4 des 29 sujets contrôle furent incapables de se rappeler toutes les trois tâches relatives à la mémoire prospective, même s'ils avaient été capables de s'en souvenir juste avant le début de la tâche. Si un patient victime d'AVC ne se souvient pas de ce qu'il doit faire, il y a peu de chance qu'il se souvienne quand le faire. En ce qui concerne les autres participants, les résultats indiquent que les performances des patients étaient significativement altérées au niveau des tâches fondées sur un signal et sur une activité, mais pas sur la tâche fondée sur le temps. La difficulté des patients à se rappeler des tâches est peut-être due à une incapacité à aborder des tâches multiples. Les auteurs ont conclu que, comparée aux tests standard, la RV était un outil intéressant pour une évaluation compréhensive et contrôlée des capacités de mémoire prospective. Par ailleurs, elle peut conduire à une réhabilitation plus efficacement dirigée vers les altérations des patients.

Utilisant la même procédure et le même EV, Morris et al. ont comparé la mémoire prospective de sujets frontaux (n=35) et de sujets contrôle (Morris et al., 2002a). Les résultats montrent que la tâche la plus altérée chez ces patients était celle basée sur le temps (se rendre auprès d'une horloge située dans le couloir toutes les cinq minutes) puis celle basée sur le signal (mettre l'étiquette « Fragile » sur des objets en verre) alors qu'aucune différence n'est apparue au niveau de la tâche basée sur l'activité (garder la porte de la cuisine fermée pour que le chat ne sorte pas). Tous ces résultats indiquent que ces évaluations de la mémoire prospective fondées sur la RV permettent de discerner entre patients et sujets contrôle, mais aussi entre patients souffrant de maladies différentes.

La mémoire incidente

La mémoire incidente (i. e. la mémoire explicite pour les informations encodées sans intention ou les instructions à se rappeler) n'est pas correctement évaluée par les tests traditionnels, dans lesquels les patients sont avertis qu'ils devront reconnaître des mots, des images, des visages, etc. La RV offre de meilleures opportunités de tests avec la réalisation de tâches dans des situations proches des activités quotidiennes pendant lesquelles les patients peuvent être incidemment testés sur des items rencontrés pendant les tâches.

Des recherches ont également été menées dans ce domaine depuis le milieu des années 1990 par le groupe du University College of London (UEL), en utilisant, dans la situation virtuelle, un appartement virtuel de quatre pièces, visualisé sur l'écran de l'ordinateur. Dans une de leurs premières études (Andrews et al., 1995), ils ont comparé, chez des sujets sains, la mémoire incidente pour des objets présentés suivant cinq conditions : a) l'appartement virtuel de quatre pièces ; b) quatre expositions statiques sans contexte ; c) les mêmes quatre conditions statiques pendant lesquelles le patient devait bouger le curseur sur chaque objet tour à tour ; d) quatre photos des quatre pièces de l'EV ; e) les mêmes quatre photos sur lesquelles le patient devait bouger le curseur sur chaque objet tour à tour. Les résultats montrent que la performance de mémoire a été significativement plus basse dans la condition « appartement virtuel ». Les patients y étaient distraits par leur interaction avec l'EV et la mémoire incidente est particulièrement sensible à la distraction.

Une étude similaire a été menée dans un bureau virtuel alors que les participants (traumatisme crânien et contrôles) portaient un visiocasque (Matheis et al., 2003). Il leur était demandé d'observer l'EV depuis une position assise et de se souvenir ultérieurement de 16 objets. Les résultats des patients sont aussi bons que ceux des sujets contrôle, alors qu'une différence de performance avait été trouvée entre ces deux groupes dans un test de mémoire de mots dans une liste. L'observation de l'EV, plus naturelle avec le visiocasque, est sans doute ainsi moins perturbée par l'effet distracteur de la navigation.

Le groupe de l'UEL s'est aussi intéressé à l'impact de l'attitude (active/passive) des participants dans la mémoire des objets et de l'agencement spatial contenus dans un EV. Leur approche est ainsi destinée à une paire de sujets : l'un navigue dans la maison avec un joystick (condition active), pendant que l'autre est simplement exposé au même parcours, sur un autre moniteur, sans avoir de contrôle dans la navigation (condition passive). La différence de performance entre les deux groupes dans la mémoire des objets et dans la mémoire du parcours est évaluée.

Dans les premiers tests avec des sujets sains, il a été observé que les participants actifs présentaient une meilleure mémoire spatiale pour le parcours alors que les participants passifs étaient meilleurs dans le souvenir des items visualisés le long du chemin (Attree et al., 1996). Les participants actifs étaient par ailleurs plus sujets à la distraction, mais réalisaient sans doute un test de la mémoire explicite plus vrai dans la mesure où ils avaient moins de temps pour anticiper la mémorisation des objets virtuels. Dans des expériences ultérieures, participants passifs et actifs étaient invités à rechercher un parapluie inexistant dans l'EV de quatre pièces (Brooks et al., 1999a). La différence entre les deux groupes dans la mémorisation des objets n'a pas été retrouvée, peut-être parce que les participants passifs disposaient de moins de temps pour mémoriser les objets du fait de leur concentration sur la recherche du parapluie.

Il en a résulté l'ouverture d'une importante discussion sur la dichotomie Actif/Passif dans la mémorisation des objets, des évènements et de l'espace. La procédure décrite ci-dessus a ainsi été utilisée auprès de patients ayant subi un AVC (n=48) et de sujets contrôles (n=48) (Rose et al., 1999). Le test de reconstitution de l'espace est décrit, et a consisté à choisir, par la suite, des formes de pièces et des positions de portes d'entrée et de sortie de façon à reconstituer l'EV au moyen de plans 2D. Les performances des patients ont été inférieures à celles des sujets contrôle sur les deux tests (objets et lieux), mais l'expérimentation active a amélioré la mémorisation de l'espace dans les deux groupes de participants. Par contre, l'amélioration de la mémorisation des objets lors de l'observation passive observée chez les sujets contrôle n'est pas retrouvée chez les patients. Utilisant la même procédure, des résultats similaires ont été observés chez des patients souffrant de SEP (Pugnetti et al., 1998b) et chez des patients souffrant d'incapacités d'apprentissage (Rose et al., 2002). Les résultats de ces études sont renforcés par la découverte de Peruch et al. qui ont montré que des participants actifs non altérés (9 femmes et 9 hommes) présentaient une meilleure acquisition spatiale d'un EV, mesurée par un test de recherche de chemin (Peruch et al., 1995).

Cependant, ces résultats contredisent ceux de Wilson et al. qui ont montré que des participants non altérés avaient des performances équivalentes lorsqu'ils étaient actifs ou passifs dans l'estimation de la localisation d'objets qu'ils avaient rencontrés (Wilson et al., 1997; Wilson, 1999). La discordance entre ces résultats peut être attribuée aux différents tests de mémoire spatiale utilisés. Il est possible que les traces de la mémoire motrice, créées pendant l'encodage de l'agencement spatial de l'EV, soient responsables de l'augmentation de la mémoire spatiale chez les sujets actifs. Les résultats de ces études sont à prendre en considération pour la mise en place de stratégies de réhabilitation de la mémoire.

La mémoire spatiale

Une mémoire spatiale adéquate est un pré requis nécessaire pour l'indépendance de vie. La mémoire égocentrique (connaissance spatiale relative à l'individu) est souvent examinée dans les tâches humaines, comme par exemple l'apprentissage de labyrinthes (Corkin, 1965) et la localisation d'objets (Smith and Milner, 1988), tandis que la mémoire allocentrique (connaissance spatiale relative à des signaux indépendants de l'individu) est étudiée dans des tâches animales, telles que le « Morris Water Task » (Morris, 1981) et le labyrinthe radial à huit bras (Olton and Samuelson, 1976). Le Morris Water Task est une méthode systématique d'étude des capacités spatiales des rats ; les sujets sont placés dans une piscine remplie d'eau et doivent nager à partir de différents points de départ et trouver une plateforme fixe et cachée située sous la surface de l'eau (Figure 29). Puisque les rats ne peuvent sentir ou voir la plateforme, ils doivent se fier seulement à la disposition spatiale des signaux sur les murs extérieurs à la piscine pour la localiser. Les résultats sur les performances animales ont fourni des informations intéressantes liées aux différences dans les capacités spatiales liées au sexe, à l'âge, à l'effet des médicaments et des lésions cérébrales (Astur et al., 1998). Cependant alors que le Morris Water Task est le test de référence pour mesurer l'apprentissage des lieux chez les animaux, ce test est difficilement utilisable chez les humains.

Des EVs sur écran plat, contrôlés par un joystick ont été créés sur le modèle du Morris Water Task, permettant à un sujet de naviguer dans un vMWM (virtual Morris Water Maze) à la recherche d'une plateforme cachée. Ces EVs sont une méthode utile pour étudier l'habileté spatiale chez les humains. Les études utilisant cet EV ont rapporté les effets significatifs de l'âge, du dysfonctionnement du SNC et du sexe (Astur et al., 1998; Sandstrom et al., 1998;

Skelton et al., 2000; Thomas et al., 2001; Astur et al., 2002). En ce qui concerne les patients souffrant de traumatisme crânien, les performances dans l'EV sont corrélées avec les plaintes lors de recherche de chemins dans la vie réelle et avec les scores de tests de la mémoire épisodique comme le Rivermead Behavioural Memory Task (Wilson et al., 1985; Skelton et al., 2000) La comparaison de l'effet de différents niveaux d'immersion sur le transfert de savoir spatial à partir d'une grande variété d'EVs (pas d'entraînement, monde réel, carte, EV sur écran, EV immersif, etc.) a montré de fortes différences d' efficacité de l'entraînement selon le sexe, les hommes réalisant de meilleures performances (Waller et al., 2001). Les déficits liés à l'âge dans l'apprentissage des lieux ont été montrés dans une étude examinant la capacité des personnes âgées à développer des cartes cognitives après une expérience dans un vMWM. Les résultats suggèrent que leurs déficiences se situent au niveau allocentrique (Moffat and Resnick, 2002). Des mesures de l'activité cérébrale par IRMf pendant la navigation des sujets dans un VMWM ont permis de confirmer le rôle de l'hippocampe dans la mémoire spatiale (Astur et al., 2002; Morris et al., 2002b; Astur et al., 2003) (Figure 30). L'expérimentation, qui sera décrite dans le paragraphe 3.4, montre que la RV combinée à l'IRMf permet d'une part de mettre en évidence l'activation du cerveau lors d'une tâche dynamique et interactive, et d'autre part de démontrer les effets neuronaux des lésions cérébrales.

Les mêmes technologies ont été utilisées pour créer des EVs sur le modèle du labyrinthe radial à huit bras (virtual Radial Arm Maze : vRAM). Dans l'expérimentation animale, les rats doivent chercher de la nourriture dans les huit bras d'un labyrinthe radial. Dans l'expérimentation en réalité virtuelle (Astur et al., 2004b), les sujets doivent chercher des récompenses aux extrémités de certains bras du labyrinthe. En plus des mesures de distance parcourue et de rapidité à trouver les récompenses, des erreurs sont enregistrées, comme le fait d'entrer dans un bras sans récompense ou le fait d'entrer plusieurs fois dans le même bras. Dans cette étude, les performances des hommes et des femmes ont été comparées dans un vMWM et dans un vRAM : il existe une différence en faveur des hommes dans le vMWM et pas de différence dans le vRAM. Ces deux environnements ne mesurent donc pas la mémoire spatiale de la même façon.

L'orientation topographique

L'analyse du traitement de l'espace chez l'homme a de l'importance lors du diagnostic des pathologies cérébrales et dans l'abord de la désorientation topographique (De Renzi, 1985) qui est quelquefois rencontrée. Ainsi, la réhabilitation des capacités spatiales peut être vitale pour soutenir la ré acquisition de nombreuses habiletés fonctionnelles incluant la conduite, la navigation dans des environnements et autres activités de la vie quotidienne.

Dans l'agnosie topographique, le patient ne peut pas reconnaître les éléments caractéristiques d'endroits qu'il devrait connaître. Le déficit serait dû à l'échec dans l'analyse des aspects spécifiques des stimuli visuels (système « What ») (Kosslyn et al., 1990). Dans l'amnésie topographique le patient ne peut pas reconnaître la position des lieux. Le déficit serait dû au défaut de fonctionnement du processus responsable de l'identification des relations spatiales entre des éléments qui sont exprimables selon des notions topographiques telles que dessous/dessus, à la droite de, etc.(système « Where ») (Ungerleider and Mishkin, 1982).

L'EV pour l'orientation topographique (VETO) est utilisé comme outil complémentaire dans l'évaluation des désordres d'orientation topographique mais aussi dans la réhabilitation

(Bertella et al., 2001). Il est fondé 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) proposé par Chen et Stanney (Chen and Stanney, 1999).

L'EV représente un quartier typique d'une ville de taille moyenne avec des routes, rues et avenues, avec dans chacune des points de référence comme des immeubles, boutiques, bureaux, mobilier urbain, etc. Il est utilisé soit à des fins d'évaluation, soit à des fins de traitement. L'évaluation se déroule en quatre séances. Pendant la séance 1, le sujet est guidé dans l'EV pendant quelques minutes afin de le découvrir. La séance 2 teste l'agnosie topographique et évalue la capacité du sujet à reconnaître des objets fonctionnant comme des points de référence dans l'EV. La séance 3 teste l'amnésie topographique et évalue la capacité du sujet à définir les relations topographiques qu'il a expérimentées dans l'EV. Et enfin la séance 4 teste l'orientation topographique et évalue la capacité du sujet à atteindre de façon autonome une place cible de l'EV. La validation du système VETO sera fondée sur les performances de 200 sujets « normaux » ; leurs performances dans l'EV seront comparées à celles obtenues lors des tests neuropsychologiques « papier-crayon ».

Mémoire auditive

Un autre domaine prometteur d'exploration de la mémoire a récemment émergé ; il s'agit de l'utilisation d'EVs immersifs audio pouvant délivrer des sons 3D spatialisés qui peuvent ainsi produire des signaux en rapport avec l'environnement simulé (Kyriakakis, 1998). Des applications ont été développées avec des entrées auditives permettant d'augmenter l'information environnementale pour des sujets déficients visuels (Berka and Slavik, 1998; Cooper and Taylor, 1998).

C'est ainsi que la génération de cartes spatiales et cognitives peut être favorisée en utilisant un EV audio immersif (Lumbreras and Sanchez, 1998). Ces chercheurs ont développé un jeu sur ordinateur (AudioDoom) créé pour permettre aux enfants aveugles de naviguer et d'interagir avec un environnement spatial, seuls, grâce à des stimuli sonores 3D. Certains enfants sont capables de reconstruire avec des blocs Lego l'environnement qu'ils ont exploré de façon sonore. Les constructions Lego sont exactement similaires à la structure de l'EV exploré et ceci illustre la valeur des signaux auditifs dans le développement de cartes spatiales et cognitives chez des enfants qui n'ont jamais eu une expérience visuelle avec le monde physique. Ce système, ainsi que d'autres applications audio immersives, peuvent être d'une utilité supplémentaire dans l'étude de l'intégration audio visuelle et de la formation de l'image spatiale pour les populations voyantes présentant d'autres formes de dysfonctionnements du SNC.

Une application possible pourrait inclure l'utilisation d'imagerie cérébrale (IRMf) pour étudier directement les circuits neuronaux impliqués dans la génération des cartes cognitives. C'est ainsi qu'un EV modélise une ville pour entraîner les sujets à se repérer et à examiner l'information spatiale d'un environnement (Aguirre and D'Esposito, 1997). La connaissance des sujets était évaluée ultérieurement pendant une IRMf et les résultats indiquent des différences spécifiques dans l'activation des circuits neuronaux dans les tâches de repérage et d'examen visuel. Mais des contraintes pratiques limitent les tests sous IRMf avec port de visiocasque pour la distribution des stimuli sonores.



Figure 29 : Morris Water Task (Morris, 1981)[13]



Figure 30 : Virtual Morris Water Maze (Astur et al., 2002)[10]

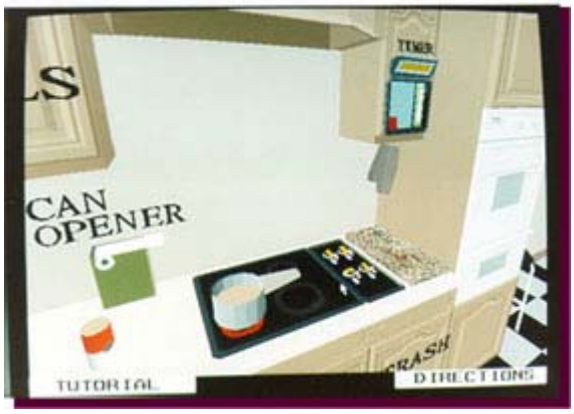


Figure 31 : Cuisine virtuelle (Christiansen et al., 1998)[10]



Figure 32 : Cuisine virtuelle (Davies et al., 1999)[10]



Figure 33 : Cité virtuelle (Brown et al., 1998)[10]



Figure 34 : Supermarché virtuel (Brown et al., 1998)[10]

[13] Avec l'aimable autorisation de reproduction de Kolb and Whishaw, auteurs du livre « Fundamentals of Human Neuropsychology (illustration du livre)

3.3.3 Les autres applications en neuropsychologie

En raison du caractère écologique des environnements créés grâce à ses technologies, la réalité virtuelle s'est spontanément appliquée aux activités de la vie quotidienne. Les possibilités d'entraînement dans ces EVs ont par ailleurs conduit à leur utilisation en réhabilitation cognitive.

3.3.3.1. Les activités de la vie quotidienne

Certains EVs ciblant des processus cognitifs décrits dans les chapitres précédents peuvent être également analysés dans ce contexte des activités de la vie quotidienne (AVQs). Cependant dans ce paragraphe nous présenterons des applications focalisées sur les comportements requis pour les AVQs. Ces approches fonctionnelles appuient le développement d'EVs écologiques ayant pour objectif de tester et ultérieurement d'entraîner un grand répertoire de comportements chez des personnes limitées dans leur capacité d'apprentissage dans le monde réel (handicap de naissance ou conséquence d'une altération cérébrale). Ces EVs peuvent être utilisés d'une part pour évaluer le comportement fonctionnel, et d'autre part pour délivrer un entraînement pertinent, hiérarchique et sécuritaire.

Des EVs ont ainsi été développés pour cibler les compétences fonctionnelles requises lors de situations où la sécurité est mise en jeu, du déplacement avec des chaises roulantes, de la préparation des repas, de l'utilisation de transports publics, de la conduite, et aussi pour l'analyse de l'évitement d'obstacles chez les personnes âgées risquant de tomber.

Situations sécuritaires

La traversée des rues peut présenter des dangers pour les enfants ou pour toute personne souffrant de certains handicaps (e.g. visuels, attentionnels, moteurs). Une application virtuelle a ainsi été développée pour enseigner des conduites sécuritaires à des piétons, et par la suite vérifier s'il y avait transfert des acquis de l'EV vers le monde réel (McComas et al., 2002). Une ville virtuelle a été créée ; elle comporte huit intersections caractérisées par leur type (stop, feux, pas de signalisation), leur taille (une à quatre voies) et des éléments distracteurs (e.g. bruit, piétons, parc). A chacune des intersections quatre conduites sécuritaires sont attendues du participant (s'arrêter ; regarder gauche-droite-gauche ; marcher sur le trottoir contre la rue ; rester attentif en traversant). Des avertissements s'affichent en cas de position dangereuse. L'EV est visualisé sur l'écran de trois ordinateurs placés en arc de cercle devant le participant ; la tête du participant est traquée afin de vérifier les coups d'œil sur les deux côtés avant de traverser. 95 enfants venant de deux écoles (ville et banlieue) ont participé à l'étude. Ils ont été observés pendant une semaine, avant et après l'intervention, aux environs de leur école. La moitié d'entre eux a été soumise à un EV sans rapport avec la traversée de rue (groupe témoin), et l'autre moitié au programme virtuel sécuritaire, exécuté trois fois (groupe test). Leur tâche a été de se rendre d'une maison virtuelle à une école virtuelle le long d'un chemin empruntant les huit intersections. Les résultats montrent que, chez les enfants du groupe test, il y a eu d'une part apprentissage des conduites sécuritaires et d'autre part transfert d'apprentissage pour les enfants venant de la banlieue, mais pas pour ceux venant de la ville.

Par ailleurs, une étude de faisabilité a été menée auprès d'enfants autistes dans le but de les entraîner à traverser les rues en toute sécurité (Strickland et al., 1996) (Figure 17). Les enfants

ont accepté le port du casque et ont été capables de suivre des voitures en mouvement et de sélectionner des objets. Des efforts continus avec cette population (Strickland, 1997) et avec des enfants de déplaçant en chaise roulante (Inman et al., 1997; Desbonnet et al., 1998) sont en cours pour cibler les comportements fonctionnels requis dans les situations où la sécurité est en jeu (Figure 17). Dans les deux dernières applications citées, un interfaçage entre la chaise roulante et l'EV a été mis en place permettant la navigation dans l'EV au moyen d'éléments de la chaise : soit en utilisant la vitesse de rotation des roues arrière de la chaise (Inman et al., 1997), soit en agissant sur le joystick de la chaise (Desbonnet et al., 1998). L'EV a permis aux participants d'acquérir une certaine dextérité dans la manipulation de leur chaise et ainsi de pouvoir concentrer leur attention sur d'autres tâches, comme celle de traverser les rues. Dans ces mêmes perspectives, des EVs ont été créés pour entraîner des patients à se déplacer en chaise roulante de façon à améliorer leurs capacités à contrôler la chaise sans heurter les objets (manœuvrabilité) ainsi que leur capacité à retrouver leur chemin dans un environnement complexe (Harrison et al., 2002). Les premières expérimentations auprès de six participants ont montré le potentiel de l'entraînement dans un EV mais aussi souligné le besoin de développements afin de mieux modéliser la chaise et son déplacement, de faciliter la navigation des participants dans l'EV.

Conduite de voiture

La perte de la possibilité de conduire ou de l'autorisation de conduire entraîne chez les patients cérébrolésés ou chez les sujets âgés une diminution de leur autonomie. La décision incombe au thérapeute. Elle est subjective et les critères peuvent varier d'un thérapeute à l'autre. Des simulateurs de conduite ont été développés dans l'objectif de fournir un verdict plus objectif.

Ainsi le simulateur *driVR*^{TM} que nous avons décrit dans le cadre de la phobie de la conduite (§ 3.1.2.1) a été testé auprès de patients ayant subi un traumatisme crânien (n=17) et de sujets sains (n=17) du même âge (Liu et al., 1999), alors que différentes variables étaient mesurées (e.g. vitesse, freinage, changement de file). Les résultats montrent que le système permet de discriminer entre les deux groupes de sujets.

Puis un autre simulateur de conduite a été développé (Ku et al., 2002) et utilisé pour évaluer des patients atteints au niveau de la moelle épinière: il est composé d'une voiture réelle connectée à un ordinateur, d'un projecteur et d'un grand écran. La voiture est équipée d'outils de contrôle manuels adaptés aux sujets handicapés, les sujets sains utilisant les pédales habituelles. L'EV est composé de 18 sections (i.e., route limitée en vitesse, route droite, route courbe, virage à gauche), chaque section étant liée naturellement à la suivante. L'EV a été testé par 10 conducteurs sains et 15 patients accidentés ayant une expérience de conduite antérieure. La différence de méthode de manipulation (pieds / mains) ne semble pas avoir influencé la performance relative dans le simulateur, cependant l'entraînement pour améliorer l'usage des contrôles manuels est nécessaire pour diminuer la peur que les patients ressentent durant la conduite.

Enfin des expérimentations ont été menées dans le Iowa Driving simulator, un EV hautement immersif de simulation de conduite. Elles ont permis de comparer les performances de personnes âgées contrôle avec celles de patients en début de maladie d'Alzheimer. Comme il fallait s'y attendre, les performances des sujets du groupe Alzheimer ont significativement moins bonnes ; ils ont notamment causé plus d'accidents (Rizzo et al., 1997).

Etant donnée l'importance que beaucoup de sujets accordent au fait d'être capables de continuer à conduire, l'entraînement dans les simulateurs de conduite est motivant.

Activités dans une ville virtuelle

L'idée d'utiliser une ville virtuelle pour explorer et entraîner les compétences fonctionnelles a également été examinée (Brown et al., 1998) (Figure 33). Ainsi un groupe d'utilisateurs potentiels présentant des difficultés d'apprentissage (retard mental) (n=15) a travaillé avec un accompagnant au développement d'une ville virtuelle. L'EV, présenté sur écran plat, permet d'aborder les compétences à vivre de façon indépendante chez des personnes présentant des difficultés d'apprentissage et de développement. Les applications créées concernent l'usage des transports publics, la sécurité routière, la sécurité à la maison, l'usage des aménagements publics dans un café, et les aptitudes à faire des achats dans un grand supermarché (Figure 34). L'évaluation de l'EV a concerné autant son aspect visuel que sa facilité d'utilisation ou encore sa capacité à gérer l'apprentissage de tâches.
Une étude initiale de faisabilité, menée avec cette ville virtuelle, a permis de tester vingt sujets atteints de différents types et niveaux de retard mental qui ont rapporté un grand plaisir à réaliser les tâches et une facilité d'utilisation du système supérieure à celle qui avait été espérée (Cobb et al., 1998). Le transfert vers le monde réel a été constaté pour certaines compétences. Le travail avec ce scénario évolutif continue et les résultats de mesures systématiques de l'apprentissage et du transfert sont attendus.
Une étude antérieure de transfert d'apprentissage avait été menée chez des étudiants avec un sévère retard mental grâce à l'entraînement dans un supermarché virtuel modélisé d'après un supermarché réel (Cromby et al., 1996). Après l'entraînement dans l'EV les sujets étaient plus aptes à naviguer et à sélectionner des items spécifiques dans le supermarché réel et ces sujets étaient meilleurs dans leurs performances que ceux qui s'étaient entraînés dans des EVs non spécifiques.
De tels résultats avec ces populations sont importants pour appuyer les observations antérieures de transfert d'apprentissage. Mais de nombreuses questions restent encore posées : Quel est le maintien à long terme des acquis en RV ? Combien de temps faut-il s'entraîner dans un EV avant que le sujet puisse pratiquer dans le monde réel et commence à apprendre dans le monde réel ?

Activités dans une cuisine virtuelle

Une autre compétence essentielle à l'autonomie de vie est la confection de repas. Citons tout d'abord cette étude menée avec une cuisine virtuelle (visiocasque) auprès de personnes ayant subi un traumatisme crânien (Christiansen et al., 1998) (Figure 31). Son but a été d'évaluer capacité de 30 patients à réussir les 30 étapes nécessaires à la préparation d'une casserole de soupe. Sous réserve du succès de chaque étape, divers signaux auditifs et visuels peuvent être présentés pour favoriser une performance et un apprentissage plus rapides. Cet EV a été utilisé dans une étude menée auprès de 54 patients ayant subi un traumatisme crânien (Zhang et al., 2003) qui durent préparer des repas à la fois dans une cuisine virtuelle et dans une cuisine réelle, deux fois sur une période de trois semaines. Les patients se sont bien adaptés au visiocasque. Les résultats montrent que le test dans la cuisine virtuelle prévoit bien ce qui se passe dans la cuisine réelle et se révèle être une méthode d'évaluation fiable et valide des compétences fonctionnelles de personnes ayant subi un traumatisme crânien.
Dans d'autres approches, les chercheurs ont développé une cuisine virtuelle à l'image d'une cuisine réelle (Davies et al., 1999) (Figure 32). Différentes tâches peuvent être exécutées (faire un café, frire un œuf, faire un toast et mettre la table) comme l'utilisateur le souhaite, dans la cuisine réelle ou dans la cuisine virtuelle. Différentes stratégies d'apprentissage peuvent être utilisées (essai et erreur, sans erreur), avec assistance ou non du

thérapeute. La navigation s'exécute selon trois dimensions via un clavier spécial et l'interaction se fait au moyen d'un écran tactile. Mais la souris peut aussi être utilisée. Un aspect important de cet EV est le rôle des sons stéréo. Des sons réalistes viennent parfois compenser le manque de réalisme dans les effets visuels, encourageant le sujet dans ses actions. Les sons peuvent aussi fournir des indications au sujet quant au statut de certains objets (Davies et al., 2002). Alors qu'une étude initiale avait concerné des sujets non handicapés et la faisabilité de l'approche, les auteurs travaillent actuellement sur le test des outils de navigation et d'interaction afin de préciser le potentiel de tels environnements avec des populations cliniques.
Enfin d'autres modalités d'interaction peuvent être envisagées comme le gant de réalité virtuelle (Gourlay et al., 2000) utilisé dans cette cuisine où les patients sont supposés préparer une tasse de café pendant que le système supervise leurs fonctions exécutives.

3.3.3.2. 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 quotidienne » (Sohlberg and Mateer, 1989).

La réhabilitation cognitive est donc à la base un ensemble de procédures visant à arrêter ou renverser le déclin cognitif d'un individu à la suite de dommages cérébraux, avec pour but d'améliorer son fonctionnement dans la vie quotidienne. Les aspects à prendre en considération quand il s'agit de réhabilitation cognitive sont variés (cognitifs, émotionnels, psychosociaux, comportementaux). Même si des modèles de réhabilitation cognitive sont progressivement élaborés (Wilson, 2002), aucun n'a encore été jugé suffisant pour aborder les problèmes complexes rencontrés par les personnes souffrant d'un dysfonctionnement cognitif. L'un des points délicats concerne l'évaluation des paradigmes de réadaptation : 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). En outre, parfois le but de la réadaptation est d'entraîner des sujets à l'utilisation de stratégies adaptatives et compensatoires afin de réduire leurs déficits. 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 stratégies. Ainsi, la réhabilitation cognitive se doit d'être toujours orientée vers l'amélioration du fonctionnement quotidien (Van der Linden and Juillerat, 2004).

Parmi les nombreuses techniques utilisées, deux approches peuvent être décrites : les approches réadaptative et fonctionnelle (Rizzo et al., 2002b). 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). L'importance est donnée à l'entraînement et la pratique d'exercices présentés de façon hiérarchique en fonction du succès. Le problème principal est le manque de généralisation et le déficit de transfert des acquisitions dans le « monde réel » (Chase and Ericsson, 1981). L'approche fonctionnelle pure met l'accent sur l'entraînement des comportements et des habiletés observables, des activités utiles de la vie quotidienne (AVQs). Les exemples doivent inclure l'entraînement à des activités dans des environnements de travail bien ciblés tels que cuisines, usines, magasins, bureaux, etc. Le problème principal est que la fragile performance

des activités fonctionnelles excessivement apprises (sans amélioration des composantes cognitives sous-jacentes) peut ne pas être suffisante pour un patient dont le monde environnant nécessite une certaine flexibilité dans la résolution de problèmes (Kirsch et al., 1992).

Par ailleurs, lorsque l'on spécule sur les possibles applications de la RV à des fins de réhabilitation cognitive, il est aussi nécessaire de considérer les découvertes se rapportant aux capacités préservées de mémoire et d'apprentissage à la suite d'un traumatisme crânien et dans certaines formes de démence. Des études ont montré, chez des patients atteints de déficits de la mémoire, que certains processus restent souvent relativement intacts. C'est par exemple le cas de la mémoire procédurale qui gouverne les habiletés motrices et mentales, mémoire des gestes appris et des habitudes, qui opère à un niveau automatique (Cohen and Squire, 1980). Par ailleurs, ces patients montrent une habileté à réaliser des tâches procédurales sans retenir l'expérience de l'apprentissage. Ceci est communément ramené à la mémoire implicite et sa présence reflète une capacité préservée à traiter et à retenir inconsciemment (Graf and Schacter, 1985).

Ces observations sont encourageantes et renforcent l'idée selon laquelle les EVs avec leurs aspects interactifs et immersifs peuvent fournir des applications d'entraînement induisant une amélioration des performances par l'exploitation des capacités procédurales et implicites préservées. Par conséquent, les processus cognitifs pourront être restaurés via des procédures pratiquées de façon répétitive dans un environnement qui contient des demandes fonctionnelles du monde réel. L'application des technologies de la réalité virtuelle pour la réhabilitation des déficits cognitifs et fonctionnels peut donc servir à remédier à la faiblesse majeure des deux approches réadaptative et fonctionnelle. Elle fournit une méthode de traitement systématique qui intègre les meilleures caractéristiques des deux approches, et par conséquent l'entraînement réadaptatif systématique dans le cadre d'environnements écologiquement valides et fonctionnellement pertinents (Rose et al., 1996; Rizzo and Buckwalter, 1997).

Les applications de la réalité virtuelle dans la réhabilitation cognitive se multiplient. Celles que nous rapportons ci-dessous concernent l'héminégligence visuelle, la mémoire et les activités de la vie quotidienne.

Héminégligence visuelle

La réhabilitation de l'héminégligence visuelle peut être réalisée par des stratégies d'eye-patching, i.e. en cachant une partie du champ de vision du côté sain. La RV fut tout d'abord combinée à l'approche traditionnelle de réhabilitation insistant sur la façon dont cette combinaison pouvait améliorer le recouvrement de la fonction visuo attentive (Cunningham and Krishack, 1999). Les protocoles de réhabilitation qui n'ont utilisé que l'approche RV étaient généralement focalisés sur la possibilité de traquer la position du patient, et d'essayer d'ancrer l'attention sur la région spatiale négligée.
Dans cette optique, Myers et al. continuent de développer leur système virtuel (cf § 3.3.2.1), afin de déterminer s'il s'agit d'un outil diagnostic viable et consistant, s'il s'agit d'un moyen de traitement de l'héminégligence visuelle et si une différence est constatée entre le traitement sous RV et le traitement traditionnel (eye-patching) (Myers and Bierig, 2000).

Mais l'approche de la réhabilitation de l'héminégligence gauche a aussi été réalisée sous un autre angle (Katz et al., 2004), par apprentissage dans un EV visualisé sur écran d'ordinateur. Les participants (n=19) venaient tous de subir un AVC et utilisèrent un fauteuil roulant pour se déplacer. Onze d'entre eux ont été entraînés dans un EV développé pour apprendre aux patients à traverser les rues (Figure 35), tandis que les huit autres, le groupe contrôle, ont été soumis à des tâches conventionnelles d'exploration visuelle sur un ordinateur. Le protocole s'est déroulé sur quatre semaines, avec trois séances de 45 minutes par semaine. Les participants ont été évalués avant et après l'intervention selon trois critères : des mesures de l'héminégligence visuelle ; un test de traversée de rues virtuel et un test de traversée de rues dans le monde réel. Les résultats montrent des performances équivalentes pour les deux groupes. Les auteurs poursuivent leurs travaux sur cet EV pour introduire plus de situations piétonnes, pour prendre en compte différentes populations de patients et pour aborder différentes fonctions cognitives.

Mémoire

Les stratégies de remédiation de la mémoire ont trois objectifs : la restauration de la fonction de mémoire, la réorganisation de la fonction de mémoire par l'activation de systèmes fonctionnels intacts pour aider ou remplacer les fonctions endommagées et la compensation comportementale pour les fonctions endommagées

Répétition

Les techniques de restauration sont fondées sur l'hypothèse que la mémoire altérée répondra à l'exercice mental de la même façon qu'un muscle répond à l'exercice physique et que l'entraînement à une tâche de mémoire répétitive (p. ex. apprendre une liste) peut amener une performance améliorée dans d'autres tâches de mémoire. Les avantages de cette possibilité de répétition ont été évoqués dans une série d'études (Stanton et al., 1998; Foreman et al., 2003) dans lesquelles des enfants handicapés moteurs étaient capables de transférer l'apprentissage répétitif dans une école virtuelle vers leur environnement scolaire réel (cf 3.3.2.3).

Dans une autre étude, 14 patients souffrant de démences ont été entraînés pendant des séances de 30 minutes à des tâches relatives à la mémoire dans un appartement virtuel (salon, chambre, cuisine, salle de bains et couloir) présenté sur PC (Schreiber et al., 1999). Comparés à des participants contrôle, les patients entraînés ont montré une amélioration des aires visées sur deux tests psychométriques standard (Immediate recall of meaningful visual information, Nuremberg Aging Inventory) et une rétention différée de l'information topographique. Les résultats de cette étude montrent que la RV peut faciliter le réentraînement de la mémoire en engendrant plus de variété dans ces techniques, et de ce fait la motivation des patients.

Réorganisation

L'objectif des techniques de réorganisation de la mémoire est d'utiliser les systèmes fonctionnels intacts pour aider ou remplacer les fonctions altérées. Un exemple de l'utilisation de la réorganisation dans la réhabilitation de la mémoire est l'intervention de la mémoire visuelle pour aider les déficits de mémoire verbale (Wilson, 1995). L'utilisation la plus connue de la réorganisation concerne sans doute les patients amnésiques (Glisky et al., 1986; Glisky and Schacter, 1988) qui présentent un apprentissage préservé de certaines tâches motrices (Talland, 1964) mais n'ont pas conscience d'avoir réalisé cette tâche auparavant. Ces patients ont en fait perdu la capacité de distinguer entre des réponses correctes et incorrectes et ont tendance à utiliser les erreurs comme des signaux de réussite (Baddeley and Wilson, 1994; Wilson and Evans, 1996). En utilisant un EV les thérapeutes on été capables de

prévenir et éviter les erreurs du patient (Brooks et al., 1999b). Il a été ainsi montré que les patients amnésiques apprenaient plus efficacement dans un environnement où ils étaient empêchés de faire des erreurs.

Dans l'étude qu'ils ont menée, Brooks et al. rapportent le cas d'une femme victime d'un AVC, souffrant d'amnésie sévère qui a été entraînée à retrouver son chemin aux environs de l'unité de réhabilitation, en utilisant un EV détaillé, copie de l'environnement réel (ER), présenté sur le moniteur d'un PC (Brooks et al., 1999b) (Figure 36). Avant l'entraînement, la patiente avait vécu dans l'unité pendant deux mois et était toujours incapable de parcourir 10 chemins simples aux alentours de l'unité, impliquant des lieux qu'elle visitait pourtant régulièrement. Elle fut testée chaque semaine sur ces mêmes dix chemins pendant tout le déroulement de l'étude. Dans une première phase, la patiente fut entraînée dans l'EV sur deux des dix chemins lors des séances quotidiennes de 15 minutes. L'expérimentateur lui montrait d'abord le chemin à parcourir puis elle le pratiquait elle-même. Pour lui faciliter l'apprentissage et lui permettre d'apprendre de façon graduée, une technique d'apprentissage avec des retours en arrière a été adoptée. Après trois semaines d'entraînement, elle a été capable de parcourir avec succès les deux chemins dans l'ER. La rétention de cet apprentissage a été maintenue tout durant le séjour de la patiente dans l'unité, alors qu'elle ne reçut pas d'entraînement ultérieur sur ces deux chemins. Puis, dans une deuxième phase, la patiente fut entraînée sur deux nouveaux chemins parmi les dix, l'un utilisant l'EV, l'autre en le parcourant dans l'ER. En deux semaines, la patiente a appris le chemin pratiqué dans l'EV mais pas celui pratiqué en réalité.
Les auteurs émettent trois justifications méthodologiques pour expliquer les raisons du succès de la RV : le déplacement dans l'EV étant plus rapide que dans l'ER, le temps de la séance d'entraînement est utilisé plus efficacement ; l'EV était plus adapté que l'ER à la méthode d'entraînement avec retours en arrière ; l'ER ne contient pas tous les éléments distracteurs qui peuvent être rencontrés dans l'EV et qui peuvent gêner l'apprentissage. Dans cette étude, la simulation virtuelle d'une capacité motrice a été suffisante pour promouvoir l'apprentissage procédural dans le monde réel.

Exercice physique
La réhabilitation de la mémoire peut être aussi favorisée par l'exercice physique dont la contribution au maintien des fonctions cognitives est désormais reconnue (Kramer et al., 2003). Une étude innovante a ainsi utilisé la RV pour accroître la motivation de patients victimes de traumatismes crâniens à faire de l'exercice physique durant leur réhabilitation (Grealy et al., 1999). Pédalant sur un vélo ergonomique connecté au système virtuel, les patients pouvaient visiter différents EVs (une île des Caraïbes, une ville, un paysage de campagne, des montagnes enneigées). Ces EVs étaient présentés sur écran plat au niveau des yeux. L'inclinaison du terrain était simulée visuellement et ressentie au niveau de la pédale du vélo, ce dernier étant doté de 15 vitesses. Le vent était simulé par de l'air soufflé, tandis que des sons ambiants accompagnaient la balade. Le sujet pouvait tourner le guidon du vélo et la selle s'inclinait dans les virages. Après quatre semaines d'intervention, les résultats de 13 patients furent comparés à ceux de populations contrôle, stockés dans une base de données préalablement établie auprès de 320 patients. Ces résultats concernaient les tests d'attention, de traitement de l'information et de mémoire, mais aussi les temps de réaction et de mouvements. Ils montrent que les patients ayant pratiqué cet exercice fondé sur la RV ont des performances meilleures que ceux n'ayant exécuté que des tâches d'apprentissage visuelles ou verbales. Selon les auteurs, les améliorations de la forme physique dues aux exercices fondés sur la RV ont renforcé l'activation du cerveau et ainsi amélioré les processus cognitifs.

Entraînement des habiletés spatiales

Les habiletés spatiales sont caractérisées par trois composantes : les relations spatiales et l'orientation ; la visualisation ; l'imagerie kinesthétique (i.e. la capacité à déterminer la position spatiale d'un objet par rapport à soi-même). Elles représentent un pré requis nécessaire pour l'autonomie de vie. Par conséquent, le développement d'habiletés spatiales chez des personnes dont les incapacités physiques limitent leur motricité est également un des enjeux de la réalité virtuelle. Il peut par exemple améliorer leur mémoire spatiale.

Les limitations rencontrées par les personnes handicapées dans leur possibilité d'explorer des environnements de façon indépendante peuvent perturber leurs capacités de générer des cartes cognitives. Ces types de difficultés sont rapportés auprès d'un groupe de dix étudiants handicapés ayant des difficultés dans la conscience spatiale et les compétences de génération de cartes cognitives sans doute à cause de l'adoption d'une stratégie de navigation passive (Foreman et al., 1989). D'autres chercheurs ont aussi noté ces effets similaires de navigation passive chez des enfants non handicapés alors qu'ils étaient poussés dans une chaise roulante (McComas et al., 1997) lors de la réalisation d'un puzzle dont les pièces étaient cachées dans une grande pièce.

L'étude du transfert d'information spatiale d'un EV vers un environnement réel (ER) a par exemple été réalisée auprès de 10 enfants handicapés, âgés de 7 à 11 ans (Wilson et al., 1996). L'EV était une reproduction de deux étages du Astley Clarke Building de l'Université de Leicester. Les enfants jouaient à un jeu dans l'EV : ils devaient activer l'équipement contre le feu et ouvrir une issue de secours pour s'échapper du bâtiment. Après le jeu, leur connaissance de l'espace réel était testée en leur demandant de pointer en direction des quatre équipements contre le feu, invisibles de la pièce où ils se trouvaient. Ils devaient également indiquer le chemin le plus court pour se rendre à l'issue de secours. Leurs performances dans ce test ont été meilleures que celles réalisées par un groupe contrôle.

Dans une série de quatre études (Stanton et al., 1998; Foreman et al., 2003), des enfants handicapés moteurs pouvaient librement explorer des EVs modélisés d'après leur environnement scolaire. Le transfert de l'apprentissage spatial vers l'école réelle a été montré et la connaissance des lieux augmentait avec l'entraînement. Les enfants handicapés moteurs étaient capables d'indiquer avec précision la direction d'objets qui n'étaient pas dans leur ligne de vue. Ces études soulignent la possibilité de tester grâce à la RV la mémoire spatiale de personnes souffrant d'handicaps moteurs.

De nombreuses recherches ont été menées avec des EVs présentés sur écran plat pour étudier la localisation d'objets, l'apprentissage et les possibilités de transfert vers le monde réel (Cromby et al., 1996; McComas et al., 1998). Les auteurs relatent le succès de ces actions menées auprès d'enfants handicapés et non handicapés.

Activités de la vie quotidienne

La réhabilitation dans les activités de la vie quotidienne nécessite une évaluation périodique et un entraînement précis et efficace. Un certain nombre d'études ont souligné que les méthodes de réhabilitation doivent être à la fois appropriées à l'environnement réel du patient et transférables vers d'autres actions de la vie quotidienne. C'est ainsi que de nombreux environnements virtuels ont vu le jour afin de tester et d'entraîner des patients ayant subi des

dommages cérébraux : cités virtuelles (Brown et al., 1998) (Figure 33), supermarchés (Cromby et al., 1996; Rose et al., 2001), maisons (Rose et al., 2001), cuisines (Christiansen et al., 1998; Brooks et al., 2002) (Figure 31), bureaux (Rizzo et al., 2002a) (Figure 37 et Figure 38), etc. Ces EVs ont en général été développés dans le cadre d'une pathologie et en vue de l'évaluation puis de la réhabilitation d'un processus cognitif.

Dans un objectif de généralisation, AVIRC, Environnement Virtuel Intégré pour la Réhabilitation Cognitive a été conçu sur la base de modèles cognitifs (da Costa and de Carvalho, 2004). Son objectif premier est d'explorer des stratégies thérapeutiques et d'agir sur différents troubles cognitifs, son objectif final étant d'améliorer les compétences du patient dans les activités de la vie quotidienne. Il a été testé sur quatre patients schizophrènes, qui ont accepté de porter le visiocasque et se sont montrés intéressés par les tâches proposées.

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. Par ailleurs, il est nécessaire maintenant de développer des études avec des populations de patients afin de prendre en compte les résultats obtenus auprès de sujets normaux (n=120) concernant les différents niveaux d'immersion (Waller et al., 1998) et les variations contrôlées de caractéristiques multi sensorielles dans l'EV, mais aussi les différentes façons de représenter les EVs (Waller et al., 2001). Ces études ont montré qu'un entraînement suffisant en EV surpassait un entraînement en ER, que sexe et représentation spatiale sont très liés, les femmes étant plus prédisposées aux erreurs que les hommes dans les EVs.

3.3.4 Bilan des applications en neuropsychologie

Les technologies de la réalité virtuelle sont, ainsi que nous l'avons vu au travers de toutes les applications citées, en train de révolutionner l'abord de l'évaluation et de la réhabilitation des processus cognitifs. L'étape suivante de cette évolution permettra l'accès via l'Internet à des bibliothèques de scénarios fondés sur la réalité virtuelle. Ces applications_RV délivrables par l'Internet ouvriront de nouvelles possibilités pour la thérapie et la réhabilitation à domicile. Cependant avant que cette vision aboutisse, de nombreuses questions devront être abordées et résolues (Rizzo et al., 2004c). Un premier système, appelé Do2Learn, a déjà vu le jour. Il est utilisé pour entraîner à certains gestes de sécurité des enfants présentant des difficultés d'apprentissage, tels les enfants autistes (http://www.do2learn.org). D'autres applications sont en train d'être mises en place telles celle qui vise le monitoring à distance de la réhabilitation de groupes de patients en utilisant les moyens du réseau Singapore ONE (Gourlay et al., 2000).

Le tableau suivant (Tableau 3) récapitule les avancées de la réalité virtuelle en neuropsychologie.



Figure 35 : Traversée de rues (Weiss et al., 2003)[10]



Figure 36 : Réhabilitation de la mémoire (Brooks et al., 1999)[10]



Figure 37 : Scène du « Virtual office » pour l'étude de la mémoire et de l'apprentissage (Rizzo, Schultheis and Matheis, 2003)[10]



Figure 38 : Bureau virtuel (Rizzo et al., 2005)[10]

Tableau 3 : Applications de la Réalité Virtuelle en Neuropsychologie

Intervention	Auteurs	Objectif	Conclusion
Attention <u>Évaluation</u>	(Rizzo et al., 2002a)	Évaluation des déficits d'attention dans une salle de classe virtuelle (n=19) (visiocasque)	EV utile pour le diagnostic des symptômes de HADA
	(Schultheis and Rizzo, 2002)	Évaluation des déficits d'attention dans un bureau virtuel (visiocasque)	EV utile pour le diagnostic chez patients atteints de TC[12] et chez personnes âgées
	(Lengenfelder et al., 2002)	Évaluation de l'attention partagée lors d'une séance de conduite (3 patients TC et 3 contrôles)	EV fiable pour pronostiquer les difficultés rencontrées dans la tâche réelle
	(Wann et al., 1997)	Éliminer les référentiels vestibulaires et visuels dans le cas de l'héminégligence visuelle (écran ordinateur)	Attente de résultats d'essais cliniques
	(Kodgi et al., 1999)	Évaluation de l'héminégligence visuelle avec enregistrement du mouvement des yeux (n=4) (visiocasque + suivi regard)	L'intégration du suivi du regard est bien adaptée aux objectifs d'évaluation
	(Maringelli et al., 2001)	Évaluation de l'attention (n=20 sujets sans déficit visuel) dans l'espace péri/extra personnel (visiocasque)	Résultats consistants avec organisation parallèle de 2 systèmes attentionnels
Attention <u>Réhabilitation</u>	(Myers and Bierig, 2000)	Diagnostic de l'héminégligence visuelle (n=5) Perspectives de réhabilitation (visiocasque)	Intérêt des mesures d'angles de rotation de la tête. La RV peut mieux stimuler la stratégie d'eye patching
	(Katz et al., 2004)	Rétablissement de la capacité de traverser des rues chez les patients héminégligents visuels (n=19) (écran ordinateur)	La RV augmente les comportements de prudence dans situations quotidiennes
Fonctions Exécutives <u>Évaluation</u>	(Pugnetti et al., 1998a)	Comparaison Wisconsin traditionnel/virtuel chez patients cérébrolésés (n=36) et contrôles (n=32) (visiocasque)	La tâche virtuelle paraît spécifier les altérations plus tôt que la tâche « papier-crayon »
	(Mendozzi et al., 1998)	Comparaison performances Wisconsin traditionnel/virtuel chez AVC[12]	Le système RV est plus précis dans la détection des déficits fonctions exécutives
	(Elkind et al., 2001)	Comparaison performances de sujets non altérés (n=63) dans WCST[12] et LFAM[14] (lunettes ou écran ordinateur)	Transfert d'apprentissage entre tâches réelle/virtuelle, motivation accrue pour RV
	(Zalla et al., 2001)	Évaluation génération et réalisation de scripts dans appartement virtuel (7 patients frontaux et 16 contrôles) (écran ordinateur)	La RV permet de montrer les altérations cognitives de sujets frontaux
	(Zhang et al., 2001)	Évaluation capacité à traiter et ordonner l'information dans cuisine virtuelle (30 patients TCs et 30 contrôles) (visiocasque, écran tactile)	Un EV représente un outil reproductible pour tester des fonctions cognitives
	(McGeorge et al., 2001)	Comparaison activité réelle/virtuelle (5 patients TC et 5 contrôles) (écran ordinateur)	Existence d'une corrélation entre performance réelle/virtuelle
	(Klinger et al., 2004a)	Évaluation de la planification de l'action dans un supermarché virtuel. Cadre de la maladie de Parkinson (écran ordinateur)	Description de l'intervention Étude préliminaire : évaluation de la sensibilité de l'approche

[14] LFAM : Look For A Match

	(Marié et al., 2005)	Résultats préliminaires de l'étude décrite ci-dessus (n=5) (écran ordinateur)	Utilisation des variables enregistrées pour comprendre l'altération de la planification
Fonctions Exécutives Réhabilitation	(Lo Priore et al., 2003)	Évaluation du syndrome dysexécutif dans un supermarché virtuel (visiocasque, écran ordinateur)	La RV pour l'entraînement à la reconnaissance d'objets et à leur utilisation
	(Lee et al., 2003a)	Étude de la mise en place d'une RC[12] dans un supermarché virtuel (n=5 patients cérébrolésés) (visiocasque)	Détection des difficultés techniques de l'utilisation de l'EV avec ces patients. Réflexion sur amélioration
Mémoire Évaluation	(Andrews et al., 1995)	Comparaison de la mémoire incidente dans 5 conditions dont appartement virtuel (sujets non altérés) (écran ordinateur)	Performance plus basse dans EV Influence de la distraction sur la mémoire incidente
	(Peruch et al., 1995)	Étude de l'influence de l'attitude active/passive dans un EV sur la mémoire (9 F et 9 H non altérés) (écran projection)	Importance de l'attitude active (navigation, perception) dans extraction des invariants de l'EV
	(Attree et al., 1996)	Étude mémorisation objets et lieux dans appartement virtuel chez sujets sains (étude 1 : 14 F et 16 H, étude 2 : 22 F et 8 H) (écran ordinateur)	Différenciation de la mémorisation chez sujets sains selon navigation active/passive
	(McComas et al., 1997)	Effet de la mobilité active/passive et des choix actifs/passifs sur le mémoire des enfants sains (étude1: n=52 ;étude2: n=32)	Importance de la navigation active dans la mémorisation
	(Aguirre and D'Esposito, 1997)	Repérage et examen visuel dans une ville virtuelle, couplés avec IRMf (n=4) (écran)	La connaissance spatiale est distribuée fonctionnellement dans le néocortex
	(Pugnetti et al., 1998b)	Spécification des types de mémoire mis en jeu lors de la navigation active/passive (écran ordinateur)	Réplication des résultats de Attree et al.
	(Astur et al., 1998)	Étude de l'apprentissage topographique et de la mémoire dans un Virtual Morris Water Maze (sujets sains ; 20 H et 20 F) (écran ordinateur)	Mise en évidence de différences selon le sexe
	(Waller et al., 1998)	Effet du niveau d'immersion sur le transfert de savoir spatial à partir d'EVs différents (sujets sains ; 61 H et 64 F) (visiocasque)	Un entraînement suffisant en EV surpasse un entraînement en ER, rôle du sexe
	(Sandstrom et al., 1998)	Étude des différences liées au sexe dans la navigation spatiale (sujets sains ; 24 H et 24 F) (écran ordinateur)	La navigation dans un Virtual Water Maze (vMWM) montre des différences
	(Berka and Slavik, 1998)	Description d'une application dans un EV à l'usage des aveugles Test sur 1 aveugle	Entrées auditives pour augmenter l'information environnementale
	(Cooper and Taylor, 1998)	EV pour aveugles avec son d'ambiance	Entrées auditives pour augmenter l'information environnementale
	(Lumbreras and Sanchez, 1998)	Description d'Audiodoom : un EV pour déficients visuels Test avec 7 enfants aveugles	Utilité de l'intégration audio dans un EV pour la génération de cartes spatiales et cognitives
	(Wilson, 1999)	Étude mémoire d'objets et orientation lors d'interaction active/passive (24 sujets sains) (écran ordinateur)	Pas de différence rapportée selon le mode d'interaction
	(Rose et al., 1999)	Spécification des types de mémoire mis en jeu lors de la navigation dans maison virtuelle (48 patients TCs et 48 contrôles) (écran ordinateur)	La RV permet la détection de déficits chez les patients Meilleure mémorisation de l'espace si actifs

	(Skelton et al., 2000)	Étude altérations liées aux TCs dans apprentissage des lieux et mémoire dans Virtual Arena Maze (12 patients TCs et 12 contrôles) (écran ordinateur)	Corrélation entre performances dans l'EV et celles dans monde réel. L'EV est un bon outil d'évaluation
	(Waller et al., 2001)	Comparaison de performances dans 3 versions d'un labyrinthe (sujets sains ; 12 H et 12 F) (écran ordinateur)	Les situations de RV montrent le rôle de la fidélité visuelle et les différences individuelles (sexe)
	(Astur et al., 2002)	Évaluation du fonctionnement de l'hippocampe dans un VMWM[12] (n=10 patients lésions hippocampe) (écran ordinateur)	La RV permet de montrer le rôle de l'hippocampe dans les capacités spatiales
	(Moffat and Resnick, 2002)	Aptitude des personnes âgées à développer des cartes cognitives après navigation dans VMWM (n=104 personnes âgées) (écran ordinateur)	Ce VWM montre les déficits des personnes âgées dans l'apprentissage des lieux
	(Morris et al., 2002a)	Comparaison mémoire prospective de sujets frontaux (n=35) et de sujets contrôle. Tâche de déménagement. (écran ordinateur)	Discrimination entre Patients et contrôles, et aussi patients avec diverses pathologies
	(Matheis et al., 2003)	Comparaison patients TCs (n=20) /contrôles (n=20) dans tâche de mémorisation dans bureau virtuel (visiocasque)	Résultats patients aussi bons que contrôles dans EV alors que moins bons dans tâche standard
	(Astur et al., 2004b)	Étude comparée de performances dans VMWM, VRAM[12] et rotation mentale (n=61 jeunes) (écran ordinateur)	Différences selon le sexe dans la rotation mentale et le vMWM. Pas de différence dans le vRAM.
	(Brooks et al., 2004)	Étude du recouvrement de la mémoire prospective dans un appartement virtuel (signal, temps, activité) (42 patients AVC[12] et 29 contrôles) (écran ordinateur)	Chez patients AVC, altération des tâches fondées sur signal et activité
Mémoire <u>Réhabilitation</u>	(Brooks et al., 1999b)	Approche « sans erreur » du rétablissement de la mémoire dans EV simulant lieu réel (une amnésique après AVC) (écran ordinateur)	La RV est utile pour la prévention des erreurs
	(Grealy et al., 1999)	Influence de l'exercice physique sur apprentissage et mémoire dans 3 scénarios virtuels (n=13 patients TCs) (vélo, écran)	L'entraînement physique améliore la forme physique et donc la réhabilitation
	(Thomas et al., 2001)	Évaluation de procédures d'entraînement de la mémoire couplées à de l'IRMf dans une Arena (4 études)	Des résultats intéressants pour la neuropsychologie clinique
	(Bertella et al., 2001)	Description de VETO : EV pour la désorientation topographique	La RV pour l'entraînement dans des environnements sécurisés
Habiletés spatiales <u>Réhabilitation</u>	(Wilson and Evans, 1996)	Transfert d'information spatiale d'un EV vers l'ER chez des enfants handicapés (n=10)	L'expérimentation dans l'EV améliore la connaissance de l'ER
	(Cromby et al., 1996)	Localisation d'objets, apprentissage et possibilités de transfert vers le monde réel (n=19) (supermarché) (écran ordinateur)	La répétition de la tâche dans le supermarché virtuel améliore la performance dans le supermarché réel
	(Stanton et al., 1998)	Étude du transfert d'apprentissage de l'EV vers l'environnement réel (ER)[15]. Description de 4 applications avec enfants handicapés (écran ordinateur)	L'exploration répétée d'un EV améliore la mémoire spatiale dans l'ER correspondant

[15] ER : Environnement réel

	(McComas et al., 1998)	Transfert de l'apprentissage de l'EV vers l'ER chez des enfants avec troubles moteurs. Description d'applications	L'entraînement dans un EV permet le transfert d'apprentissage spatial
	(Foreman et al., 2003)	Transfert d'apprentissage d'un EV vers ER chez des enfants handicapés (n=7) et non handicapés (n=12) (écran ordinateur)	Amélioration des capacités spatiales après entraînement dans EV. Importance de évaluation de la mémoire en EV
AVQs[16] Évaluation	(Inman et al., 1997)	Évaluation des comportements fonctionnels requis pour traverser les rues avec des enfants ayant troubles moteurs (fauteuil roulant, visiocasque)	Apprentissage dans les EVs Motivation des enfants
	(Desbonnet et al., 1998)	Développement d'EVs pour enfants handicapés (fauteuil roulant, visiocasque)	Description de la mise en place de l'application
	(Cobb et al., 1998)	Description de la création d'une ville virtuelle pour l'apprentissage d'AVQs. Test auprès de 20 patients (retard mental)	Apprentissage possible dans EV Discussion sur contraintes et limites
	(Brown et al., 1998)	Description de la création d'EVs pour l'apprentissage chez patients avec retard mental (n=15) (écran ordinateur)	La RV est un outil permettant l'abord des compétences à vivre de façon indépendante
	(Christiansen et al., 1998)	Évaluation de patients TCs (n=30) lors de la préparation d'un repas dans une cuisine virtuelle (2 fois/jour, 7 jours) (visiocasque)	Étude de faisabilité Incitation à continuer de tels développements
	(Liu et al., 1999)	Évaluation des performances de conduite en EV (*DriVR*^{TM}) de patients TCs (n=17) et de sujets sains (n=17) (visiocasque)	Le *DriVR* permet de discriminer patients et sujets sains
	(Rose et al., 2000)	Étude du transfert d'apprentissage de l'EV vers l'ER. Mesure et évaluation de ce qui est transféré dans une tâche sensorimotrice (3 études ; 250 étudiants) (visiocasque)	Discussion sur caractéristiques de la charge cognitive de l'entraînement dans un EV
	(Gourlay et al., 2000)	Développement d'un outil pour la réalisation d'applications virtuelles médicales. Tâches dans cuisine virtuelle (gant de RV)	Objectif : Supervision des fonctions exécutives Pas encore de résultats
	(Ku et al., 2002)	Simulateur de conduite, étude auprès de conducteurs sains (n=10) et accidentés (n=15) (frein, accélérateur, écran)	Pas d'influence sur résultats de la méthode de manipulation (main ou pied). Réduction de la peur de conduire avec les mains
	(Zhang et al., 2003)	Comparaison performances de patients TCs (n=54) dans cuisine virtuelle / réelle	Étude de faisabilité L'EV est un outil d'évaluation fiable et valide
	(McComas et al., 2002)	Évaluation de l'entraînement d'enfants à traverser des rues dans une ville virtuelle (n=95) (écrans + capteur de position)	La RV permet l'apprentissage de conduites sécuritaires mais le transfert dans le monde réel ne se produit pas pour tous
AVQs Réhabilitation	(Cromby et al., 1996)	Entraînement dans un supermarché virtuel d'étudiants handicapés (n=19)	Amélioration des performances dans l'ER après entraînement répétitif dans l'EV
	(Davies et al., 2002)	Trois applications pour réapprendre les activités de la vie quotidienne : cuisine, guichet automatique, recherche de chemin	Description de la création des EVs (sécurité, contrôlé, répétition)
	(da Costa and de Carvalho, 2004)	Description d'AVIRC[17] Test auprès de 4 patients schizophrènes (visiocasque)	Étude de faisabilité Résultats encourageants

[16] AVQs : Activités de la Vie Quotidienne
[17] AVIRC : Environnement Virtuel Intégré pour la Réhabilitation Cognitive

3.4 *Exploitation de la réalité virtuelle en psychophysiologie*

Les applications de la réalité virtuelle dans le domaine clinique connaissent actuellement un plein essor, du fait de l'évolution technologique et des résultats prometteurs de toutes les études préliminaires. Le souci des chercheurs est toujours de savoir si l'objectif clinique est atteint, si le bien-être du sujet est assuré, et enfin de faire évoluer les environnements virtuels créés. Dans tous les cas, ils s'intéressent à la perception et au jugement du participant : quel niveau de stress a-t-il atteint ? Quel était son niveau de présence (i.e. le sentiment d'être dans l'environnement virtuel) ? Quels stimuli étaient efficaces ? Etc.

Une connaissance des changements des signaux issus du cerveau ou des signaux bioélectriques périphériques peut servir divers objectifs lors du développement ou de l'application d'un système de réalité virtuelle (Pugnetti et al., 2001):

- Tester la sécurité d'un système de réalité virtuelle, par exemple, en faisant précéder l'application clinique par des études psychophysiologiques pour mieux comprendre l'impact sur la physiologie du sujet et pour éviter de manquer des conséquences importantes, favorables ou non, de l'exposition à l'EV ;
- Développer des EVs plus efficaces, par exemple, en réglant l'intensité, la fréquence et le rythme d'une combinaison donnée de stimuli au niveau désiré selon la catégorie d'utilisateurs ou l'objectif ;
- Étudier les différents aspects cognitifs des populations cliniques, par exemple le traitement de l'information, la réaction, l'exploration, la mémoire, la prise de décision, le traitement de l'erreur, l'apprentissage, etc ;
- Mesurer l'impact émotionnel de l'EV, des stimuli ;
- Mieux comprendre l'interaction homme-RV pendant les thérapies de désensibilisation, et la comparer avec les conditions réelles ;
- Contrôler dynamiquement les effets de l'EV, par conséquent en implémentant des interfaces cerveau-ordinateur et des systèmes de feedback ;
- Étudier l'effet de paramètres variables sur la réaction physiologique évoquée, par exemple déterminer si la réaction physiologique évoquée par l'EV est sensible à la fréquence d'affichage et à un temps de latence ;
- Aborder les importantes questions éthiques liées à certains types d'EVs largement diffusés pour le divertissement.

Une exploration subjective est réalisée grâce à des auto questionnaires mesurant par exemple le stress (Wolpe, 1969; Thyer et al., 1984), le degré de présence et de réalisme (Witmer and Singer, 1998), les malaises (Kennedy et al., 1992). Cette exploration est postérieure au test et dépend de la mémoire de l'événement. En ce qui concerne l'anxiété, Lang a montré que l'évaluation doit inclure des mesures objectives et subjectives (Lang, 1985), et que, si l'on s'intéresse au domaine de l'anxiété, le programme moteur de la peur (mis en évidence par l'excitation physiologique) doit être activé pour changer la structure de la peur chez l'individu et aboutir à des changements comportementaux.

3.4.1 Exploration objective des réactions

Les chercheurs ont donc mis en place des procédures de mesure objective des réactions des participants, grâce à des réponses physiologiques telles que fréquences cardiaque et respiratoire, résistance et température de la peau, EEG (Électroencéphalogramme), EMG (Électromyogramme), etc.

North et al. ont ainsi souhaité inclure des mesures objectives (EEG) aux traditionnelles mesures subjectives pour mesurer les effets d'une TRV (North et al., 2005).
Wiederhold et al. ont comparé les réponses physiologiques (FC : fréquence cardiaque, RP : résistance de la peau, et TP : température de la peau) de 36 sujets phobiques (aéro-acrophobes) et de 22 sujets non phobiques à l'exposition à un EV utilisé dans le traitement de l'aéro-acrophobie (Wiederhold et al., 2002b). Seule la résistance de la peau présentait une différence significative entre les deux populations (plus basse chez les phobiques). Au fur et à mesure de la progression de la thérapie, les réponses des sujets phobiques tendent vers les réponses des sujets non phobiques. Ce résultat vient confirmer la théorie de Foa selon laquelle la diminution de l'excitation se produit lorsque l'habituation s'installe (Foa and Kozak, 1986).
Meehan et al. ont conduit des expérimentations dont les résultats supportent l'utilisation de réactions physiologiques pour mesurer la présence dans un EV (Meehan et al., 2002). Les participants, équipés d'un visiocasque, étaient tout d'abord entraînés à marcher, prendre et déplacer des objets dans un environnement d'entraînement, tout à fait ordinaire. Puis il leur était demandé de prendre un objet et de le transporter dans une pièce adjacente, « Pit Room » : une pièce avec un trou central, menant à une autre pièce environ 6m plus bas. Les participants ont rapporté leurs frayeurs ressenties dans cet EV. Les résultats obtenus auprès de non phobiques montrent que la fréquence cardiaque a satisfait leurs exigences de mesure, la conductance de la peau dans une moindre mesure et la température de la peau pas du tout.
Stoermer et al. ont de leur côté montré que la variabilité de la fréquence cardiaque pouvait être considérée comme un instrument puissant et facile d'utilisation pour gérer le niveau de stress de l'utilisateur (Stoermer et al., 2000).
Jang et al. ont analysé les réponses physiologiques (FC, RP, et TP) de 11 participants non phobiques à deux EVs (conduite et vol en avion) (Jang et al., 2002). Ils ont montré que la variabilité de la résistance de la peau et celle de la fréquence cardiaque pouvaient être utilisées pour rendre compte de l'état d'excitation de participants exposés à des EVs. Ils ont également mis en évidence le retour à la normale des mesures dans le temps.
Ces deux variables physiologiques (FC et RP) ont également été mesurées pour évaluer l'effet de la latence sur le sentiment de présence dans des EVs anxiogènes (Meehan et al., 2003).
Un projet européen, le projet Intrepid (http://www.intrepid-project.org), a justement pour objectif le développement d'un système portable de RV pour le traitement des phobies. Ce système sera doté de différents capteurs permettant de mesurer la respiration, la conductance de la peau, le débit et la fréquence cardiaques, et ainsi d'identifier l'état émotionnel du participant. Ces informations seront transmises à l'EV qui évoluera en conséquence. Des essais cliniques sont prévus.

Le « monitoring » physiologique devient donc un outil intéressant et utile, en particulier dans le traitement des troubles anxieux, mais aussi dans l'évaluation des environnements virtuels et des traitements administrés au moyen de ces environnements.

3.4.2 Investigation des performances et des comportements

La possibilité de mesures physiologiques dans un EV offre également de nouvelles perspectives d'investigation des performances et comportements humains. Intégrés dans l'EV, les stimuli peuvent être programmés afin que des événements cognitifs se produisent dans des contextes spécifiques et sur une échelle de temps similaire à celle du comportement normal. La RV permet aussi de transposer chez l'homme des expérimentations ayant vu le jour chez des animaux et de venir ainsi confirmer des résultats ayant été établis chez l'animal.
C'est par exemple le cas de l'exploration du fonctionnement de l'hippocampe pendant la navigation de sujets et la réalisation de tâches, couplées à de l'imagerie par résonance

magnétique fonctionnelle (IRMf) ou de la tomographie d'émission par positron (PET), dans des environnements virtuels : virtual Morris Water Maze (vMWM) (Astur et al., 2003), ou encore arène virtuelle (vA) (Parslow et al., 2004). Astur et al. ont utilisé leur système virtuel chez des patients schizophrènes (n=12) et chez des sujets contrôle du même âge (n=10), et ont ainsi confirmé une activation inadéquate de l'hippocampe chez ces patients dans une tâche de mémoire spatiale. Parslow et al. ont comparé les performances de sujets contrôle et de patients souffrant de dommages anoxiques de l'hippocampe dans des tâches de mémoire égocentrique et allocentrique dans l'arène virtuelle. Les résultats chez les sujets contrôle montrent une activation bilatérale et postérieure de l'hippocampe lors de la tâche de mémoire allocentrique qui n'est pas retrouvée chez les patients. Dans ces deux études la tâche consistait en la recherche d'un objet caché au moyen de signaux distaux.

C'est aussi le cas de l'exploration des mécanismes de la peur et de l'anxiété. Il existe en effet un réel besoin de développer des outils d'investigation pouvant transcrire les recherches animales en expérimentations humaines (Grillon, 2002). C'est ainsi que le conditionnement par contexte a été reproduit dans un EV, le contexte devenant grâce aux technologies de la RV manipulable comme dans les modèles animaux (Baas et al., 2004).

3.4.3 Bilan des applications en psychophysiologie

Les expérimentations menées auprès de populations saines permettent la définition de normes physiologiques qui pourront servir d'outils de comparaison lors de l'analyse des réponses de patients présentant des troubles cognitifs et comportementaux (Moore et al., 2002; Baumann, 2005). Malgré les avancées technologiques, il faut encore prendre en considération le souci de la compatibilité des dispositifs de RV avec l'équipement d'enregistrement des données physiologiques.
Le tableau suivant (Tableau 4) récapitule les avancées de la RV en psychophysiologie.

3.5 *Conclusion*

Le raisonnement clinique qui soutient l'utilisation de la RV en psychothérapie est désormais bien établi, pourtant les recherches menées ne sont parfois que des études de faisabilité ou des essais préliminaires. Les études contrôlées apportant des résultats convaincants sur l'efficacité clinique de la méthode sont peu nombreuses en raison de l'absence de standardisation des systèmes de RV (matériels et logiciels) et des protocoles des différents groupes de recherche. Ce constat est à l'origine du projet de recherche VEPSY Updated financé par l'Union européenne, dont l'objectif a été l'organisation d'essais contrôlés multicentriques. Nous apporterons plus de précisions sur ce projet dans le Chapitre 4, rapportant l'expérimentation 1. Par ailleurs, les prévisions démographiques marquent la forte augmentation à venir de la population des plus de 65 ans. Selon l'INSEE, ils seront 10,4 millions en 2010, soit 1 million de plus qu'en 2000, et près de 19 millions en 2050, soit 28% de la population totale pour 16% aujourd'hui (Brutel and Omalek, 2003). Cette augmentation s'accompagne d'une accentuation considérable du nombre de patients touchés par les maladies liées au vieillissement, en particulier les maladies neurologiques. Or ces pathologies sont responsables de troubles neuropsychologiques qui deviennent un souci majeur de santé publique, comme nous le verrons dans le Chapitre 5 rapportant l'expérimentation 2. Les technologies de la réalité virtuelle sont donc appelées à jouer un rôle de plus en plus important dans la création de nouveaux outils à visée diagnostique, thérapeutique mais aussi de soutien, au sein de collaborations interdisciplinaires étroites.

Tableau 4 : Applications de la réalité virtuelle en psychophysiologie

Intervention	Auteurs	Objectif	Conclusion
Mesures physiologiques	(Wiederhold et al., 2002b)	Étude de réponses physiologiques à des EVs, Analyse des tendances physiologiques de phobiques au cours de la TRV (visiocasque) Phobiques (n=36), non phobiques (n=22) Mesures : FC[18], RP[19], TP[20]	Mesure significative : RP Chez les phobiques, avec l'avancée du traitement, tendance vers les réponses des non phobiques
	(Meehan et al., 2002)	Comparaison des réactions physiologiques dans un EV non anxiogène puis dans un EV anxiogène (PitRoom) (visiocasque) Mesure de la présence (expositions multiples, haptique passive, fréquence d'affichage) Mesures : FC, RP, TP	FC : indicateur possible de la sensation de présence CP : indicateur moyen TP : pas un indicateur
	(Meehan et al., 2003)	Effet de la latence (faible : 50ms et forte : 90 ms) sur des mesures de l'efficacité d'un EV (Pitroom) (visiocasque) (n=164) Mesures : FC, CP[21]	Si la latence est faible : la présence est élevée et la variation de FC dans les deux conditions d'exposition est significative.
	(Stoermer et al., 2000)	Étude du monitoring de l'interaction humaine en EV (Tour de Hanoï) (n=11) (visiocasque) Mesures : ECG, pneumographie par impédance, pression sanguine, saturation en oxygène	Fréquence cardiaque : instrument puissant et facile à utiliser pour gérer le niveau de stress de l'utilisateur
	(Jang et al., 2002)	Analyse des réactions physiologiques de sujets non phobiques (n=11) dans 2 EVs : conduite de voiture et vol en avion (visiocasque) Mesures : FC, RP, TP	RP et FC : mesure de l'excitation pendant l'exposition FC : évaluation de l'état émotionnel
	(Baas et al., 2004)	Étude du conditionnement par contexte dans un environnement virtuel (n=22) (écran ordinateur) Mesure : Réflexe sursaut de l'oeil	La RV permet de créer des EVs de conditionnement pour étudier la peur et l'anxiété
	(North et al., 2005)	Mesure de l'activité cérébrale en réponse à une TRV : avec/sans immersion (visiocasque), avec/sans interaction (n=15 étudiants) Mesure : EEG	Mise en évidence de la variabilité de l'activité cérébrale
IRMf	(Astur et al., 2004a)	Exploration du fonctionnement de l'hippocampe par IRMf lors d'une Virtual Morris Water Task auprès de 12 schizophrènes et 10 contrôles	Mise en évidence : les schizophrènes ont des modes d'activation de zones du cortex différents des contrôles.
	(Baumann, 2005)	Étude par IRMf de la fonction cognitive lors de la réalisation de tâches dans un EV par des sujets sains	Corrélation significative entre difficulté de la tâche et intensité des pixels dans les lobes antérieurs frontaux. Production de données normatives pour comparaisons ultérieures avec patients

[18] FC : Fréquence cardiaque
[19] RP : Résistance de la peau
[20] TP : Température de la peau
[21] CP : Conductance de la peau

Chapitre 4 Expérimentation 1 : Le traitement de la phobie sociale

4.1 *Le contexte : Le projet européen VEPSY*

Retenu dans le 5ème PCRD, le projet européen VEPSY Updated, « Telemedecine and Portable Virtual Environments in Clinival Psychology » (IST-2000-25323) a concerné douze groupes de recherche provenant de trois pays européens : l'Italie, l'Espagne et la France (www.vepsy.com). Le laboratoire GREYC – ENSICAEN, de Caen, était le partenaire français du projet VEPSY (Figure 39), qui a été mené de janvier 2001 à juin 2003.

Le principal objectif du projet VEPSY a été de prouver la viabilité technique et clinique de l'utilisation de systèmes de réalité virtuelle portables et partagés en psychologie clinique, les troubles sélectionnés étant l'anxiété (phobie sociale et trouble panique avec agoraphobie), l'obésité et les troubles alimentaires, et enfin les troubles sexuels masculins (Riva et al., 2001a).

Pour atteindre cet objectif, les partenaires du projet VEPSY ont :

- Créé et développé quatre modules cliniques utilisant la réalité virtuelle pour les quatre troubles envisagés. Pour en assurer l'utilisation la plus large, ces modules devaient à la fois être des outils de télémédecine partagés, utilisables grâce à l'Internet, mais aussi des outils portables, basés sur de simples PC. Ce choix leur assurait de moindres coûts, une grande accessibilité, une architecture ouverte ainsi qu'une possibilité d'évolution et d'amélioration. Tous les environnements devaient être développés avec la même plateforme de développement française, Virtools™ (www.virtools.com).
- Défini de nouveaux protocoles de traitement pour l'utilisation des modules cliniques dans l'évaluation et la thérapie.
- Testé l'efficacité des modules grâce à des essais cliniques.
- Disséminé les résultats obtenus vers des audiences élargies, à la fois auprès des cliniciens et auprès des utilisateurs potentiels.

Le rôle du laboratoire GREYC – ENSICAEN dans le Consortium a été d'offrir l'expertise technique nécessaire au développement des modules concernant la Phobie Sociale ainsi que l'expertise clinique requise pour les tests cliniques. Le projet a été initié au GREYC par Pierre Nugues. L'équipe scientifique était pluridisciplinaire, constituée de cinq personnes : Evelyne Klinger, ingénieur, Isabelle Chemin, graphiste, Patrick Légeron, psychiatre, Françoise Lauer, psychologue et Stéphane Roy, psychologue. Les développements ont été réalisés au GREYC à Caen et à Sophia-Antipolis, les tests cliniques se sont déroulés dans l'Unité de Thérapie Comportementale et Cognitive de l'Hôpital Sainte-Anne, à Paris, sous la responsabilité du Pr Légeron. L'encadrement scientifique et administratif du projet était sous la responsabilité d'Evelyne Klinger.

Ce projet européen d'une durée de trente mois s'est terminé fin juin 2003 ; les résultats en sont maintenant connus et publiés.

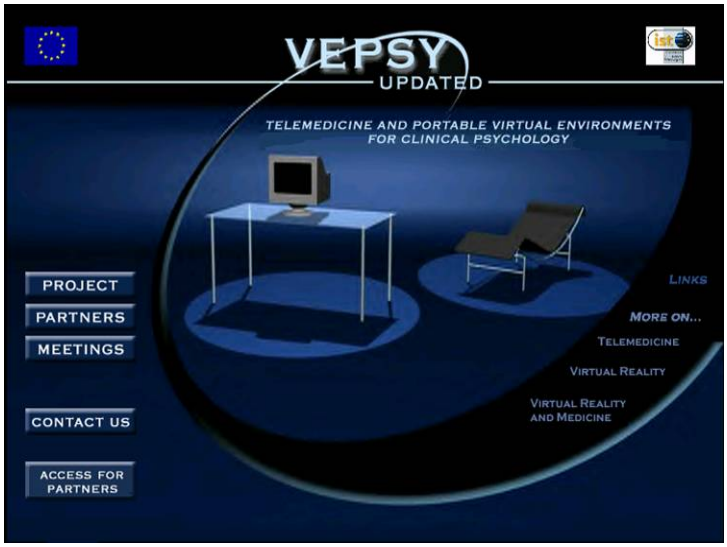


Figure 39 : Le projet VEPSY Updated

4.2 *La phobie sociale*

La phobie sociale est un trouble mental répertorié au sein des troubles anxieux dans les deux principales classifications psychiatriques, le DSM IV, Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 4th Édition, de l'American Psychiatric Association (APA, 1994), d'une part et la CIM 10, Classification Internationale des Maladies 10ème Édition, de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1992) d'autre part.

La phobie sociale est caractérisée par une peur persistante et irrationnelle de certaines situations sociales dans lesquelles le sujet est exposé à une éventuelle observation attentive d'autrui et dans lesquelles il craint d'agir de façon humiliante ou embarrassante. En d'autres termes, la phobie sociale est la peur et l'anxiété, persistantes et marquées, d'être jugé et évalué négativement par autrui, conduisant à des sentiments d'infériorité, d'embarras, d'humiliation et à la dépression (Légeron and Gailledreau, 1998).

On distingue la phobie sociale *spécifique* (i. e. limitée à la peur d'un petit nombre de situations sociales comme la peur de parler devant un public ou de jouer d'un instrument pendant un concert) de la phobie sociale *généralisée* (i. e. la peur devant presque toutes les situations sociales). Il est beaucoup plus courant pour les phobiques sociaux de présenter une forme généralisée de ce trouble. Quand l'anxiété anticipatoire, l'inquiétude, l'indécision, la dépression, l'embarras, les sentiments d'infériorité et l'auto-dévalorisation sont impliqués dans la plupart des situations de la vie, une forme générale de phobie sociale est à l'œuvre (André and Légeron, 1995). Une classification hiérarchique de l'anxiété sociale en quatre grands types de situations a été proposée (Holt et al., 1992) : anxiété de performance (cours, conférences, prise de parole lors de réunions, …), anxiété d'intimité (être présenté à des personnes inconnues, être invité à une soirée où l'on ne connaît personne, …), anxiété d'affirmation (exprimer son désaccord, donner son avis, refuser, …) et anxiété d'observation (effectuer une tâche, manger, boire, marcher … sous le regard des autres).

La prévalence des phobies sociales est restée longtemps mal connue. Les études épidémiologiques récentes indiquent que la phobie sociale touche entre 2 et 4 % de la population adulte, faisant de cette maladie l'une des pathologies mentales les plus fréquentes (Lépine and Pélissolo, 1999; André and Légeron, 2000). Selon la National Comorbidity Survey (NCS) (Kessler et al., 1994), la prévalence de la phobie sociale à douze mois et sur la durée de la vie peuvent atteindre respectivement 8% et 13%. Cette maladie apparaît généralement entre les âges de quinze et vingt ans et, contrairement aux autres troubles anxieux, présente un sexe ratio égal à un (11% chez les hommes et 15% chez les femmes selon la NCS).

Les stimuli phobogènes peuvent être la prise de parole en public (réunion, discours, examen), l'exécution de tâches sous le regard d'autrui (écrire, manger, travailler, …), l'initiation de conversations avec des personnes connues ou étrangères, le simple fait d'attirer l'attention d'autrui (arriver en retard à une réunion, marcher devant une terrasse de café, …).

Les manifestations physiologiques qui accompagnent la phobie sociale incluent une peur intense, une accélération de la fréquence cardiaque, le rougissement, une transpiration excessive, la bouche et la gorge sèches, des tremblements, la difficulté d'avaler, des contractions musculaires, particulièrement au niveau de la face et du cou. Une anxiété intense et constante qui ne disparaît pas, est la plus commune des sensations ressenties.

Des conduites d'évitement s'organisent progressivement autour de cette pathologie. Leur retentissement sur la vie sociale, affective ou professionnelle peut être majeur, exposant le sujet à des complications sévères (dépression, suicide, alcoolisme, …) (André and Légeron, 1995; Kessler et al., 1998).

L'installation de la phobie sociale n'a pas encore été totalement expliquée. Il est probable qu'une phobie sociale puisse apparaître soudainement comme le résultat d'une expérience particulièrement négative (traumatisme). Différents facteurs possibles ont été suggérés, comme l'apprentissage social, des capacités sociales défectueuses, des facteurs biologiques et génétiques.

4.3 *Les traitements traditionnels*

Ce trouble longtemps ignoré, fait depuis une quinzaine d'années l'objet de nombreuses recherches. Il a ainsi pu être démontré que la phobie sociale était accessible à deux formes de traitements donnant des résultats validés scientifiquement (Heimberg and Barlow, 1991) : d'une part certains médicaments (Liebowitz et al., 1991) et, d'autre part, des psychothérapies comportementales et cognitives (Mersch, 1994).

4.3.1 Les traitements médicamenteux

Les béta-bloquants peuvent être prescrits pour des usages occasionnels dans des situations où l'apparition de symptômes physiques est redoutée (i.e. la peur de tremblements lors d'un discours). Ils permettent de réduire l'appréhension et l'anxiété psychique. Certains médicaments inhibiteurs de la recapture de la sérotonine présentent également une certaine efficacité. Les chances d'aboutir à des effets positifs durables au moyen de médicaments antidépresseurs sont accrues par l'adjonction d'une thérapie comportementale.

4.3.2 Les thérapies cognitives et comportementales

Les thérapies cognitives et comportementales (TCC) sont une forme de traitement fortement orienté vers la réduction des symptômes (Marks, 1992; Heimberg et al., 1995). Une investigation attentive est toujours menée pour déterminer comment les symptômes sont apparus et pourquoi ils persistent. Le traitement est donné selon un plan structuré. Le thérapeute comportementaliste choisit les méthodes et les techniques dont l'efficacité pour combattre de tels symptômes a été prouvée. Il donne au patient des tâches à accomplir à son domicile. Entre les séances le patient note toutes sortes d'informations et pratique des exercices. Étape après étape, la difficulté des situations à affronter augmente graduellement.

Trois aspects doivent être distingués dans la TCC de la phobie sociale (Barlow and Lehman, 1996) :

- La gestion des pensées anxiogènes

La gestion des pensées anxiogènes est aussi connue sous le nom de thérapie cognitive. La première étape est de traquer les pensées négatives qui sont alors examinées pour voir si elles sont justifiées. Si possible, elles sont remplacées par des pensées plus réalistes et souvent plus positives.

- L'acquisition d'aptitudes sociales

Il a été montré que les phobiques sociaux deviennent anxieux car ils ont des aptitudes sociales défectueuses. Le risque de rejet est plus grand si la personne ne sait pas initier une conversation ou rejeter une demande. L'acquisition d'aptitudes sociales est généralement menée en groupes. Les options comportementales et sociales sont discutées, démontrées et pratiquées par des jeux de rôle.

- La maîtrise de l'évitement

La thérapie comportementale ne peut réussir que si l'évitement est surmonté. Une approche très efficace est celle de l'utilisation d'exercices d'exposition (Butler, 1985; Heimberg et al., 1995). Dans ce cas, le patient est exposé aux situations qui suscitent l'anxiété. Habituellement, le patient débute avec une situation aisée. L'exercice se poursuit alors en augmentant les difficultés dans la situation. Un phobique social s'exercera par exemple à se rendre à une fête, à boire un verre dans un café. Un autre élément clé dans les traitements de l'anxiété et des phobies fondés sur la thérapie comportementale est l'usage d'exercices de relaxation (Bernstein and Borkovec, 1973). La tension physique est ainsi réduite, rendant les autres exercices moins difficiles.

Les TCCs vont donc agir sur la phobie sociale de trois manières (Barlow and Lehman, 1996) : (a) par confrontation régulière et prolongée du sujet à des situations sociales anxiogènes (thérapie d'exposition) ; (b) par modification des raisonnements du sujet et de ses évaluations des situations sociales (thérapie cognitive) ; (c) par apprentissage de comportements relationnels plus efficaces (thérapie d'affirmation de soi).

Les études n'ont toujours pas défini laquelle de ces trois composantes est la plus efficace pour réduire l'anxiété sociale des sujets phobiques. Cependant, il semble que l'exposition aux situations sociales redoutées (surtout si conjointement le sujet apprend à modifier ses raisonnements et à changer certains de ses comportements) soit fondamentale pour obtenir une amélioration de la symptomatologie anxieuse (Légeron and Tanneau, 1998).

Les thérapies d'exposition se font classiquement soit *in vivo* (le sujet est confronté à des situations sociales réelles), soit en imagination. Cette dernière procédure est souvent réalisée lorsque la confrontation à des situations réelles est difficile à réaliser, avec cependant l'inconvénient majeur de ne reproduire que très imparfaitement les situations. En effet dans l'exposition par imagination, les patients phobiques doivent imaginer les stimuli anxiogènes et il a été montré que bon nombre d'entre eux ne le peuvent pas ou sont trop phobiques pour imaginer la situation prescrite par le thérapeute. Par ailleurs, le thérapeute ne sait pas ce que le patient imagine vraiment.

4.4 *Le nouveau traitement fondé sur la réalité virtuelle*

Les TCCs incluent l'exposition à des situations anxiogènes. De ce fait, la plupart des thérapies utilisant la réalité virtuelle pour traiter les phobies sont fondées sur le principe de l'exposition qui consiste en la confrontation et l'accoutumance du patient aux situations de stress (Rothbaum et al., 1996; North et al., 1998b). Cette technique tente d'imiter l'exposition *in vivo* qui est normalement pratiquée dans le monde réel.

En utilisant des mondes artificiels, la réalité virtuelle élimine de nombreuses contraintes du monde réel et apparaît donc comme un outil aux multiples avantages. Elle permet l'exposition à des situations nombreuses et variées tout en créant un fort sentiment de présence dans la situation (North et al., 1997a). Un des principaux atouts de la réalité virtuelle est la possibilité donnée au thérapeute de contrôler l'intensité des stimuli (i. e. variation des situations de stress, addition de nouvelles sources de stimuli : tactile, visuelle, …) afin de faire progresser le patient d'une manière continue et douce. En plus, le patient, tout comme le thérapeute, a la possibilité d'arrêter immédiatement la simulation en cas de malaise. Ce n'est pas possible dans les expositions *in vivo* pendant lesquelles il peut être difficile ou long d'arrêter la thérapie.

L'exposition par réalité virtuelle, que nous pouvons appeler ici exposition *in virtuo*, peut devenir une étape intermédiaire utile pour les phobiques sociaux qui ressentent une aversion face aux situations du monde réel. De plus toute la thérapie est conduite dans le bureau du thérapeute, ce qui préserve ainsi l'indispensable confidentialité (Riva et al., 2001a).

4.4.1 Présentation des études relatives à la phobie sociale

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, plusieurs études contrôlées ont confirmé l'efficacité de l'exposition par réalité virtuelle pour les troubles phobiques tels que l'acrophobie (Emmelkamp et al., 2002), la peur de voler (Rothbaum et al., 1996), l'arachnophobie (Garcia-Palacios et al., 2002) ou l'agoraphobie (Botella et al., 2004c).

Parallèlement aux travaux menés sur l'impact émotionnel et physiologique d'humains virtuels (Slater et al., 1999; Slater et al., 2004), diverses études ont étudié l'efficacité de la thérapie par réalité virtuelle dans le traitement d'un sous-type de la phobie sociale qui est plus précisément la peur de parler en public (North et al., 1998b; Harris et al., 2002).

La première étude (North et al., 1998b)a concerné seize participants ayant tous été diagnostiqués souffrant de la peur de parler en public. Elle a permis de comparer une thérapie par réalité virtuelle (TRV) (n=8) à une condition contrôle (n=8). Dans la condition virtuelle, huit participants ont été exposés à une audience importante dans un théâtre virtuel (visiocasque), tout en étant guidés pour gérer leur phobie. Dans la condition contrôle les huit participants ont été exposés à une situation virtuelle triviale, sans programme de traitement systématique et sans aide. Le traitement a été mené pendant cinq séances hebdomadaires, durant chacune entre 10 et 20 minutes. Des mesures subjectives ont été effectuées (e.g. ATPSQ : Attitude Towards Public Speaking Questionnaire et SUDs), ainsi que des mesures objectives (fréquence cardiaque). Nous avons rapporté les résultats de cette étude dans le chapitre 3, $3.1.2.1. Elle a montré que l'ERV pouvait permettre de réduire l'anxiété des patients face à un public.

Dans la seconde étude (Harris et al., 2002), menée par la même équipe de chercheurs, quatorze étudiants ont été répartis entre une TRV (n=8) et une liste d'attente (n=6) considérée comme condition de contrôle. L'ERV se déroulait dans un auditorium virtuel (visiocasque). Le traitement a été délivré par un thérapeute, sur quatre semaines lors de séances de 12 à 15 minutes. Des mesures subjectives et objectives semblables à celles de l'étude précédente ont permis l'évaluation de l'évolution des patients. Les résultats ont montré l'efficacité de la TRV pour réduire la peur de parler en public sur la plupart des mesures, mais pas sur la mesure caractéristique de la phobie sociale, le LSAS (Liebowitz Social Anxiety Scale) (Liebowitz, 1987). Par ailleurs, la comparaison des résultats des deux conditions (TRV et liste d'attente) indique que la seule amélioration significative concerne le PRCS (Personal Report of Confidence as a Speaker).

Ces deux études traitaient de la peur de parler en public, qui représente un des sous-types le moins sévère de la phobie sociale. Elles ne prétendaient pas viser la phobie sociale : les participants n'avaient pas été diagnostiqués comme phobiques sociaux ; le traitement ne visait pas les problèmes généraux de la phobie sociale ; et enfin, les résultats n'ont pas été étendus à la phobie sociale.

Cependant il a été publié une étude au cours de laquelle la réalité virtuelle a été utilisée avec des phobiques sociaux (Anderson et al., 2003). Un environnement virtuel créé pour la peur de parler en public a été intégré à une thérapie cognitive et comportementale délivrée à deux patientes souffrant de phobie sociale. La participante, porteuse d'un visiocasque, se retrouvait dans une salle de classe virtuelle devant un podium virtuel sur lequel le texte d'un exposé pouvait être visualisé. L'audience était constituée de cinq à six personnes assises autour d'une table ; elle était réalisée grâce à des séquences vidéo incrustées dans l'EV et gérées par le thérapeute. Des données cliniques et des auto-questionnaires ont été enregistrés avant, pendant et après les traitements. D'après les observations cliniques et les comparaisons avec les résultats publiés d'autres études, le traitement a été jugé efficace.

D'autres équipes de recherche travaillent aussi sur le développement d'EVs pour le traitement de la phobie sociale (Herbelin et al., 2002; James et al., 2003). Herbelin et al. se sont dirigés vers la création d'un EV symbolique : le sujet, qui porte un visiocasque, est placé au centre d'une audience virtuelle circulaire constituée de regards. Leurs premières expériences auprès de dix participants (5 phobiques et 5 non phobiques) ont laissé entrevoir les potentiels du système.

4.4.2 Présentation de l'essai « Phobie Sociale et Réalité Virtuelle »

L'originalité de notre travail est, d'une part, de prendre en compte la diversité des situations sociales qui peuvent potentiellement induire l'anxiété et l'évitement, et d'autre part, d'évaluer l'efficacité de l'ERV pour les phobiques sociaux. Son objectif est donc d'évaluer l'efficacité d'une thérapie par réalité virtuelle (TRV), comparée à un traitement psychologique validé, la thérapie cognitive et comportementale de groupe (TCC) (Nugues et al., 2001).

Le travail qui va être présenté a tout d'abord été expérimenté lors d'un essai clinique préliminaire ayant deux objectifs :

- l'un d'évaluation, pour tester grossièrement l'efficacité de la thérapie par réalité virtuelle définie dans le protocole, pour le traitement de la phobie sociale et pour évaluer le confort et la maniabilité des technologies utilisées, l'aisance du patient ;
- et l'autre d'amélioration, pour apporter des modifications aux environnements virtuels créés, et au déroulement des séances de thérapies virtuelles.

Cette étude pilote a été évaluée par deux expertises, l'une clinique du Pr. J.P. Boulenger, Service Universitaire de Psychiatrie Adulte, Hôpital La Colombière, Montpellier, l'autre technique du Pr. F. Vandamme, Laboratory for Applied Epistemology, Ghent University, ainsi que par une expertise ergonomique de DIST, Department of Communication, Computer and System Sciences, University of Genoa. Il a également fait l'objet de deux rapports (Klinger et al., 2002b, c), et de trois publications (Klinger et al., 2002a, 2003a; Roy et al., 2003). Elle a ensuite été validée par un essai clinique que nous intitulerons « Phobie Sociale et Réalité Virtuelle ».

4.5 *La conception et la création des environnements virtuels*

Nous allons maintenant décrire notre démarche de conception et de réalisation des EVs qui a été menée dans le cadre du projet VEPSY et s'est appuyée sur la classification hiérarchique de la phobie sociale. Les moyens techniques utilisés seront décrits.

4.5.1 Cadre du projet VEPSY

Ainsi que nous l'avons déjà évoqué, le principal objectif du projet VEPSY était de prouver la viabilité technique et clinique de l'utilisation de systèmes de réalité virtuelle portables et partagés en psychologie clinique (Riva et al., 2003a) (www.vepsy.com). Les environnements devaient donc être créés pour tourner sur des ordinateurs de bureau ordinaires, simplement dotés d'une bonne carte graphique. Dans le souci de les rendre téléchargeables, un compromis devait être recherché entre le réalisme des environnements et la taille des fichiers.

Un effort de standardisation était demandé aux partenaires, c'est ainsi qu'une plateforme de développement a été choisie par le Consortium ; il s'est agi de la plateforme Virtools™ [22] Dev 2.0 Education. Enfin, le test de différents degrés d'immersion a été envisagé par le Consortium qui a réparti entre les quatre partenaires les diverses possibilités d'exposition des patients. Notre groupe s'est vu attribuer la condition non immersive, i.e. l'exposition devant un écran d'ordinateur.

[22] Virtools™, 93 rue Vieille du Temple 75003 Paris, France

4.5.2 Conception des situations virtuelles

Notre démarche de conception s'est donc appuyée sur la classification hiérarchique de l'anxiété sociale selon quatre grands types de situations (Holt et al., 1992) : performance, intimité, affirmation et observation. L'étroite collaboration entre les deux équipes, celle du GREYC – ENSICAEN et celle de l'hôpital Sainte-Anne, a permis la sélection de quatre situations d'exposition correspondant aux quatre types d'anxiété visés. Les scénarios ont été rédigés avec une définition précise des objectifs à atteindre (Annexe 1) (Nugues et al., 2001):

- Scénario de performance : prendre la parole devant un groupe
- Scénario d'intimité : établir des contacts informels, mener des conversations banales
- Scénario d'affirmation : défendre ses intérêts, son point de vue, se faire respecter
- Scénario d'observation : agir sous le regard des autres, être observé.

Enfin les EVs correspondants ont été créés. Rappelons que l'objectif de l'exposition à ces environnements est de réduire le malaise des patients (anxiété, évitement) dans les situations réelles correspondantes. Ces situations d'interaction sociale impliquent la présence d'humains virtuels. Le choix de la représentation de ces personnages résulte de la concertation entre nos deux équipes, mais aussi du compromis que nous avons dû trouver entre réalisme, nombre de personnages virtuels à créer et contraintes du projet. Nous avons ainsi opté pour l'utilisation d'images réalistes prises dans des situations de vie quotidienne. Un cinquième environnement, qualifié de neutre, sans personnages ni sons, est destiné à l'entraînement aux techniques de navigation et interaction (Klinger et al., 2003a).

Notre réflexion s'est également portée sur la gestion de la progression dans la séance et sur l'évaluation de l'état comportemental et cognitif du patient. Elles ont été confiées au thérapeute qui accompagne le patient tout au long de la séance. Les possibilités offertes par la réalité virtuelle de faire des pauses, de revenir en arrière sur des situations jugées difficiles nous ont permis de mettre en place différents types d'expositions (évaluation ; thérapie : spontanée ou guidée) que nous détaillerons ultérieurement (cf § 4.6.3).

4.5.3 Création des environnements virtuels

4.5.3.1. Les outils et les principes

La création des environnements virtuels 3D utilisés dans le traitement de la phobie sociale a nécessité l'utilisation de deux logiciels principaux pour PC : (a) un outil graphique, Discreet 3D Studio Max[23], pour la création d'objets tri-dimensionnels, la production d'effets visuels, la création de mondes 3D complexes (Annexe 14); (b) une plateforme de développement d'environnements interactifs 3D, Virtools™[22] Dev 2.0 Education, moteur d'intégration 3D temps réel, permettant de créer des moyens 3D interactifs, d'animer des médias importés, de créer des médias simples, e.g. des caméras, des lumières. Virtools™ Dev est : (a) un moteur comportemental qui permet de contrôler dynamiquement la plupart des objets de l'environnement ; (b) un moteur de rendu graphique qui gère l'affichage des décors et des animations vus à l'écran (Annexe 15).

[23] Discreet 10 Duke Street, Montreal, Quebec H3C 2L7 Canada

Virtools™ Dev a été utilisé pour intégrer tous les objets 3D et tous les média (textures, sons) créés puis pour implémenter l'interactivité nécessaire au déroulement des scénarios. Des comportements peuvent être appliqués à presque toutes les entités se trouvant dans une composition Virtools. Chaque comportement (Building Block) une fois exécuté peut activer d'autres comportements au moyen de liens.

Les personnages virtuels de nos environnements sont des *3D Sprites,* i.e. de simples surfaces planes texturées, simulant des objets 3D et contraintes à regarder constamment la caméra (le patient). Pour créer les textures, des personnes réelles ont été filmées dans leurs activités quotidiennes avec une caméra vidéo digitale. Les sons, nécessaires à l'interaction sociale dans les scénarios, ont été enregistrés en situation réelle.

Le patient expérimente les EVs d'un point de vue subjectif, sans l'intermédiaire d'un avatar[24] qui aurait pu gêner son identification et son engagement. Il peut interagir avec certains objets, e.g. les portes. Des aides logicielles sont parfois apportées de façon à le libérer des soucis de précision dans la navigation. Ainsi quand le patient doit s'asseoir sur une chaise, il se dirige vers la chaise et à proximité de celle-ci le logiciel prend en main l'action de s'asseoir.

Le thérapeute détient le contrôle de l'évolution de l'EV au cours de la séance de thérapie, pouvant introduire des personnages virtuels ou des sons, gérer la progression de la séance.

4.5.3.2. Les environnements virtuels

Le contenu de chaque EV et le déroulement du scénario correspondant sont décrits ci-dessous, et plus en détail dans l'Annexe 1, (Klinger et al., 2003b; Klinger et al., 2004c).

Environnement neutre : Entraînement
Objectif : Le patient apprend à évoluer dans un environnement neutre.
Trois pièces avec des objets tels que tables, chaises, lit, des tableaux sur les murs ont été créées de part et d'autre d'un couloir. Le patient y apprend à avancer, reculer, tourner ; à regarder en haut, en bas ; à ouvrir des portes ; à s'asseoir sur une chaise.

Environnement 1 : Anxiété de performance
Objectif : Le patient apprend à parler devant un public, une audience (Figure 40).
Dans une salle de réunion, le patient rejoint sept autres participants, déjà assis et parlant autour d'une table. Le patient atteint tout d'abord la chaise libre. Après l'arrivée du directeur, il doit se présenter, tout en étant interrompu par un des participants. Puis il doit se lever, se rendre près d'un tableau et faire une présentation pendant que tous le regardent de manière attentive ou non, montrant tour à tour des signes d'intérêt, de désapprobation ou d'ennui.

Environnement 2 : Anxiété d'intimité
Objectif : Le patient apprend à établir des contacts avec des voisins, des amis, à tenir des conversations banales (Figure 41).
L'EV présente un appartement avec son mobilier : une table mise pour le repas, un salon, une cuisine, et des objets décoratifs tels que lampes, étagères et tableaux. Un ami invite le patient avec quatre autres convives qu'il ne connaît pas. Le patient doit se présenter, parler de la décoration et répondre aux questions quand tous les invités se retrouvent autour de la table.

[24] Avatar : Représentation de l'utilisateur dans l'EV

Environnement 3 : Anxiété d'observation

Objectif : Le patient apprend à se déplacer et à parler alors qu'il se trouve sous le regard de personnes inconnues (Figure 42).

Le patient se déplace à partir d'une rue bordée d'arbres vers une place et la terrasse d'un café. De nombreuses personnes le regardent. Elles sont assises sur des bancs, à des tables ou se tiennent debout. Le patient doit entrer dans le café, chercher un ami, puis le rejoindre et s'asseoir à côté de lui sur une chaise libre et enfin engager une conversation avec lui. Le serveur arrive pour prendre la commande puis se faire payer. Une erreur sera commise dans le règlement de l'addition. Dans toutes les situations le patient est observé.

Environnement 4 : Anxiété d'affirmation

Objectif : Le patient apprend à protéger ses intérêts, ses points de vue, à se faire respecter (Figure 43).

Trois lieux principaux ont été créés : un immeuble, une rue et un magasin de chaussures. L'appartement virtuel du patient est à l'étage de l'immeuble. Le patient doit entrer dans un ascenseur où se tiennent deux personnes qui vont le critiquer. En bas, trois personnes bloquent la porte de sortie de l'immeuble. Elles ne se déplaceront que lorsque le thérapeute aura jugée correcte la demande du patient. Dans le magasin de chaussures, un directeur et deux vendeuses vont essayer, de façon répétitive, de vendre au patient des chaussures. Ce dernier devra sortir sans achat. Le patient peut aussi se déplacer dans la rue qui relie l'entrée de l'immeuble au magasin. Des personnages s'y tiennent debout ou assis sur des bancs.



Figure 40 : Scénario de performance



Figure 41 : Scénario d'intimité



Figure 42 : Scénario d'observation



Figure 43 : Scénario d'affirmation de soi

4.5.4 Interfaçage

Dans le cadre de l'étude, les patients ont navigué dans les environnements et interagi avec certains objets en utilisant la souris, les flèches de déplacement du clavier ou une manette, le Cyberpuck. Les environnements étaient visualisés sur un grand écran d'ordinateur. En parallèle, des expérimentations ont été menées avec le casque de visualisation VFX3D accompagné du Cyberpuck. Les EVs sont visualisés avec le Virtools Web Player, téléchargeable à partir du site de Virtools (www.virtools.com) (Annexe 3). Un manuel décrivant les diverses instructions a été rédigé et mis à disposition des thérapeutes (Annexe4).

4.6 *Méthodologie de l'essai clinique « Phobie Sociale et Réalité Virtuelle »*

L'essai clinique « Phobie Sociale et Réalité Virtuelle » s'est déroulé dans l'Unité de Thérapie Comportementale et Cognitive de l'Hôpital Universitaire Sainte-Anne (Pr Loo et Olié) à Paris et a reçu un avis favorable du Comité Consultatif de Protection des Personnes dans la Recherche Biomédicale (CCPPRB) de Paris-Cochin. Son objectif a été de comparer une TRV (thérapie par réalité virtuelle) à une TCC (thérapie cognitive et comportementale de groupe). Il a duré neuf mois du 1er septembre 2002 (date des premières inclusions) au 31 mai 2003 (date de fin des traitements). Les patients recrutés ont été informés de la méthodologie de l'étude et ont donné leur consentement écrit (Annexe 6).

Cette étude, réalisée en ouvert, est fondée sur une approche pre/post où la condition de contrôle est un traitement standard. Étant donné qu'un traitement efficace est déjà disponible pour la phobie sociale, une condition de contrôle traditionnelle telle qu'un placebo n'a pas été jugée éthiquement acceptable. En telle circonstance, un compromis raisonnable est de comparer le nouveau traitement avec un traitement standard de référence. Cette approche a déjà été utilisée avec succès dans la recherche en réalité virtuelle (Emmelkamp et al., 2002). Étant donné le taux de succès déjà élevé du traitement traditionnel, la TCC de groupe, nous avons privilégié une stratégie qui utilise la taille d'effet pour prédire l'ampleur des différences entre les deux approches de traitement, avec ensuite une prédiction de l'importance de ces différences, si elles existent.

4.6.1 Population

Les participants à l'étude sont 36 patients ambulatoires, ayant été diagnostiqués phobiques sociaux selon les critères diagnostiques du DSM IV (APA, 1994) et satisfaisant les critères d'inclusion et d'exclusion. Ces participants ont été répartis dans les deux conditions thérapeutiques en fonction des variables suivantes : sexe, âge, ancienneté et sévérité de la phobie sociale, estimée par l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz (LSAS) (Liebowitz, 1987), la maîtrise ou non du matériel informatique de la réalité virtuelle et la disponibilité pour certains groupes qui étaient déjà pré programmés.

Après « matching » ou harmonisation des groupes, l'échantillon a consisté en 18 patients dans le groupe de thérapie par la réalité virtuelle TRV (10 femmes et 8 hommes ; moyenne d'âge : 30,5 ± 5,06) et 18 patients dans le groupe de thérapie cognitive et comportementale TCC (9 femmes et 9 hommes ; moyenne d'âge : 32 ± 10,76). En moyenne, les patients ont souffert de phobie sociale depuis 15,7 années (moy. TCC : 16,4 et moy. TRV : 14,5).

Critères d'inclusion

Les patients recrutés sont des hommes et femmes :
- âgés de 18 ans au moins et de 65 ans au plus ;
- remplissant les critères diagnostiques de la phobie sociale ;
- pris en charge en ambulatoire ;
- phobiques sociaux depuis deux ans au moins et 25 ans au plus.

Critères d'exclusion

Les patients étaient exclus s'ils étaient :
- des femmes enceintes ;
- des patients atteints d'une maladie organique importante, démence, retard mental, schizophrénie, amnésie, psychose, trouble bipolaire ou personnalité limite ;
- peu aptes à se déplacer et à participer activement à l'étude ;
- des patients dont la phobie sociale était secondaire à tout autre diagnostic de l'axe III du DSM IV ;
- des patients ayant présenté au cours des six derniers mois un trouble obsessionnel compulsif concomitant, un trouble panique avec ou sans agoraphobie ou une agoraphobie ;
- des patients présentant un épisode dépressif majeur (selon les critères du DSM IV) ou cotant 10 ou plus sur l'échelle de dépression de Beck à 13 items ;
- des patients sous traitement médicamenteux considéré actif contre la phobie sociale, sauf si ce traitement était stabilisé depuis 2 mois au moins et que la phobie sociale était stable également ;
- des patients n'ayant pas répondu à une thérapie cognitive et comportementale antérieure ;
- des patients suivant parallèlement toute autre forme de psychothérapie.

4.6.2 Mesures

Après une évaluation diagnostique (critères DSM IV de la phobie sociale, co-morbidités, traitements médicamenteux associés), tous les patients sont évalués avant la première séance (évaluation « pré ») et après la dernière séance (évaluation « post ») au moyen d'auto questionnaires, remplis par les patients (Annexe 4).

4.6.2.1. Sélection des participants

Inventaire abrégé de dépression de Beck (BDI-13) (Beck and Beamesderfer, 1974)
Cet auto questionnaire évalue la sémiologie dépressive en 13 items. Chacun des items est constitué de 4 phrases correspondant à quatre degrés d'intensité croissante d'un symptôme. La note globale est obtenue en additionnant les scores des treize items et permet d'établir quatre degrés de sévérité de la dépression (pas de dépression, dépression légère, dépression modérée, dépression sévère). Il est essentiellement utilisé pour exclure les patients dépressifs.

4.6.2.2. Mesure d'efficacité principale : la phobie sociale

Échelle d'anxiété sociale de Liebowitz « Social Anxiety Scale » (LSAS) (Liebowitz, 1987)
Cet auto questionnaire est détaillé en 24 items et a été utilisé dans différentes études de phobie sociale. On y recourt pour évaluer des symptômes de phobie sociale. Onze de ces situations correspondent à la peur des interactions sociales ou l'évitement, et treize à la peur de performance ou l'évitement. On cote la peur ou l'anxiété des patients de 1 (aucune) à 4 (sévère) et leur évitement de 1 (jamais) à 4 (couramment) dans 24 situations différentes. Un score global est obtenu, ainsi que des sous scores de peur et d'évitement.

4.6.2.3. Mesures d'efficacité secondaires : le fonctionnement social

Échelle d'affirmation de soi de Rathus (Rathus Assertiveness Schedule) (Rathus, 1973)
Cet auto questionnaire mesure le degré d'affirmation de soi. Trente items sont proposés sous forme d'affirmations concernant la façon de se comporter dans diverses situations sociales. Le sujet doit indiquer à quel degré ces affirmations sont caractéristiques de lui en choisissant une des six réponses (de +3 vraiment très caractéristique à –3 vraiment non caractéristique).

Questionnaire sur les contextes sociaux anxiogènes (SCIA) (André and Légeron, 2000)
Ce questionnaire permet d'établir la typologie de la phobie sociale (phobie focalisée ou généralisée et type de sous-groupe : anxiété de performance, anxiété d'intimité, anxiété d'affirmation de soi, anxiété d'observation). Pour chacun des quatre types de situation sociale, le sujet doit évaluer le degré de son anxiété (aucune, légère, forte ou extrême). Un score est obtenu pour chaque sous échelle.

4.6.2.4. Mesures d'efficacité exploratoires : le fonctionnement général

Échelle HAD de Zigmond et Snaith « Hospital Anxiety Depression Scale » (HAD) (Zigmond and Snaith, 1983)
Cet auto questionnaire est composé de 14 items. Pour chacun de ces items le sujet choisit parmi 4 réponses proposées cotant de 0 à 3. Sept items explorent le niveau d'anxiété du patient et sept items le niveau de dépression.

Échelle d'incapacité de Sheehan (Sheehan Incapacity Scale) (Sheehan et al., 1980)
Le thérapeute évalue la qualité de vie du patient grâce à cette échelle. Elle cote le handicap/l'incapacité en trois dimensions, à savoir : travail, vie sociale/activité de loisirs et vie de famille/responsabilités domestiques. Chacun de ces éléments est coté de 0 (pas d'incapacité) à 10 (incapacité très grave).

Impression Clinique Globale (CGI) de sévérité de la pathologie (Clinical Global Impressions) (Guy, 1976)
Cette échelle, à remplir par le thérapeute, est fondée sur les échelles développées par l'ECDEU (Early Clinical Drug Evaluation Unit) et évalue la sévérité globale de la phobie sociale, à l'exclusion de toute co-morbidité. Les patients sont cotés de 1 (normal, non malade) à 7 (parmi les plus gravement atteints), le cadre de référence étant l'expérience que le thérapeute a de cette population.

4.6.3 Traitement

Les patients recrutés ont été affectés à l'une des deux conditions de traitement : TRV et TCC.

4.6.3.1. La thérapie par réalité virtuelle (TRV)

Caractéristiques de la thérapie par réalité virtuelle

Chaque patient du groupe TRV a suivi douze séances de thérapie virtuelle (Roy et al., 2003). Chaque séance était individuelle et dirigée par un psychothérapeute comportementaliste. Pendant ces séances hebdomadaires de 45 minutes, le patient était exposé aux environnements virtuels dans un but d'évaluation et de thérapie. La durée de l'exposition n'excédait pas vingt minutes. Des tâches étaient prescrites aux patients entre les séances hebdomadaires.

Déroulement de la thérapie par réalité virtuelle

Les douze séances de TRV se sont déroulées comme suit (Légeron et al., 2003):
- Séance 1 : Pendant la première séance, la thérapie virtuelle est présentée au patient qui se familiarise avec la technologie dans l'environnement virtuel neutre.
- Séances 2 à 9 : Deux séances sont consacrées à chacun des quatre environnements virtuels d'exposition, décrits dans le paragraphe 4.5, soit un total de huit séances. Pour chacun des EVs, la première séance débute par une « évaluation » du patient dans cet EV. Puis elle se poursuit par la partie « thérapie » proprement dite d'exposition à l'EV. La deuxième séance se déroule en deux phases de « thérapie » d'exposition à l'EV.
- Séances 10 à 12 : Ces trois séances sont consacrées au travail d'approfondissement sur un ou deux environnements précédemment explorés, qui correspondent le plus au problème du patient. La séance 12 conclut également la thérapie, avec la définition d'un programme personnel à poursuivre au-delà de la thérapie (Tableau 5).

Exposition de type « évaluation »

Lors du déroulement du scénario, le thérapeute explore les réactions du patient par des questions liées au domaine cognitif (« Quelles pensées avez-vous ? » : évaluation concernant la menace de l'environnement et les ressources pour y faire face), au domaine émotionnel (« Que ressentez-vous ? » : présence et intensité des émotions), et au domaine comportemental (« Que faites-vous ? » : évitement ou affrontement, comportements passifs ou agressifs) (Annexe 1.6).

Exposition de type « thérapie »

Cette exposition peut être « spontanée », le thérapeute laissant le patient seul agir et décider de ses comportements, ou elle peut être « guidée », i.e. réalisée sous les instructions du thérapeute. Lors de l'exposition « guidée », le thérapeute indique au patient quelles attitudes il est souhaitable d'adopter. Le thérapeute aide ainsi à l'apprentissage de réactions adaptées dans les domaines suivants : comportemental (confrontation à la situation, affirmation de soi), cognitif (restructuration cognitive) et émotionnel (techniques simples de relaxation).

Tableau 5 : Comparaison du déroulement des séances des deux traitements TRV et TCC

TRV	**TCC**
Séance 1 Introduction et présentation de la thérapie Familiarisation avec le monde virtuel (environnement neutre)	Séance 1 Introduction et présentation de la thérapie Identification des situations sociales anxiogènes
Séance 2 Introduction Exposition virtuelle au SCENARIO n° 1 pour EVALUATION Exposition virtuelle au SCENARIO n° 1 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 2 Introduction Exercices d'exposition aux situations sociales Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 3 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle au SCENARIO n° 1 pour THERAPIE Exposition virtuelle au SCENARIO n° 1 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 3 Introduction et bilan des tâches Exercices d'exposition aux situations sociales Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 4 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle au SCENARIO n° 2 pour EVALUATION Exposition virtuelle au SCENARIO n° 2 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 4 Introduction et bilan des tâches Exercices d'exposition aux situations sociales Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 5 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle au SCENARIO n° 2 pour THERAPIE Exposition virtuelle au SCENARIO n° 2 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 5 Introduction et bilan des tâches Exercices d'exposition aux situations sociales et travail sur les évitements Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 6 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle au SCENARIO n° 3 pour EVALUATION Exposition virtuelle au SCENARIO n° 3 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 6 Introduction et bilan des tâches Exercices d'exposition aux situations sociales et travail sur les évitements Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 7 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle au SCENARIO n° 3 pour THERAPIE Exposition virtuelle au SCENARIO n° 3 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 7 Introduction et bilan des tâches Exercices d'exposition aux situations sociales et travail sur les évitements Travail sur les cognitions : identification de ses cognitions Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 8 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle au SCENARIO n° 4 pour EVALUATION Exposition virtuelle au SCENARIO n° 4 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 8 Introduction et bilan des tâches Travail sur les cognitions : modifier ses cognitions Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 9 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle au SCENARIO n° 4 pour THERAPIE Exposition virtuelle au SCENARIO n° 4 pour THERAPIE Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 9 Introduction et bilan des tâches Travail sur les cognitions : modifier ses cognitions Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 10 (approfondissement) Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle à un SCENARIO au choix Exposition virtuelle à un SCENARIO au choix Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 10 Introduction et bilan des tâches Exercices d'exposition aux situations sociales et travail sur les évitements Travail sur les cognitions : modifier ses cognitions Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 11 (approfondissement) Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle à un SCENARIO au choix Exposition virtuelle à un SCENARIO au choix Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance	Séance 11 Introduction et bilan des tâches Exercices d'exposition aux situations sociales et travail sur les évitements Travail sur les cognitions : modifier ses cognitions Prescription de tâches à réaliser et conclusion de la séance
Séance 12 Introduction et bilan des tâches Exposition virtuelle à un SCENARIO au choix Exposition virtuelle à un SCENARIO au choix Conclusion de la thérapie par réalité virtuelle	Séance 12 Introduction et bilan des tâches Définition des objectifs à moyen terme pour chaque patient Élaboration d'un programme personnel pour chaque patient Conclusion de la thérapie de groupe

4.6.3.2. La thérapie cognitive et comportementale (TCC)

Caractéristiques de la TCC de groupe

Chaque patient du groupe TCC a suivi douze séances de thérapie cognitive et comportementale, dans un groupe d'environ 8 à 10 personnes. Ces séances hebdomadaires de 2 heures ont été dirigées par un psychothérapeute comportementaliste (thérapeute CC), sur une durée totale de trois à quatre mois. Le format de groupe permet de pouvoir créer des situations sociales multiples et susceptibles d'être utilisées lors d'exercices ultérieurs d'exposition (tâches entre les séances) (Tableau 6).

TRV	TCC
Séances individuelles	Petit groupe (8 – 10 patients)
Dirigée par un thérapeute CC	Dirigée par un thérapeute CC
Durée : 30 – 45 min	Durée : 2 heures
12 séances hebdomadaires	12 séances hebdomadaires
Tâches	Tâches

Tableau 6 : Les deux groupes thérapeutiques (TRV et TCC)

Déroulement de la thérapie cognitive et comportementale

Les douze séances de TCC se déroulent comme suit :
- Séance 1 : pendant la première séance, le patient fait connaissance avec les autres membres du groupe. Le thérapeute introduit la thérapie et la présente aux patients qui identifient les situations sociales anxiogènes
- Séances 2 à 4 : pendant ces séances, les patients sont exposés de façon progressive, répétée et prolongée à des situations sociales anxiogènes, au moyen d'exercices ou jeux de rôle. Les situations sociales sont soit des « face à face entre patients », soit des prises de parole devant l'ensemble du groupe.
- Séances 5 et 6 : pendant ces séances, les patients sont non seulement exposés à des situations sociales anxiogènes, mais apprennent à lutter contre les « micro évitements » ou les comportements de « sécurité » qu'ils adoptent dans ces situations pour se « protéger ».
- Séances 7 à 11 : au travers des exercices et jeux de rôle d'exposition aux situations anxiogènes, sont introduites les composantes de la thérapie cognitive : identification des cognitions présentes, mise en évidence du rôle des cognitions dans l'apparition des émotions anxieuses, modification et restructuration cognitive.
- Séance 12 : conclusion de la thérapie avec, pour chaque patient, la définition d'un programme personnel à poursuivre au-delà de la thérapie (Tableau 5).

4.6.3.3. Description des tâches à mener entre les séances de thérapie

Après chaque séance, qu'elle soit en individuel en TRVou en groupe en TCC, les patients doivent réaliser des exercices de mise en application des principes développés et expérimentés lors de ces séances, à savoir : (a) exposition progressive, répétée et prolongée à des situations sociales habituellement évitées ; (b) développement de comportements adaptés lors des situations sociales affrontées (comportements affirmés et lutte contre les « micro évitements » comportementaux) ; et (c) travail cognitif (repérage des cognitions inadaptées présentes en situation sociale et modification de ces cognitions).

Ces tâches reposent sur les principes des thérapies comportementales et cognitives et permettent de mettre en application en milieu réel (in vivo) ce qui a été présenté en situation factice (lors des séances de thérapie par réalité virtuelle ou de groupe) et de favoriser les processus d'apprentissage comportementaux et cognitifs.

4.6.3.4. Vue d'ensemble des analyses statistiques

Pour prévenir le risque d'erreur de Type I, les ajustements de Bonferroni ont été appliqués par familles d'hypothèses. Trois familles d'hypothèses ont été testées avec des niveaux de signification fixés *a priori* :

- variable principale : la phobie sociale (mesurée par le score total du LSAS et ses sous échelles), avec un niveau de signification de .05/3 ;
- variables secondaires : le fonctionnement social, avec un niveau de signification de .05/5 ;
- variables exploratoires : le fonctionnement général, avec un niveau de signification de .05/6.

Ces trois familles d'hypothèses ont été testées en utilisant des ANOVAs à mesures répétées (2 Conditions x 2 Temps). Le ratio *F* d'Huynh-Feldt a été utilisé, corrigé par l'index ε de sphéricité. A deux occasions, l'interaction Condition par Temps a souffert d'un manque de variance et l'ANOVA a fourni une valeur statistique exacte de zéro. Les données brutes ont donc été réexaminées pour confirmer la situation, puis les interactions ont été analysées avec le test non-paramétrique de Mann-Whitney, effectué sur les différences de score « pre-post ».

Étant données nos hypothèses et l'utilisation d'une condition contrôle de référence, les résultats rapportés incluent aussi les tailles d'effet des interactions Condition par Temps afin d'estimer l'importance de ces différences (Cohen, 1988). Des analyses de puissance ont été menées en utilisant le η^2 partiel fourni par SPSS pour chaque effet et en interprétant ces valeurs à l'aide des tables de Cohen pour l'indice *f*, l'interprétation qualitative de la taille d'effet, et l'estimation du nombre de participants nécessaire pour tester ces hypothèses avec une puissance de .80 et un α fixé à .05. Ce niveau de signification a été sélectionné pour fournir une estimation acceptable de l'impact du traitement pour chaque variable comme si elle était la variable d'efficacité principale.

4.7 *Résultats*

Les données descriptives sont présentées dans leur ensemble dans l'Annexe 2 (Légeron et al., 2003). Elles sont rapportées dans le Tableau 7 pour tous les instruments et les résultats statistiques se retrouvent dans le Tableau 8.

4.7.1 Mesure d'efficacité principale

En ce qui concerne le LSAS, la mesure d'efficacité principale, les patients ont présenté un niveau pré-traitement de phobie sociale très élevé, aussi bien au niveau du score total que des sous-scores.
L'effet temps significatif a révélé que les deux traitements ont été hautement efficaces pour réduire l'anxiété sociale et l'évitement social. Par ailleurs, les différences d'efficacité entre TRV et TCC n'ont pas été significatives.

En se basant sur les tailles d'effet des interactions, il est donc raisonnable de considérer comme triviale la différence entre les deux traitements. Pour illustrer le sujet, il aurait fallu un échantillon supérieur à 200 participants pour rendre de telles interactions significatives. Avec un tel échantillon, et si les résultats avaient été les mêmes que ceux obtenus dans l'étude actuelle, les analyses suggéreraient que la TRV serait plus efficace que la TCC de groupe.

Tableau 7 : Moyennes et écarts-type sur les mesures d'efficacité chez des participants ayant reçu la Thérapie par Réalité Virtuelle (TRV) ou la Thérapie Cognitive et Comportementale (TCC)

	Condition TRV (n=18)		**Condition TCC (n=18)**	
	Pre	**Post**	**Pre**	**Post**
Échelle d'anxiété sociale de Liewbowitz (LSAS)				
Anxiété	48,9 (8,3)	27,9 (9,7)	43,7 (13)	26,5 (13,1)
Évitement	40,7 (12,9)	19,9 (11,2)	34,3(13)	17,1 (12,5)
Total	89,7 (20,6)	47,6 (20,4)	78 (25,2)	43,5 (24,6)
Affirmation (Rathus)	-27,8 (25)	-15,7 (26,6)	-26,9 (21,4)	-5,9 (27)
Contextes sociaux anxiogènes (SCIA)				
Performance	2,6 (0,4)	1,4 (0,5)	2,4 (0,5)	1,1 (0,6)
Intimité	1,7 (0,4)	0,8 (0,3)	1,9 (0,6)	1 (0,5)
Affirmation	2,1 (0,7)	1,5 (0,6)	1,8 (0,7)	1 (0,7)
Observation	1,7 (0,4)	0,9 (0,2)	1,9 (0,4)	1 (0,5)
Total	8,3 (1,3)	4,7 (1,2)	8,1 (1,3)	4,2 (1,7)
Hospital Anxiety and Depression (HAD)				
Anxiété	8,9 (3,7)	7,6 (2,7)	11,8(3,8)	9,3 (3,7)
Dépression	5,1 (3,2)	3,3 (3,9)	6,2 (3,2)	3,9 (4,6)
Sheehan				
Familiale	4,4 (2,2)	3 (1)	4,9 (2,4)	2,7 (1,8)
Sociale	7,4 (0,9)	4 (0,9)	7 (1,9)	3,9 (1,8)
Professionnelle	5,9 (2,5)	2,8 (1,9)	6,2 (2,7)	3,2 (2,3)
Impression Clinique Globale (CGI)	4,8 (0,7)	2,8 (0,6)	4,7 (0,8)	3,1 (1,2)

LSAS = Échelle d'anxiété sociale de Liebowitz; Rathus = Échelle d'affirmation de soi de Rathus; SCIA = Échelle des Contextes sociaux anxiogènes; HAD = Échelle HAD de Zigmond & Snaith; Sheehan = Échelle d'incapacité de Sheehan; CGI = Impression clinique globale de sévérité de la pathologie et de changement.

Tableau 8 : Résultats des ANOVAs à mesures répétées et taille d'effets entre les deux conditions de traitement (N = 36).

Variables	ANOVA (dl = 1,34)				Taille d'effets de l'interaction	
	Effet Temps	Effet Condition	Interaction	Interaction η^2	Taille d'effet	N estimé pour une différence significative
LSAS						
Anxiété	146.71***	.96	1.43	.04	petit	> 200
Évitement	123.94***	1.50	1.12	.03	petit	> 300
Total	147.34***	1.30	1.41	.04	petit	> 300
Rathus	36.30***	.46	2.66	.07	moyen	120
SCIA						
Performance	178.36***	2.72	.088	.003	très petit	> 3000
Intimité	174.08***	1.24	(0)[a] 161[b]	0[a]		
Affirmation	65.77***	3.29	.81	.02	petit	> 350
Observation	77.27***	1.04	(0)[a] 155[c]	0[a]		
Total	437.32***	.80	.39	.01	petit	> 800
HAD						
Anxiété	11.94***	4.96*	1.11	.03	petit	> 300
Dépression	6.46*	.66	.10	.003	très petit	> 3000
Sheehan						
Familiale	34.43***	.01	1.50	.04	petit	> 200
Sociale	145.36***	.40	.23	.01	petit	> 800
Professionnelle	97.29***	.21	.01	.00	très petit	> 3000
CGI						
Gravité	97.46***	.12	.58	.02	petit	> 350

Note : * $p < .05$, *** $p < .001$

a Dû à une absence de variance entre les deux conditions, l'ANOVA fournissant une valeur exacte de 0.

b Un test non-parametrique de Mann-Whitney test a été réalisé et était loin d'être significatif (*p* égal à .99)

c Un test non-parametrique de Mann-Whitney test a été réalisé et était loin d'être significatif (*p* égal à.84)

LSAS = Échelle d'anxiété sociale de Liebowitz; Rathus = Échelle d'affirmation de soi de Rathus; SCIA = Échelle des Contextes sociaux anxiogènes; HAD = Échelle HAD de Zigmond & Snaith; Sheehan = Échelle d'incapacité de Sheehan; CGI = Impression clinique globale de sévérité de la pathologie et de changement;

Les critères qualitatifs de taille d'effet proposés par Cohen (1988) ont été utilisés, soit taille de l'effet : très petit, f < .10, petit, f = .10, moyen, f = .25; large, f = .40. Le f est calculé à partir de l'êta carré produit par SPSS (Cohen 1988, p. 283), celui-ci représentant le pourcentage de variance expliqué par l'effet différentiel dans le temps des deux formes de traitement (TRV et TCC de groupe). Le N estimé s'applique pour une puissance de .80 et un alpha de .05.

4.7.2 Mesures d'efficacité secondaires

Les mesures d'efficacité secondaires ont porté sur le fonctionnement social à un niveau plus général, comme l'affirmation (Rathus) et les quatre contextes sociaux induisant l'anxiété (SCIA). Les deux catégories de mesures ont révélé une forte amélioration, statistiquement significative, après les deux traitements.
En ce qui concerne l'échelle d'affirmation de Rathus, la différence entre la TRV et la TCC de groupe n'était pas significative, mais les analyses de puissance ont révélé un effet de taille moyen. Un échantillon plus grand serait là encore nécessaire pour déterminer une différence significative, mais un effet moyen peut être cliniquement significatif dans certains cas. De plus cet effet serait en faveur d'une TCC de groupe comparée à une TRV.
Le traitement a eu un impact significatif sur le score total et les sous-scores du SCIA. Les analyses de taille d'effet n'ont pas pu être réalisées de façon fiable sur deux sous-scores (intimité et affirmation) puisque le traitement a eu un impact si similaire dans les deux conditions que l'ANOVA a révélé une absence totale de différence. Des analyses non-paramétriques confirment donc les similarités extrêmement fortes entre les deux conditions (un score de changement moyen de .89, avec un écart-type de respectivement .32 et .47 pour la TRV et la TCC de groupe).

4.7.3 Mesure d'efficacité exploratoires

Les analyses des mesures exploratoires (HAD, Sheehan, CGI) ont révélé que le fonctionnement général s'améliorait de façon significative après traitement sur toutes les mesures sauf sur le sous-score de dépression de la HAD.
La réduction des scores de dépression de la HAD a atteint le seuil significatif traditionnel de .05. Ceci ne doit toutefois pas être considéré significatif à la lumière du nombre de comparaisons effectuées. Les scores étaient déjà plutôt bas dans le pre-test (ce qui était attendu étant donnés les critères d'exclusion) et l'analyse de puissance a montré que leur réduction était très similaire dans les deux conditions de traitement.
L'amélioration du sous-score d'anxiété de l'échelle HAD, aussi bien que les sous-scores de Sheehan et ceux du CGI, ont été très similaires dans les deux conditions. Les participants à la TCC de groupe ont présenté des scores plus élevés à la sous-échelle d'anxiété du HAD. Étant donnée cette différence, des analyses covariées de variance ont été réalisées sur les autres mesures d'efficacité. Ces analyses nouvelles n'ont pas affecté l'interprétation des résultats.

4.8 *Discussion et conclusion*

L'objectif de cet essai clinique était d'évaluer l'efficacité de l'ERV chez des adultes souffrant de phobie sociale. Certains de ses aspects intéressants étaient la sélection d'un échantillon composé de jeunes adultes présentant une phobie sociale significative et de longue durée, l'utilisation d'EVs abordant les divers types de l'anxiété sociale, et l'évaluation de tout l'éventail de la phobie sociale, des symptômes clé au fonctionnement global.

Les résultats ont montré que les deux traitements, TRV et TCC de groupe, étaient efficaces pour réduire les symptômes clé de la phobie sociale (mesurés par l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz-LSAS) et pour améliorer le fonctionnement aussi bien social que global. Aucun effet ne fut détecté sur la mesure de la dépression, probablement en raison d'un « effet de

plafond » en dessous duquel le traitement ne pouvait pas beaucoup soulager les symptômes dépressifs puisque les personnes souffrant de dépression majeure étaient exclues de l'étude.

Afin de comparer la TRV à la TCC de groupe, notre étude s'est focalisée sur la documentation de la taille de l'effet de la différence d'efficacité entre les deux conditions. Les analyses montrent que pour toutes les mesures, exceptée l'affirmation, la différence entre les deux traitements était petite à très petite. Ceci suggère que, lorsqu'on la compare à un traitement de référence, la TRV est très efficace. Par exemple, en ce qui concerne les symptômes de la phobie sociale, un échantillon clinique de 200 à 300 participants serait nécessaire pour détecter statistiquement une différence entre les deux formes de traitement. En tel cas, la TRV serait plus efficace qu'une TCC de groupe. Dans d'autres cas, comme celui de l'anxiété de performance, un échantillon de 3000 participants ou plus serait nécessaire étant donnée la très faible différence entre les traitements. Étant donnée la bonne documentation sur le taux de succès de la TCC de groupe comparée à un placebo ou à une absence de traitement, ces résultats montrent clairement l'efficacité de la RV dans le traitement de la phobie sociale.

Nos résultats complètent ceux déjà rapportés concernant l'utilisation de la RV dans l'anxiété de performance (North et al., 1998b; Harris et al., 2002), qui est une forme plus légère de la phobie sociale. Grâce à un environnement virtuel développé pour la peur de parler en public, d'autres chercheurs (Hodges et al., 2001; Anderson et al., 2003) ont relaté des études de cas de phobiques sociaux ayant bénéficié de traitements fondés sur la RV. L'étude actuelle va même plus loin en montrant que l'utilisation d'environnements, créés et utilisés pour exploiter des situations sociales variées telles que parler à des étrangers ou agir sous le regard des autres, est utile pour soulager tout l'éventail des symptômes de la phobie sociale.

Malgré une amélioration du niveau de l'anxiété d'affirmation similaire dans les deux traitements, le changement dans le comportement d'affirmation est apparu moins semblable. Il semblerait que, même si ce n'est pas apparu significatif, les comportements d'affirmation se seraient améliorés légèrement plus en suivant la TCC de groupe plutôt que la TRV. L'analyse de la taille de l'effet a montré une différence modérée dans l'amélioration qui pourrait devenir significative avec un échantillon de 120 participants. Il est difficile de commenter plus étant donnée l'absence de différence significative, mais cette différence pourrait devenir cliniquement significative dans certains cas.

Afin de confirmer ultérieurement l'efficacité de la RV dans le traitement de la phobie sociale, des études additionnelles doivent être menées, en commençant certainement par la comparaison de la TRV avec une TCC individuelle. En effet, une étude récente (Stangier et al., 2003) vient de comparer la TCC individuelle à deux autres conditions, la TCC de groupe et une liste d'attente. Les résultats (n=59) montrent que la TCC individuelle est supérieure à la TCC de groupe sur les mesures relatives à la phobie sociale, que ce soit après le traitement ou lors du suivi à six mois. Plusieurs explications à ce succès ont été données par les auteurs. Le format individuel renforce le caractère sécurisant de la séance et focalise l'attention du thérapeute sur le patient, favorisant ainsi la mise en œuvre des composantes du traitement. Par ailleurs, une anxiété trop élevée, générée par l'exposition au groupe, peut interférer sur les conditions nécessaires à la réduction de l'évitement et sur les conduites sécuritaires. Enfin, les comparaisons avec les autres membres du groupe peuvent entraîner des croyances dysfonctionnelles. L'impact plus ou moins négatif du groupe de TCC et celui sécurisant et facilitant du thérapeute en session individuelle a certainement joué un rôle en faveur de la TRV dans notre étude.

Par conséquent les études ultérieures devront prendre en considération cette nouvelle donnée, ainsi que l'inclusion d'une troisième condition contrôle qui serait un placebo ou une liste d'attente de traitement. La comparaison avec un traitement pharmacologique pourrait aussi fournir une information intéressante. Comparées à l'analyse des tailles de l'effet, ces approches plus traditionnelles reproduiraient nos résultats avec une méthodologie différente. La réalisation d'un suivi à six et/ou douze mois permettrait d'évaluer le maintien des apports dans la durée. De plus, l'inclusion de patients souffrant de dépression associée, d'abus de substance et d'autres troubles anxieux serait aussi utile.

Enfin diverses perspectives restent à explorer comme l'immersion du sujet. Ainsi que nous l'avons mentionné dans le paragraphe 4.5.1, notre étude s'était vu attribuer la condition non immersive du projet Vepsy. Par ailleurs, il serait intéressant d'envisager le recueil de mesures physiologiques afin de conforter les réponses aux questionnaires, ou même de gérer l'évolution de la séance ; la graduation du niveau anxiogène des diverses situations d'exposition.

Malgré ces résultats, le fait que des humains virtuels 3D créés par l'ordinateur puissent être efficaces peut paraître surprenant. C'est même plus déconcertant quand on reconnaît le fait que ces humains virtuels ne sont pas des représentations parfaites de l'être humain réalisant des comportements interpersonnels complexes et précis. Cependant, il existe un nombre grandissant de données expérimentales permettant d'interpréter ces résultats. Par exemple, James et al.(James et al., 2003) ont immergé dix personnes non phobiques dans des environnements sociaux virtuels variés et ont trouvé une augmentation de l'anxiété quand les participants devaient interagir avec des humains virtuels qui apparaissaient se désintéresser de la présence des participants. Plus tard, la même équipe de recherche (Slater et al., 2004) a comparé les réactions de 16 phobiques et de 20 non phobiques alors qu'ils devaient faire un discours dans l'une des deux conditions suivantes : une salle de séminaire vide ou devant un groupe d'humains virtuels au comportement neutre. Le niveau d'anxiété n'était pas très élevé chez les non phobiques dans les deux conditions, mais il était significativement plus élevé chez les phobiques dans la salle vide et même plus élevé encore quand les phobiques ont fait leur discours devant les humains virtuels neutres. Ces résultats étaient fondés sur des auto questionnaires mesurant l'anxiété et des mesures de la fréquence cardiaque. Allant même plus loin, ces chercheurs (Pertaub et al., 2002) ont comparé les réactions de 43 personnes souffrant de la peur de parler en public quand elles faisaient un discours devant une audience d'humains virtuels qui répondaient de façon neutre, positive ou négative au discours. Les discours faits devant l'audience négative induisaient significativement plus d'anxiété et ont été notés de façon moins satisfaisante que les discours faits devant l'audience neutre. Dans une étude d'un autre genre, Herbelin et al. ont demandé à dix personnes non phobiques de parler dans une pièce remplie seulement d'images d'yeux les regardant (Herbelin et al., 2002). Même dans cette condition non réaliste, les participants ont rapporté une augmentation significative de l'anxiété et de la fréquence cardiaque. Toutes ces données montrent que les personnes peuvent réagir émotionnellement devant des humains virtuels et devant leurs comportements, même si ce ne sont que des représentations non réalistes d'êtres humains.

Une explication prometteuse peut être trouvée dans l'interaction entre la crédibilité de la réalité virtuelle et les émotions ressenties par l'utilisateur immergé dans l'environnement virtuel. L'incrédulité en suspens et l'illusion perceptuelle de non-médiation se réfèrent au concept de présence (l'illusion *d'y être*) (Lombard and Ditton, 1997; Sadowski and Stanney, 2002). Ce phénomène peut être facilité par l'excitation émotionnelle induite chez les participants par la simple idée d'être impliqué dans une interaction sociale potentielle. Même

si les humains virtuels ne sont pas des répliques parfaites des humains, un niveau minimal de réalisme pourrait être suffisant pour exciter et susciter des émotions négatives (Klinger et al., 2004d). Ces réactions peuvent réciproquement interagir avec la présence et l'impression que les humains virtuels sont crédibles.

Ceci est suggéré par une forte corrélation entre l'anxiété, la présence et le réalisme (Robillard et al., 2003), ainsi que l'ont montré deux études expérimentales menées par Bouchard et al. Dans une première étude (Bouchard et al., 2005), 31 personnes souffrant de la phobie des serpents ont été immergées dans un environnement virtuel alors que l'anxiété était expérimentalement manipulée. Dans certaines immersions, les participants étaient faussement conduits à croire que l'environnement grouillait de dangereux serpents cachés, une situation qui induisait fortement de l'anxiété. Dans les immersions avec induction d'anxiété, le niveau de présence était significativement plus élevé que dans les immersions sans induction d'anxiété. Dans une seconde étude (Michaud et al., 2004), le sentiment de présence a été expérimentalement manipulé sur un échantillon de 33 acrophobes qui devaient prendre un ascenseur et exécuter des tâches sur un échafaudage à l'extérieur d'un immeuble de 15 étages. Quand l'immersion dans l'environnement virtuel était conduite avec un haut niveau de présence, le niveau d'anxiété était significativement plus élevé que lorsque l'immersion était conduite avec un bas niveau de présence.

Dans leur ensemble ces résultats montrent l'existence d'une relation bidirectionnelle entre la présence et l'anxiété. Ils peuvent aussi suggérer qu'avec un niveau minimal de présence ou de réalisme, un environnement virtuel peut induire l'anxiété, qui à son tour sert le sens de présence ou de réalisme, et ainsi de suite pour atteindre le point où des humains virtuels imparfaits peuvent provoquer suffisamment d'anxiété pour traiter la phobie sociale aussi efficacement que des êtres humains.

Chapitre 5 Expérimentation 2 : L'évaluation de la planification de l'action

5.1 *Le contexte : Le Projet Hospitalier de Recherche Clinique*

Le travail que nous allons présenter a été réalisé dans le cadre d'un PHRC (Projet Hospitalier de Recherche Clinique) obtenu par le Service de Neurologie du CHU de Caen (Investigateur principal : Dr Rose-Marie Marié). Débuté en décembre 2002 pour une durée de trois ans, ce projet, intitulé Évaluation de la Planification de l'Action, est actuellement en cours. La conception de l'environnement et de l'étude a été le fruit d'une collaboration étroite entre Rose-Marie Marié, neurologue, Evelyne Klinger, ingénieur, et Isabelle Chemin, graphiste. Les développements informatiques ont été réalisés par Evelyne Klinger et Isabelle Chemin, avec le soutien technique du GREYC – ENSICAEN. Les tests cliniques ont été menés par Sophie Lebreton, psychologue, dans le Service de Neurologie du CHU de Caen, sous la responsabilité du Dr Marié.

5.2 *Le processus de planification – Application à la maladie de Parkinson*

5.2.1 Description du processus de planification

« Pour examiner la planification il faut mettre en évidence la capacité du sujet à identifier et à organiser les démarches, les matériaux, et les habiletés nécessaires au déclenchement d'une intention ou à l'achèvement d'un projet bien défini. La planification implique l'idée d'alternatives potentielles et le pouvoir d'évaluer et de faire des choix. De plus, elle requiert la gestion de la succession des idées et de leur hiérarchisation, pour développer une structure qui donne une direction à la réalisation de plan » (Lezak et al., 1994).

Owen définit la planification comme la capacité à organiser un comportement cognitif dans le temps et l'espace ; celle-ci est nécessaire chaque fois qu'un but ne peut être atteint qu'au terme d'une succession d'étapes intermédiaires (Owen, 1997). La planification apparaît dès les niveaux les plus précoces de traitement de l'information et reste activée jusqu'à l'achèvement complet de l'action. Elle intervient pour toutes les actions quotidiennes, à un degré divers selon le caractère nouveau ou routinier de la tâche. Elle se pose comme un module central régissant et coordonnant l'action cognitive des autres fonctions exécutives (Figure 44). Elle sous-tend : la formulation et la prédétermination d'un plan d'action ; la définition de priorités ; le séquençage des étapes sur un axe temporel et enfin l'anticipation des conséquences de chaque étape planifiée.

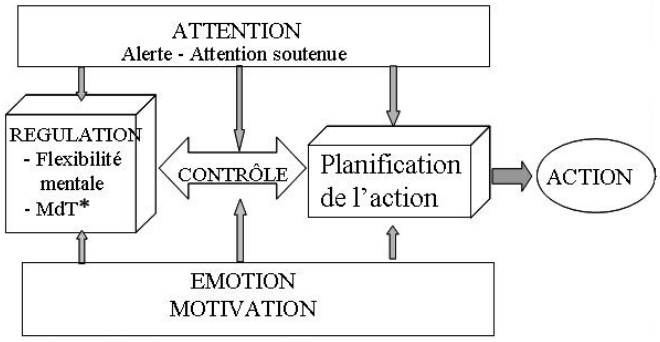


Figure 44 : Modélisation des fonctions exécutives (Marié, Données personnelles)
*** MdT : Mémoire de travail**

5.2.2 Modèles de la planification

Différents modèles de la planification ont été proposés (Grafman, 1989; Shallice and Burgess, 1991) s'appuyant plus ou moins sur la notion de schéma d'action (Figure 45). Les schémas forment une structure de connaissances organisées contrôlant des séquences comportementales ou de pensées plus ou moins sur-apprises. Pour Shallice, le processus de planification devient surtout évident en cas de situation nouvelle ou complexe, avec alors intervention du Système Attentionnel Superviseur (SAS) qu'il décrit comme sous-tendu par le lobe frontal.

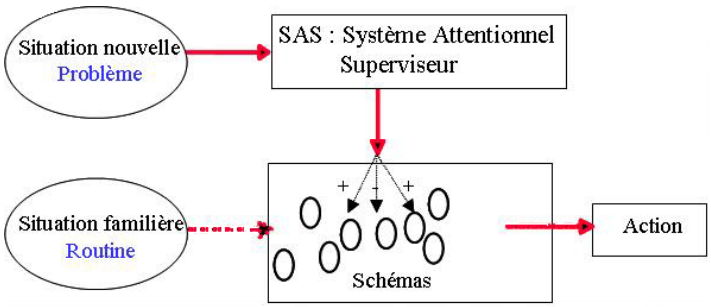


Figure 45 : Modèle du contrôle attentionnel d'après (Shallice and Burgess, 1991)

5.2.3 La maladie de Parkinson

La maladie de Parkinson (MP) (Parkinson, 1817) est une affection neurodégénérative d'installation progressive qui survient en général après 50 ans (Dubois, 1993). On estime à 4 millions le nombre de personnes affectées par la MP, actuellement dans le monde. En Europe, la prévalence globale de la maladie est estimée à 1,6 % chez les personnes âgées de plus de 65 ans (De Rijk et al., 1997). En France, elle touche près de 200 000 personnes avec environ 8 000 nouveaux cas par an. En raison du vieillissement de la population mondiale, l'importance de la MP comme problème de santé publique devrait s'accroître. La MP se caractérise par un syndrome extrapyramidal (rigidité, tremblements, akinésie), associé fréquemment à des troubles cognitifs, en particulier des troubles exécutifs (Dubois et al., 1991; Pillon et al., 1991; Owen et al., 1992) et de mémoire (Owen et al., 1992; Pillon et al., 1993) alors que l'efficience intellectuelle globale est le plus souvent préservée.

Ces troubles cognitifs résultent d'un dysfonctionnement sous-cortico frontal, qui induit chez les patients des difficultés à gérer les situations de la vie quotidienne. Leur comportement est fragmenté et incomplet avec de nombreuses actions intrusives et sans but (Schwartz et al., 1993). Les troubles de la planification occupent une place de choix parmi les troubles des fonctions exécutives (Owen et al., 1992).

5.3 *L'évaluation traditionnelle de la planification de l'action*

L'évaluation traditionnelle de la planification repose sur trois catégories de tests qui présentent des limites que, finalement, nous évoquerons.

5.3.1 Les tests cognitifs standard

Différentes épreuves des Tours permettent une évaluation de la planification : la Tour de Londres (Shallice, 1982), la Tour de Hanoï (Simon, 1975) ou la Tour de Toronto (Saint-Cyr et al., 1988). Considérons par exemple l'épreuve de la Tour de Londres. Dans sa version la plus couramment utilisée en pratique clinique, le sujet doit reproduire la disposition spatiale de trois boules colorées placées sur le portique de l'examinateur, en partant d'une configuration spatiale prédéterminée sur le portique du sujet. Chaque portique comporte trois tiges, la plus grande acceptant trois boules, la seconde, deux boules et la plus petite, une boule. Les contraintes sont de ne déplacer qu'une boule à la fois et de toujours la reposer sur une tige, d'effectuer le nombre de mouvements le plus petit possible et d'être le plus rapide possible. Les mesures de la performance comportent des éléments comme le temps d'initiation, ou encore le nombre de problèmes résolus. Une bonne performance peut être atteinte en planifiant soigneusement la séquence des mouvements avant de répondre.

5.3.2 Les tests écologiques

Le test des commissions de Martin (Martin, 1972) nécessite de définir un trajet optimal sur un plan à partir de contraintes précisées dans les consignes.

Le test des commissions multiples (multiple errands test) (Shallice and Burgess, 1991) se passe en situation réelle et demande d'effectuer des achats, d'être présent à un rendez-vous, de recueillir des informations et de les noter en respectant des contraintes précises.

Le test des six éléments (Six elements test) requiert d'effectuer six épreuves en un temps limité (trois tâches de dénomination d'images, de calcul et dictée effectuées deux fois de façon non successive) (Shallice and Burgess, 1991). Les contraintes de l'épreuve et la cotation qui favorise la réalisation des premiers items de chaque tâche nécessitent d'élaborer une stratégie qui implique d'interrompre chaque tâche à un moment donné.

5.3.3 Les tests de scripts

En neuropsychologie, le script consiste en une séquence d'actions complémentaires articulées les unes aux autres, laquelle se caractérise par un commencement, une fin et poursuit un but précis (Abbott et al., 1985) (Figure 46). La mise en œuvre de la séquence obéit à des contraintes spatiales, temporelles et hiérarchiques.

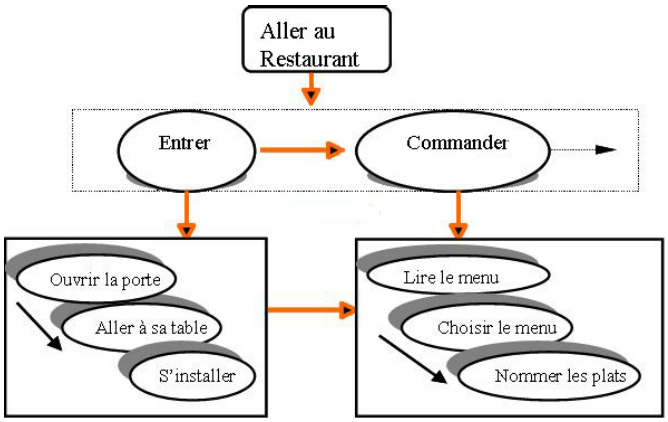


Figure 46 : Représentation hiérarchique du script *Aller au restaurant* d'après (Abbott et al., 1985)

Dans un test de script, le patient est amené à organiser un plan d'action, en formulant précisément un but, déterminant et anticipant l'ordonnancement spatio-temporel des diverses étapes nécessaires pour parvenir au but fixé. Ces étapes peuvent se dissocier en actions principales et actions sous ordonnées. Mais il n'y a pas mise à exécution du plan généré.
Quelques applications se sont attachées à l'étude de la représentation de schémas de type script chez des malades parkinsoniens (Zalla et al., 1998; Godbout and Doyon, 2000; Zalla et al., 2000). Les performances ont été explorées au niveau de la génération, ou de la manipulation des scripts.

5.3.4 Limites de l'évaluation traditionnelle

Les tests cognitifs standard permettent de mettre en évidence l'existence de troubles cognitifs mais ne rendent pas bien compte des troubles de la planification dans les activités quotidiennes. L'une des raisons est liée au fait qu'ils laissent peu d'initiative au sujet. Les thérapeutes déplorent leur manque de sensibilité et de spécificité.
Les tests écologiques présentent une grande variabilité de performance, même chez les sujets contrôle, rendant l'interprétation parfois difficile. Certes, certains tests sont conduits en temps réel dans un environnement réel, mais dans ce cas leur utilisation chez des sujets non indépendants physiquement est limitée.
Les tâches de script ne concernent que la génération de plan. Elles ne permettent pas d'explorer la phase exécution de l'action.

5.4 *L'évaluation de la planification de l'action fondée sur la réalité virtuelle*

Les tests de script permettent une évaluation de la planification de l'action en analysant la façon dont les sujets organisent les événements pour atteindre un but, les actions prototype exécutées, les omissions, les actions erronées. Les tâches de la vie quotidienne se prêtent à ce type de mise en situation. Ainsi, il a été montré que des patients présentant des lésions frontales rencontraient des difficultés pour sélectionner des activités de la vie quotidienne adaptées au contexte courant, ne se souciant pas des actions sous ordonnées ni des contraintes de temps (Miotto and Morris, 1998).

Les technologies de la RV offrent cette possibilité de créer des EVs permettant d'évaluer des sujets dans des situations proches de celles de la vie quotidienne. Elles présentent, en outre, de

nombreux avantages : contrôle des stimuli ; enregistrement des performances (actions, positions, temps) pour feedback ou analyse ultérieure ; possibilité d'ajout de facteurs ludiques, par exemple éviter que le sujet soit focalisé sur l'idée d'être testé en l'engageant dans une tâche ; augmentation de la motivation des sujets grâce à des exercices attractifs.

5.4.1 Présentations d'études abordant l'évaluation cognitive

Ces technologies de la RV ont déjà permis d'aborder l'évaluation cognitive de patients « frontaux », i.e. pour lesquels un diagnostic de syndrome frontal a été établi (Zalla et al., 2001) et de patients souffrant de dommages cérébraux d'origine traumatique (TCs) (Zhang et al., 2001; Lee et al., 2003a).

Zalla et al. ont examiné les performances de 7 patients « frontaux » et 16 sujets témoins lors de la réalisation d'une tâche dans un appartement virtuel 3D présenté sur l'écran d'un ordinateur (Zalla et al., 2001). Cet appartement était composé de quatre pièces : une chambre, une salle de bains, une cuisine et un séjour. Le thérapeute et le patient étaient assis côte à côte en face de l'ordinateur. Dans la première phase de la tâche, appelée génération verbale, le sujet devait générer verbalement la séquence d'actions correspondant aux activités routinières du matin à partir du lever jusqu'au départ au travail dans un appartement du style de celui présenté à l'écran. Simultanément au moyen de la souris, le thérapeute réalisait les actions que le patient suggérait verbalement. Dans la seconde phase de la tâche, appelée exécution d'actions, le sujet tenait la souris et exécutait lui-même la série d'actions. Certaines actions pouvaient être lancées spontanément par le sujet, tandis que d'autres impliquaient une interaction dynamique entre des objets. Dans cette phase d'exécution, le sujet pouvait visualiser sa localisation dans l'appartement grâce à un plan qui pouvait apparaître à l'écran.
Les résultats ont montré que pendant la phase de génération de plan, la présence d'un contexte réaliste a permis de minimiser l'altération des performances des patients. Cependant dans la phase d'exécution, des perturbations spécifiques ont été observées chez les patients frontaux : actions erronées, omissions, manque d'initiative, errance, difficulté à s'adapter au contexte. De plus l'analyse du temps de planification a montré, qu'au contraire des patients, les sujets contrôle passaient plus de temps dans l'exécution du plan que dans son élaboration. Les auteurs ont conclu qu'après une lésion frontale une formulation défectueuse d'un plan pouvait affecter l'exécution de l'enchaînement des actions correspondantes.

Zhang et al. ont utilisé le logiciel Softhaven pour évaluer les fonctions cognitives de personnes en cours de récupération d'un traumatisme crânien (TC) lors de la réalisation de tâches de la vie quotidienne (Zalla et al., 2001). Cet EV simule une cuisine agencée de façon classique, avec des ustensiles, des appareils ménagers et de la nourriture, accessibles pour le patient au moyen de la souris ou par écran tactile. Le système comprend un PC et un visiocasque. Des signaux visuels, sonores sont utilisés pour guider les patients et corriger leurs erreurs. La tâche simulée impliquait la préparation d'un bol de soupe, qui nécessite la réalisation de 30 tâches ou étapes. Cet EV a été utilisé pour tester la capacité à traiter et ordonner l'information de 30 patients souffrant de TCs et de 30 sujets témoins. L'évaluation globale était basée sur le nombre de réponses correctes et le temps nécessaire à l'accomplissement de la tâche. Chaque sujet était évalué 2 fois sur une durée de 7 à 10 jours. La trentaine d'étapes (par exemple, identifier le placard, désigner et choisir la casserole, …) étaient classées comme suit : traitement de l'information, résolution de problèmes, ordonnancement logique et rapidité de réponse. Les résultats ont montré que dans toutes ces rubriques les performances des patients étaient inférieures à celles des témoins : diminution

significative des capacités de traitement de l'information, d'identification, d'ordonnancement logique et de réalisation de l'ensemble de l'évaluation. La rapidité de la réponse cognitive des patients, mesurée par le temps nécessaire au traitement de la tâche, était significativement inférieure. Les auteurs en ont conclu qu'un environnement virtuel pouvait représenter un outil reproductible pour tester certaines fonctions cognitives : les tâches peuvent être programmées à des niveaux de difficulté différents et répétées de façon contrôlée. Par ailleurs, les auteurs ont suggéré que l'EV pouvait également être utilisée comme appoint dans l'évaluation de la réhabilitation traditionnelle chez les patients souffrant de dommages cérébraux.

Lee et al. ont développé un supermarché virtuel dans un objectif de réhabilitation cognitive (Lee et al., 2003a). Dans ce supermarché, comprenant 4 présentoirs et 6 réfrigérateurs, les sujets équipés d'un visiocasque pouvaient sélectionner des produits (qui passaient alors dans le caddie) ou ouvrir les portes des réfrigérateurs, au moyen d'un joystick. Cet EV a été testé auprès de 5 patients souffrant de TCs, qui ont réalisé la même tâche (faire des achats) 5 fois sur une période de 5 jours. Mesurant des variables telles que le temps écoulé, la distance parcourue, le nombre de collisions, les achats effectués, le taux d'erreur, les auteurs ont étudié l'évolution des paramètres au cours des séances. En raison du faible nombre de sujets, les résultats n'étaient pas significatifs mais ont laissé entrevoir les possibilités d'utilisation d'environnements virtuels au niveau de la réhabilitation cognitive.

Rappelons également les EVs décrits dans le § 3.3.2.2. dont l'objectif sera dans le futur d'évaluer les fonctions cognitives chez des patients (Lo Priore et al., 2003; Baumann, 2005). Les exemples cités soulignent le potentiel de la RV dans l'abord de l'évaluation cognitive.

5.4.2 Présentation de l'essai « Planification et Réalité Virtuelle »

L'originalité de notre travail est d'avoir envisagé l'évaluation d'une composante cognitive, la planification de l'action, dans un contexte virtuel le plus proche possible d'une situation réelle, avec des sujets actifs, libres de se déplacer et d'agir. Il est fondé sur la réalisation d'un EV, plus précisément un supermarché virtuel (SV), et d'une tâche nécessitant la mise en place de stratégies nouvelles et ayant par conséquent comme objectif d'évaluer les capacités de planification de l'action chez des participants. Il est appliqué à l'évaluation de la planification dans le cadre de la maladie de Parkinson.

Le travail qui va être présenté s'appuie sur deux hypothèses :

- L'utilisation d'un EV permet d'examiner, de façon détaillée, les différents niveaux engagés dans des tâches de planification
- Cette évaluation est plus sensible que les évaluations actuellement disponibles en clinique neuropsychologique traditionnelle

5.5 *La conception et la création de l'application virtuelle*

Nous allons maintenant décrire notre démarche de conception et de réalisation de l'application virtuelle (tâche et EV). Elle s'appuie sur le besoin de proposer des situations de diagnostic et d'évaluation dotées de caractéristiques proches de celles des situations réelles tout en préservant les critères de standardisation nécessaires à toute évaluation. D'autre part, elle exploite les possibilités d'enregistrement et de contrôle offertes par la RV et propose une procédure d'observation et d'analyse des résultats.

5.5.1 Conception de l'application virtuelle

Au moment de choisir l'environnement d'évaluation, nous nous sommes dirigés vers la situation d'achat dans un supermarché, situation très usuelle pour tout individu. Dans un souci de standardisation et en tenant compte de l'âge avancé de nos participants, nous avons décidé de créer un supermarché de taille moyenne agencé de façon classique (disposition et regroupement des produits, signalétique) dans lequel nous avons imaginé des participants se déplaçant librement derrière un caddie et réalisant des courses figurant sur une liste.

La réalisation d'une tâche dans un EV fait généralement appel à l'ensemble des fonctions cognitives de l'individu. Néanmoins, la fonction visée, en l'occurrence la planification, peut être privilégiée en optimisant le développement de diverses manières :

- Définition d'une tâche spécifique mettant en œuvre les processus impliqués dans la planification, comme la gestion de situations nouvelles, ou la mise en œuvre d'une séquence obéissant à des contraintes spatiales, temporelles et hiérarchiques ;
- Élimination des facteurs pouvant perturber l'attention ;
- Diminution au maximum de l'intervention de la mémoire (sémantique, spatiale) dans la réalisation de la tâche

C'est dans cet objectif que nous avons défini la tâche décrite ci-après. Néanmoins, au moment de l'analyse des résultats, il nous faudra revenir sur ces points dont la mise en place est moins évidente qu'il peut y paraître.

5.5.2 Conception de la tâche

Nous avons donc développé un paradigme similaire au *Test des Commissions* (Martin, 1972), épreuve au cours de laquelle le sujet doit effectuer une série de commissions et décider de l'ordre dans lequel il lui faut les effectuer afin de respecter les contraintes imposées (respect de la liste de courses : sa chronologie et son contenu, faire le moins de détours possibles, effectuer tous les achats, sortir après avoir payé) (Marié et al., 2003; Klinger et al., 2004b).
La recherche d'un article (e.g. de la farine) va permettre d'analyser les choix stratégiques faits par le sujet et d'aborder ses capacités de planification aussi bien sur le plan spatial que sur le plan temporel.

5.5.3 Création de l'application virtuelle

5.5.3.1. Le Supermarché Virtuel

Nous avons ainsi créé un supermarché virtuel (SV) en utilisant les outils graphiques décrits dans le Chapitre 4, i.e. Discreet 3D Studio Max[25] pour la modélisation des objets 3D et la plate-forme de développement 3D interactive, Virtools™ [26] Dev Education pour l'intégration du scénario et de l'interactivité (Klinger et al., 2004a; Klinger et al., 2006a).

Le SV simule un supermarché de taille moyenne avec : de nombreux rayons pour les boissons, les aliments salés, les aliments sucrés, les conserves, les produits d'entretien, les

[25] Discreet 10 Duke Street, Montreal, Quebec H3C 2L7 Canada
[26] Virtools™, 93 rue Vieille du Temple 75003 Paris, France

habits, la papeterie et les fleurs ; des réfrigérateurs pour les produits laitiers, des congélateurs ; quatre stands spécifiques pour les fruits et légumes, la viande, les poissons et le pain ; quatre caisses, un point d'accueil et un caddie (Figure 47, Figure 48). Quelques obstacles comme des packs de bouteilles ou des cartons ont été créés pour interférer avec le déplacement des sujets dans les différentes allées, mais aussi pour rendre l'environnement le plus proche possible des situations usuelles rencontrées dans un supermarché réel. Nous avons également introduit quelques humains virtuels (3D Sprites, cf § 4.5.3), par exemple un poissonnier, un boucher, des caissières, et des clientes. Les différents rayons sont annoncés par des panneaux.



Figure 47 : Supermarché – Vue de l'entrée



Figure 48 : Supermarché – Vue du fond

Le participant expérimente librement le SV d'un point de vue subjectif, derrière le caddie dont il peut à tout moment vérifier le contenu (Figure 49). Il prend les articles de la liste grâce à un clic gauche de la souris.

Des aides logicielles ont été implémentées pour faciliter l'interaction. Par exemple :

- pour choisir un article de la liste, il suffit au participant de pointer la souris sur la zone où se trouve cet article et de cliquer avec le bouton gauche de la souris. Le logiciel interprète ce geste en intention de prendre l'article puis il prend en charge le déplacement de l'article de l'étagère vers le caddie ;
- pour déposer les articles sur le tapis roulant de la caisse, il suffit au participant de pointer la souris sur le tapis roulant et de cliquer avec le bouton gauche.

5.5.3.2. La tâche

Nous avons finalement implémenté la tâche qui consiste à acheter des produits figurant sur une liste prédéfinie, à se rendre aux caisses, payer et sortir :

- La tâche s'inscrit sur l'écran et les différents produits à acheter s'affichent sous forme de petites icônes dans la partie droite de l'écran (Figure 50).
- Le participant est libre de prendre les produits dans l'ordre qui lui convient en cliquant dessus avec le bouton gauche de la souris.
- Si les produits choisis appartiennent à la liste définie par le thérapeute, une fois le clic effectué, ils apparaissent dans le caddie et leur icône disparaît de l'écran (Figure 51).
- A la caisse, le participant doit mettre les produits sur le tapis roulant et finalement les remettre dans le caddie, tout ceci en cliquant sur le tapis roulant avec la souris.
- Enfin le participant peut payer en cliquant sur le porte-monnaie affiché sur l'écran (Figure 52), puis se diriger vers la sortie.



Figure 49 : Une allée du supermarché



Figure 50 : Affichage de la tâche

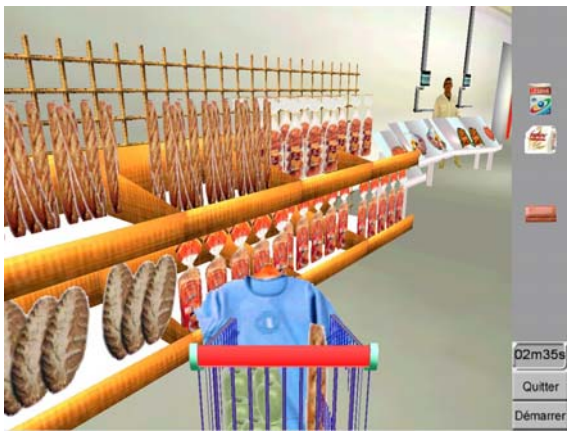


Figure 51 : L'achat d'une baguette



Figure 52 : Le paiement aux caisses

5.5.3.3. L'enregistrement des données

Dans l'objectif des analyses ultérieures, le logiciel PAV (Planification d'Actions Virtuelles) que nous avons développé permet la mesure et l'enregistrement de divers paramètres pendant que le sujet expérimente le supermarché : actions et positions du sujet, temps.

- Douze « bonnes actions » sont requises pour mener à bien la tâche. Des actions sont considérées comme erreurs ou intrusions si par exemple le sujet : 1) choisit des produits qui ne figurent pas sur la liste ou bien choisit plusieurs fois le même produit ; 2) passe à une caisse sans caissière ; 3) quitte le supermarché sans achats ou sans avoir payé ; ou 4) reste dans le supermarché après ses achats. Dans les situations 2 et 3, le sujet est averti de l'erreur qu'il est en train de commettre par un message écrit sur l'écran et il peut alors la corriger, mais l'erreur est comptabilisée.
- Les positions du sujet sont régulièrement enregistrées, toutes les 3 secondes, permettant ainsi le visionnage ultérieur de la trajectoire du sujet.
- Le temps est enregistré à la même fréquence, ainsi que le moment où les actions (ou les intrusions) surviennent. Ainsi nous pouvons calculer la durée totale de la séance, mais aussi le temps de la première action ou le temps mis pour payer.

La vitesse d'enregistrement est un paramètre réglable. Le choix de 3 secondes correspond à une vitesse de déplacement d'environ un mètre par seconde.

5.5.3.4. L'analyse des données

Grâce aux données enregistrées, le thérapeute a la possibilité, ultérieurement, d'afficher un compte-rendu de la séance et de visualiser la performance du participant sur une représentation du SV vu d'en haut (Figure 53) (Klinger et al., 2004b; Marié et al., 2005). L'observation de la performance peut également être proposée au participant.



Figure 53 : Une trajectoire optimale (sujet sain)

(Le départ de la trajectoire est indiqué par la lettre D. Les points blancs sont les positions successives du sujet, enregistrées toutes les 3 secondes, tandis que les points rouges représentent les arrêts (n=16). Les 7 rectangles bleus disséminés dans le supermarché sont utilisés pour localiser les 7 produits à acheter)

5.5.4 Interfaçage

Les participants ont utilisé les flèches de déplacement du clavier pour naviguer dans le SV et la souris pour interagir avec les artefacts, tandis que l'EV était visualisé sur l'écran d'un ordinateur avec le Virtools Web Player (cf §4.5.4). L'usage du casque n'a pas été envisagé d'une part en raison de l'absence de contrainte dans la durée de navigation dans le SV, d'autre part en raison du stress qu'aurait pu apporter le port du casque chez les patients parkinsoniens.

5.6 *Méthodologie de l'essai clinique Planification et Réalité Virtuelle*

Nos objectifs sont multiples. Tout d'abord, nous examinons la possibilité de définition d'un nouvel outil d'évaluation de déficits cognitifs permettant : de mieux rendre compte des plaintes des patients dans leurs tâches de la vie quotidienne ; de mettre en évidence, grâce aux mesures effectuées, des paramètres significatifs de l'atteinte cognitive. Puis nous souhaitons étudier l'efficacité de l'utilisation de la réalité virtuelle, en la comparant aux tests cognitifs traditionnels, dans l'évaluation de la planification de l'action chez des malades MP. Enfin, notre objectif final, qui ne concerne pas le cadre de cette expérimentation, sera d'envisager la réhabilitation cognitive de patients dans le supermarché virtuel.

5.6.1 Population

Les participants à notre étude sont treize patients parkinsoniens ou « patients MP » (5 femmes, 8 hommes ; âge : 71.1 $\pm$ 4.7), sélectionnés dans la consultation de Neurologie de l'Hôpital Universitaire de Caen et onze sujets contrôle âgés ou « sujets C » (8 femmes, 3 hommes ; âge : 67.2 $\pm$ 5.6).

Les participants ont tous été recrutés dans le respect des critères d'inclusion suivants :

- Âge $\leq$ 80 ans ;
- Capacité à lire et écrire le français, avec plus de cinq années d'études ;
- Absence de démence selon le DSM IV (APA, 1994);
- Score vasculaire modifié de Hachinski inférieur à 2 (Chui et al., 2000) ;
- Aucun antécédent de maladie cérébrale ou de la glande thyroïde, d'alcoolisme, d'utilisation d'agents psychotropes majeurs, ou de dépression ainsi que l'indique le score de l'échelle de dépression de Montgomery et d'Asberg (Montgomery and Asberg, 1979) inférieur à 20.

Les patients parkinsoniens doivent par ailleurs vérifier les critères d'inclusion suivants :

- MP idiopathique selon le critère de Gelb (Gelb et al., 1999) ;
- Réponse nette aux thérapies anti parkinsoniennes dopaminergiques : L-DOPA et agonistes de la dopamine ;
- Sévérité discrète à modérée de leurs symptômes cliniques (stade 1 à 2.5) évaluée grâce à l'échelle de Hoehn et Yahr (Hoehn and Yahr, 1967).

Les patients présentant des fluctuations de leur état moteur ont ainsi été exclus.

5.6.2 Évaluation cognitive

Les tests neuropsychologiques ont été exécutés après le déroulement de la séance d'évaluation en réalité virtuelle.

5.6.2.1. Évaluation de l'efficience intellectuelle globale

L'évaluation de l'efficience intellectuelle globale de tous les participants a été réalisée en utilisant *l'échelle de Mattis* (Mattis, 1988). Elle comprend 22 items qui explorent l'attention, l'initiation, les capacités de conceptualisation et la mémoire. Le score final est sur 144. Schématiquement, y compris pour les sujets les plus âgés et avec le moins bon niveau socio-culturel, un score compris entre 115 et 130 (exclu) permet de poser le diagnostic de déficit cognitif tandis qu'un score inférieur à 115 signe l'existence d'une démence. L'interprétation plus approfondie doit néanmoins tenir compte du niveau culturel du patient.

5.6.2.2. Exploration des processus exécutifs

L'exploration des processus exécutifs chez les patients parkinsoniens a été menée au moyen d'une batterie de tests validés incluant :

Le Wisconsin Card Sorting Test (WCST) (Heaton et al., 1993)

Ce test de classement de cartes du Wisconsin est destiné à évaluer le fonctionnement des lobes frontaux, en explorant les stratégies de planification, de recherche organisée et d'organisation conceptuelle. Il consiste à classer de longues séries de cartes représentant une image comprenant diverses formes (étoiles, cercles, carrés), de couleur variable (rouge ou verte), en nombre varié (un, deux ou trois éléments). Le critère de classement (couleur, forme ou nombre) peut être changé par l'expérimentateur et le sujet testé doit prendre conscience rapidement du changement et le mettre en application.

Trois mesures principales reflètent des mécanismes partiellement différents : le nombre des catégories accomplies, le nombre de cartes nécessaires pour réussir la première catégorie, et le pourcentage d'erreurs persévératrices. En 128 essais (au maximum) les sujets doivent donc découvrir le plus de catégories possible. Un nombre de catégories trouvées inférieur à 3 est considéré comme anormal.

Le Paradigme modifié de Brown Peterson (Marié et al., 1995)

Ce test est utilisé pour évaluer la mémoire de travail. Il nécessite de rappeler des mots après un délai variable (souvent de 0 à 18 secondes), occupé ou non par une tâche distractive (le plus souvent une tâche de calcul).

Dans la forme présentée ici, trois mots sont montrés sur une page aux patients. La page est retournée. Il est alors demandé aux patients de compter à rebours pendant un délai variable. Puis les patients doivent énoncer les trois mots lus. Pendant toute la durée du test, 75 mots sont ainsi proposés pendant 25 essais. La moyenne habituelle des sujets à ce test est de 50. Le score global BPt et le score par délai ($BP_{0,3,6,9,18}$) sont calculés grâce au nombre de mots rappelés moins le nombre d'erreurs.

Le test de Stroop (Golden, 1978)

Le mécanisme impliqué dans la tâche est l'inhibition : le sujet doit inhiber une activité rapide et automatique (lecture de mots) au profit d'une activité moins usuelle (dénomination de couleurs).
Dans la pratique, le patient lit une liste de mots indiquant des couleurs (tâche1), puis donne le nom des couleurs d'une liste de symboles colorés (tâche 2). Enfin le patient doit dénommer la couleur de la calligraphie de mots dont la sémantique est une couleur différente (tâche 3). Le score correspond au nombre de mots donné pour chaque famille pendant 45 secondes.

Le test de la fluence verbale (Cardebat et al., 1990)

Ce test évalue les capacités de maintien de plan, la rapidité de traitement de l'information, mais aussi la mémoire sémantique. Il consiste à fournir des mots d'une catégorie (ici les animaux), ou des mots commençant par une lettre (ici la lettre P). Le score correspond au nombre de mots donnés pendant 2 minutes.

5.6.3 Évaluation par la réalité virtuelle

Nous avons choisi d'effectuer l'analyse de la planification non routinière à partir du déroulement du script « faire ses courses » qui prévoit une série d'actions organisées en fonction de consignes précises, mettant en jeu la capacité à élaborer et planifier un plan d'action, à contrôler son comportement dirigé vers un but précis.

Le participant s'installe devant l'écran d'un PC (21 pouces) et expérimente le supermarché, derrière un caddie. Rappelons qu'il est représenté dans le SV par la caméra subjective qui regarde cet univers et qu'il s'y déplace librement avec les flèches du clavier et interagit avec les artefacts grâce à la souris.

Le participant reçoit tout d'abord des informations orales et générales au sujet de la tâche et de l'utilisation du logiciel. Puis pendant deux séances préliminaires consécutives de familiarisation, il apprend à utiliser le logiciel, les outils et à repérer la disposition du supermarché. Pendant la première séance, d'environ cinq minutes, le thérapeute montre au participant comment naviguer ou interagir. Pendant la seconde séance, le participant s'entraîne à manipuler les flèches de déplacement, à reconnaître les divers secteurs (Figure 49) et à prendre des objets en cliquant avec la souris.

Finalement, sans délai, le participant se prépare à la séance de test dont le but est l'évaluation de la planification de l'action. Avant que la séance ne démarre, les instructions liées à la tâche et celles relatives à la zone des caisses sont données verbalement. La consigne orale donnée au participant est la suivante :
« *Dans le supermarché vous achèterez : une baguette ; des pommes vertes ; un baril de lessive de 2kg ; 1kg de farine ; un tee-shirt pour enfant ; deux artichauts ; et des chaussettes beiges. Pour payer, il vous suffira de cliquer sur un porte-monnaie qui se trouvera sur l'écran* ».

Puis la séance démarre ainsi que nous l'avons décrit dans le § 5.5.3.2, le point de départ se situant à l'entrée du supermarché. Le participant exécute la tâche librement et à son rythme. La séance s'arrête automatiquement dès que le logiciel considère que le sujet a atteint l'aire de

sortie du SV. Au cas où le participant se retrouverait perdu dans le SV, il est possible d'arrêter la séance avant d'atteindre cette aire de sortie.

Il n'y a pas de limitation de temps et la séance se déroule sous l'observation d'un thérapeute, qui prend des notes. Si une action thérapeutique est envisagée, la séance se termine en montrant au participant sa performance, vue d'en haut dans le supermarché (Figure 53).

5.6.4 Analyse des données

L'analyse des données a été conduite sur trois catégories de variables : la connaissance sémantique liée à la tâche, la vitesse de planification et l'organisation spatio-temporelle.

5.6.4.1. Connaissance sémantique liée à la tâche

Cette analyse, qui étudie la compréhension de la tâche et mesure son taux de réalisation ainsi que le taux d'erreurs, est réalisée au travers des variables suivantes :

- Nombre de bonnes actions (BA) : ces bonnes actions concernent la prise des produits dans le supermarché, puis le dépôt et la reprise des produits sur le tapis roulant et enfin le paiement. Pour qu'une séance se déroule de façon optimale, le participant doit réaliser 12 bonnes actions.
- Nombre de mauvaises actions (MA) : ces mauvaises actions concernent la prise de produits erronés, ou la prise multiple de produits de la liste, mais aussi toutes les erreurs lors du passage aux caisses et lors du paiement.
- Taux de réalisation : douze bonnes actions sont nécessaires pour réaliser la tâche. Le taux de réalisation est donc le pourcentage de bonnes actions réalisées (BA*100/12).
- Taux d'erreur : il s'agit du pourcentage de mauvaises actions parmi toutes les actions réalisées lors de la séance (MA*100/(BA+MA)).

La connaissance sémantique liée à la tâche interfère avec la capacité à définir le but.

5.6.4.2. Vitesse de traitement de l'information

Cet élément est fondamental dans les processus de planification et peut jouer un rôle important dans les performances (Salthouse, 1996).
Son analyse est réalisée grâce à l'observation des variables suivantes :

- Temps de mise en mouvement : le temps qui s'écoule entre l'apparition de la position de départ dans le supermarché et le moment où le sujet commence à se déplacer. C'est en fait la durée du premier arrêt.
- Temps de la première action : le temps qui s'écoule depuis le démarrage jusqu'au premier achat
- Temps mis pour payer : le temps qui s'écoule entre l'apparition du montant à payer et le clic sur le porte monnaie
- Vitesse de réalisation de la tâche : le rapport entre la distance parcourue et la durée de la séance (m/min)

Le temps de mise en mouvement peut être assimilé à « l'initial thinking » i.e. le temps initial de planification. Cet élément est également un reflet de la capacité à formuler un but.

5.6.4.3. Organisation spatio-temporelle

Cette analyse étudie d'une part certaines performances enregistrées lors de la séance et d'autre part des variables calculées à partir de ces performances et décrivant la trajectoire parcourue (Beaufrère and Prêcheur, 2005). Les variables mesurées lors du déroulement de la séance sont : la distance parcourue, la durée de la séance et le nombre d'arrêts
Les variables calculées sont obtenues à partir des variables mesurées de la façon suivante :

- *Score de classement catégoriel* :

La tâche consiste à réaliser une liste de courses dont les articles peuvent être regroupés en 4 catégories : Fruits et légumes ; Vêtements ; Pains et dérivés ; Produits d'entretien. Ces catégories revêtent un caractère temporel (on achète les pommes et les artichauts successivement, l'ordre n'ayant pas d'importance) mais aussi spatial (les artichauts et les pommes sont situés dans le même secteur géographique du supermarché). Un score de classement catégoriel peut donc être calculé afin de rendre compte de la performance dans le séquençage de la tâche, mais aussi de la dispersion des catégories dans la liste.
Notre objectif n'est pas de mesurer la pertinence d'avoir commencé par telle catégorie plutôt que par telle autre mais seulement le fait de faire tous les achats d'une même catégorie ensemble. De même, cette fonction ne mesure pas l'opportunité de commencer par tel produit d'une catégorie plutôt que par tel autre. L'ordre n'est donc pas un critère pour cette fonction, qui pour l'instant ne s'intéresse qu'à la séquence des achats sans tenir compte des intrusions.
Le score de classement catégoriel est obtenu en mesurant l'écart moyen entre deux produits d'une même catégorie. Notre liste de courses bien exécutée mène à un score minimal de 1.5, tandis que exécutée dans sa totalité mais mal organisée elle peut conduire à un score maximal de 6. Les scores supérieurs à 6 sont signes d'un oubli, ou de passages aux caisses inopinés.

- *Score de maintien de plan :*

L'angularité de la courbe (trajectoire), évaluée grâce au cumul des angles et à l'angle moyen, est en rapport avec le maintien des objectifs, une angularité élevée évoquant une difficulté dans le maintien. Ce score cherche à discriminer les trajectoires « zig-zagantes » des trajectoires plus « lisses ».
Rappelons que les positions du participant ont été enregistrées toutes les trois secondes, ce qui correspond à une vitesse de déplacement d'environ 1m par seconde. Nous avons choisi d'éliminer les micro déplacements inférieurs à 20 cm, que nous considérons comme du bruit et qui peuvent être causés par une manipulation non adéquate de la souris. Ainsi nous disposons d'un sous-ensemble des positions enregistrées.
Le cumul des angles est obtenu en mesurant, à chaque position du sous-ensemble, l'angle dont le sujet a tourné, puis en sommant les valeurs absolues de ces angles.
L'angle moyen est obtenu en moyennant le cumul des angles par le nombre d'angles mesurés.

- *Score d'errance :*

La recherche des intersections avec le trajet antérieur a pour but de déterminer si le patient revient souvent sur ses pas pour effectuer deux achats successifs. Ces intersections dans la trajectoire sont le résultat d'hésitations autour d'une zone, d'errances sur toute la superficie du supermarché. Un tracé idéal ne comporte pas d'intersections. Ce score est obtenu, après élimination des micro déplacements, en calculant le nombre d'intersections dans les sous parcours entre achats successifs. Le score idéal est donc nul.

5.7 *Résultats*

Les résultats des tests neuropsychologiques concernant les patients MP sont présentés globalement dans le Tableau 9 et le Tableau 10, et de façon détaillée dans l'Annexe 7. Les performances des treize patients MP (5 femmes, 8 hommes ; âge : 71.1 ± 4.7) et des onze sujets C (8 femmes, 3 hommes ; âge : 67.2 ± 5.6) réalisées dans le supermarché sont résumées dans le Tableau 11 : moyennes et écarts-types, étendue des valeurs. Elles sont regroupées selon les catégories que nous avons définies pour l'analyse de données. Toutes les mesures ont été analysées avec le test non paramétrique de Mann-Whitney. Les données détaillées des participants relatives à leur performance dans le supermarché peuvent être consultées en Annexe 8 et 9. Les résultats concernant l'organisation temporelle de la tâche sont détaillés dans les Annexes 10 et 11. L'ensemble des trajectoires des patients et des sujets contrôle peut être consulté en Annexe 12 et 13.

Alors que nos deux groupes ont en moyenne un niveau d'éducation semblable (2.1 ± 0.8), le score moyen de la Mattis des patients MP est significativement plus bas que celui des sujets C (MP : 132.7 ± 6.5 ; C : 139.5 ± 4.0), révélant en moyenne une atteinte cognitive légère. Parmi les autres tests cognitifs, seuls le BP_3 et la fluence « Animaux » révèlent des différences significatives.
Les patients MP ont expérimenté le SV plus longtemps que les sujets C (MP : 11.2 ± 5.3 ; C : 6.9 ± 1.7 ; p=0.018) et pourtant, les performances des patients MP, enregistrées dans le SV, sont dans leur ensemble significativement inférieures à celles des sujets C, comme nous le verrons dans l'analyse des données ci-dessous.

5.7.1 Connaissance sémantique liée à la tâche

Les patients MP ne diffèrent pas des sujets C dans le nombre de bonnes actions réalisées mais ont toutefois exécuté un nombre de mauvaises actions supérieur, sans que cette différence atteigne un seuil significatif (Tableau 11).
Le taux de réalisation de la tâche est donc quasiment optimal pour tous (MP : 98.7% ; C : 100%), tandis que le taux d'erreur est légèrement plus élevé chez les patients (MP : 12.1 ± 12.8 ; C : 8.4 ± 7.5), avec une dispersion élevée de ce taux d'erreur.
La connaissance sémantique liée à la tâche ne diffère donc pas de façon significative entre patients MP et sujets C, mais on suppose qu'elle est altérée chez certains patients après l'analyse individuelle de certains patients par rapport aux contrôles (Annexe 8 et Annexe 9).

5.7.2 Vitesse de traitement de l'information

Chez les patients MP, le temps mis pour effectuer le premier achat et le temps mis pour payer sont significativement plus élevés, tandis que leur vitesse de réalisation de la tâche est significativement plus basse (Tableau 11).
A l'apparition du caddie, au début de la séance d'évaluation, les patients MP sont plus lents à se mettre en mouvement que les sujets C, sans que cette différence soit significative.
Globalement la vitesse de traitement de l'information est donc plus basse chez les patients.

5.7.3 Organisation spatio-temporelle

Les patients MP restent plus longtemps dans le supermarché que les sujets C et y parcourent une distance plus longue, marquée par de nombreux arrêts, toutes ces différences étant significatives (Tableau 11). Leurs trajectoires sont caractérisées par de nombreuses hésitations pour atteindre les objectifs, des mouvements circulaires autour des mêmes étagères, un tracé anguleux (Figure 54). Notre objectif est de quantifier toutes ces informations qui ne sont pour l'instant que visuelles.

Le score de classement catégoriel est plus élevé chez les patients MP que chez les sujets C notamment en raison des performances de deux patients qui ont fait un oubli et d'un autre qui est passé plusieurs fois aux caisses.

Le score de maintien de plan, exprimé par le cumul des angles sur la trajectoire, est significativement plus élevé chez les patients. Il révèle de façon quantitative cette angularité de leurs trajectoires, que nous constatons visuellement.

Le score d'errance, exprimé par le nombre d'intersections de la trajectoire, est significativement plus élevé chez les patients. Il exprime le fait que les patients reviennent beaucoup sur leurs pas, explorent de façon inadéquate les différentes zones.

5.7.4 Analyse décisionnelle des résultats

L'analyse de l'ensemble des données mesurées dans le supermarché a montré le caractère discriminant de la distance parcourue (Annexes 8 et 9). Les six patients MP ($d > 355$) pour lesquels la distance parcourue (d) est supérieure à 355m (moyenne des sujets C plus deux écarts-type) ont toutes leurs performances dans le supermarché altérées, ainsi qu'un score moyen de la Mattis significatif d'un déficit cognitif (128.2 ± 5.8).

Les performances des sept patients MP ($d < 355$) qui ont parcouru une distance inférieure à 355m ont été comparées à celles des onze sujets C (pour tous, $d < 355$). Ces deux groupes ne diffèrent pas par leur score à la Mattis (MP : 136.6 ± 4.4 ; C : 139.5 ± 4.0). Les variables qui demeurent significatives entre ces deux groupes sont la durée D (MP : 18.5 ± 5.5 ; C : 12.8 ± 4.2 ; $p = 0.044$), le temps mis pour le premier achat T1A (MP : 2.0 ± 0.6 ; C 1.4 ± 0.9 ; $p = 0.044$) et le nombre d'intersections NI (MP : 37.3 ± 13.9 ; C : 22 ± 12 ; $p = 0.035$).

Ainsi, les performances réalisées par notre échantillon de population nous amènent à suggérer que certaines variables, en les comparant à des valeurs seuil, peuvent participer au diagnostic de troubles de la planification. Il s'agit tout d'abord de la distance parcourue (d), puis dans leur ensemble de la durée de la séance (D), du temps mis pour le premier achat (T1a) et du nombre d'intersections (NI). Les valeurs seuil considérées dans cette étude ont été définies en calculant la moyenne de la valeur chez les sujets C plus deux écarts-type. C'est ainsi que nous pouvons considérer $d_s = 355$, $D_s = 22$, $T1a_s = 3.3$ et $NI_s = 46$. Ces conclusions seront certainement à reconsidérer dès qu'un échantillon plus grand pourra être constitué.

Les performances des patients dans le supermarché virtuel (Annexe 8) nous conduisent ainsi à diagnostiquer une altération de la planification chez 10 de nos patients MP (77%). Les tests neuropsychologiques traditionnels (Annexe 7) nous permettent de détecter cette altération chez 6 de nos patients (46%), ceux-ci se retrouvant parmi les 10 décrits précédemment.

Tableau 9 : Données neuropsychologiques des patients parkinsoniens (n = 13 ; 5F et 8M)

Comparaison avec des populations "contrôles"

	Patients N= 13 (5 F, 8 M)	Patients Étendue	Contrôles	Contrôles Étendue	U	p
Echelle de Mattis[1]	132.7 ± 6.5	[117 ; 143]	139.5 ± 4.0	[133 ; 144]	23	0.004*
Attention	35.7 ± 1.4	[33 ; 37]	36.5 ± 0.7	[35 ; 37]	46	0.150
Initiation	32.2 ± 3.0	[29 ; 37]	36.6 ± 1.2	[33 ; 37]	19	0.002*
Construction	5.7 ± 0.5	[5 ; 6]	5.9 ± 0.3	[5 ; 6]	56	0.392
Concepts	36.3 ± 2.1	[33 ; 39]	36.7 ± 2.3	[32 ; 39]	59.5	0.494
Mémoire	22.8 ± 3.0	[16 ; 25]	23.7 ± 1.7	[20 ; 25]	66	0.776
Brown Peterson[2]						
BPt	33.8 ± 18.7	[0 ; 66]	39.6 ± 13.0	[20 ; 63]	69.5	0.302
0	13.54 ± 2.63	[6 ; 15]	15 ± 0.0	[15]	56	0.094
3	5.23 ± 4.80	[-3 ; 11]	9.14 ± 2.93	[2 ; 13]	47.5	0.033*
6	6.31 ± 5.51	[-3 ; 15]	8.5 ± 3.96	[2 ; 15]	71.5	0.350
9	5.69 ± 4.57	[-1 ; 15]	4.07± 5.48	[-3 ; 15]	67.5	0.259
18	2.85 ± 5.81	[-4 ; 14]	4.86 ± 3.44	[-1 ; 11]	60.5	0.141
Stroop[3]						
Mots	87.5 ± 19.0	[56 ; 123]	86.5 ± 17.7	[47 ; 125]	296	NS
Couleurs	59.8 ± 14.3	[40 ; 90]	60.6 ± 13.0	[38 ; 89]	298.5	NS
Couleurs et Mots	26.2 ± 11.2	[3 ; 48]	27.8 ± 10.7	[5 ; 49]	298.5	NS

[1]: Comparaison avec notre population contrôle (n=11, Age : 67.2 ± 5.6)
[2]: Comparaison avec une population contrôle (n=14 ; Age : 67.2 ± 5.7)
[3]: Comparaison avec une population contrôle (n=48 ; Age : 69.4 ± 5.8)
* : $p<0.05$, différence significative entre les deux groupes, d'après le test non paramétrique de Mann-Whitney

Tableau 10: Données neuropsychologiques des patients parkinsoniens (n = 13, ; 5F et 8M)

Comparaison avec des moyennes "contrôles"

	Patients N= 13 (5 F, 8 M)	Patients Étendue	Contrôles	|t|	p
Wisconsin[4]					
Catégories	3.15 ± 1.99	[0 ; 6]	3.97 ± 1.64	1.476	0.166
Items 1ère Catégorie	29.54 ± 33.75	[10 ; 128]	17.03 ± 14.60	1.336	0.206
Items administrés	119.0 ± 18.89	[71 ; 128]	117.93 ± 18.01	0.204	0.842
% erreurs	45.0 ± 17.89	[10 ; 74]	36.77 ± 11.16	1.659	0.123
Fluence[5]					
« P »	17.1 ± 8.8	[3 ; 32]	19.64 ± ?	1.051	0.314
Animaux	20.2 ± 7.4	[9 ; 35]	28.82 ± ?	4.221	0.001*

[4] : Comparaison avec les moyennes d'un échantillon de 29 personnes (Age : 71.9 ± 1.4) (Heaton et al., 1993)
[5] : Comparaison avec les moyennes d'un échantillon de 56 personnes (Age : 70-85) (Cardebat et al., 1990)
* : $p<0.05$, différence significative entre les deux groupes, d'après le test de t

Tableau 11 : Moyennes, écarts-types et étendues des données enregistrées dans le SV auprès des 13 patients parkinsoniens et des 11 sujets contrôles

		Patients N= 13 (5 F, 8 M)	Patients Étendue valeurs	Contrôles N= 11 (8 F, 3 M)	Contrôles Étendue valeurs	U	p
I	Bonnes actions	11.6 ± 0.4	[11 ; 12]	12.0 ± 0.0	[12]	60.5	0.531
	Intrusions	2.2 ± 2.3	[0 ; 7]	1.2 ± 1.1	[0 ; 3]	63.5	0.649
	Taux réalisation	98.7 ± 3.1	[91.7 ; 100]	100	[100]	60.5	0.531
	Taux erreur	12.1 ± 12.8	[0 ; 36.8]	8.4 ± 7.5	[0 ; 20]	63.5	0.649
II	Temps mise mouvement	11.3 ± 5.5	[6 ; 24]	8.7 ± 7.5	[0 ; 27]	49	0.207
	Temps 1ère Action	3.30 ± 3.59	[1.27 ; 14.82]	1.39 ± 0.93	[0.50 ; 3.38]	24	0.005*
	Temps pour payer (sec)	24 ±17	[2 ; 58]	10 ± 10	[1 ; 33]	36.5	0.041*
	Vitesse	14.9 ± 4.7	[7.6 ; 24.1]	19.3 ± 3.8	[14.6 ; 24.6]	30	0.015*
III	Distance (m)	378.1 ± 126.4	[218.5 ; 692.0]	238.8 ± 57.7	[129.3 ; 325.1]	18	0.001*
	Durée (min)	28.8 ± 15.4	[9.1 ; 60.5]	12.8 ± 4.2	[6.8 ; 20.5]	16	0.001*
	Nombre d'arrêts	67.9 ± 34.8	[17 ; 144]	31.8 ± 12.0	[16 ; 55]	20.5	0.002*
	Catégorisation	4.27 ± 3.24	[1.5 ; 13]	2.45 ± 1.13	[1.5. 4.5]	40	0.072
	Cumul des angles	9380 ± 5356	[3220 ; 21600]	4069 ± 1426	[2620 ; 7880]	20	0.002*
	Angle moyen	37.97 ± 9.41	[27.5 ; 56.0]	29.18 ± 7.35	[20.4 ; 48.1]	29	0.013*
	Nbre Intersections	125 ± 131	[14 ; 438]	22 ± 12	[3 ; 43]	15	0.001*

I : Connaissance sémantique liée à la tâche
II : Vitesse de traitement de l'information
III : Organisation spatio-temporelle
* : $p<0.05$, différence significative entre les deux groupes, d'après le test non paramétrique de Mann-Whitney



Trajectoire du Patient 06



Trajectoire du Contrôle 04

Figure 54 : Trajectoires d'un Patient Parkinsonien et d'un Sujet Contrôle dans le Supermarché Virtuel

5.8 *Discussion et Conclusion*

Les déficits cognitifs rencontrés dans la maladie de Parkinson comportent les troubles des fonctions exécutives, et en particulier ceux de la planification. Ils peuvent être évalués par des paradigmes neuropsychologiques élaborés et sont documentés (Dubois and Pillon, 1997; Carbon and Marie, 2003). Mais très peu d'études ont permis une mise en évidence quantitative des conséquences de ces déficits dans des activités de la vie quotidienne. La présente étude a tout d'abord été construite pour développer un environnement virtuel destiné à l'exploration de la planification, mais aussi pour évaluer la planification de l'action dans le cadre d'une étude pilote comparant les performances de patients parkinsoniens à celles de sujets contrôle, dans l'exécution d'une tâche de patients.

Nous avons donc développé un supermarché virtuel (SV) permettant l'exploration de la planification au travers de la réalisation d'une tâche de commissions. Ainsi que le révèle l'analyse de la connaissance sémantique liée à la tâche, tous les participants ont bien compris la tâche qui leur était proposée ainsi que l'utilisation du logiciel. Les difficultés potentielles, liées à la navigation avec le clavier et à la sélection d'items avec la souris, ont été minimisées grâce à l'expérimentation lors de la séance de familiarisation, tout d'abord avec le thérapeute, puis finalement libres jusqu'à ce qu'ils se familiarisent avec les interfaces. De plus, après la tâche, nous avons organisé une période de discussion pendant laquelle les patients pouvaient exprimer les difficultés qu'ils avaient pu rencontrer. Nous n'avons pas observé de problèmes

concernant l'usage des interfaces, simplement quelques difficultés pour apprécier la distance à partir de laquelle il était possible de saisir les objets sur certaines étagères. Rappelons que les patients parkinsoniens recrutés ne présentaient pas de fluctuations de leur état moteur.

A la différence de Lee et al., nous avons donné la priorité à la similarité entre notre SV et un supermarché réel (Lee et al., 2003a). En fait, nous avons pris en considération les dimensions d'un supermarché de taille moyenne et nous avons créé les différentes allées habituelles, avec leur variété de produits. Nous avons laissé la possibilité d'ajouter un fond sonore, ce qui est usuel dans un supermarché réel. D'autres caractéristiques ont également été retenues pour conférer au supermarché virtuel un certain degré écologique : position du participant derrière le chariot, point de vue subjectif.
Dans notre SV, les choix et les décisions ne sont pas seulement évoqués, mais réellement exécutés. La cascade des événements, tels que actions et réactions, est partiellement préservée, ce qui représente une nette supériorité par rapport aux tests traditionnels. De plus, les participants font vraiment face à des situations et ne doivent pas seulement les décrire au moyen de mots (Damasio, 1995). Les diverses données enregistrées dans le supermarché permettent l'interprétation ultérieure de la précision et de la rapidité des réponses comportementales des participants.
L'interfaçage entre le participant et l'EV est une question cruciale en réalité virtuelle. Le choix doit être fait en fonctions des capacités des patients, du niveau d'immersion escompté. La compréhension des participants doit être aussi rapide que possible, quasiment sans entraînement. Nous avons décidé, dans cette première approche, d'utiliser la souris et le clavier, et les participants ont manipulé correctement les deux.

Une étude pilote a par ailleurs été menée dans notre SV avec pour objectif l'évaluation de la planification de l'action chez des patients parkinsoniens et chez des sujets contrôle du même âge. Leurs performances ont été comparées dans une tâche de commissions, grâce aux diverses mesures enregistrées tout au long de la séance d'évaluation. Mais avant de discuter ces performances, revenons sur les conditions expérimentales de l'étude. Les durées des séances d'évaluation des patients (28.8 ± 15.4 minutes) nous confortent dans le choix de la visualisation sur écran d'ordinateur. Une telle durée avec port de visiocasque aurait risqué d'entraîner des malaises, tels cinétose (Stanney et al., 2002).

Globalement la planification de nos patients n'apparaît pas indemne, ceci en accord avec la littérature indiquant que ce processus est de fait souvent perturbé chez les patients parkinsoniens (Saint-Cyr et al., 1988; Owen et al., 1992; Owen, 1997). Mais les difficultés de planification bien que souvent rapportées, notamment à l'épreuve des Tours : Tour de Londres (Owen et al., 1992) et Tour de Toronto (Saint-Cyr et al., 1988), n'ont pas été encore parfaitement précisées quant à leur mécanisme.

Les données que nous avons recueillies nous ont conduits à analyser trois types de mécanismes. Tout d'abord, les mesures caractérisant la vitesse de traitement de l'information confirment le ralentissement attendu chez les malades parkinsoniens (Rogers, 1986). La bradyphrénie décrite chez ces patients coïncide avec un ralentissement des processus centraux de traitement de l'information se manifestant par un allongement des temps de réponse. Toutefois, le temps initial de planification, que nous avons assimilé au temps de mise en mouvement, ne présente pas de différence significative entre les deux groupes ; on pourrait ainsi le considérer trop court pour les patients, étant donné le ralentissement évoqué précédemment. Ce résultat est en rapport avec ceux déjà publiés et mettant en rapport un court temps initial de planification et une formulation incorrecte du but. A l'épreuve de la Tour de

Toronto, Saint-Cyr rapporte une augmentation du nombre de déplacements nécessaires pour parvenir à la solution (Saint-Cyr et al., 1988). Les performances suggèrent que les patients parkinsoniens n'ont pas de difficultés à construire un plan d'action, étant donnés que leurs temps de latence, dits de planification, sont équivalents à ceux des sujets contrôle. Mais en revanche, ils éprouvent des difficultés à utiliser ensuite le plan d'action construit.
Puis, l'absence de différence entre patients et contrôles dans la connaissance sémantique globale liée à la tâche nous conduit à conclure à l'intégrité des processus requis pour récupérer l'information liée à la tâche. Le taux d'erreur des patients est toutefois plus élevé sans que cela soit significatif. L'accès aux connaissances sémantiques de type script est également décrit comme préservé dans la maladie de Parkinson (Zalla et al., 2000).

Enfin, la différence de comportement entre patients et contrôles dans l'organisation spatio-temporelle est soulignée par les données enregistrées : les patients ont besoin de plus de temps pour effectuer la tâche et couvrent une distance plus longue. Cette différence n'est pas due à des difficultés motrices puisque les participants naviguent avec le clavier. Elle est plutôt la conséquence de leurs hésitations, de leurs nombreux arrêts, et de leur recherche de produits non conforme à la position des produits dans le supermarché. Les patients ont plus de difficultés à maintenir leurs objectifs et ils dévient souvent par rapport à ceux-ci. Ils ont tendance à beaucoup errer dans le supermarché, revenant sur leurs pas, sur explorant certaines zones.
Même si dans l'ensemble les patients réalisent toute la tâche, le score de classement catégoriel est révélateur de leur difficulté à en organiser le séquençage. Leur utilisation des éléments contextuels du SV est sans doute insuffisante. Plutôt que de conclure à une altération de la représentation de script à proprement parler, Zalla évoque un déficit de flexibilité, une altération du mécanisme de *switching* nécessaire pour traiter en parallèle plusieurs informations (Zalla et al., 1998). Elle interprète de cette manière les erreurs de séquence commises par les patients parkinsoniens. La proportion d'erreurs de séquence dans l'étude des scripts menée par Godbout est aussi significativement plus élevée chez les patients parkinsoniens que chez les contrôles. Ces résultats concordent avec certaines études qui montrent que la maladie de Parkinson peut affecter l'organisation temporelle d'événements (Taylor et al., 1986; Vriezen and Moscovitch, 1990).
Ainsi la différence de comportement entre patients et sujets contrôle semble liée aux difficultés d'organisation spatio-temporelle des patients. Ces résultats rappellent le comportement de patients frontaux décrit par Zalla dans un appartement 3D où la séquence du déplacement adoptée par les patients n'était pas aussi optimale que celle adoptée par les contrôles (Zalla et al., 2001).
En résumé et selon notre étude, les processus de planification chez nos malades parkinsoniens présentent les caractéristiques suivantes : (a) la formulation du but est correcte ainsi que le montrent les scores relatifs à la connaissance sémantique de la tâche ; (b) le ralentissement du traitement de l'information ne joue qu'un rôle relativement modeste ; (c) par contre, l'organisation spatio-temporelle des patients semble nettement perturbée. La performance dans le supermarché virtuel apparaît plus sensible aux altérations de la planification que les tests neuropsychologiques auxquels les patients ont été soumis.

Par ailleurs, il existe une concordance entre l'évaluation clinique intuitive et la quantification issue du supermarché. Lors de l'interview clinique, les plaintes des patients sont d'ordre général (« ma mémoire n'est pas bonne ») ; elles expriment un changement par rapport à « avant » mais sont rarement précises. La SV permet de préciser des difficultés des patients, d'engager le dialogue avec eux, de les réinterroger. Il est à noter que les patients ont jugé très utile de revoir leur performance, percevant dans cette approche une aide pour mieux

comprendre leur comportement dans la vie réelle. L'objectif est de proposer une possibilité d'amélioration aux patients, donc un entraînement. Le SV pourrait ainsi servir de base à une perspective de réhabilitation (cf Chapitre 7 § 7.2.8 et l'Annexe 17).

Conclusion

Nous avons présenté une approche fondée sur la réalité virtuelle de l'évaluation de la planification de l'action dans la maladie de Parkinson. Malgré un nombre limité de participants, notre étude a permis de dissocier différentes composantes de la planification et a mis en évidence l'efficacité potentielle de cette nouvelle approche. Nos données suggèrent un ralentissement des processus de planification dans la maladie de Parkinson ainsi qu'une utilisation inefficace des éléments contextuels de l'environnement. Cependant ces résultats doivent être confirmés sur un plus grand échantillon, au travers de la réalisation de tâches diverses, avec une analyse plus poussée encore des paramètres enregistrés. Il sera alors possible d'investiguer les questions qui restent posées, concernant par exemple l'influence de la mémoire, du sexe, des capacités spatiales, de l'habitude de faire les courses ou encore des outils de navigation, sur la réalisation de la tâche et par conséquent sur l'évaluation de la planification de l'action.

Chapitre 6 Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux

Les dispositifs de RV ont permis la mise en place de nombreux paradigmes de recherche en neurosciences cognitives et comportementales ces dernières années. Des environnements virtuels à visée diagnostique, thérapeutique mais aussi de soutien ont ainsi été développés. Notre objectif, dans ce chapitre, est de proposer une vision unifiée et détaillée des apports de la RV dans la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux, sans raison particulière de distinguer les domaines de la psychiatrie et de la neuropsychologie. Elle est fondée sur l'expérience que nous avons acquise lors des deux études que nous avons menées, mais aussi sur les informations récoltées lors de la constitution de l'état de l'art dans le Chapitre 3. Nous évoquerons ensuite certaines des raisons pouvant expliquer l'intérêt et l'efficacité de la RV. Puis, dans un souci d'objectivité, nous présenterons certaines limites de la RV dans les domaines cliniques qui nous concernent. Enfin, nous discuterons de la place que prend la RV dans le processus thérapeutique.

6.1 *Apports de la réalité virtuelle*

Notre analyse, fondée sur les conclusions tirées de nos deux expérimentations (diagnostic de troubles cognitifs et thérapie de la phobie sociale), s'étend à notre vision des possibilités d'utilisation des potentiels de la RV (Burdea, 2003; Rizzo et al., 2004b; Riva, 2005). Nous évoquerons parfois la notion de traitement, qui regroupe la thérapie en psychiatrie et la réhabilitation en neuropsychologie, et la notion d'évaluation, qui peut aller du diagnostic aux évaluations « pre » et « post » traitement.

La RV est à la croisée des chemins des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) et des Sciences Humaines. Nous déclinerons ces apports de la RV à la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux selon trois aspects, le premier évoquant les apports provenant de l'usage des techniques, le second considérant les apports liés aux fonctions intrinsèques de la RV, et le troisième soulignant les apports bénéficiant au contexte humain.

6.1.1 Apports provenant des techniques

Les technologies de la RV sont à la fois fondées sur les potentiels de l'informatique et sur les caractéristiques propres de la RV que sont la 3D, le temps réel, l'interaction et l'immersion.

6.1.1.1. Apports informatiques

Augmentation du contrôle, de la sécurité et des chances de succès thérapeutique

Grâce aux possibilités de contrôle offertes par les technologies de la RV, les séances de thérapie ou d'évaluation peuvent à tout moment être interrompues par le thérapeute ou même le patient afin par exemple de pallier une difficulté. Ceci présente un avantage par rapport à l'expérimentation *in vivo* dans laquelle les stimuli sont présentés une fois pour toutes et impossibles à arrêter (e.g. pour un phobique social, le trajet dans un ascenseur avec des personnes). Le contrôle de la séance permet ainsi d'assurer une meilleure sécurité du patient. Par ailleurs, il permet de minimiser la variabilité due aux conditions expérimentales (e.g. dans les tests neuropsychologiques papier-crayon), la même évaluation peut par exemple être réalisée dans les mêmes conditions de lieu et de temps. Enfin, des éléments distracteurs peuvent être contrôlés dans l'EV, et ce pour deux objectifs : augmentation de l'attention par élimination des éléments distracteurs ou détournement de l'attention par introduction d'éléments distracteurs.

La possibilité de contrôle, d'interruption diminue l'appréhension du patient à venir pour une séance de traitement ou d'évaluation, et favorise un meilleur suivi du traitement. Dans le traitement de la phobie sociale, nous n'avons pas recensé d'abandon dans les patients du groupe TRV. Par ailleurs, la RV permet, au thérapeute, l'exploration du comportement du patient face à une situation anxiogène ou dans la réalisation d'une tâche, mais aussi, au patient, l'abord sans crainte de menace des situations anxiogènes ou des situations de test. Les risques dus aux erreurs sont ainsi minimisés (e.g. séance de conduite automobile ou traversée de routes). Il faut cependant prendre en considération les risques dans la vie réelle de cette fausse sensation de sécurité, en tenir compte lors de la réalisation des EVs et lors du déroulement d'une séance d'évaluation ou de traitement. Tous ces éléments cités favorisent donc les chances de succès thérapeutique (Riva et al., 2001c).

Production de signaux d'aide ou de feedback

Les technologies de la RV offrent la possibilité de délivrer des signaux lors de la réalisation de tâches. Il est ainsi possible de créer des EVs qui proposent des approches d'apprentissage sans erreur, ce qui n'est pas toujours aisé dans le monde réel : des signaux sont donnés aux patients avant une réponse afin de les aider dans leur performance. Ce type d'apprentissage est efficace dans le cadre de certains troubles du SNC (Wilson and Evans, 1996). Dans la séance d'entraînement dans notre supermarché virtuel, les actions à réaliser pour passer aux caisses sont ainsi affichées sous forme de consignes dans des fenêtres de visualisation.

La RV permet aussi de renvoyer, après une action, un feedback sous une grande variété de formes, telles que échelles, scores absolus (correct/incorrect) et de modalités sensorielles (visuelles, sonores, tactiles, olfactives, haptiques). Ces signaux peuvent apparaître dans une forme inhabituelle dans le monde réel (i. e. un son en cas de réponse correcte), ou au contraire conformément au monde réel dans un souci de validité écologique et de cohérence avec le scénario. Dans le supermarché virtuel, les patients sont conscients d'avoir réalisé leur achat parce que le produit apparaît dans le caddie, mais aussi parce que l'icône du produit s'efface de la liste de courses affichée à l'écran. Dans les situations de phobie sociale, le thérapeute étant pour l'instant le seul juge de la qualité de la réponse du patient, c'est à lui qu'incombe le rôle de feedback (conseils, encouragements).

Enregistrement de la performance

La RV offre la possibilité de capturer la performance du patient dans l'EV grâce à l'enregistrement de paramètres variés lors de la séance d'expérimentation : positions, temps, actions effectuées et moments de ces actions, etc. De nombreuses réponses peuvent ainsi être quantifiées de façon simultanée et précise. Ces enregistrements, qui se sont déroulés de façon naturelle, intuitive, permettent de calculer de nouvelles variables plus spécifiques, plus significatives de la performance (distance parcourue, temps nécessaire pour certaines actions, etc) mais aussi de revisualiser la séance de RV, soit du point de vue du patient, soit du point de vue d'une autre caméra qui observe la scène. C'est ainsi que dans l'évaluation de la planification de l'action nous avons la possibilité de tracer en dynamique la trajectoire d'un participant et d'éditer un compte-rendu de séance.

Ces possibilités de « rejouer » la séance sont utiles pour le thérapeute afin de revoir la performance, de mieux l'analyser mais aussi pour le patient. On peut ainsi lui rendre compte visuellement de certaines de ses difficultés, ou bien de l'amélioration de ses performances lors de séances successives de traitement. Par ailleurs, ces données enregistrées à l'insu du patient ou du thérapeute constituent des bases de données objectives pouvant être consultées à distance.

Possibilité de faire des pauses dans les séances

Dans les séances de traitement ou d'évaluation, après certains événements ou certaines actions, le feedback immédiat du thérapeute est parfois bénéfique. C'est par exemple le cas dans l'exposition à des situations anxiogènes, ou pour des patients avec des troubles de la mémoire auxquels il faut faire des rappels fréquents de consignes. Ce feedback est possible dans les approches traditionnelles. Mais pendant l'arrêt dédié à l'intervention du thérapeute, la situation continue d'évoluer, le temps de s'écouler. Dans un EV, la pause permet d'arrêter la séance au milieu d'une situation d'exposition, ou d'une tâche fonctionnelle. Il est alors possible d'évaluer avec le patient la situation, les facteurs environnementaux qui ont pu perturber ou faciliter l'action, ou encore de « rejouer » une portion de la séance écoulée. A partir de son moniteur, le thérapeute peut gérer la situation et apporter des aides ou des solutions au patient.

6.1.1.2. Apports propres à la réalité virtuelle

Exposition à des stimuli variés

Offrant la possibilité de créer des stimuli variés, la RV facilite, par exemple en psychothérapie, l'exposition à des situations anxiogènes (virtuelles) variées permettant d'aborder les différents aspects du trouble concerné (e.g. les quatre types de phobie sociale). Le patient est confronté à des situations anxiogènes proches de celles de la vie quotidienne et caractéristiques de son trouble. Il n'est pas soumis aux imprévus et aux risques des situations *in vivo*. Il n'est pas non plus limité par d'éventuelles difficultés d'imagination.
De plus, le thérapeute peut visualiser la situation d'ERV sur l'écran de son ordinateur et par conséquent comprendre la situation à laquelle le patient est exposé, et lui apporter le soutien et les conseils adéquats. Toutes les caractéristiques du trouble peuvent être abordées grâce à des situations réfléchies et conçues à l'avance.

Par ailleurs, la RV permet la génération de stimuli s'adressant à nos divers sens. Ces stimuli multisensoriels viennent d'une part enrichir les EVs, et d'autre part, ils offrent la possibilité d'étudier l'intégration multisensorielle chez l'homme (intégration visuo-haptique (Ernst and Banks, 2002) ; intégration visuo-idiothétique[27] (Warren et al., 2001) ; intégration visuo-vestibulaire (Viaud-Delmon et al., 1998)).

Exposition à des stimuli contrôlés, interactifs

La RV offre la possibilité de reproduire des expérimentations à l'identique dans le cadre d'un protocole clinique (e.g. le protocole clinique de la phobie sociale), ou dans celui de séances d'évaluation (e.g. l'évaluation de l'altération de la planification de l'action). Le contrôle et la cohérence des stimuli sont assurés par le thérapeute. Des protocoles standardisés peuvent ainsi être mis en place (certains ont reproduit les tests existants comme celui du Wisconsin).

Si les stimuli peuvent être contrôlés, ils peuvent également être hiérarchisés et répétés, pouvant varier des plus simples au plus complexes en fonction du succès, selon le niveau de trouble du patient, selon le niveau de difficulté que le thérapeute souhaite soumettre au patient. Ainsi dans la phobie sociale, lors des dernières séances, le patient évalue les situations qu'il juge les plus anxiogènes et le travail final d'exposition se fait sur ces situations.

Les expérimentations peuvent être répétées afin de permettre l'apprentissage, le renforcement, l'habituation. Le thérapeute fait ainsi se répéter l'interaction jusqu'à ce que le comportement et le niveau de réponse du patient soient jugés satisfaisants. En psychothérapie, les risques d'évitement de la situation se trouvent ainsi minimisés, le thérapeute ayant la possibilité de les détecter grâce à la visualisation sur un écran et de ramener le patient vers la situation anxiogène.

Enfin, ces stimuli d'exposition sont interactifs, permettant, comme nous l'avons vu dans l'expérimentation 1, la mise en scène d'interactions sociales. Ils peuvent être contrôlés par le thérapeute pour définir le niveau de la séance, ou pour faire progresser la séance selon les réponses du patient. Une évolution progressive du degré anxiogène de la situation d'exposition peut également être contrôlée par le patient, ainsi que le montre l'étude sur la claustrophobie (Botella et al., 1998).

Présentation d'environnements écologiques

La RV permet de créer des environnements écologiques, c'est-à-dire proches des situations de la vie quotidienne. Non seulement ces environnements peuvent ressembler visuellement à des lieux quotidiens, mais il est aussi possible d'y définir des tâches qui requièrent des comportements du monde réel. Ainsi la validité écologique des performances cognitives et fonctionnelles est renforcée, et la pertinence prédictive des résultats obtenus est plus grande. Le supermarché virtuel a ainsi été créé conformément à un supermarché réel de taille moyenne. Les patients ont pu y retrouver l'agencement habituel des rayons et la tâche à réaliser était suffisamment réaliste.

La validité écologique des environnements peut être atteinte malgré un réalisme graphique limité ou une faible immersion (comme avec les écrans plats). Tant que le scénario de RV ressemble à un scénario réel (e.g. une tâche à réaliser), possède des éléments qui sont la

[27] Une information idiothétique est liée au déplacement de l'individu

réplique d'éléments du monde réel (e.g. les agents virtuels dans la phobie sociale), et tant que le système répond correctement à l'interaction de l'utilisateur, la validité écologique de l'EV est assurée.
Dans ces EVs écologiquement valides il est possible de définir des scénarios qui permettent d'explorer différents domaines cognitifs séparément ou simultanément, dans un contexte à la fois spatial et temporel. Enfin, les performances réalisées dans un EV écologique peuvent conduire à une amélioration des mêmes tâches dans l'environnement réel. Il y a transfert des acquis en RV vers le monde réel.

Adaptation des interfaces et choix des modalités sensorielles

La RV permet d'évaluer et d'entraîner les capacités cognitives et fonctionnelles de personnes présentant des altérations sensorimotrices, grâce d'une part à la création d'interfaces adaptées, d'autre part à la prise en considération des modalités sensorielles intactes. L'usage du clavier et de la souris, validé dans les jeux vidéo, peut s'avérer le plus adapté. C'est celui que nous avons retenu avec les malades parkinsoniens car moins sensible à d'éventuels tremblements.

Mais des interfaces adaptées peuvent être développées et ainsi permettre à des personnes avec des handicaps moteurs de naviguer dans un EV et d'y réaliser des tâches. Elles sont fondées sur l'utilisation de la parole, du souffle, du suivi des yeux, de l'augmentation du mouvement, mais aussi de signaux neurologiques. C'est ainsi également que les modalités sonores, tactiles ou haptiques peuvent être utilisées dans le cas de sujets déficients visuels.

Intégration d'agents virtuels

Le monde réel est peuplé d'êtres humains avec lesquels nous entretenons des relations sociales. Les technologies de la RV nous permettent de peupler les EVs d'agents virtuels qui peuvent être dotés de comportements. Pour l'instant cette approche est retenue dans le cas de certains troubles anxieux, comme la phobie sociale ainsi que nous l'avons vu dans le Chapitre 4. Mais la présence de ces agents virtuels interactifs peut ouvrir de nouvelles possibilités de scénarios de traitement et d'évaluation visant des interactions sociales, une communication naturelle et la conscience de signaux sociaux. Ces agents virtuels peuvent aussi devenir des guides dans l'EV ou être utilisés pour renvoyer un feedback vers le patient. Leur présence dans les EVs augmente le réalisme des scénarios de RV. C'est ainsi que dans le supermarché virtuel nous avons des caissières, des clients et des vendeurs. Un de ces agents virtuels peut également devenir l'avatar du patient ou celui du thérapeute ouvrant des possibilités de nouveaux points de vue thérapeutiques, mais aussi de nombreuses questions quant à la création de ces avatars : Quelle représentation et quels mouvements lui donner ? Quelles conséquences sur le participant à la vue du fonctionnement de son avatar ?

Il est à noter que le développement d'agents virtuels interactifs et intelligents reste une tâche difficile, notamment en ce qui concerne l'expression de leurs émotions, de leur attitude ou encore de leur regard.

Possibilité de contrôle partiel de la liberté de navigation du sujet

Le sujet est a priori libre de naviguer et d'agir à sa guise dans un EV, libre d'explorer tout l'espace, d'y rester aussi longtemps qu'il le souhaite et enfin d'y exécuter toutes les actions offertes. L'analyse de ces comportements est en effet révélatrice de l'attitude du sujet, mais aussi de ses dysfonctionnements. C'est ainsi que nous constatons que les trajectoires des

patients parkinsoniens sont significativement différentes de celles des sujets contrôle dans le supermarché virtuel. C'est aussi grâce à cette possibilité de liberté que le thérapeute détecte l'évitement des phobiques sociaux.

Mais dans d'autres applications la liberté pourra être bridée en raison d'objectifs thérapeutiques. Parfois cette liberté devra être contrebalancée par une intervention du thérapeute. Par exemple, dans une séance d'apprentissage de traversée de rues, le sujet a la possibilité de traverser au moment du passage de la voiture, et donc causer un accident. Il faudra alors que le thérapeute rappelle bien au sujet la différence entre un tel comportement dans un EV et le même comportement dans le monde réel.

Mise à disposition de bibliothèques d'EVs

L'objectif est de mettre à disposition des thérapeutes des systèmes de RV possédant un éventail d'EVs (maison, salle de classe, bureau, supermarché, extérieur, etc) dans lesquels il sera possible de réaliser une multitude de tâches ou d'être exposé à différentes situations anxiogènes. De façon générale, le même système de RV peut être utilisé avec diverses populations cliniques et proposer un large éventail d'exercices. C'est ainsi que notre supermarché virtuel, dont nous avons rapporté l'utilisation dans le cadre de l'évaluation de la planification de l'action auprès de patients parkinsoniens est expérimenté actuellement au CHU de Caen par des patients souffrant de SEP. Il a également été légèrement adapté pour une utilisation dans le contexte israélien. Il pourrait par ailleurs être utilisé dans des tâches visant l'évaluation de la mémoire. Cet objectif de mise à disposition doit être atteint dans un souci de standardisation.

Apports de la RV dans le processus clinique

Tout en étant encourageants au niveau théorique, tous les apports décrits ci-dessus ont encore besoin d'être prouvés via la recherche empirique systématique auprès de populations de patients et de sujets témoins. Certains peuvent être utiles dans toutes les phases du processus clinique et l'intérêt des autres n'apparaîtra que dans des phases spécifiques.
Les technologies de la RV ont ainsi trouvé leur place dans la réalisation des étapes d'évaluation (e.g. évaluation de la planification de l'action) et de traitement (e.g. ERV dans la phobie sociale). Elles permettent une évaluation plus fine des dysfonctionnements, plus objective, plus reproductible, pouvant s'adresser à différents types de populations de patients. Elles permettent de personnaliser, graduer, répéter des séances de traitement, tout en respectant un protocole expérimental précis. L'enregistrement « transparent » (à l'insu du patient et du thérapeute) de données au cours de la performance d'évaluation ou de traitement ouvre la voie à une analyse plus objective des résultats.

6.1.2 Apports liés aux fonctions intrinsèques de la réalité virtuelle

Extrayant l'utilisateur de son propre espace et du temps présent pour le faire interagir avec un monde artificiel, la RV permet à l'utilisateur de changer virtuellement de temps, de lieu et d'interaction. Cette approche permet une taxonomie fonctionnelle de la RV quel que soit le domaine d'activité (Fuchs et al., 2006). Considérons sa déclinaison en psychiatrie et neuropsychologie.

Changement virtuel de temps

L'évaluation de la performance (cf l'étude sur la planification), menée dans le présent dans un monde virtuel, est rejouée ultérieurement en accéléré, ou en ralenti, par le thérapeute et/ou le patient. Les séquences de traitement (cf l'étude sur la phobie sociale) peuvent être répétées à l'identique, dans un objectif d'apprentissage. Dans le cadre d'une succession de séances, la progression de la performance cognitive et/ou comportementale peut être revécue. Les conséquences d'une action potentielle du patient peuvent être visualisées, comme une projection dans l'avenir.
Ce changement de temps virtuel offre des possibilités de répétition, de revisualisation, de planification, tout ceci grâce à l'enregistrement de performances dans le monde virtuel.

Changement virtuel de lieu

Le patient est extrait de son propre espace pour être immergé dans le monde virtuel, qu'il peut observer d'un point de vue subjectif. Il peut également être transporté dans ce monde artificiel grâce à la simulation de son avatar, et même y retrouver les avatars de personnes de son entourage familier, comme son thérapeute. Il peut ainsi s'observer dans ses actions, s'intéresser au regard des autres. L'expérience dans l'environnement virtuel peut être envisagée selon différents points de vue, comme celui du patient et/ou du thérapeute.
Ce changement virtuel de lieu ouvre la voie à de nouvelles expériences pour le patient, mais aussi abolit les notions de distance physique entre les intervenants, le monde virtuel devenant terrain de rencontre, de traitement, de diagnostic.

Changement virtuel d'interaction

Dans les deux études que nous avons présentées, le participant interagissait avec un monde artificiel simulant certains aspects de la réalité. Ce monde aurait pu être symbolique, ou imaginaire. L'interaction du participant peut, selon les applications, être déclinée de passive à active comme suit :

- pas d'interaction : le participant est passif ; il est soumis à une expérience cognitive dans le monde virtuel, comme la mémorisation d'objets e/ou de lieux. Son exploration du monde virtuel est prédéfinie par le thérapeute.
- limitée à la navigation : le participant est peu actif ; mais il a la liberté d'explorer à sa guise le monde, et l'analyse de sa façon de procéder peut être révélatrice de certains dysfonctionnements, comme l'évitement dans la phobie sociale.
- interaction avec le monde virtuel: le participant est actif ; il peut exécuter des tâches, comme faire ses achats dans le supermarché virtuel. L'interaction du patient pourra avoir des conséquences sur le monde virtuel, selon le caractère figé ou modifiable de celui-ci.

Ce changement virtuel d'interaction permet, par exemple, l'exploration des fonctions cognitives sous diverses approches (active / passive).

6.1.3 Apports au contexte humain

Attractivité des EVs et Augmentation de la motivation

Les EVs utilisés à des fins cliniques présentent auprès des participants une attractivité voisine de celle des jeux vidéo, même si leur graphisme en est plus pauvre. Ainsi l'exploitation de cette attractivité peut permettre d'une part d'impliquer les participants dans des expérimentations de traitement ou de test, tout en oubliant, partiellement ou complètement, le caractère clinique de la situation, et d'autre part d'augmenter leur motivation à continuer, à recommencer. Nos patients parkinsoniens nous ont rendu compte de cette attractivité en nous sollicitant pour la mise en place de séances de réhabilitation. Un des intérêts de la compréhension et de l'exploitation de l'attractivité réside aussi dans le fait qu'une population jeune (15-24 ans) se retrouve dans la population des patients souffrant de traumatismes cérébraux, et ces jeunes sont sensibles aux attraits des jeux vidéo.

La RV offre une diversité d'approches thérapeutiques (apprentissage pas l'exemple, approche jeu vidéo, ERV) qui permettent également de stimuler la motivation, pouvant apporter en plus des encouragements visuels ou auditifs (Burdea, 2003). Il est également important de souligner l'attitude favorable des patients face à ces nouvelles possibilités de traitement.

Respect du rythme du patient et de la confidentialité

Les séances de RV sont individuelles et peuvent être adaptées au rythme de progression du patient : répétition de certaines séquences en cas de besoin, progression en fonction du niveau du patient (e.g. niveau d'anxiété et d'évitement en psychothérapie). Elles se déroulent dans le bureau du thérapeute, en toute confidentialité, ce qui représente un avantage par rapport, par exemple, à l'exposition *in vivo* pendant laquelle le sujet est exposé au regard des autres, comme dans la phobie sociale où le patient est traditionnellement confronté à d'autres personnes.
Lorsque le traitement traditionnel implique des séances de groupe, comme dans le traitement de la phobie sociale, l'organisation des séances dépend de multiples facteurs et est par conséquent assez rigide. Les séances d'ERV, elles, sont individuelles et la définition de l'emploi du temps des séances d'ERV du patient est donc plus souple, plus adaptée à ses contraintes personnelles et professionnelles.

6.2 *Raisons de l'efficacité et de l'intérêt de la réalité virtuelle*

Ainsi que nous l'avons décrit dans les Chapitres 3 et 4, l'efficacité de la RV est reconnue en psychothérapie dans le traitement d'un certain nombre de troubles (acrophobie, aéro-acrophobie, agoraphobie avec trouble panique, arachnophobie, troubles alimentaires), et reste encore à valider aux travers de nouveaux essais cliniques pour d'autres troubles (phobie sociale, SPT, peur de conduire, …) (Riva, 2003). Par ailleurs, ainsi que nous l'avons montré dans les Chapitres 3 et 5, l'intérêt de l'utilisation de la RV en neuropsychologie va grandissant, ouvrant de nouvelles perspectives d'évaluation et de traitement (Rizzo et al., 2004b). Des raisons de cette efficacité et de cet intérêt peuvent être proposées (North et al., 1998a; Riva, 2005; Rose et al., 2005). Les trois premières évoquées concernent plutôt la psychothérapie, les suivantes sont pertinentes dans les domaines de la psychiatrie et la neuropsychologie.

- **Réactions réelles / virtuelles** : L'exposition d'une personne à une situation dans un environnement virtuel peut évoquer les mêmes réactions et émotions que l'exposition d'une situation réelle semblable. En effet, les personnes qui sont phobiques dans le monde réel le sont aussi dans l'EV. Ainsi que nous l'avons vu dans notre étude sur la phobie sociale, ces personnes présentent le même type de réactions que dans le monde réel : anxiété, évitement, symptômes physiques.

- **Présence virtuelle** : Une personne peut éprouver un sentiment de présence virtuelle semblable à la présence éprouvée dans le monde réel même lorsque l'EV ne représente pas exactement la situation réelle. Les sujets réagissent dans un EV aux stimuli anxiogènes qui leur sont délivrés, même si l'expérimentation dans le monde virtuel peut paraître éloignée de ce qui se passe en réalité. Nos patients phobiques sociaux ont ainsi réagi lorsqu'ils ont été confrontés à des agents virtuels imparfaits qui ont entretenu avec eux des relations sociales rudimentaires. Rougissements, moiteurs, palpitations cardiaques ont été notées, ce qui est le signe d'une réaction émotionnelle.

- **Réponses émotionnelles** : Le réalisme des stimuli appropriés est suffisant pour susciter une réponse émotionnelle et induire l'anxiété. Une des raisons de l'efficacité de la RV en psychothérapie réside sans doute dans la crédibilité de la RV et dans les émotions ressenties par le patient immergé dans un EV. En fait, il semble qu'un minimum de réalisme, celui des stimuli, soit suffisant pour exciter et susciter des émotions négatives. C'est ce que nous avons constaté dans la phobie sociale avec nos agents virtuels qui ne représentaient que des humains au réalisme limité avec des interactions sociales sommaires. Par ailleurs, rappelons aussi la forte corrélation qui existe entre anxiété, présence et réalisme. Avec un niveau minimal de présence ou de réalisme, un EV peut induire l'anxiété, qui à son tour va accroître la sensation de présence ou de réalisme, et ainsi de suite jusqu'à ce que des stimuli imparfaits, comme nos agents virtuels en phobie sociale, puissent susciter suffisamment d'émotion pour traiter le trouble visé.

- **Vécu du patient** : Chaque personne introduit son propre vécu dans une exposition en réalité virtuelle. L'implication d'un participant dans un EV dépend certes du réalisme de l'EV, des possibilités d'immersion et d'interaction, de la qualité des interfaces mais également de la façon de percevoir les événements, qui est propre à chaque individu.

- **Concentration** : Tout comme dans le monde réel, la concentration du sujet augmente de manière significative dans le monde virtuel quand le sujet dispose de suffisamment d'interaction pour développer un sens fort de présence dans l'environnement virtuel. La motivation et l'intérêt du sujet sont ainsi maintenus.

- **Transfert et généralisation des acquis** : 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. Ainsi les sujets phobiques modifient-ils leurs cognitions et apprennent-ils de nouveaux comportements suite à leur expérimentation dans l'EV. Un transfert des acquis ou de l'apprentissage se réalise.

- **Hiérarchisation, gradation, répétition** : Le sujet a la possibilité de réaliser des tâches, graduées et/ou répétées, sollicitant diverses fonctions cognitives dans un EV écologiquement valide, qui recrée des activités de la vie quotidienne. La performance du sujet est enregistrée en temps réel, permettant ainsi une analyse ultérieure plus fine de ses composantes et la visualisation à posteriori de la performance.

- **Flexibilité liée à la RV** : La RV apporte une flexibilité autorisant une diversité dans les présentations sensorielles, la complexité de la tâche, le contexte, les réponses, ou le feedback, et par conséquent permettant une adaptation aux dysfonctionnements du sujet.

6.3 *Limites de la réalité virtuelle*

Cependant, si la réalité virtuelle semble être un outil efficace et intéressant dans les domaines de la psychiatrie et de la neuropsychologie, son utilisation présente des limites, voire des contre-indications. La réalité virtuelle peut ne pas s'avérer être un outil adapté à chaque trouble cognitif et comportemental ou à chaque patient. Les recherches et les expériences de thérapie fondée sur la réalité virtuelle ont conduit à la mise en évidence d'une série de défis à relever (Burdea, 2003; Anderson et al., 2004). Nous déclinerons les limites rencontrées selon trois aspects, fondamental, technique, et enfin culturel et éthique.

6.3.1 Limites de fond

L'immersion totalement virtuelle est impossible, l'espace d'immersion comprenant toujours une part réelle et une part virtuelle. L'immersion d'un utilisateur dans un monde virtuel va donc s'accompagner d'incohérences sensorimotrices et/ou cognitives. Un des objectifs, lors de la conception des mondes virtuels, est donc de minimiser ces effets néfastes, dus à l'introduction du monde virtuel et des interfaces dans la boucle « perception, cognition, action » de l'utilisateur.
Peu de modalités sensorielles sont actuellement sollicitées ; dans les applications citées au cours de l'état de l'art, il s'agit principalement des modalités visuelles et auditives. Les recherches en cours visent à s'intéresser aux autres modalités sensorielles. Mais la vigilance s'impose : une sollicitation multisensorielle mal adaptée peut être source de conflits sensoriels. En psychiatrie, mais surtout en neuropsychologie, les modalités sensorimotrices sont encore sollicitées de façon très rudimentaire. Les recherches en cours s'intéressent au rôle sur la cognition de l'interaction par le corps. Il reste par ailleurs difficile actuellement de déterminer les intentions d'un utilisateur dans un monde virtuel, de mesurer et contrôler ses émotions.

6.3.2 Limites techniques

Les malaises liés à la technologie, cinétose et effets secondaires, que nous avons décrits au Chapitre 2, peuvent perturber l'utilisation de la RV. Ils sont dus aux limites auxquelles nous faisons face dans la reproduction de la réalité. Celles-ci peuvent être d'ordre technique et concerner la latence, autrement dit le délai temporel entre l'acquisition d'un signal en provenance de l'utilisateur et sa restitution sensorielle. La réduction de ce délai et la définition d'un délai optimal selon le sens humain considéré constituent des thèmes de recherche actuels. Ces limites peuvent être également d'ordre qualitatif et se rapporter par exemple à la modélisation des mondes virtuels, à leur fidélité par rapport au monde réel.

Mais dans l'utilisation de la réalité virtuelle dans le contexte clinique, des critères d'hygiène, de coût ou tout simplement de locaux peuvent entrer en jeu. Ainsi, les interfaces de la RV n'ont pas été créées comme du matériel médical. Il est donc par exemple difficile de les

stériliser pour un usage répété auprès des patients. Par ailleurs elles ne sont pas toujours adaptées aux besoins spécifiques des patients. Il manque par exemple d'interfaces adaptées à la taille des enfants. Quel que soit l'âge du patient, le poids ou la complexité d'utilisation des interfaces peuvent gêner l'interaction du patient. Par ailleurs, même si le coût de l'équipement a significativement diminué ces dernières années, les prix actuels sont encore prohibitifs pour les établissements publics, ou même privés. Enfin, il est encore fréquent de constater que les systèmes de RV doivent s'implanter dans des environnements qui ne leur sont pas favorables, tels les hôpitaux où les thérapeutes doivent fréquemment partager un bureau avec d'autres cliniciens.

6.3.3 Limites éthiques et culturelles

Tous les potentiels de la RV que nous avons évoqués ne demeurent des atouts que dans la mesure où leur utilisation n'entraîne pas de nuisance pour l'utilisateur, en l'occurrence le patient. Par conséquent, dans ces domaines cliniques considérés, un contrôle préalable des patients avant la confrontation au monde virtuel semble nécessaire pour évaluer les risques (Wiederhold and Wiederhold, 1998). Si l'on considère par exemple le cas des schizophrènes qui souffrent d'un détachement de la réalité, il est possible que la transition entre un monde virtuel et le monde réel ne fasse qu'accroître leur confusion (Cartwright, 1994). L'expérience vécue dans un système virtuel ne doit pas mener à la déréalisation (transformation d'une réalité en un ensemble de possibles). La technologie peut conduire les sujets vulnérables à l'isolement social, certains pouvant préférer les expériences vécues dans le monde virtuel à celles que leur propose la réalité de leur vie. Ce phénomène se retrouve dans l'utilisation exagérée de l'Internet ou des jeux vidéo. Par conséquent, l'existence de tels risques d'effets secondaires peut avoir des conséquences sur la pratique clinique. Sera-t-il par exemple raisonnable de faire une séance de conduite en RV avant de prendre réellement le volant ?

L'attitude des thérapeutes face aux nouvelles technologies est encore souvent récalcitrante, du fait par exemple de la crainte d'être remplacés par des ordinateurs ou de l'intrusion de l'ordinateur dans leur relation avec le patient. En fait, l'usage de ces technologies peut permettre de libérer du temps aux thérapeutes, temps qu'ils pourront utiliser de façon plus efficace auprès des patients. La compétence clinique des praticiens n'est jamais remplacée par la technologie. Mais il est certain que certains apports sont difficilement quantifiables car ils sont dirigés vers le cerveau. Et finalement, il est nécessaire de s'interroger sur ce qui se passe réellement chez l'individu. Notons que la réticence des thérapeutes est contrebalancée par l'attitude favorable des patients.

L'utilisation d'une nouvelle technologie par les cliniciens se met en place quand les bénéfices l'emportent sur le coût nécessaire à l'adoption de la technologie. En psychiatrie, par exemple, même si l'ERV était aussi efficace que l'exposition *in vivo* pour le traitement des troubles anxieux, il se trouverait toujours des psychiatres hésitants à l'inclure dans leur pratique clinique. Un changement d'attitude nécessite en effet une part de motivation. Il faut donc que la nouvelle pratique présente un avantage conséquent (flexibilité, standardisation, contrôle sur les stimuli, motivation des patients, …) pour que l'effort nécessaire à son adoption soit envisagé. En neuropsychologie, les réticences pourraient être moindres si l'on parvient à réaliser des outils de diagnostic ou de réhabilitation plus précis.

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). Des défis sont encore à relever. Il faudra les aborder pour que l'acceptation de la RV en tant qu'outil clinique se développe.

Enfin nous devons nous soucier de créer des systèmes de RV qui soient accessibles à chacun, quel que soit son niveau d'éducation, quel que soit son niveau social, quel que soit son éloignement par rapport au centre de soins.

6.4 *Discussion*

Les apports de la RV que nous venons d'énoncer nous permettent d'entrevoir une intervention plus fréquente de la RV dans le processus clinique. Ils ouvrent la voie de la réflexion sur la relation « patient – thérapeute – environnement virtuel ».

6.4.1 Processus clinique fondé sur la RV

Les deux expérimentations que nous avons menées nous ont permis de décrire la place occupée par la RV dans le processus thérapeutique en psychiatrie et dans le processus d'évaluation en neuropsychologie. Nous proposons maintenant une vision unifiée du processus clinique en général, basée sur la RV et destinée aux domaines de la psychiatrie et de la neuropsychologie. Il s'agit de la vision d'un modélisateur qui se déroule en six étapes (Figure 55):

Étape 1 : Diagnostic du trouble
Cette étape, de niveau macro, est réalisée par un médecin, psychiatre ou neurologue. Elle est basée sur des outils traditionnels, tels le DSM IV en psychiatrie.

Étape 2 : Diagnostic des fonctions atteintes
Cette étape, de niveau micro, va permettre d'affiner le diagnostic, de définir le niveau du trouble, de préciser les fonctions atteintes. Elle est réalisée dans un EV d'évaluation qui va proposer dans une première phase les questionnaires classiques nécessaires et enregistrer les résultats du patient dans une base de données. Puis dans une deuxième phase, l'évaluation est réalisée grâce à la RV, ou bien dans des situations d'exposition afin de définir le niveau d'anxiété et d'évitement du patient, ou bien dans la réalisation d'une tâche afin de mesurer différents paramètres liés à la performance dans la tâche et le degré d'atteinte des fonctins cognitives. Ces données récoltées dans l'EV sont également stockées dans la base de données, l'ensemble constituant la pre-évaluation.

Étape 3 : Traitement
Il s'agira de thérapie en psychiatrie et de réhabilitation ou de soutien en neuropsychologie. Il se déroulera conformément à un protocole expérimental sur un nombre de séances défini à l'avance. L'expérimentation de l'EV approprié se conduira de façon graduée, répétée, en fonction de la progression du patient. Les performances de chaque séance seront enregistrées.

Étape 4 : Évaluation
Les séances du protocole expérimental terminées, le sujet sera soumis à l'EV d'évaluation, pour une post-évaluation (questionnaires classiques et expérimentation dans l'EV). La comparaison des performances pre/post permettra de définir si le traitement appliqué au patient est suffisant ou non. En cas d'insuffisance, de nouvelles séances de traitement seront administrées suivant un nouveau protocole expérimental.

Étape 5 : Évaluation in vivo
Le patient est amené à affronter la situation anxiogène ou à réaliser la tâche pour laquelle il s'est entraîné *in vivo*.

Étape 6 : Évaluation à long terme (follow-up)
Quelques mois après la fin du traitement, le patient sera convié à retourner vers le centre de soins. Le sujet sera soumis à l'EV d'évaluation, pour une évaluation à long terme (questionnaires classiques et expérimentation dans l'EV). La comparaison des performances « post/long terme » permettra de mesurer l'évolution de l'état cognitif et comportemental du patient en rapport avec le trouble initialement diagnostiqué. En cas de régression, un nouveau cycle de traitement pourra être envisagé.

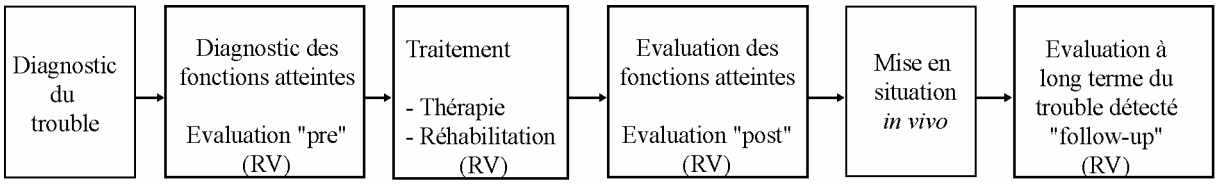


Figure 55 : Les six étapes du processus clinique fondé sur la RV

La RV, s'intégrant dans le processus clinique, permettra d'envisager de nouvelles perspectives cliniques ainsi que de nouvelles relations avec le patient.

6.4.2 Relation « Patient – Thérapeute – Système virtuel »

Dans le processus clinique traditionnel, la communication qui s'établit entre le patient et le thérapeute se ramène généralement au face-à-face. Cette situation permet des échanges intensifs, directs, mettant en avant les échanges non-verbaux et l'immédiateté. Par ailleurs, le temps de la consultation est partagé en phases consacrées ou à la discussion, ou à la thérapie proprement dite, et en tout cas, dédiées à un seul patient. Le thérapeute porte en lui le savoir et sa formation, dispose de toute une gamme d'outils. Le patient arrive avec un certain savoir sur son trouble, ses attentes et sa structure affective personnelle. Tous ces éléments mènent à une pluralité des relations patient-thérapeute traditionnelles (Figure 56).

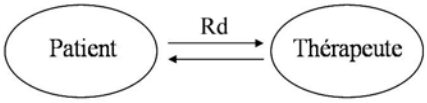


Figure 56 : Relation « Patient – Thérapeute » traditionnelle (Rd : Relation directe)

Dans le processus clinique fondé sur la RV, la relation directe d'échanges entre le thérapeute et le patient demeure, mais un nouvel élément, le Système Virtuel (SV), vient interférer dans leur relation (Figure 57). Le patient peut interagir avec le SV sous le regard du thérapeute, tandis que le thérapeute peut agir sur le SV à l'insu du patient. Le SV devient le médium d'une relation indirecte entre le patient et le thérapeute. Outre son objectif thérapeutique ou évaluatif, le SV offre donc au patient un nouveau moyen d'expression et au thérapeute un nouveau moyen d'observation du patient. Il devient un nouveau mode d'échange non-verbal actif, puisqu'il peut se charger de l'enregistrement de mesures objectives, captées à l'insu du patient.

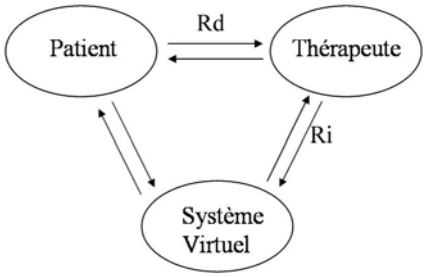


Figure 57 : Relation « Patient – Thérapeute – Système Virtuel » (Ri : Relation indirecte)

Le SV augmentera, dans certaines phases du processus clinique, la distance entre le patient et le thérapeute, allégeant peut-être la pression du regard observateur du thérapeute sur le patient et la situation hiérarchique existant habituellement entre un patient et un thérapeute. En effet, un choix de positions sera offert au thérapeute au cours du processus. Il pourra se retrouver dans la situation de face-à-face de la relation directe, ou bien dans des situations indirectes à distance modérée (derrière son ordinateur dans un coin du bureau ou dans la pièce attenante) ou à distance plus grande (via une connexion à l'Internet).

Le système virtuel transformera certainement le rôle du thérapeute, l'attitude et les attentes du patient ; il sera intéressant d'étudier les impacts de la mise en place de la triade « patient – thérapeute – environnement virtuel ».

Chapitre 7 Conclusion et Perspectives

7.1 *Conclusion*

Ces dernières années ont vu s'accroître le potentiel de la RV pour les applications liées à la santé. Les thérapeutes ont en effet envisagé avec intérêt les possibilités d'immersion et d'interaction offertes par les interfaces de la RV. Les choix techniques en psychiatrie et neuropsychologie se sont dirigés à ce jour essentiellement vers les interfaces simples, comme le clavier, la souris et le joystick, pour s'étendre parfois au visiocasque. Nous avons exploré les atouts de cette technologie dans deux domaines cliniques, celui de la thérapie et celui de l'évaluation.

Nous avons montré qu'une thérapie par exposition virtuelle était aussi efficace qu'une thérapie cognitive et comportementale dans la réduction des symptômes de la phobie sociale, ainsi que dans l'amélioration du fonctionnement aussi bien social que général de phobiques sociaux. Nous avons mis en évidence le fait que des humains virtuels peu réalistes, dotés de comportements sociaux sommaires, étaient capables d'induire des situations génératrices d'anxiété. Les réactions émotionnelles ressenties par les patients ont donc permis la mise en place d'une réhabilitation cognitive et comportementale.

Par ailleurs nous avons exploré l'évaluation de la planification de l'action dans un supermarché virtuel dans lequel les participants étaient invités à réaliser une tâche (liste de courses). Nous avons mené une application dans le cadre de la maladie de Parkinson et nous avons ainsi montré l'altération significative des performances des patients MP comparées à celles de sujets contrôle. Les données enregistrées nous ont de plus permis de définir des variables temporelles et spatiales pertinentes de la planification de l'action. Les incapacités rencontrées par les patients dans cette activité de la vie quotidienne ont été mises en évidence, et enfin, grâce à la visualisation de leur performance, les patients ont pris conscience de leurs difficultés, les mettant en rapport avec leur vécu dans le monde réel.

La RV présente ainsi de nombreux atouts dans la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux, le principal étant certainement leur approche sensorielle et cognitive. Outre les intérêts de la présentation de stimuli interactifs dans un système autorisant l'enregistrement de données et la gradation adaptative, la RV offre un moyen d'immerger le sujet dans un contexte spatial et temporel difficile à réaliser avec les moyens traditionnels. Par ailleurs, l'interaction par le corps entraîne une sollicitation permanente de la boucle perception/cognition/action. Elle permet la mise en place des techniques d'évaluation, d'apprentissage, de traitement et de réhabilitation.

L'exploitation de la RV en psychiatrie et neuropsychologie n'en est actuellement qu'au stade de recherches avec des prototypes. Elle n'est pratiquée couramment que par très peu d'équipes cliniques[28] pour lesquelles les préoccupations de recherche sont omniprésentes.

[28] Sans prétendre à l'exhaustivité, nous pouvons citer, dans le domaine de la psychothérapie, le Virtual Reality Medical Center à San Diégo, le Laboratooire de Cyberpsychologie au Québec, l'Istituto Auxologico Italiano à Milan, ou encore l'Universitat Jaume I de Castellon, et dans le domaine de la neuropsychologie, le Department of Occupational Therapy à l'Université de Haïfa.

Cette pratique n'est pour l'instant pas rentrée dans les mœurs, ni aux Etats-Unis, ni au Canada, ni encore moins en Europe ni plus particulièrement en France. En psychothérapie, l'utilisation de la RV implique le plus souvent une vision cognitive et comportementale de l'abord des troubles. En neuropsychologie, son développement pourrait être plus rapide du fait du besoin unanime et urgent d'outils d'évaluation et de réhabilitation. Mais beaucoup de réticences voire d'incrédulité persistent encore sur l'utilité de cette technique. Le coût de la réalisation d'une application de RV reste encore un obstacle important. Pourtant, du fait du vieillissement de la population (en 2050, les plus de 65 ans seront 19 millions, soient 28% de la population totale (Brutel and Omalek, 2003)) et donc de l'accroissement du nombre de patients touchés par les maladies neurologiques, l'exploitation de la RV pour la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux ne tardera pas à devenir scientifiquement et économiquement réaliste.

7.2 *Perspectives*

Les technologies de la Réalité Virtuelle nous ont permis de mener les développements nécessaires à nos deux expérimentations, dans les limites des contraintes des projets respectifs. Ces trois dernières années, la technologie a fait un bond : dans la progression des performances des ordinateurs (plus rapides, dotés de plus de mémoire, de cartes graphiques plus rapides et plus performantes) ; dans l'amélioration des outils de développement permettant une meilleure intégration des interfaces, des capteurs ; dans l'accélération des débits de connexion à l'Internet ; dans la facilitation de création d'EVs et d'agents virtuels. De plus, le coût des réalisations et des équipements a diminué, les contraintes s'estompent petit à petit et l'intégration de nouvelles composantes telles que des mesures physiologiques devient possible. Par ailleurs, les applications menées ont permis l'instauration d'échanges fructueux entre les chercheurs de différents domaines : sciences et techniques, sciences humaines, médecine.

Toutes ces avancées, ainsi que l'évolution des mentalités découlant des résultats des études déjà menées, me permettent d'envisager de nouvelles perspectives de recherche, et celles que j'énonce ci-dessous m'intéressent plus particulièrement.

Je souhaiterais approfondir la réflexion sur :

- L'expérimentation par l'utilisateur de différentes formes d'identités dans un EV ;
- L'induction d'émotions dans un EV ;
- La réhabilitation cognitive fondée sur la réalité virtuelle.

Je pense qu'il serait également intéressant d'aborder et d'expérimenter de nouvelles approches comme :

- La prise en compte de nouvelles variables telles que certains paramètres physiologiques (monitoring physiologique) ;
- Les possibilités d'automatisation de traitement, notamment celui des phobies ;
- Les perspectives d'auto entraînement hors du centre de soins.

7.2.1 Expérimentation d'un utilisateur dans un EV : inclusion d'un agent virtuel

La RV peut faire évoluer et avancer les approches thérapeutiques et évaluatives en permettant, ainsi que nous allons le décrire ci-après, l'expérimentation de différentes formes d'identités ou d'autres formes de soi (Banos et al., 1999).

Dans les expérimentations que nous avons menées, l'utilisateur était représenté par une caméra subjective, celle qui observait le monde. Il était par exemple possible de s'arrêter et d'observer l'EV, les éventuelles conséquences du comportement de l'utilisateur sur l'EV. Mais il n'était pas possible de porter un regard direct sur l'utilisateur dans l'EV lors de cet arrêt, sa présence n'étant que subjective. Une approche consiste donc à représenter l'utilisateur dans l'EV au moyen par exemple d'un avatar, i.e. d'un agent virtuel dont la représentation peut être choisie très proche, ou plus éloignée, de celle de l'utilisateur (i.e. une photo plaquée sur un objet 3D, ou un agent 3D avec pour texture du visage une photo de l'utilisateur, ou un agent 3D quelconque), ou encore au moyen de la capture vidéo en temps réel de l'image du patient et de son incrustation dans l'EV. L'observation de l'EV peut être faite soit du point de vue de l'avatar, et nous revenons ainsi à la caméra subjective, soit du point de vue d'une toute autre caméra permettant d'analyser le comportement de l'avatar, donc de l'utilisateur. Des méthodes thérapeutiques différentes seront mises en place selon les choix dont le but pourra être d'aider le patient à différencier entre la supposition et la perception. En effet, le monde est fait de suppositions non démenties, « Tant qu'elles n'ont pas été invalidées, elles seront assimilées aux perceptions et résisteront aux changements » (Glantz et al., 1997).

Les agents virtuels 3D sont donc amenés à jouer un rôle de plus en plus important dans les scénarios cliniques fondés sur la RV, certains seront acteurs et actifs, d'autres resteront figurants et passifs. Ils permettront l'animation des EVs, la mise en place d'interactions sociales plus élaborées et donc plus pertinentes. Le cas de l'agent virtuel jouant le rôle du thérapeute est particulièrement intéressant à envisager : dans un scénario concernant la phobie sociale, il pourrait pallier l'incongruité des réponses relativement stéréotypées de l'agent virtuel (décalage dans les paroles ou le comportement avec le contexte introduit par le patient) et ainsi débloquer une situation de dialogue. Le thérapeute pourrait ainsi s'imposer dans la situation par l'entrée en scène de son avatar et éclipser l'agent inapproprié en lui donnant une attitude de repli. L'avatar du thérapeute permettrait d'introduire des nuances dans les scénarios.

Si elles présentent de l'intérêt au niveau thérapeutique, ces expérimentations d'autres formes d'identités sont néanmoins à envisager avec précaution avec des patients pouvant présenter des troubles de l'identification. Par ailleurs, le développement de tels agents virtuels 3D « intelligents » progresse, même si les difficultés rencontrées sont encore nombreuses. Ces agents devront être dotés d'un certain niveau d'intelligence artificielle, exploiter les possibilités de reconnaissance et génération vocale, se comporter en rapport avec leurs propos mais aussi en rapport avec la psychologie humaine. L'accent devra également être porté sur la génération de leurs expressions faciales, ces dernières, véhiculant l'expression émotionnelle, jouent en effet un rôle fondamental dans toute interaction sociale (Thalman and Thalman, 2004).

7.2.2 Induction d'émotions dans un EV

Les émotions sont essentielles à la cognition humaine et jouent un rôle majeur dans la vie de tout être humain, que ce soit par exemple au niveau affectif, cognitif, ou social, dans les activités de la vie quotidienne ou dans la perception artistique (Nasoz et al., 2003). Ainsi que nous l'avons décrit dans le Chapitre 3, les possibilités de traitement en psychothérapie sont liées à la présence d'une excitation émotionnelle chez le patient (Foa and Kozak, 1986). Par ailleurs, les performances et les comportements mesurés lors de la réalisation de tâches en neuropsychologie peuvent être affectés, voire biaisés, par l'état émotionnel du patient (Krohne et al., 2002). Dans les EVs, ces émotions vont jouer un rôle fondamental dans la sensation d'immersion, de présence (Banos et al., 2004).

De nombreuses techniques d'induction et d'exploration des émotions ont été développées dans des laboratoires traitant de psychologie, neurosciences, psychiatrie biologique pour des recherches dont le but était de mieux comprendre les comportements et réactions humains, l'activité du cerveau (Klinger et al., 2004d). Il nous paraît fondamental de prendre en considération les résultats des études menées pour améliorer la composante émotionnelle des EVs, notamment au niveau des expressions (faciales, gestuelles) ou encore dans la sollicitation de diverses modalités sensorielles (choix de sons, d'odeurs). La modélisation informatique de l'émotion humaine a ainsi pour objectif d'attribuer un comportement émotionnel à des agents virtuels (Gratch and Marsella, 2004).

Les techniques d'induction d'émotion, appelées Mood Induction Procedures (MIPs), présentent des limites au niveau de leur efficacité à induire des émotions, de l'intensité des émotions induites, ou encore de la variabilité des résultats obtenus. L'exploitation de la diversité des technologies de la RV peut permettre l'induction d'un registre plus vaste et plus efficace d'émotions.

Notre capacité de créer des EVs à composante émotionnelle appropriée nous permettra certainement de progresser dans la compréhension du comportement humain.

7.2.3 Réhabilitation cognitive

Ainsi que nous l'avons présenté dans le Chapitre 3, la réhabilitation cognitive vise à arrêter ou renverser le déclin cognitif d'un individu avec pour objectif l'amélioration de son fonctionnement dans la vie quotidienne. Elle représente un véritable avenir pour les développements de la RV dans le large domaine des maladies neurologiques et psychiatriques. Rappelons qu'elle procède ou par répétition d'entraînement systématique de composants des processus cognitifs, ou par entraînements de capacités, en s'appuyant sur les concepts de transfert ou de généralisation. Notre démarche d'exploitation de la RV dans l'évaluation d'une fonction cognitive (la planification de l'action) constitue une base pour développer une approche de réhabilitation cognitive. Elle offre d'une part les possibilités de répétition, de systématisation et de hiérarchisation de l'exploration des fonctions cognitives. D'autre part, elle propose la réalisation d'une tâche (liste de courses) tout à fait en rapport avec les activités de la vie quotidienne. Notre travail nous a tout naturellement amenés à réfléchir au développement de nouvelles tâches avec possibilité de hiérarchisation des difficultés. Nous en proposons un éventail non exhaustif dans l'Annexe 17.

Mais la réalisation de ces développements n'est pas suffisante. A titre plus général, il faut encore définir les objectifs thérapeutiques à atteindre lors de la réhabilitation cognitive et se donner les moyens de les évaluer. Certaines recherches cliniques ont démontré l'efficacité de différents types d'intervention cognitive notamment chez des patients atteints de la maladie d'Alzheimer à un stade débutant (Van der Linden and Juillerat, 2004). La RV pourrait, du fait de ses différentes caractéristiques pré-citées, permettre encore une meilleure prise en charge. Cependant, de nombreuses questions subsistent concernant les mécanismes spécifiques qui sont responsables des succès de ces interventions. Une meilleure compréhension de ces mécanismes devrait permettre de mieux identifier les patients qui bénéficieront d'une approche particulière.

Il sera sans doute nécessaire de réfléchir à l'élaboration d'un modèle de réhabilitation cognitive en s'appuyant sur les travaux qui ont déjà été menés dans ce domaine : modèles descriptifs (Luria, 1963; Diller, 1976) ; modèles du traitement de l'information (Reitan and Wolfson, 1985; Bracy, 1986) ; modèle d'intégration (Diamant and Hakkaart, 1989). Mais pour l'instant aucun consensus n'existe dans la littérature quant à savoir quel est le modèle le plus adéquat à employer et quelle technique doit être privilégiée pour la réhabilitation des fonctions cognitives.

Par ailleurs, dans le domaine de la réhabilitation cognitive, comme l'indique Camp, il n'est pas suffisant de démontrer qu'une technique fonctionne dans des conditions expérimentalement contrôlées. Il est également nécessaire de montrer que cette technique peut être appliquée avec succès dans des situations moins contrôlées (Camp, 2001).

7.2.4 Monitoring physiologique

Dans le traitement des troubles anxieux, la progression du patient est déterminée par ses réponses à des batteries de questionnaires permettant de mesurer évitement et anxiété (SUDs, auto-questionnaires). Ces mesures subjectives sont effectuées après l'expérimentation et sont donc dépendantes de la mémoire que le sujet a de l'événement. Or, d'une part, une véritable évaluation de l'anxiété ressentie nécessite la présence de mesures subjectives et objectives (Lang, 1985) ; d'autre part, certaines mesures physiologiques (cf Chapitre 3, § 3.4) apparaissent comme étant des indicateurs utiles et sensibles aussi bien de l'état émotionnel du patient que de l'évolution de cet état émotionnel.

Les évolutions technologiques rendent donc tout à fait concevable d'introduire le monitoring physiologique dans la gestion des séances de thérapie par ERV. L'intérêt réside dans le fait que le vécu émotionnel du sujet sera mieux pris en compte et qu'ainsi les thérapies par ERV pourront être mieux personnalisées et donc mieux adaptées. Mais la connaissance du statut émotionnel du sujet et sa transmission à l'EV peuvent être aussi intéressantes lors de l'évaluation/réhabilitation de fonctions cognitives en neuropsychologie. Il serait ainsi permis d'étudier l'influence de l'état émotionnel dans la réalisation de tâches, la prise de décision, ou l'apprentissage, sur la mémoire ou l'attention, etc. Par ailleurs, dans le domaine du handicap, la prise en compte de ces signaux biologiques va conduire au développement de nouvelles interfaces, permettant la mise en place de nouvelles interactions humain-EV fondées sur les fonctions préservées du sujet (voix, battements de paupières, neurofeedback, …)

Différentes étapes sont nécessaires pour atteindre cet objectif, la première étant la détermination des mesures les plus sensibles et les plus pertinentes, pour le but visé. La

suivante sera la création de capteurs fiables et « transparents », c'est-à-dire qui seront oubliés par le patient pendant l'expérimentation et qui ne seront pas générateurs de stress supplémentaire. Ces capteurs devront également être aisément connectables au système virtuel. Enfin les mesures de ces capteurs devront être envoyées vers le système de RV qui les interprétera et fera évoluer l'EV en conséquence. Toutes ces étapes devront être menées dans un souci d'éthique.

7.2.5 Automatisation de traitement

Étant donnés les outils existants de mesure de l'état du patient (tests psychométriques, monitoring physiologique), les possibilités liées à l'informatique d'enregistrer les performances du patient et donc de contrôler sa progression, envisager une automatisation de traitements, en psychiatrie et en neuropsychologie, apparaît concevable. Cette démarche s'appuie sur certains atouts des systèmes de RV : leur possibilité de faire répéter les séances, de les hiérarchiser ; les possibilités de contrôle liées à l'enregistrement des performances. Elle libérera du temps pour le thérapeute sans pour autant minimiser l'importance de ses diverses interventions. Plusieurs raisons nous amènent par ailleurs à envisager cette automatisation en milieu soignant. Tout d'abord le patient est garanti d'y trouver un matériel opérationnel et d'y bénéficier d'aide en cas de souci de fonctionnement. Puis le patient est assuré de la présence à proximité de personnels soignants pouvant l'assister en cas de besoin, de malaise.

Nous appuyant sur l'approche thérapeutique que nous avons menée dans la phobie sociale, nous proposons, à titre d'exemple, notre conception de traitement automatisé d'une phobie. Ainsi que nous l'avons déjà décrit, dans le cadre clinique traditionnel, le traitement d'une phobie (P) peut être mené grâce à une exposition graduée, répétée et prolongée du sujet à des situations anxiogènes. Dans la perspective de l'utilisation des technologies de la réalité virtuelle, le patient est confronté à différentes situations d'exposition par réalité virtuelle (ERV). Dans chacune de ces situations, des stimuli hiérarchisés (S) sont délivrés. Pour le confort, la sécurité du patient des séances d'exposition, d'environ vingt minutes, sont proposées. Ainsi, d'après le protocole clinique que nous avons développé pour le traitement de la phobie sociale, l'approche TRV propose douze séances de traitement d'une heure, comprenant deux séances d'ERV de vingt minutes séparées par un temps de discussion avec le thérapeute (Klinger et al., 2005).

A titre d'exemple, notre vision de l'automatisation pourrait être développée comme suit.
Considérons le cas de la phobie *P* pour laquelle une situation d'exposition neutre, sans stimuli anxiogènes (ERV_0) et n situations d'exposition par réalité virtuelle (*ERVi*, i = 1, n) ont été créées, ainsi que m_i niveaux de stimuli (*Sj*, j = 1, m_i) par situation d'exposition. Un ensemble de questionnaires psychométriques *QP* est défini pour l'évaluation initiale et l'évaluation finale du patient. Ils permettent de mesurer le niveau d'anxiété, d'évitement, de dépression, d'inconfort du patient et sont dépendants de la phobie *P* considérée, niveau qui détermine le score *Scd* avant le traitement (i.e. le score « pré ») et le score *Scf* après le traitement (i.e. le score « post »). Des mesures physiologiques sont par ailleurs retenues afin d'évaluer de manière objective l'état du patient. Ces mesures apportent leur contribution à tous les scores calculés. Le score *Scd* permet de définir le niveau de départ des stimuli *Sj* dans la situation ERV de départ (ERV_1). Un sous ensemble de ces questionnaires psychométriques *QPr* est retenu pour évaluer les patients après chaque période d'exposition virtuelle et déterminer un score après exposition *Sc*. Ce score *Sc* est comparé à un niveau seuil (Scn) préalablement défini pour décider ou non du passage à un niveau de stimuli supérieur. L'accessibilité aux

niveaux supérieurs de stimuli ou aux situations d'ERV nouvelles est dépendante des scores atteints par le patient et du programme prédéfini par le thérapeute.

La thérapie se déroule à partir d'une séance initiale (*Séance D*), avec le thérapeute, de diagnostic du trouble et information sur l'ERV et se termine par une séance finale (*Séance F*), toujours avec le thérapeute, de bilan et conseils. Entre ces deux séances, le patient vient au centre de soins pour des séances de traitement d'environ une heure, en général sans présence du thérapeute mais avec des personnels soignants à proximité. Pendant ces séances de traitement, deux périodes d'ERV (vingt minutes chacune au maximum) sont proposées au patient, le passage d'une période à l'autre se faisant en fonction du score *Sc* obtenu après réponse aux questionnaires *QPr* (Annexe 16).

Tout au long de la thérapie, des informations concernant le patient sont régulièrement enregistrées : date de la séance, ERV pratiquée, niveau de stimulus, score obtenu après les questionnaires et les mesures physiologiques, réponses du patient, etc. Ces informations sont destinées au thérapeute dans des objectifs de contrôle de la thérapie, mais également d'analyse statistique des résultats. Rappelons qu'il ne s'agit en aucun cas de diminuer le rôle du thérapeute qui reste fondamental. L'objectif n'est que de mettre à disposition de nouveaux outils de traitement.

7.2.6 Auto entraînement

Tandis qu'en psychothérapie, il est usuel que les patients exécutent des tâches entre les séances de traitement, en neuropsychologie, les patients ont l'habitude d'effectuer des exercices à la maison. Dans les deux cas, il s'agit de répéter, puis de généraliser les comportements appris lors des séances de traitement, d'apprentissage. Les réflexions menées lors de l'élaboration de la démarche d'automatisation de traitement nous conduisent donc aux perspectives d'auto entraînement hors du centre de soins, et la RV permet le développement de tels outils. Ils pourront être contrôlés par exemple par des scores à atteindre, ou des données enregistrées et vérifiées ultérieurement par le thérapeute. L'objectif de l'auto entraînement est de conforter les acquis, de les généraliser. Ainsi les différences entre traitement automatisé et auto entraînement se situent, à notre avis, au niveau des défis à relever (moindres en auto entraînement car plus liés à la répétition, au maintien) mais aussi au niveau du lieu d'exercice (hors du centre de soins dans l'auto entraînement, donc à distance du personnel soignant).
Nous pouvons par exemple nous situer dans le cadre du domicile du patient. Et le fait que les tâches soient réalisées dans un contexte familier peut mener à des performances différentes de celles réalisées en milieu de soin, et conduire à des conclusions intéressantes au sujet du patient.

Ces possibilités d'auto entraînement peuvent pallier certaines difficultés rencontrées par le patient (éloignement du centre de soins, difficultés de déplacement) mais sont aussi dépendantes de l'acquisition de dispositifs technologiques (ordinateur, connexion à l'Internet). Mais elles doivent être bien réfléchies car elles ne sont pas sans risque potentiel pour les patients vulnérables, ayant des difficultés à sentir le passage du monde virtuel au monde réel (Jouvent et al., 2005).

7.3 *Bilan*

L'application de la réalité virtuelle à la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux est une approche passionnante de l'être humain. Cette démarche s'est révélée riche tant sur le plan scientifique que sur le plan personnel. Elle m'a permis d'une part d'explorer de nombreuses facettes de ce domaine par essence pluridisciplinaire qu'est la réalité virtuelle, et d'autre part de développer des connaissances concernant l'approche psychologique, cognitive et comportementale de l'individu. Au cours de ces différentes études j'ai entretenu des relations enrichissantes, des échanges étroits et fructueux avec des personnes de ces deux milieux. Au-delà du cercle de mes études, j'ai découvert une communauté généreusement tournée vers la compréhension du fonctionnement de l'être humain, la recherche de solutions pour l'aider dans ses handicaps et le soigner dans ses dysfonctionnements.

Table des figures

Figure 1 : Schéma technocentrique en RV (Fuchs, le Traité de la RV, Edition 3, nov 2005) 15
Figure 2 : Le patient et son thérapeute 23
Figure 3 : L'acrophobie (Hodges & Rothbaum, 1995) 35
Figure 4 : L'acrophobie (Emmelkamp, 2002) 35
Figure 5 : L'aéro-acrophobie (Hodges & Rothbaum, 2000) 35
Figure 6 : L'aéro-acrophobie (Wiederhold, 2002) 35
Figure 7 : La peur de parler en public (Hodges & Rothbaum, 2001) 35
Figure 8 : La peur de parler en public (Pertaub, 2001) 35
Figure 9 : L'agoraphobie (Botella, 2003) 36
Figure 10 : L'arachnophobie (Hoffman, 2002) 36
Figure 11 : La claustrophobie (Botella, 1998) 36
Figure 12 : La peur de conduire (Kim, 2003) 36
Figure 13 : SPT – Vietnam (Hodges & Rothbaum, 1999) 36
Figure 14 : SPT – World Trade Center (Difede & Hoffman, 2002) 36
Figure 15 : Les troubles alimentaires (Riva et al., 2001) 37
Figure 16 : Les troubles sexuels (Optale, 1998) 37
Figure 17 : Autisme et sécurité routière (Strickland et al., 1996) 37
Figure 18 : Autisme et sécurité incendie (Strickland et al., 1996) 37
Figure 19 : Addictions : Tabac (Lee et al., 2003) 37
Figure 20 : Addictions : Drogue (Graap, 2004) 37
Figure 21 : Distraction pendant les soins (Hoffman et al., 2000) 49
Figure 22 : Distraction pendant les soins (Hoffman et al., 2000) 49
Figure 23 : La salle de classe virtuelle (Rizzo et al., 2004) 56
Figure 24 : Scène du système de RV de réhabilitation à la conduite (Schultheis and Mourant, 2001) 56
Figure 25 : Wisconsin virtuel (Pugnetti et al., 1995) 56
Figure 26 : Wisconsin virtuel (Elkind et al., 2001) 56
Figure 27 : Reconnaissance d'objets (Lo Prioré et al., 2003) 56
Figure 28 : Appartement: cuisine et salle à manger (Baumann, 2005) 56
Figure 29 : Morris Water Task (Morris, 1981) 66
Figure 30 : Virtual Morris Water Maze (Astur et al., 2002) 66
Figure 31 : Cuisine virtuelle (Christiansen et al., 1998) 66
Figure 32 : Cuisine virtuelle (Davies et al., 1999) 66
Figure 33 : Cité virtuelle (Brown et al., 1998) 66
Figure 34 : Supermarché virtuel (Brown et al., 1998) 66
Figure 35 : Traversée de rues (Weiss et al., 2003) 76
Figure 36 : Réhabilitation de la mémoire (Brooks et al., 1999) 76
Figure 37 : Scène du « Virtual office » pour l'étude de la mémoire et de l'apprentissage (Rizzo, Schultheis and Matheis, 2003) 76
Figure 38 : Bureau virtuel (Rizzo et al., 2005) 76
Figure 39 : Le projet VEPSY Updated 86
Figure 40 : Scénario de performance 94
Figure 41 : Scénario d'intimité 94
Figure 42 : Scénario d'observation 94
Figure 43 : Scénario d'affirmation de soi 94
Figure 44 : Modélisation des fonctions exécutives (Marié, Données personnelles) 110
Figure 45 : Modèle du contrôle attentionnel d'après (Shallice and Burgess, 1991) 110
Figure 46 : Représentation hiérarchique du script Aller au restaurant d'après (Abbott et al., 1985) 112
Figure 47 : Supermarché – Vue de l'entrée 116
Figure 48 : Supermarché – Vue du fond 116
Figure 49 : Une allée du supermarché 117
Figure 50 : Affichage de la tâche 117

Figure 51 : L'achat d'une baguette _____ *117*
Figure 52 : Le paiement aux caisses _____ *117*
Figure 53 : Une trajectoire optimale (sujet sain) _____ *118*
Figure 54 : Trajectoires d'un Patient Parkinsonien et d'un Sujet Contrôle dans le Supermarché Virtuel ___ *128*
Figure 55 : Les six étapes du processus clinique fondé sur la RV _____ *145*
Figure 56 : Relation « Patient – Thérapeute » traditionnelle (Rd : Relation directe) _____ *145*
Figure 57 : Relation « Patient – Thérapeute – Système Virtuel » (Ri : Relation indirecte) _____ *146*

Table des tableaux

Tableau 1 : Applications de la réalité virtuelle dans le traitement des troubles psychologiques *44*
Tableau 2 : Applications de la réalité virtuelle dans la distraction de la douleur *50*
Tableau 3 : Applications de la Réalité Virtuelle en Neuropsychologie *77*
Tableau 4 : Applications de la réalité virtuelle en psychophysiologie *84*
Tableau 5 : Comparaison du déroulement des séances des deux traitements TRV et TCC *99*
Tableau 6 : Les deux groupes thérapeutiques (TRV et TCC) *100*
Tableau 7 : Moyennes et écarts-type sur les mesures d'efficacité chez des participants ayant reçu la Thérapie par Réalité Virtuelle (TRV) ou la Thérapie Cognitive et Comportementale (TCC) *102*
Tableau 8 : Résultats des ANOVAs à mesures répétées et taille d'effets entre les deux conditions de traitement (N = 36). *103*
Tableau 9 : Données neuropsychologiques des patients parkinsoniens (n = 13 ; 5F et 8M) *126*
Tableau 10: Données neuropsychologiques des patients parkinsoniens (n = 13, ; 5F et 8M) *126*
Tableau 11 : Moyennes, écarts-types et étendues des données enregistrées dans le SV auprès des 13 patients parkinsoniens et des 11 sujets contrôles *127*
Tableau 12 : Organisation des séances de traitement automatisé d'une phobie *201*

Glossaire

ADHD	Attention Deficit Hyperactivity Disorder
ALC	Aide Logicielle Comportementale
AVC	Accident Vasculaire Cérébral
AVQ	Activité de la Vie Quotidienne
BDI_13	Beck Depression Inventory réduit à 13 items
BIAS	Body Image Assessment Software
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CCPPRB	Comité Consultatif de Protection des Personnes dans le Recherche Biomédicale
CGI	Clinical Global Impression
DSM IV	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 4th Edition
EC	Évaluation Cognitive
EN	Évaluation Neurologique
ER	Environnement Réel
ERV	Exposition par Réalité Virtuelle
ERVS	Exposition par Réalité Virtuelle à des stimuli
EV	Environnement Virtuel
HADS	Hospital Anxiety Depression Scale
IRMf	Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle
LSAS	Liebowitz Social Anxiety Scale
PCRV	Primitive Comportementale de Réalité Virtuelle
PET	Positron Emission Tomography
PTSD	Post Traumatic Stress Disorder
RBMT	Rivermead Behavioral Memory Test
RC	Réhabilitation Cognitive
RV	Réalité Virtuelle
SEP	Sclérose en Plaques
SNC	Système Nerveux Central
SPT	Stress Post Traumatique
SUDS	Subjective Unit of Discomfort Scale
SV	Supermarché Virtuel
TC	Traumatisme Crânien
TCC	Thérapie Cognitive et Comportementale
TCE	Thérapie Cognitive Expérimentale
TOC	Trouble Obsessionnel Compulsif
TRV	Thérapie par Réalité Virtuelle
VEBIM	Virtual Environment for Body Image Modification
VEPSY	Telemedecine and Portable Virtual Environments in Clinical Psychology
VETO	Virtual Environment for Topographical Orientation
VMWM	Virtual Morris Water Maze
VRAM	Virtual Radial Arm Maze
WCST	Wisconsin Card Sorting Test

Annexes

Annexe 1 : Phobie Sociale : Scénarios *162*
Annexe 2 : Phobie Sociale : Résultats descriptifs de l'étude *166*
Annexe 3 : Phobie Sociale : Équipement *170*
Annexe 4 : Phobie Sociale : Instructions *171*
Annexe 5 : Phobie Sociale : Questionnaires *175*
Annexe 6 : Phobie Sociale : Formulaires *184*
Annexe 7 : Planification : Données Neuropsychologiques des Patients MP *187*
Annexe 8 : Planification : Performances Patients MP *188*
Annexe 9 : Planification : Performances sujets contrôle *189*
Annexe 10 : Planification : Séquence de la tâche chez les patients MP *190*
Annexe 11 : Planification : Séquence de la tâche chez les sujets contrôle *191*
Annexe 12 : Planification : Trajectoires Patients *192*
Annexe 13 : Planification : Trajectoires Contrôles *195*
Annexe 14 : Logiciel de modélisation : Discreet 3D Studio Max *198*
Annexe 15 : Plateforme de développement interactive : Virtools™ *199*
Annexe 16 : Automatisation de traitement *200*
Annexe 17 : Réhabilitation cognitive dans le supermarché virtuel *202*

Annexe 1 : Phobie Sociale : Scénarios

Annexe 1.1 : Scénario d'Entraînement

Objectif : Familiariser le patient à un environnement virtuel

Le patient apprend à utiliser les outils et à naviguer dans le monde.
La scène présente un couloir avec trois portes. Le patient doit entrer dans les pièces qui sont une pièce télé, une chambre et une salle à manger. Dans la salle télé, le patient peut s'asseoir sur une chaise.

Annexe 1.2 : Performance

Objectif : Le patient apprend à parler en public, à se présenter, à affronter les réactions des autres. Le patient apprend à se conduire comme indiqué en *italique*.

1. Le sujet est dans un couloir. Il ouvre la porte d'une salle de réunion sur la droite, et entre dans la pièce. On voit une grande table rectangulaire. Sept personnes, hommes et femmes, sont déjà assises de part en part. Il y a un brouhaha de voix. Les gens regardent le sujet lors de son arrivée. Le sujet s'approche, et tous disent « Bonjour ».

Comportement : *Le patient doit répondre.*

2. Le directeur entre, dit : « Bonjour », et s'installe en bout de table. Il dit : « Bien. Voici notre première réunion. Nous ne nous connaissons pas tous. Je demande donc que chacun présente rapidement son cursus et son rôle dans l'équipe. On commence par vous, si vous voulez bien. ».

Comportement : *Le patient doit se présenter.*

3. Un participant interrompt le sujet, et lui dit : « Je n'ai pas très bien compris quelle était votre formation. Vous pourriez y revenir et être plus précis ? ».

Comportement : *Le patient doit répondre.*

4. Le sujet se lève, se dirige vers le tableau d'affichage et fait une présentation. L'attitude des participants peut être attentive ou indifférente.

Comportement : *Le patient doit faire une présentation.*

Annexe 1.3 : Scénario d'Intimité

Objectif : Le patient apprend à établir des contacts avec des voisins, des amis, à tenir des conversations banales. Le patient apprend à se conduire comme indiqué en *italique*.

1. Le sujet est dans un couloir. Il ouvre la porte d'un appartement sur la droite. Il est accueilli par un ami qui lui sourit, lui tend la main, et dit : « Bonsoir, comment vas- tu ? ».

Comportement : *Le patient doit répondre.*

2. Le sujet entre dans l'appartement. Il se dirige vers les invités qui se présentent à lui un verre à la main et disent à tour de rôle « Bonsoir ». « Bonjour ».

Comportement : *Le patient doit répondre.*

3. Le sujet est rejoint par l'un des convives, qui engage la conversation et lui dit : « Je trouve superbe la décoration de cette pièce. Pas vous ? ».

Comportement : *Le patient doit répondre.*

4. L'ami qui reçoit dit : « On peut passer à table. ». Ils s'installent. Le voisin du sujet se tourne vers lui et lui dit : « Alors, comment se sont passées vos dernières vacances ? ».

Comportement : *Le patient doit répondre.*

5. Un autre convive insiste auprès du sujet : « Oui dites nous, où étiez - vous ? Racontez- nous ce qu'il y a d'intéressant à voir. »

Comportement : *Le patient doit répondre.*

6. Le dîner est terminé. Le voisin dit : « Il est tard là, je dois rentrer. ». Les convives se lèvent et s'en vont.

Comportement : *Le patient doit prendre congé.*

Annexe 1.4 : Scénario d'Affirmation

Objectif : Le patient apprend à protéger ses intérêts, ses points de vue, à être respecté. Le patient apprend à se conduire comme indiqué en *italique*.

1. Le sujet est dans le couloir. La scène présente un ascenseur. Puis une porte. Le sujet appelle l'ascenseur qui s'ouvre. Il entre dans l'ascenseur. Dans l'ascenseur il y a un voisin et une voisine. Le voisin (la voisine) dit : « Bonjour. (Oh !) Je suis content(e) de vous voir. Vous mettez votre télévision très fort, et ça nous empêche de dormir. »

Comportement : *Le patient doit répondre.*

2. L'ascenseur descend jusqu'au hall d'entrée. Le sujet veut sortir de l'immeuble. Trois jeunes obstruent le passage. Il faut les déranger pour passer.

Comportement : *Le patient doit demander de passer.*

3. Le sujet sort de l'immeuble, est dans la rue et entre dans le magasin de chaussures. Le sujet s'avance dans le magasin, regarde les rayons. Une première vendeuse s'avance et dit : « Bonjour, je peux vous aider ? Je vais vous montrer nos modèles, il y en a des superbes. »

Comportement : *Le patient doit refuser.*

4. La vendeuse s'en va. Le sujet se promène dans le magasin, s'arrête devant un présentoir. Une autre vendeuse arrive et dit : « Bonjour, ça vous plaît ? Je vais tout de suite vous chercher ce modèle en réserve. »

Comportement : *Le patient doit refuser.*

5. Le patron du magasin arrive et dit : « Bonjour. On s'occupe bien de vous ? Vous trouvez ce qu'il vous faut ? »

Comportement : *Le patient doit dire non et partir.*

Annexe 1.5 : Scénario d'Observation

Objectif : Le patient apprend à se déplacer, parler, agir, sous le regard des autres. Le patient apprend à se conduire comme indiqué en *italique*.

Le sujet aborde une place. Des gens sont assis sur des bancs, d'autres se promènent. Tous le regardent passer. Le sujet arrive devant une terrasse de café bondée de gens. Il regarde autour de lui, se promène autour des tables, entre dans le café, pour chercher son ami. Il se retourne vers la sortie.

1. L'ami est assis dehors et fait un signe de la main. Le sujet vient s'asseoir à côté de lui. Le serveur vient prendre la commande et dit : « Bonjour. Vous désirez ? ». L'ami dit : « Deux Coca, s'il vous plaît. ». Le serveur apporte deux boissons avec une paille. Les gens assis à côté les regardent.
L'ami entame la conversation : « Alors, comment ça va ? Raconte, qu'est-ce que tu deviens ? ». Aux tables voisines, quelques personnes les écoutent.

Comportement : *Le patient doit répondre.*

2. L'ami paie. Le serveur revient pour encaisser. Il se met à côté du sujet et lui dit : « Il manque 2€. ». Les bruits s'arrêtent. Aux tables voisines, on les observe.

Comportement : *Le patient doit répondre.*

3. L'ami dit : « Bon allez, on y va. ». Le sujet se lève. Les gens autour d'eux les regardent.

Comportement : *Le patient se lève et marche.*

Annexe 1.6 : Exemple d'exploration des réactions du patient - Scénario d'Affirmation – Scène de l'ascenseur

Le sujet est dans le couloir. La scène présente un ascenseur. Puis une porte. Le sujet appelle l'ascenseur qui s'ouvre. Il entre dans l'ascenseur. Dans l'ascenseur il y a un voisin et une voisine. Le voisin (la voisine) dit : « Bonjour. (Oh !) Je suis content(e) de vous voir. Vous mettez votre télévision très fort, et ça nous empêche de dormir. »

Evaluation cognitive. Choisissez ce qui vous correspond le plus. Plusieurs réponses possibles.

- Que pensez- vous ?

  a. Je suis un mauvais voisin, je dérange.
  b. C'est un(e) casse - pieds, il (elle) me déteste.
  c. Qu'est- ce que je vais bien pouvoir lui répondre ?
  d. Je ne vais pas me laisser faire !
  e. Bien, on va en parler.

Evaluation émotionnelle. Choisissez ce qui vous correspond le plus. Plusieurs réponses possibles pour chaque question.

- Que ressentez- vous ?

a. Gêne.	Pas du tout	□	Un peu	□	Beaucoup	□	Enormément	□
b. Anxiété.	Pas du tout	□	Un peu	□	Beaucoup	□	Enormément	□
c. Honte.	Pas du tout	□	Un peu	□	Beaucoup	□	Enormément	□
d. Colère.	Pas du tout	□	Un peu	□	Beaucoup	□	Enormément	□

- Quelles sensations physiques avez- vous ?

a.	Mains moites.	Oui □	Non □
b.	Palpitations cardiaques.	Oui □	Non □
c.	Rougeurs.	Oui □	Non □
d.	Tremblements.	Oui □	Non □
e.	Autres.	Oui □	Non □

Evaluation comportementale. Choisissez une réponse seulement.

- Que faites- vous ?

a. Je ne réponds pas et baisse ou tourne la tête.
b. Je réponds : « Ce n'est pas de ma faute, les murs ne sont pas assez épais. ».
c. Je réponds : « Votre chien, ou votre enfant... fait beaucoup de bruit. ».
d. Je réponds : « Excusez- moi, je vais faire attention. ».
e. Je réponds : « C'est bien de m'en parler, essayons de régler le problème. ».

Annexe 2 : Phobie Sociale : Résultats descriptifs de l'étude

Descriptif de la population

Age et sexe des patients
L'âge moyen des 36 patients phobiques sociaux inclus est de 31,6 ans. Il s'agit donc d'une population d'adultes jeunes. Les 18 patients du groupe TRV sont légèrement plus jeunes (30,5 ans) que les 18 patients du groupe TCC (32 ans). Cette différence s'explique en partie par le fait que certains patients plus âgés maîtrisaient mal l'outil informatique et ont été préférentiellement inclus dans le groupe TCC. Avec 17 patients hommes et 19 patientes femmes, le sexe ratio est à peu près équilibré. Hommes et femmes sont en nombre égal dans le groupe TCC (9 hommes et 9 femmes). Les femmes sont un peu plus représentées dans le groupe TRV (10 femmes et 8 hommes).

Ancienneté du trouble phobie sociale
Les patients ont, en moyenne, un trouble évoluant depuis 15,7 ans. Les patients du groupe TCC ont une ancienneté de leur trouble un peu plus marquée que ceux du groupe TRV (16,4 ans contre 14,5 ans).

Niveau d'anxiété sociale
La moyenne du score d'anxiété sociale à l'Echelle de Liebowitz est de 83,9. Nous avons donc une population de patients présentant des niveaux très élevés d'anxiété sociale et donc une phobie sociale avérée, voire pour certains sévère. Les patients du groupe TRV ont globalement un niveau d'anxiété sociale encore plus élevé (89,7) comparés à ceux du groupe TCC (78).
Les deux sous scores de l'Echelle de Liebowitz sont aussi plus élevés chez les patients du groupe TRV. Ainsi le sous score « anxiété » est de 48,9 (contre 43,7 pour les patients du groupe TCC) et le sous score « évitement » de 40,7 (contre 34,3 pour les patients du groupe TCC).
A l'Echelle des Contextes Sociaux Anxiogènes (SCIA), les deux populations sont concernées de façon assez proches au score total (8,1 pour le groupe TCC et 8,3 pour le groupe TRV) et les deux populations sont aussi également concernées concernant les sous scores de performance (2,4 pour le groupe TCC et 2,6 pour le groupe TRV), d'intimité (1,9 pour le groupe TCC et 1,7 pour le groupe TRV), d'affirmation (1,8 pour le groupe TCC et 2,1 pour le groupe TRV) et d'observation (1,9 pour le groupe TCC et 1,7 pour le groupe TRV).

Niveau d'anxiété
Au vu du sous score anxiété de l'Echelle HAD, ce sont les patients du groupe TCC qui sont les plus anxieux (11,8), comparés à ceux du groupe TRV (8,9) et à l'ensemble de la population (10,3).

Niveau de dépression
La moyenne du score de dépression au BDI-13 est peu élevée (5,5) confirmant ainsi que nous n'avons pas une population de patients déprimés. Ce score est légèrement plus élevé chez les patients du groupe TCC (6,3) comparés aux patients du groupe TRV (4,7).
Cette différence se retrouve dans le sous score dépression de l'Echelle HAD : 6,2 chez les patients du groupe TCC contre 5,1 chez les patients du groupe TCC et 5,7 pour l'ensemble de la population.

Niveau d'affirmation de soi
L'ensemble de la population a un niveau faible d'affirmation de soi à l'Echelle de Rathus (-27,3). Les deux populations apparaissent assez semblables : les patients du groupe TCC ont un score de -26,9 et ceux du groupe TRV de –27,8.

Sévérité de la maladie
A la CGI, les deux populations apparaissent également touchés : 4,7 pour les patients du groupe TCC et 4,8 pour ceux du groupe TRV. A nouveau apparaît le fait que la population générale présente une pathologie de phobie sociale importante.

Handicap
Les deux populations semblent présenter des niveaux de handicaps comparables à l'Echelle de Sheehan. Le handicap dans le domaine social est le plus élevé pour les deux populations : 7 pour les patients du groupe TCC et 7,4 pour ceux du groupe TRV. Le handicap dans le domaine professionnel vient ensuite : 6,2 pour les patients

du groupe TCC et 5,9 pour ceux du groupe TRV. Le handicap dans le domaine familial semble moindre : 4,9 pour les patients du groupe TCC et 4,4 pour ceux du groupe TRV.

Au total :
La population étudiée est composée d'adultes jeunes présentant une importante phobie sociale, évoluant depuis de nombreuses années. Les patients du groupe TRV sont légèrement plus jeunes que ceux du groupe TRV. Ces derniers sont sensiblement plus anxieux socialement que ceux du groupe TCC à l'Echelle de Liebowitz, Cependant les différences semblent moindres entre les deux groupes dans les autres critères d'évaluation de l'anxiété.

Résultats comparés des deux types de traitement

Les résultats obtenus pour la population générale et pour chacun des deux groupes de traitement sont décrits ci-dessous et présentés respectivement dans les tableaux I et II.

Critère principal
Le niveau de phobie sociale de l'ensemble de la population, évalué par l'Echelle de Liebowitz, est considérablement réduit, passant pour le score total de 83,9 à 45,5 points, soit une diminution de 38,4. Le score du groupe TRV chute de 42,1 points passant de 89,7 à 47,6. Le score du groupe TCC chute de 34,5 points, passant de 78 à 43,5.
Les deux sous scores de l'Echelle de Liebowitz connaissent la même évolution positive. Le sous score anxiété passant pour l'ensemble de la population de 46,3 à 27,3 (évolution de –19,1) et le sous score évitement de 37,5 à 18,5 (évolution de –19). Pour le groupe TRV on note une évolution de –21 pour le sous score anxiété (passant de 48,9 à 27,9) et une évolution de –20,8 pour le sous score évitement (passant de 40,7 à 19,9). Pour le groupe TCC on note une évolution de –17,2 pour le sous score anxiété (passant de 43,7 à 26,5) et une évolution de –17,2 pour le sous score évitement (passant de 34,3 à 17,1).
On voit que, aussi bien pour le score total que pour les deux sous scores anxiété et évitement, le groupe TRV connaît une évolution légèrement supérieure à celle du groupe TCC.

Composantes de l'anxiété sociale
Le niveau d'affirmation de soi, mesuré à l'Echelle de Rathus évolue très favorablement pour l'ensemble de la population, passant de –27,3 à –10,8 (évolution de +16,5) : les patients du groupe TCC s'améliorent un peu plus, le score passant de –26,9 à 5,9 (évolution de +21) comparés aux patients du groupe TRV dont le score passe de –27,8 à –15,6 (-12,1).
L'évaluation des « contextes sociaux anxiogènes » montre une nette amélioration pour les deux groupes, et très proche : le score global passe de 8,1 à 4,2 pour les patients du groupe TCC (évolution de –3,9) et de 8,3 à 4,7 pour ceux du groupe TRV (évolution de –3,6). Cette amélioration se retrouve aussi très semblable pour les deux groupes dans les sous scores de performance (évolution de -1,3 pour les patients du groupe TCC et de –1,2 pour les patients du groupe TRV), d'intimité (-0,9 pour les patients des deux groupes), d'affirmation (-0,8 pour les patients du groupe TCC et –0,6 pour les patients du groupe TRV) et d'observation (-0,9 pour les patients du groupe TCC et –0,8 pour les patients du groupe TRV).

Niveau d'anxiété
Le niveau d'anxiété, évalué par le sous score de l'Echelle HAD, montre une amélioration légèrement supérieure pour les patients du groupe TCC, passant de 11,8 à 9,3 (-2,5) comparés à celui des patients du groupe TRV qui passe de 8,9 à 7,6 (-1,3).

Niveau de dépression
Le niveau général de dépression de la population générale mesuré par l'Echelle de Beck évolue peu, passant de 5,5 à 3,5 (-2 points). Cette évolution est de –2,6 pour le groupe TCC (passant de 6,3 à 3,7) et de –1,4 pour le groupe TRV (passant de 4,7 à 3,3).
Le sous score dépression de l'Echelle HAD pour l'ensemble de la population passe de 5,7 à 3,7 (évolution de –2 points). Cette évolution est de –2,3 pour le groupe TCC (passant de 6,2 à 3,9) et de –1,8 pour le groupe TRV (passant de 5,1 à 3,3).

Handicap
L'amélioration du handicap, évalué par l'Echelle de Sheehan, est très semblable pour les deux groupes.

Pour l'ensemble de la population le handicap social diminue de 3,3 points (passant de 7,2 à 3,9). Les patients du groupe TCC voient leur handicap social diminuer de 3,1 points (passant de 7 à 3,9) et ceux du groupe TRV de 3,4 points (passant de 7,4 à 4) pour l'ensemble de la population.
Pour l'ensemble de la population le handicap professionnel diminue de 3,1 points (passant de 6,1 à 3). Les patients du groupe TCC voient leur handicap professionnel diminuer de 3 points (passant de 6,2 à 3,2), et ceux du groupe TRV de 3,1 (passant de 5,9 à 2,8).
Pour l'ensemble de la population le handicap familial diminue de 1,8 points (passant de 4,6 à 2,8). Les patients du groupe TCC voient leur handicap familial diminuer de 2,2 points (passant de 4,9 à 2,7) et ceux du groupe TRV de 1,4 points (passant de 4,4 à 3).

CGI
L'évaluation clinique par le thérapeute de la gravité de la maladie pour l'ensemble de la population passe de 4,8 à 3, soit une évolution de –1,8. La gravité de la maladie régresse de 1,6 points pour les patients du groupe TCC (passant de 4,7 à 3,1) de 2 points pour les patients du groupe TRV (passant de 4,8 à 2,8). L'évaluation clinique par le thérapeute de l'amélioration pour l'ensemble est scorée à 2, ce score étant identique pour les patients du groupe TCC et les patients du groupe TRV.
L'évaluation faite par le patient lui-même de l'amélioration de sa maladie est scorée à 2,2 pour l'ensemble de la population, à 2,3 pour les patients du groupe TCC et à 2,1 pour les patients du groupe TRV.

Tableau I : Résultats population générale avant et après traitement (moyenne, écart type et évolution)

	N=36 17 hommes / 19 femmes Age = 31,6 (8,3), Ancienneté des troubles = 15,7 ans (9,8)		
	Pré	**Post**	**Delta**
LSAS			
• Anxiété	46,3 (11,12)	27,2 (11,4)	-19,1
• Evitement	37,5 (13,2)	18,5 (11,8)	-19
• Total	83,9 (23,5)	45,5 (22,4)	-38,4
HAD			
• Anxiété	10,3 (3,9)	8,4 (3,3)	-1,9
• Dépression	5,7 (3,2)	3,7 (4,2)	-2
BDI – 13	5,5 (2,9)	3,5 (2,6)	-2
Rathus	-27,3 (22,9)	-10,8 (26,9)	16,5
Contextes Sociaux Anxiogènes			
• Performance	2,5 (0,5)	1,3 (0,5)	-1,2
• Intimité	1,8 (0,5)	0,9 (0,4)	-0,9
• Affirmation	2 (0,7)	1,2 (0,7)	-0,8
• Observation	1,8 (0,4)	1 (0,4)	-0,8
• Total	8,2 (1,3)	4,5 (1,4)	-3,7
Sheehan			
• familiale	4,6 (2,3)	2,8 (1,5)	-1,8
• Sociale	7,2 (1,5)	3,9 (1,4)	-3,3
• Professionnelle	6,1 (2,6)	3 (2,1)	-3,1
CGI			
• Gravité	4,8 (0,7)	3 (1)	-1,8
• Amélioration	0	2 (0,7)	2
CGI			
• Amélioration d'après le patient	0	2,2 (0,6)	2,2

Tableau II : Résultats comparés par groupe avant et après traitement (moyenne, écart type et évolution)

	Thérapie cognitivo-comportementale de groupe (n=18) 9 hommes / 9 femmes Age = 32			**Thérapie par réalité virtuelle (n=18) 8 hommes / 10 femmes Age = 30,5**		
Ancienneté des troubles	**16,4 ans (12,2 ans)**			**14,5 ans (6,8 ans)**		
	Pré	**Post**	**Delta**	**Pré**	**Post**	**Delta**
LSAS						
• Anxiété	43,7 (13)	26,5 (13,1)	-17,2	48,9 (8,3)	27,9 (9,7)	-21
• Evitement	34,3(13)	17,1 (12,5)	-17,2	40,7 (12,9)	19,9 (11,2)	-20,8
• Total	78 (25,2)	43,5 (24,6)	-34,5	89,7 (20,6)	47,6 (20,4)	-42,1
HAD						
• Anxiété	11,8(3,8)	9,3 (3,7)	-2,5	8,9 (3,7)	7,6 (2,7)	-1,3
• Dépression	6,2 (3,2)	3,9 (4,6)	-2,3	5,1 (3,2)	3,3 (3,9)	-1,8
BDI – 13	6,3 (2,9)	3,7 (2,9)	-2,6	4,7 (2,8)	3,3 (2,3)	-1,4
Rathus	-26,9 (21,4)	-5,9 (27)	21	-27,8 (25)	-15,7 (26,6)	12,1
Contextes Sociaux Anxiogènes						
• Performance	2,4 (0,5)	1,1 (0,6)	-1,3	2,6 (0,4)	1,4 (0,5)	-1,2
• Intimité	1,9 (0,6)	1 (0,5)	-0,9	1,7 (0,4)	0,8 (0,3)	-0,9
• Affirmation	1,8 (0,7)	1 (0,7)	-0,8	2,1 (0,7)	1,5 (0,6)	-0,6
• Observation	1,9 (0,4)	1 (0,5)	-0,9	1,7 (0,4)	0,9 (0,2)	-0,8
• Total	8,1 (1,3)	4,2 (1,7)	-3,9	8,3 (1,3)	4,7 (1,2)	-3,6
Sheehan						
• familiale	4,9 (2,4)	2,7 (1,8)	-2,2	4,4 (2,2)	3 (1)	-1,4
• Sociale	7 (1,9)	3,9 (1,8)	-3,1	7,4 (0,9)	4 (0,9)	-3,4
• Professionnelle	6,2 (2,7)	3,2 (2,3)	-3	5,9 (2,5)	2,8 (1,9)	-3,1
CGI						
• Gravité	4,7 (0,8)	3,1 (1,2)	-1,6	4,8 (0,7)	2,8 (0,6)	-2
• Amélioration	0	2 (0,9)	2	0	2 (0,5)	2
CGI						
• Amélioration d'après le patient	0	2,3 (0,7)	2,3	0	2,1 (0 ,4)	2,1

Annexe 3 : Phobie Sociale : Équipement

Annexe 3.1: Ordinateur

Les environnements tournent sur PC. Les fonctionnalités minimales requises sont :

- Microsoft Windows (95, 98, 98SE, ME, 2000, XP, or NT 4.0 (avec Service Pack 6))
- Pentium II (ou équivalent)
- 32 MB de RAM
- Internet Explorer 4.0 ou Netscape Navigator/Communicator 4.5

Mais quelques caractéristiques système sont recommandées:

- Direct3D ou OpenGL compatible avec carte graphique 3D, au moins 8 MB of RAM
- DirectX 7 ou plus pour Win 9x
- Internet Explorer 5.1 ou Netscape Navigator/Communicator 4.7
- Moniteur couleur ,16 bit (65536) ou 32 bits (True Color)
- Carte son

Un visualiseur de fichier, Virtools Web Player, peut être téléchargé gratuitement à partir du site de Virtools (www.virtools.com/downloads/playerie.asp).

Annexe 3.2: Interfaces

Le patient navigue dans les environnements avec la souris et les flèches de déplacement (haut, bas, gauche, droite) ou un pad Cyberpuck. La souris permet au patient de regarder aux alentours, en haut et en bas. Les flèches de déplacement et le pad permettent d'avancer 'haut) ou de reculer (bas), de regarder aux alentours (gauche ou droite).
La souris ou le pad permettent aussi d'interagir avec des objets. Le sujet clique sur l'objet avec le bouton droit de la souris ou le troisième bouton du pad.

Des expérimentations avec une immersion complète peuvent aussi être menées. La patient porte alors un visiocasque VFX3D, et avance ou recule avec le pad Cyberpuck. Les images que le patient voit dans le visiocasque apparaissent aussi sur l'écran de l'ordinateur, pour le thérapeute.
La vision stéréoscopique est aussi possible. Le chois est fait avant d'entrer dans les environnements.

Annexe 3.3: Conseils usuels

Créer un dossier pour chaque environnement: Entraînement, Performance, Intimité, Affirmation et Observation. Tous les fichiers concernant un environnement virtuel (.vmo, .wav, et parfois .nmo) doivent être dans le même sous-dossier *Objects*. Les fichiers **.vmo** peuvent être visualizes avec le Virtools Web Player. Cliquer deux fois sur le fichier .vmo pour l'ouvrir.

Annexe 4 : Phobie Sociale : Instructions

Annexe 4.1 : INSTRUCTIONS – PREPARATIONS AND GENERALITIES

Preparations:
The choice of stereoscopic vision is done before entering the environments : Key 1 means without stereoscopy, Key 2 means with stereoscopy.
Key Z allows, if necessary, initialization of the helmet.
Key T introduces a test of stereoscopic vision. When closing left eye, you should see letter R on the screen. If not, you can change the stereoscopic mode of the HMD with its left button.
The level of sound in the HMD can be settled with its right button.

Generalities
When the patient feels that s/he is ready to navigate in the worlds, s/he pushes on Key G or on the first button of the pad.
At any time, key ESCAPE allows the return to the beginning of the story board .

Appendix 4.2 : INSTRUCTIONS – TRAINING

The patient enters the world according to preparations and generalities described in *Annexe 4.1*.

The patient:
The patient navigates in the environments using the mouse and the cursor movement keys (up, down, left, right) or a Cyberpuck pad.
The patient may use the mouse or the pad to open the doors when s/he is close to them.

The therapist:
The therapist can let the patient sits down on the chair in the TV room, using key TAB (⇆) and let the patient stands up, using key MAJ (⬆).

Appendix 3.3 : INSTRUCTIONS - PERFORMANCE

The patient enters the world according to preparations and generalities described in *Annexe 4.1*.

The patient:
The patient navigates in the environments using the mouse and the cursor movement keys (up, down, left, right) or a Cyberpuck pad.
The patient may use the mouse or the pad to open the doors when s/he is close to them.

The therapist:
The therapist is always present close to the patient and has to progress in the session with key MAJ or ⬆
The therapist can at any time introduce ambient sound by use of key S and stop it by use of key SPACE.
Some actions and the dialogues can be repeated by use of TAB or ⇆

The scenario:
The patient has to face peers in a meeting room.

The patient is in a hall, near the door of the meeting room.
She/he opens the door with the mouse: left button down, near the door. She/he enters the room. A few persons are sitting around a table; they welcome the patient.

The patient greets people around, goes to a free chair and sits down.
Therapist's choice: ⇆ : to repeat the entrance of the patient
Therapist's choice: ⬆ : to continue

The director comes in, greets people around, sits down, and asks all the participants to introduce themselves. He wants that the patient begins.
The patient should introduce her/himself.
Therapist's choice: A : One of the participants interrupts her/him
Therapist's choice: ⇆ : to repeat
Therapist's choice: ⬆ : to continue

The patient has to go to the paperboard to expose something to the public. The attitude of the public can change.
Therapist's choice: ⇆ : bad attitude of the assistance (noise, chat, …)
Therapist's choice: ⬆ : good attitude of the assistance

The therapist announces the end of the session.

Appendix 4.4 : INSTRUCTIONS – INTIMACY (INTIMITÉ)

The patient enters the world according to preparations and generalities described in *Annexe 4.1*.

The patient:
The patient navigates in the environments using the mouse and the cursor movement keys (up, down, left, right) or a Cyberpuck pad.
The patient may use the mouse or the pad to open the doors when s/he is close to them.

The therapist:
The therapist is always present close to the patient and has to progress in the session with key MAJ or ⬆
The therapist can at any time introduce ambient sound by use of key S and stop it by use of key SPACE.
Some actions and the dialogues can be repeated by use of TAB or ⇆

The scenario:
The patient should learn to develop relations of intimacy, with friends or neighbors.

The patient is in a hall, near the door of her/his friend's apartment.
She/he opens the door with the mouse or the pad near the door: left button down, near the door. She/he enters the room and is received by a friend.

The friend speaks and the patient has to answer him.
Therapist's choice: ⇆ : to repeat the entrance of the patient
Therapist's choice: ⬆ : to continue

The patient follows the friend in the room and has to say "Good night " to every body
Therapist's choice: ⇆ : to repeat
Therapist's choice: ⬆ : to continue

One of the guests comes to the patient to speak about the flat's decoration. The patient has to give her/his opinion.
Therapist's choice: ⇆ : to repeat
Therapist's choice: ⬆ : to continue

The host comes near the table and invites all his guests to sit down for the dinner.
At the table, a man, then a woman speak, ask a question to the patient. The patient must answer.
Therapist's choice: ⇆ : to repeat
Therapist's choice: ⬆ : to continue

One of the guests stands up and declares that it's time to leave.
It's the end of the dinner.

Appendix 4.5 : INSTRUCTIONS – ASSERTIVENESS (AFFIRMATION)

The story board can begin in three different places : Key A = in the lift (Ascenseur), Key E = in the hall (Entrée), Key M = in the shoe store (Magasin).
The patient enters the world according to preparations and generalities described in *Annexe 4.1*.

The patient:
The patient navigates in the environments using the mouse and the cursor movement keys (up, down, left, right) or a Cyberpuck pad.
The patient may use the mouse or the pad to open the doors when s/he is close to them.

The therapist:
The therapist is always present close to the patient and has to:

- Choose between avatars in the lift (H = man, F = woman)
- Activate avatars in the hall or in the shop (TAB), (MAJ)

The dialogues can be repeated by use of TAB.
The therapist can at any time introduce ambient sound by use of key S and stop it by use of key SPACE.

The scenario:
The patient has to prove her/his assertiveness.

- **In the lift**

The scene shows a lift. The patient walks towards the lift door.
Click on mouse or on pad: She/he opens the lift door to a neighbour.
The patient enters the lift.
Therapist's choice: H or F: The neighbor says "Hello" and criticizes him/her. "I'm glad to see you. You turn up the TV too loud. We can't sleep."
The patient has to answer.
Therapist's choice: ⇆ : If the answer is wrong, we repeat
Therapist's choice: ⬆ : If the answer is good, we continue
The lift goes down.
Click on mouse or on pad: She/he opens the second lift door to leave the lift.

- **Hall**

The patient walks towards the persons near the door. They block the way and the patient has to ask them step aside to let the patient pass.
Therapist's choice: ⇆ : to move the persons
Therapist's choice: ⬆ : If the patient's attitude is wrong, we repeat
Click on mouse or on pad: She/he opens the door in order to go outside.

- **Shoe store**

The patient is on the street. She/he has to walk towards the door of the shoe shop.
Click on mouse or on pad: She/he opens the door in order to enter the shop.
In the shop, three persons: two sales assistants and the manager.
According to the wish of the therapist, the sales assistants, and later the manager, will come to attend to the patient. The patient has to refuse the help and, at last, to go outside the store.

Therapist's choice: ⇆ : The first assistant comes to the patient
Therapist's choice: ⇆ : If the patient's attitude is wrong, we repeat
Therapist's choice: ⬆ : If the patient's attitude is good, we continue: second assistant

Therapist's choice: ⇆ : If the patient's attitude is wrong, we repeat
Therapist's choice: ⬆ : If the patient's attitude is good, we continue: manager

Therapist's choice: ⇆ : If the patient's attitude is wrong, we repeat
Therapist's choice: ⬆ : If the patient's attitude is good, we continue

Appendix 4.6 INSTRUCTIONS – SCRUTINY (OBSERVATION)

The patient enters the world according to preparations and generalities described in *Annexe 4.1*.

The patient:
The patient navigates in the environments using the mouse and the cursor movement keys (up, down, left, right) or a Cyberpuck pad.

The therapist:
The therapist is always present close to the patient and has to:

- Install the friend near the table with key A
- Progress in the session with key MAJ or ⬆

The therapist can at any time introduce ambient sound by use of key S and stop it by use of key SPACE.
Some actions and the dialogues can be repeated by use of TAB or ⇆

The scenario:
The patient has to face the scrutiny of the others

The patient is on a street and has to reach a place, a coffee shop. There she/he will meet a friend and take a drink and speak with him.
Everybody is looking at the patient.

The patient walks where she/he wants, and finally towards the coffee shop.
Therapist's choice: SPACE to stop the ambient sound
Therapist's choice: S to play the ambient sound

The patient enters the coffee shop.
Therapist's choice: A to introduce the friend at one of the tables

The patient walks towards the chair near to the friend.
As she/he approaches the chair, the computer controls her/his position until she/he sits down.
Therapist's choice: ⇆ : to repeat the installation of the patient
Therapist's choice: ⬆ : to continue

The waiter comes to take the order, brings two cocas. The patient and his friend start up a conversation.
Therapist's choice: ⇆ : to repeat the conversation
Therapist's choice: ⬆ : to continue

The waiter comes back because there is a mistake in the amount given for the drinks. The patient has to answer him.
Therapist's choice: ⇆ : to repeat the conversation
Therapist's choice: ⬆ : to continue

It's time to stand up. The patient has to leave the coffee shop.

Annexe 5 : Phobie Sociale : Questionnaires

Annexe 5.1 : QUESTIONNAIRE ABRÉGÉ DE BECK (BDI_13) (BECK AND BEAMESDERFER, 1974)

Ce questionnaire comporte plusieurs séries de quatre propositions. Pour chaque série, lisez les quatre propositions, puis choisissez celle qui décrit le mieux votre état **actuel.**
Entourez le numéro qui correspond à la proposition choisie. Si, dans une série, plusieurs propositions vous paraissent convenir, entourez **les** numéros correspondants.

A	Je ne me sens pas triste.	**0**
	Je me sens cafardeux ou triste.	**1**
	Je me sens tout le temps cafardeux ou triste, et je n'arrive pas à en sortir.	**2**
	Je suis si triste et si malheureux que je ne peux pas le supporter.	**3**
B	Je ne suis pas particulièrement découragé ni pessimiste au sujet de l'avenir.	**0**
	J'ai un sentiment de découragement au sujet de l'avenir.	**1**
	Pour mon avenir, je n'ai aucun motif d'espérer.	**2**
	Je sens qu'il n'y a aucun espoir pour mon avenir, et que la situation ne peut s'améliorer.	**3**
C	Je n'ai aucun sentiment d'échec de ma vie.	**0**
	J'ai l'impression que j'ai échoué dans ma vie plus que la plupart des gens.	**1**
	Quand je regarde ma vie passée, tout ce que j'y découvre n'est qu'échecs.	**2**
	J'ai un sentiment d'échec complet dans toute ma vie personnelle (dans mes relations avec mes parents, mon mari, ma femme, mes enfants).	**3**
D	Je ne me sens pas particulièrement insatisfait.	**0**
	Je ne sais pas profiter agréablement des circonstances.	**1**
	Je ne tire plus aucune satisfaction de quoi que ce soit.	**2**
	Je suis mécontent de tout.	**3**
E	Je ne me sens pas coupable.	**0**
	Je me sens mauvais ou indigne une bonne partie du temps.	**1**
	Je me sens coupable.	**2**
	Je me juge très mauvais et j'ai l'impression que je ne vaux rien.	**3**
F	Je ne suis pas déçu par moi-même.	**0**
	Je suis déçu par moi-même.	**1**
	Je me dégoûte moi-même.	**2**
	Je me hais.	**3**
G	Je ne pense pas à me faire du mal.	**0**
	Je pense que la mort me libérerait.	**1**
	J'ai des plans précis pour me suicider.	**2**
	Si je le pouvais, je me tuerais.	**3**
H	Je n'ai pas perdu l'intérêt pour les autres gens.	**0**
	Maintenant, je m'intéresse moins aux autres gens qu'autrefois.	**1**
	J'ai perdu tout l'intérêt que je portais aux autres gens, et j'ai peu de sentiments pour eux.	**2**
	J'ai perdu tout intérêt pour les autres, et ils m'indiffèrent totalement.	**3**
I	Je suis capable de me décider aussi facilement que de coutume.	**0**
	J'essaie de ne pas avoir à prendre de décision.	**1**
	J'ai de grandes difficultés à prendre des décisions.	**2**
	Je ne suis plus capable de prendre la moindre décision.	**3**

J	Je n'ai pas le sentiment d'être plus laid qu'avant.	**0**
	J'ai peur de paraître vieux ou disgracieux.	**1**
	J'ai l'impression qu'il y a un changement permanent dans mon apparence physique qui me fait paraître disgracieux.	**2**
	J'ai l'impression d'être laid et repoussant.	**3**
K	Je travaille aussi facilement qu'auparavant.	**0**
	Il me faut faire un effort supplémentaire pour commencer à faire quelque chose.	**1**
	Il faut que je fasse un très grand effort pour faire quoi que ce soit.	**2**
	Je suis incapable de faire le moindre travail.	**3**
L	Je ne suis pas plus fatigué que d'habitude.	**0**
	Je suis fatigué plus facilement que d'habitude.	**1**
	Faire quoi que ce soit me fatigue.	**2**
	Je suis incapable de faire le moindre travail.	**3**
M	Mon appétit est toujours aussi bon.	**0**
	Mon appétit n'est pas aussi bon que d'habitude.	**1**
	Mon appétit est beaucoup moins bon maintenant.	**2**
	Je n'ai plus du tout d'appétit.	**3**

Annexe 5.2 : ÉCHELLE D'ANXIÉTÉ SOCIALE DE LIEBOWITZ (LSAS) (LIEBOWITZ, 1987)

	PEUR OU ANXIETE 0 = Aucune 1 = Légère 2 = Moyenne 3 = Sévère	EVITEMENT 0 = Jamais 1 = Occasionnel (0-33 %) 2 = Fréquent (33-66 %) 3 = Habituel (67-100 %)
1. Téléphoner en public (P)		
2. Participer au sein d'un petit groupe (P)		
3. Manger dans un lieu public (P)		
4. Boire en compagnie dans un lieu public (P)		
5. Parler à des gens qui détiennent une autorité (S)		
6. Jouer, donner une représentation ou une conférence devant un public (P)		
7. aller à une soirée (S)		
8. Travailler en étant observé (P)		
9. Ecrire en étant observé (P)		
10. Contacter par téléphone quelqu'un que vous ne connaissez pas très bien (S)		
11. Parler à des gens que vous ne connaissez pas très bien (S)		
12. Rencontrer des inconnus (S)		
13. Uriner dans les toilettes publiques (P)		
14. Entrer dans une pièce alors que tout le monde est déjà assis (P)		
15. Etre le centre d'attention (S)		
16. Prendre la parole à une réunion (P)		
17. Passer un examen (P)		
18. Exprimer son désaccord ou sa désapprobation à des gens que vous ne connaissez pas très bien (S)		
19. Regarder dans les yeux des gens que vous ne connaissez pas très bien (S)		
20. Faire un compte-rendu à un groupe (P)		
21. Essayer de « draguer » quelqu'un (P)		
22. Rapporter des marchandises dans un magasin (S)		
23. Donner une soirée (S)		
24. Résister aux pressions d'un vendeur insistant (S)		
Autres		
TOTAL ***(ne pas remplir)***	**A =**	**C =**

Annexe 5.3 : ÉCHELLE DE RATHUS (RATHUS, 1973)

Indiquer à quel degré les affirmations suivantes sont caractéristiques ou descriptives de votre comportement. Veuillez utiliser la cotation ci-dessous et mettre une note à chaque affirmation :

+ **3** très caractéristique + **2** plutôt caractéristique + **1** un peu caractéristique	- **1** un peu non caractéristique - **2** plutôt non caractéristique - **3** vraiment non caractéristique

1.	La plupart des gens me semblent être plus agressifs et défendre mieux leurs droits que moi	*	16.	Il m'est arrivé de poser des questions, par peur de paraître stupide	*
2.	Il m'est arrivé d'hésiter par timidité au moment de donner ou d'accepter des rendez-vous	*	17.	Pendant une discussion serrée, j'ai souvent peur d'être bouleversé(e) au point de trembler de tout mon corps	*
3.	Quand la nourriture dans un restaurant ne me satisfait pas, je m'en plains au serveur ou à la serveuse		18.	Si un conférencier réputé et respecté dit quelque chose que je pense inexact, j'aimerais que le public entende aussi mon point de vue	
4.	Je fais attention à ne pas heurter les sentiments des autres, même lorsque je sens que l'on m'a blessé(e)	*	19.	J'évite de discuter les prix avec les représentants et les vendeurs	*
5.	Si un vendeur s'est donné beaucoup de mal à me montrer une marchandise qui ne me convient pas parfaitement, j'ai un moment difficile lorsque je dois dire non	*	20.	Lorsque j'ai fait quelque chose d'important et de valable, je m'arrange pour le faire savoir aux autres	
6.	Lorsque l'on me demande de faire quelque chose, j'insiste pour en savoir la raison		21.	Je suis ouvert et franc au sujet de mes sentiments	
7.	Il y a des moments où je cherche une bonne et vigoureuse discussion		22.	Si quelqu'un a répandu des histoires fausses et de mauvais goût à mon sujet, je le vois aussi vite que possible pour une explication	
8.	Je me bats pour arriver aussi bien que les autres dans ma profession		23.	J'ai souvent un moment difficile lorsque je dois dire non	*
9.	A vrai dire, les gens tirent souvent profit de moi	*	24.	J'ai tendance à contenir mes émotions plutôt que de faire une scène	*
10.	J'ai du plaisir à entreprendre des conversations avec de nouvelles connaissances ou des étrangers.		25.	Je me plains lorsque le service est mal fait, dans un restaurant ou ailleurs	
11.	Souvent je ne sais rien dire à des personnes séduisantes du sexe opposé	*	26.	Souvent je ne sais pas quoi faire lorsqu'on me fait un compliment	*
12.	J'hésiterais à téléphoner à un grand établissement de commerce ou à une administration	*	27.	Au cinéma, au théâtre, ou lors d'une conférence, si un couple près de moi est en train de parler à voix haute, je lui demande de se taire ou d'aller autre part	
13.	Je préférerais poser ma candidature pour un autre travail par lettre plutôt que par un entretien personnel	*	28.	Quiconque cherche à passer devant moi dans une queue, risque une bonne explication	
14.	Je trouve embarrassant de renvoyer une marchandise	*	29.	Je suis rapide dans l'expression de mes opinions	
15.	Si un parent proche et respecté est en train de m'ennuyer, j'étoufferais mes sentiments plutôt que d'exprimer cette gêne	*	30.	Il y a des moments où je ne sais pas quoi dire	*

Annexe 5.4 : QUESTIONNAIRE SUR LES CONTEXTES SOCIAUX ANXIOGÈNES (ANDRÉ AND LÉGERON, 2000)

Pour chacune des quatre catégories de situation sociale indiquées ci-dessous, indiquez globalement à quelle niveau d'anxiété vous vous trouvez quand vous avez à les affronter.

Catégorie de situation sociale	*Niveau d'anxiété*			
Performance	absence □	légère □	forte □	extrême □
Intimité	absence □	légère □	forte □	extrême □
Affirmation	absence □	légère □	forte □	extrême □
Observation	absence □	légère □	forte □	extrême □

Annexe 5.5 : ÉCHELLE HAD (ANXIETY DEPRESSION SCALE) (ZIGMOND AND SNAITH, 1983)

Les médecins savent que les émotions jouent un rôle important dans la plupart des maladies. Si votre médecin est au courant des émotions que vous éprouvez il pourra mieux vous aider.
Ce questionnaire a été conçu de façon à permettre à votre médecin de se familiariser avec ce que vous éprouvez vous-même sur le plan émotif. Ne faites pas attention aux chiffres et aux lettres imprimés à la gauche du questionnaire. Lisez chaque série de questions et **entourez** le numéro de la réponse qui exprime le mieux ce que vous avez éprouvé **au cours de la semaine qui vient de s'écouler**. Ne vous attardez pas sur la réponse à faire: votre réaction immédiate à chaque question fournira probablement une meilleure indication de ce que vous éprouvez, qu'une réponse longuement méditée.

	A1	Je me sens tendu ou énervé :	
	3		La plupart du temps
	2		Souvent
	1		De temps en temps
	0		Jamais
D2		Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois :	
0			Oui, tout autant
1			Pas autant
2			Un peu seulement
3			Presque plus
	A3	J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver :	
	3		Oui, très nettement
	2		Oui, mais ce n'est pas trop grave
	1		Un peu, mais cela ne m'inquiète pas
	0		Pas du tout
D4		Je ris facilement et vois le bon côté des choses :	
0			Autant que par le passé
1			Plus autant qu'avant
2			Vraiment moins qu'avant
3			Plus du tout
	A5	Je me fais du souci :	
	3		Très souvent
	2		Assez souvent
	1		Occasionnellement
	0		Très occasionnellement
D6		Je suis de bonne humeur :	
3			Jamais
2			Rarement
1			Assez souvent
0			La plupart du temps

	A7	Je peux rester tranquillement assis à ne rien faire et me sentir décontracté :	
	0		Oui, quoi qu'il arrive
	1		Oui, en général
	2		Rarement
	3		Jamais
D8		J'ai l'impression de fonctionner au ralenti :	
3			Presque toujours
2			Très souvent
1			Parfois
0			Jamais
	A9	J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué :	
	0		Jamais
	1		Parfois
	2		Assez souvent
	3		Très souvent
D10		Je ne m'intéresse plus à mon apparence :	
3			Plus du tout
2			Je n'y accorde pas autant d'attention que je le devrais
1			Il se peut que je n'y fasse plus autant attention
0			J'y prête autant d'attention que par le passé
	A11	J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place :	
	3		Oui, c'est tout à fait le cas
	2		Un peu
	1		Pas tellement
	0		Pas du tout
D12		Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses :	
0			Autant qu'avant
1			Un peu moins qu'avant
2			Bien moins qu'avant
3			Presque jamais
	A13	J'éprouve des sensations soudaines de panique :	
	3		Vraiment très souvent
	2		Assez souvent
	1		Pas très souvent
	0		Jamais
D14		Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision :	
0			Souvent
1			Parfois
2			Rarement
3			Très rarement

Annexe 5.6 : ÉCHELLE D'INCAPACITÉ DE SHEEHAN (SHEEHAN ET AL., 1980)

1 - À l'heure actuelle, du fait de vos problèmes, dans quelle mesure votre travail est-il perturbé ?

Donnez une note de 0 à 10.
La note 0 signifie que votre travail n'est pas du tout perturbé, à l'inverse, la note 10 signifie que votre travail est très sévèrement perturbé.
Les notes intermédiaires servent à nuancer votre jugement.

0 10

pas du tout très sévèrement

Note attribuée : _____

2 - À l'heure actuelle, du fait de vos problèmes, dans quelle mesure votre vie sociale et vos loisirs sont-ils perturbés ?

Donnez une note de 0 à 10.
La note 0 signifie que votre vie sociale et vos loisirs ne sont pas du tout perturbés, à l'inverse, la note 10 signifie que votre vie sociale et vos loisirs sont très sévèrement perturbés.
Les notes intermédiaires servent à nuancer votre jugement.

0 10

pas du tout très sévèrement

Note attribuée : _____

3 - À l'heure actuelle, du fait de vos problèmes, dans quelle mesure votre vie de famille et vos responsabilités domestiques sont-elles perturbées ?

Donnez une note de 0 à 10.
La note 0 signifie que votre vie de famille et vos responsabilités domestiques ne sont pas du tout perturbées, à l'inverse, la note 10 signifie que votre vie de famille et vos responsabilités domestiques sont très sévèrement perturbées.
Les notes intermédiaires servent à nuancer votre jugement.

0 10

pas du tout très sévèrement

Note attribuée : _____

Annexe 5.7 : IMPRESSION CLINIQUE GLOBALE DE SÉVÉRITÉ DE LA PATHOLOGIE (CGI) (GUY, 1976)

Compléter cet item lors de l'évaluation initiale et lors des évaluations suivantes.

En fonction de votre expérience clinique totale avec ce type de patients, **quel est le niveau de gravité des troubles mentaux actuels du patient** ?

0	Non évalué	□
1	Normal, pas du tout malade	□
2	A la limite	□
3	Légèrement malade	□
4	Modérément malade	□
5	Manifestement malade	□
6	Gravement malade	□
7	Parmi les patients les plus malades	□

Annexe 6 : Phobie Sociale : Formulaires

Annexe 6.1 : Notice d'information destinée au patient

Madame, Monsieur,

Votre médecin vous propose de participer à une étude destinée à évaluer l'efficacité d'un traitement dénommé « thérapie virtuelle », consistant en une exposition à un environnement virtuel, dans le traitement de la phobie sociale.

Après un entretien clinique avec votre médecin, il vous sera proposé :
1) soit de suivre un groupe de thérapie comportementale et cognitive,
2) soit de suivre une thérapie virtuelle,
3) soit de figurer sur une liste d'attente, dans l'hypothèse d'une non disponibilité immédiate de l'un des deux traitements précédents.

Le traitement par thérapie virtuelle consiste en douze séances d'une durée de 45 minutes chacune où vous êtes équipé(e) d'un casque vous permettant d'être « plongé(e) » dans divers mondes virtuels relatifs à des situations sociales (prendre la parole devant un groupe de personnes, être dans un magasin face à des vendeurs insistants, participer à un dîner avec des gens nouveaux, traverser une terrasse de café bondée). A l'aide de touches du clavier d'un ordinateur, vous pourrez vous « déplacer » dans ce monde et interagir avec lui. Chaque exposition durera une dizaine de minutes. Dans chaque séance il y aura deux expositions, et donc un total de 20 minutes, sur les 45 minutes de la séance. Lors de chacune des expositions, le thérapeute vous aidera à mieux maîtriser votre anxiété face aux situations rencontrées, en vous indiquant quelle attitude adopter.

Le traitement de groupe consiste en douze séances de thérapie comportementale et cognitive d'une durée de 2 heures chacune. Le groupe est constitué de 8 à 10 patients et est animé par un psychiatre et un psychologue. Lors des séances, vous apprendrez à mieux identifier les situations sociales qui déclenchent en vous de l'anxiété ainsi qu'à mieux repérer la façon dont vous gérer cette anxiété. A l'aide d'exercices et de mises en situation sous forme de jeux de rôle, vous apprendrez progressivement à modifier vos comportements dans ces situations et à développer des raisonnements différents. Enfin, entre chaque séance, vous serez amené(e) à mettre en pratique, dans votre vie quotidienne, et sous forme d'exercices, ce que vous aurez appris lors des séances.

Les bénéfices attendus : en participant à cette étude, vous bénéficierez d'un traitement qui a déjà été montré efficace pour d'autres types de troubles anxieux, et qui repose sur les principes des thérapies comportementales et cognitives, reconnues comme un traitement efficace de la phobie sociale.

Les inconvénients : cette étude nécessite, si vous suivez une thérapie virtuelle, l'utilisation, lors des séances, d'un équipement par ailleurs peu contraignant, à savoir le port d'un casque avec visière, permettant de créer l'illusion d'être dans un monde réel (réalité virtuelle) et le maniement du clavier d'un ordinateur. Par ailleurs, quelque soit le traitement que vous suivrez, vous aurez à remplir un certain nombre d'échelles psychométriques validées qui permettront d'évaluer précisément les résultats du traitement.

Le coût de chacune des séances des deux traitements s'élève au prix d'une consultation hospitalière de psychiatrie (CNPSY=34,30 €).

Votre médecin peut décider d'interrompre votre participation à cette étude si vous ne répondez pas aux critères exigés pour l'étude.

Votre participation à cette étude implique que vous acceptiez de suivre l'ensemble des 12 séances et de remplir les questionnaires. Toutes les données recueillies resteront anonymes et confidentielles.

Vous avez été informé(e) que le promoteur de l'étude a contracté une assurance et qu'il existe une procédure d'indemnisation en cas de dommage ou d'invalidité du fait de votre participation à cette étude.

Vous êtes libre de quitter l'étude à tout moment, sans avoir à vous justifier et sans mettre en jeu la qualité des soins médicaux que vous recevrez ensuite.

Vous avez le temps d'étudier cette notice d'information et de poser toutes les questions concernant les points qui vous paraissent peu clairs. Vous serez mis(e) au courant de toute nouvelle information survenant en cours de l'essai et qui pourrait remettre en cause votre consentement.

Docteur Patrick LÉGERON
Investigateur principal
Service hospitalo-universitaire
Centre Hospitalier Sainte Anne
7, rue Cabanis – 750014 Paris
Tél. : 01 45 65 81 50.

Annexe 6.2 : Formulaire de consentement

FORMULAIRE ECRIT DU CONSENTEMENT DE PARTICIPATION POUR UNE RECHERCHE AVEC BENEFICE INDIVIDUEL DIRECT

Titre de l'étude : Evaluation de l'efficacité d'une exposition à un environnement virtuel (« thérapie virtuelle ») dans le traitement de la phobie sociale

N° de patient_____ NOM :_____
Prénom :_____
Adresse :_____
_____

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Le Docteur Patrick LÉGERON, investigateur principal, m'a proposé de participer à un essai clinique intitulé « Evaluation de l'efficacité d'une exposition à un environnement virtuel (« thérapie virtuelle ») dans le traitement de la phobie sociale » et dont le promoteur est l'ISMRA (Institut des Sciences de la Matière et du Rayonnement) de CAEN, soit en suivant un traitement comportemental et cognitif de groupe, soit en suivant une thérapie virtuelle, soit en figurant sur une liste d'attente.

Il m'a précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser. Cela ne changera pas nos relations pour mon traitement.

Afin d'éclairer ma décision, j'ai reçu de la part du médecin investigateur une explication sur la nature, les buts et la durée de l'essai, sur les bénéfices attendus, les inconvénients éventuels, de même que sur ce que j'aurai à faire.

Les données qui me concernent resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation directe que par des personnes qui collaborent à la recherche désignées par l'investigateur principal, le Docteur Patrick LÉGERON, et éventuellement les Autorités réglementaires. Ces personnes sont astreintes au secret professionnel. Si certaines questions ou problèmes surviennent à n'importe quel moment de l'étude, je contacterai mon médecin qui pourra me répondre.

Je suis informé(e) que cet essai sera conduit conformément à la législation française en vigueur et qu'il a reçu l'avis favorable du Comité de Protection des Personnes se Prêtant à une Recherche Biomédicale (CCPPRB) de PARIS-COCHIN à la date du .

Mon consentement ne décharge en rien les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi.

J'ACCEPTE DE PARTICIPER A CETTE RECHERCHE DANS LES CONDITIONS PRECISEES CI-DESSUS.

J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cet essai puissent faire l'objet d'un traitement informatisé par le Promoteur ou pour son compte. J'ai bien noté que le droit d'accès, comme celui de rectification, prévu par la Loi « Informatique et Libertés » (article 40) s'exerce à tout moment auprès du médecin investigateur.

Je confirme que j'ai reçu une copie de ce formulaire de consentement.

Fait en trois exemplaires à

Date : Date :

Signature de l'investigateur Signature du patient

Docteur Patrick LÉGERON

CE FORMULAIRE DOIT ETRE ETABLI EN TROIS EXEMPLAIRES: UN POUR LE PATIENT ET DEUX POUR L'INVESTIGATEUR.

Annexe 7 : Planification : Données Neuropsychologiques des Patients MP

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Sexe	F	M	F	M	M	M	M	M	M	F	F	M	F
Age	76	70	71	66	79*	78	63	67	68	72	74	69	71
Mattis	142	130	143	137	133	127■	135	132	117■	130	134	133	132
Attention	37	37	37	37	36	35	37	36	34	33	34	35	36
Initiation	37	34	37	30	29	32	30	31	29	30	37	32	31
Construction	6	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6
Concepts	38	35	38	38	37	34	39	34	33	37	36	39	34
Mémoire	25	19	25	25	25	20	23	25	16	25	22	21	25
Brown Peterson													
BPt	51	45	48	70	30*	67	64	20*	52	50	41	46	49
0	15	15	15	15	14	13	15	7	15	13	15	12	15
3	9	7	11	11	7	12	13	4	12	10	6	11	12
6	13	9	6	15	4	13	13	3	6	11	6	11	8
9	9	9	9	15	3	13	13	4	9	10	8	6	8
18	5	5	7	14	2	14	10	2	10	6	4	5	6
Stroop													
Mots	81	102	110	123	110	88	87	67	72	82	56	78	82
Couleurs	71	66	90	74	60	44	59	57	41	58	40	68	50
Couleurs et Mots	30	31	34	48	35	16	32	21	14	23	3*	26	27
Wisconsin													
Catégories	2	0*	3	6	6	4	6	1	2	1	3	4	3
Items Ière Catég	37	128*	10	10	11	19	10	63*	10	41	12	12	21
Its administrés	128	128	128	110	86	128	71	128	128	128	128	128	128
% erreurs	53	74*	39	32	19	44	10	56	61*	52	40	41	64*
Fluence													
« P »	28	6	18	32	11	24	12	11	3	21	21	24	11
« Animaux »	9	15	35	21	18	24	27	12	14	16	20	21	30

* : indique une performance en dehors de l'intervalle « Moyenne ± 2 écarts-type » calculé chez les sujets contrôle
117 : souligne une valeur extrême, péjorativement minimale ou maximale selon la variable
■ : existence d'un déficit cognitif

Annexe 8 : Planification : Performances Patients MP

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Sexe	F	M	F	M	M	M	M	M	M	F	F	M	F
Age	76	70	71	66	79*	78	63	67	68	72	74	69	71
Mattis	142	130	143	137	133	127■	135	132	117■	130	134	133	132
Niveau éducation	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	2	2	2
Temps (min) entraînement	10	7	11	4	8	19 *	4	13*	11	23*	13*	10	12*
Bonnes actions	12	11*	12	12	12	12	12	12	12	11*	12	12	12
Intrusions	2	4*	0	1	7*	5*	3	0	2	0	1	0	0
Taux réalisation	100	91.7	100	100	100	100	100	100	100	91.7	100	100	100
Taux erreur	14.3	26.7	0	7.7	36.8	29.4	20	0	14.3	0	7.7	0	0
Temps mise en mouvement (sec)	12	9	9	18	18	6	9	9	24	12	6	6	9
Temps 1ère Action (min)	2.2	2.6	2.6	1.3	1.4	1.85	1.7	4.7*	3.25	14.8*	2.3	1.3	2.9
Temps pour payer (sec)	28	17	28	3	2	12	4	12	42*	37*	43*	26	58*
Vitesse (m/min)	14.87	9.7	15.33	24.06	14.64	18.47	22.30	13.66	7.59	12.57	13.71	16.52	10.18
Distance (m)	268	413*	302	218	458*	469*	303	409*	459*	692*	328	351	245
Durée (min)	18.0	42.7*	19.7	9.1	31.3*	25.4*	13.6	30.0*	60.5*	55.1*	23.9*	21.2	24.1*
Nombre Arrêts	46	105*	47	17	106*	67*	31	69 *	144*	88*	59*	46	58*
Catégorisation	2.5	7*	2	1.5	13*	4.5	3	2.5	5.5	7*	3	2.5	1.5
Angle moyen	28.2	45.7*	40.1	28.8	49.6*	31	27.5	40.1	46.5*	56*	39.6	29.3	31.2
Cumul des angles	4400	14500*	7770*	3220	14400*	9630*	4460	8730*	14100*	21600*	7760*	6540	4830
Nbre Intersections	36	175*	45	14	178*	341*	31	122*	105*	438*	51*	54*	30

* : indique une performance en dehors de l'intervalle « Moyenne ± 2 écarts-type » calculé chez les sujets contrôle
117 : souligne une valeur extrême, péjorativement minimale ou maximale selon la variable
■ : existence d'un déficit cognitif

Annexe 9 : Planification : Performances sujets contrôle

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Test
Sexe	F	F	F	M	F	F	F	F	M	F	M	F
Age	56	75	66	73	63	63	69	69	71	63	71	51
Mattis	141	136	143	135	144	143	142	133	140	143	135	
Niveau éducation	2	3	2	2	3	3	1	1	3	2	1	3
Temps (min) entraînement	9	5	7	7	5	9	7	8	5	5	9	
Bonnes actions	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Intrusions	2	1	3	2	0	2	0	2	0	1	0	0
Taux réalisation	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Taux erreur	14.3	7.7	20	14.3	0	14.3	0	14.3	0	7.7	0	0
Temps mise en mouvement (sec)	6	9	0	27	0	6	9	6	15	6	12	0
Temps 1ère Action (min)	0.95	0.78	0.72	1.18	1.12	1.05	3.38*	1.62	1.07	0.50	2.97	0.33
Temps pour payer (sec)	3	1	20	3	2	8	26	10	4	10	33	1
Vitesse (m/min)	24.58	24.55	21.24	17.04	20.35	14.61	14.85	16.70	23.18	19.09	15.8	33.3
Distance (m)	215	263	263	189	194	201	275	274	299	129	325	120
Durée (min)	8.7	10.7	12.4	11.1	9.5	13.7	18.5	16.4	12.9	6.8	20.5	3.6
Nombre Arrêts	25	22	26	23	31	38	48	40	26	16	55	9
Catégorisation	1.5	2	4.5	2	2	1.5	4	2	4	1.5	2	1.5
Angle moyen	29.8	26.2	29.6	27	29.7	23.1	26.1	48.1*	20.4	35	26	19.6
Cumul des angles	3340	3560	4120	3180	3360	3600	4980	7880*	3520	2620	4600	943
Nbre Intersections	10	15	20	12	22	24	34	34	29	3	43	0

* : indique une performance en dehors de l'intervalle « Moyenne ± 2 écarts-type » calculé chez les sujets contrôle
325 : souligne une valeur extrême, minimale ou maximale selon la variable

Annexe 10 : Planification : Séquence de la tâche chez les patients MP

	P1	P2	P3	P4	P5
Courses	Pommes 2'13" Artichauts 51" Tee-shirt 1'58" Baguette 1'20" Chaussettes 3'32" Farine 1'14" Lessive 1'25" Caisses 3'21"	Artichauts 2'35" Pommes 7'36" Tee-shirt 3'33" Baguette 10'30" Farine 2'54" Lessive 6'58" Caisses 5'34"	Artichauts 2'38" Pommes 3'00" Tee-shirt 1'37" Chaussettes 2'02" Baguette 1'46" Lessive 2'35" Farine 1'28" Caisses 1'27"	Artichauts 1'16" Pommes 0'21" Tee-shirt 0'46" Chaussettes 0'47" Lessive 1'14" Farine 1'55" Baguette 0'25" Caisses 1'00"	Artichauts 1'25" Lessive 1'56" **Caisses 3'23"** Tee-shirt 3'13" Baguette 4'31" Chaussettes 2'11" Farine 5'48" Pommes 2'24" Caisses 1'30"

	P6	P8	P9	P10	P7
Courses	Artichauts 1'51" Tee-shirt 2'53" Chaussettes 1'34" Baguette 1'21" Lessive 2'37" Farine 6'45" Pommes 4'13" Caisses 0'42"	Pommes 4'44" Artichauts 1'16" Lessive 3'27" Farine 2'46" Chaussettes 4'56" Baguette 1'13" Tee-shirt 4'56" Caisses 4'11"	Tee-shirt 3'15" Baguette 5'33" Lessive 9'17" Artichauts 17'08" Pommes 2'11" Chaussettes 11'39" Farine 3'28" Caisses 4'17"	Baguette 14'49" Lessive 4'34" Pommes 7'36" Artichauts 3'17" Chaussettes 7'38" Tee-shirt 1'50" Caisses 9'27"	Pommes 1'43" Artichauts 0'24" Baguette 1'39" Lessive 1'27" Tee-shirt 5'11" Chaussettes 0'36" Farine 0'42" Caisses 0'32"

	P11	P12	P13
Courses	Pommes 2'16" Artichauts 0'30" Tee-shirt 2'49" Baguette 5'16" Farine 2'21" Lessive 2'51" Chaussettes 3'17" Caisses 1'56"	Artichauts 1'18" Pommes 2'06" Lessive 1'54" Baguette 4'07" Tee-shirt 3'57" Chaussettes 2'36" Farine 1'17" Caisses 0'59"	Lessive 2'53" Artichauts 1'57" Pommes 1'24" Tee-shirt 3'56" Chaussettes 1'26" Farine 6'03" Baguette 1'04" Caisses 2'28"

Annexe 11 : Planification : Séquence de la tâche chez les sujets contrôle

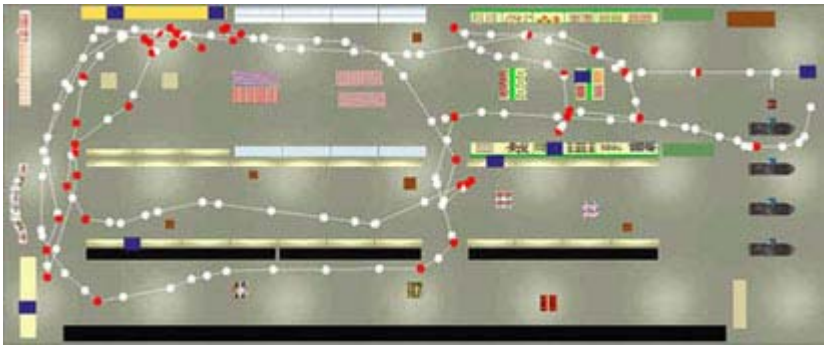
	C1	C2	C3	C4	C5
Courses	Artichauts 0'57" Pommes 0'34" Tee-shirt 0'39" Chaussettes 0'48" Lessive 1'13" Farine 1'58" Baguette 0'30" Caisses 0'52"	Artichauts 0'47" Pommes 1'00" Chaussettes 1'48" Tee-shirt 0'30" Farine 0'34" Lessive 0'41" Baguette 3'08" Caisses 1'09"	Artichauts 0'43" Tee-shirt 1'12" Chaussettes 1'10" Baguette 0'52" Lessive 1'55" Pommes 2'18" Farine 1'14" Caisses 1'08"	Artichauts 1'11" Pommes 0'31" Tee-shirt 1'25" Chaussettes 0'49" Baguette 1'00" Lessive 2'25" Farine 1'11" Caisses 1'25"	Artichauts 1'07" Pommes 0'38" Tee-shirt 0'57" Chaussettes 0'45" Baguette 0'52" Lessive 1'24" Farine 1'25" Caisses 1'08"

	C7	C8	C9	C10	C6
Courses	Farine 3'23" Lessive 1'57" Pommes 1'50" Artichauts 1'49" Chaussettes 2'50" Tee-shirt 1'04" Baguette 2'05" Caisses 1'34"	Artichauts 1'37" Pommes 1'14" Tee-shirt 1'53" Chaussettes 1'12" Farine 1'52" Lessive 3'21" Baguette 1'37" Caisses 1'48"	Artichauts 1'04" Tee-shirt 1'33" Chaussettes 0'34" Lessive 1'20" Baguette 1'59" Pommes 2'47" Farine 1'13" Caisses 1'03"	Artichauts 0'30" Pommes 0'41" Tee-shirt 0'59" Chaussettes 0'48" Baguette 0'38" Farine 0'45" Lessive 0'45" Caisses 0'30"	Artichauts 1'03" Pommes 2'04" Lessive 1'31" Tee-shirt 2'11" Chaussettes 1'29" Farine 1'11" Baguette 0'31" Caisses 1'49"

	C11	Test
Courses	Artichauts 2'58" Pommes 1'51" Chaussettes 2'38" Tee-shirt 3'13" Farine 2'03" Lessive 1'48" Baguette 1'58" Caisses 1'42"	Pommes 20" Artichauts 8" Tee-shirt 32" Chaussettes 18" Baguette 22" Farine 20" Lessive 30" Caisses 19"

Annexe 12 : Planification : Trajectoires Patients

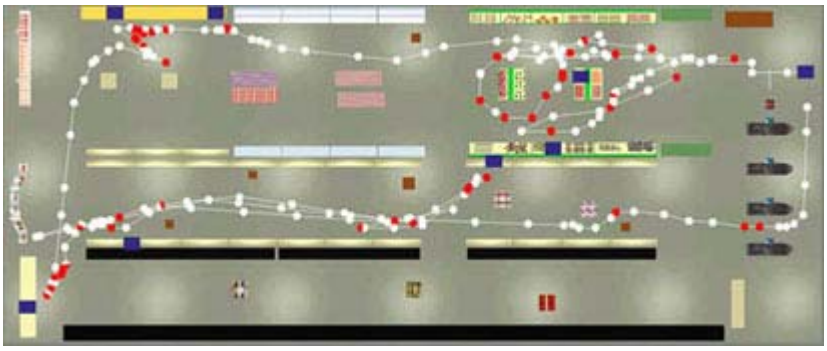
pat01



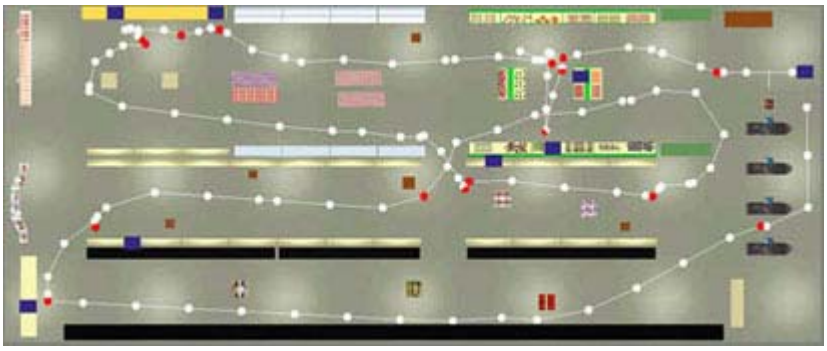
pat02



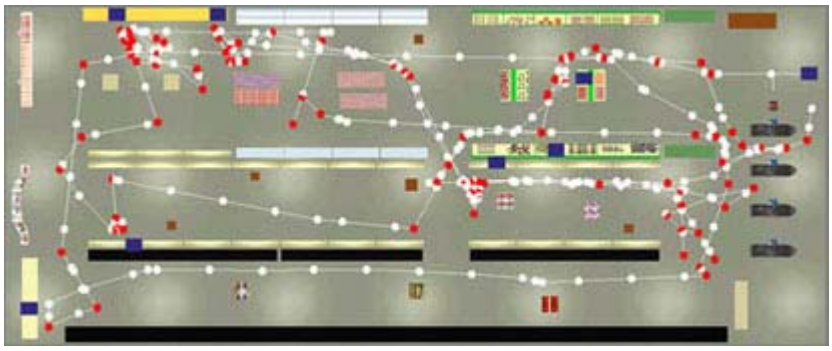
pat03



pat04



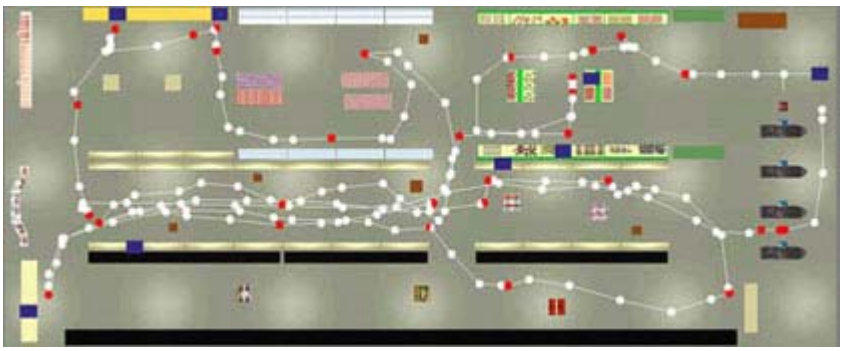
pat05



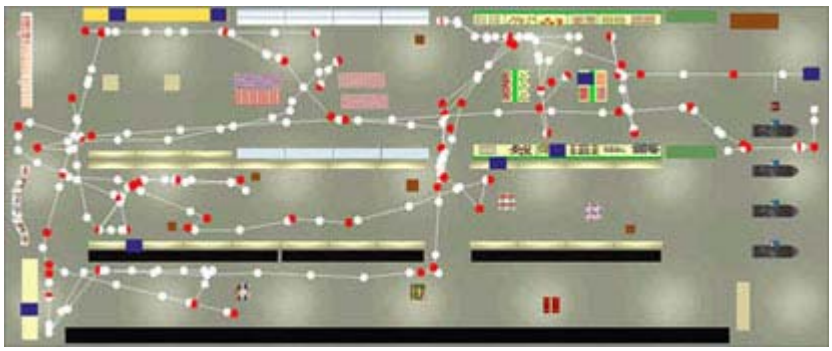
pat06



pat07



pat08



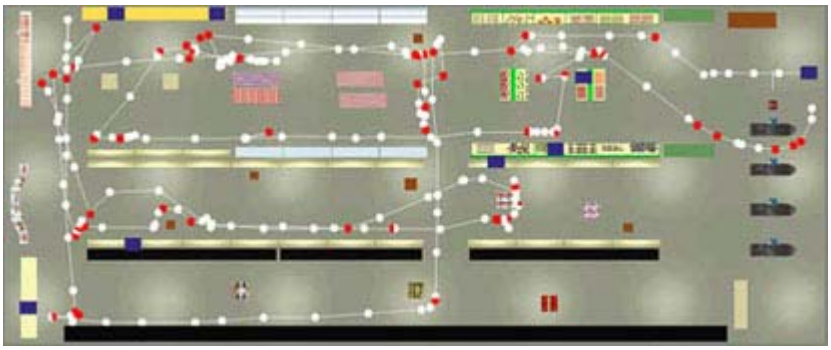
pat09



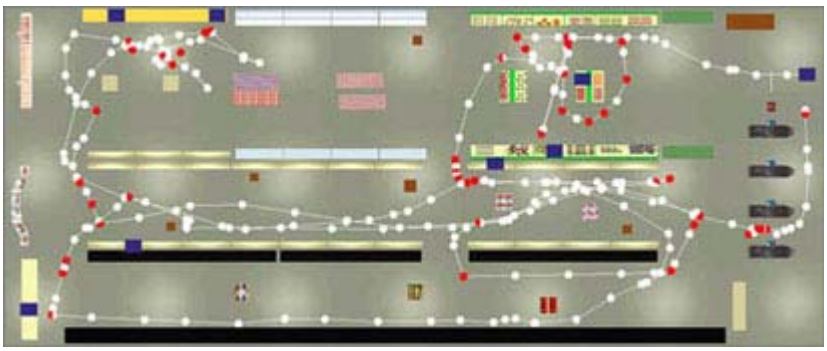
pat10



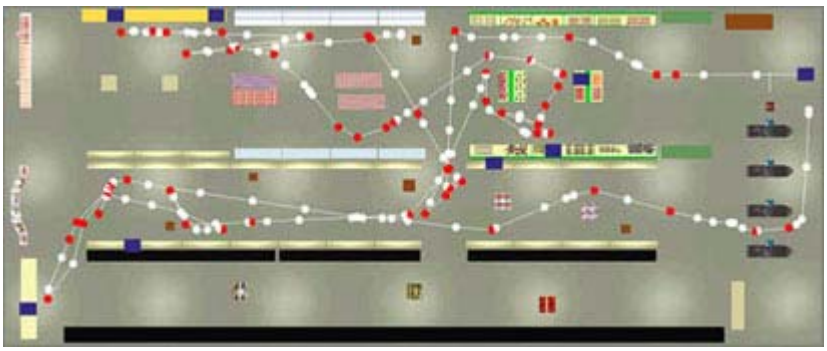
pat11



pat12

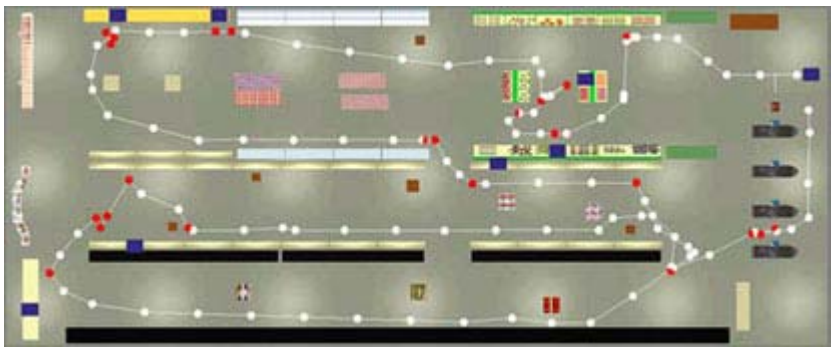


pat13



Annexe 13 : Planification : Trajectoires Contrôles

cont01



cont02



cont03



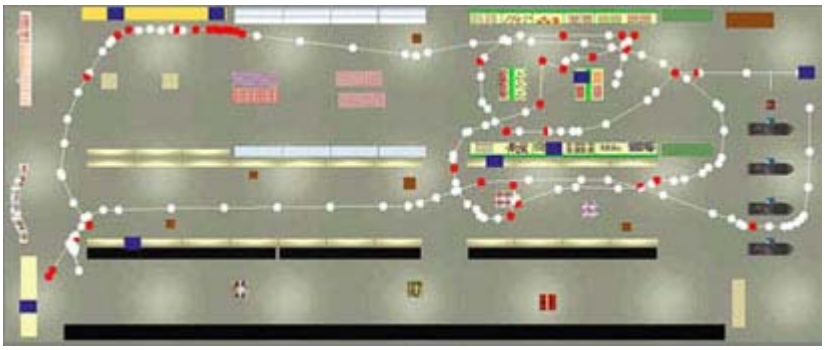
cont04



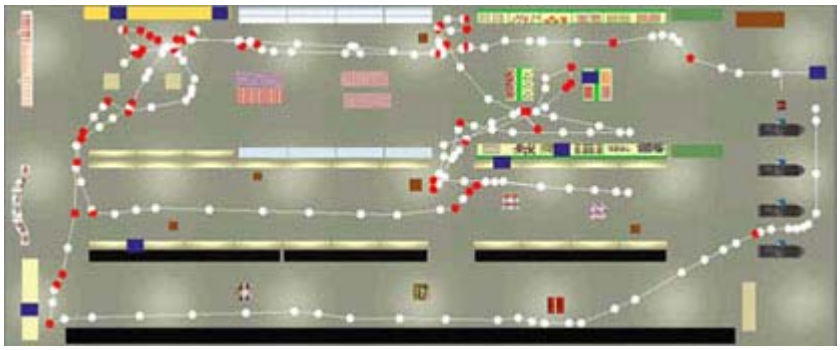
cont05



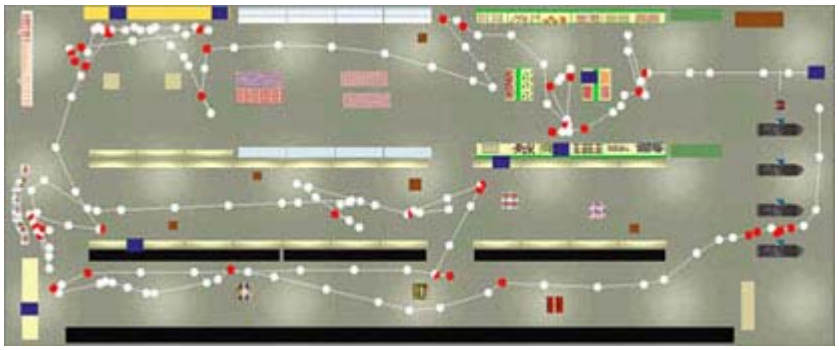
cont06



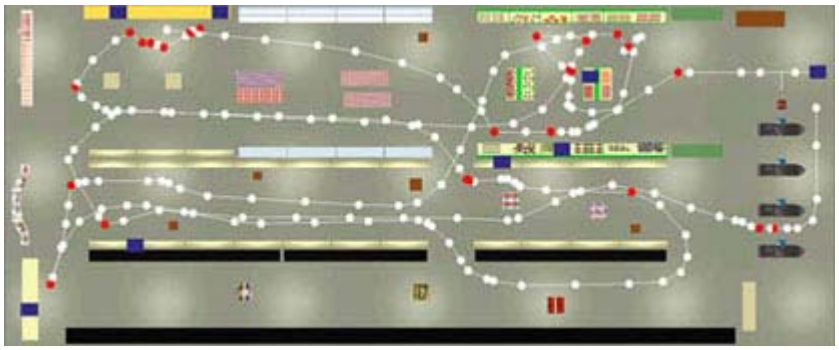
cont07



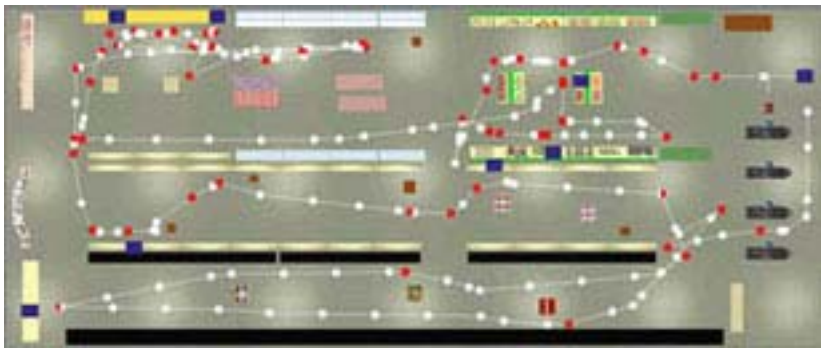
cont08



cont09



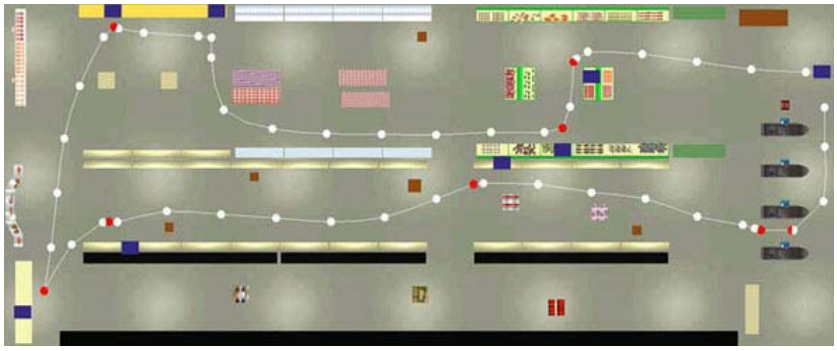
Cont10



Cont11

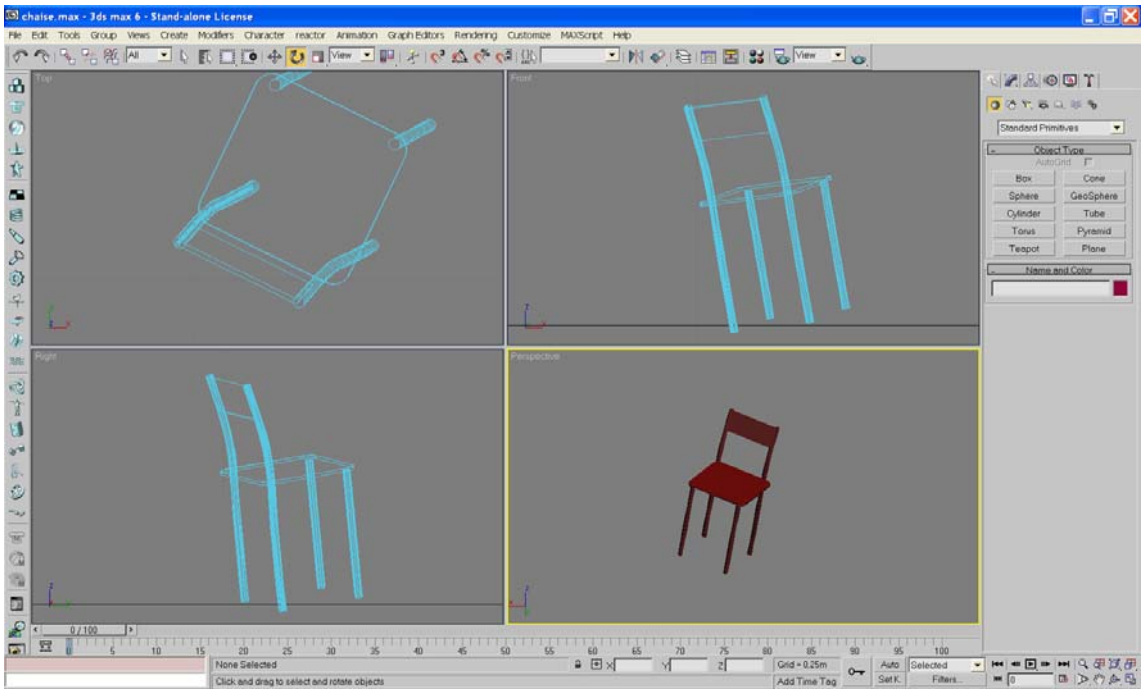


Test
3’ 34 ”
120 m
9 arrêts

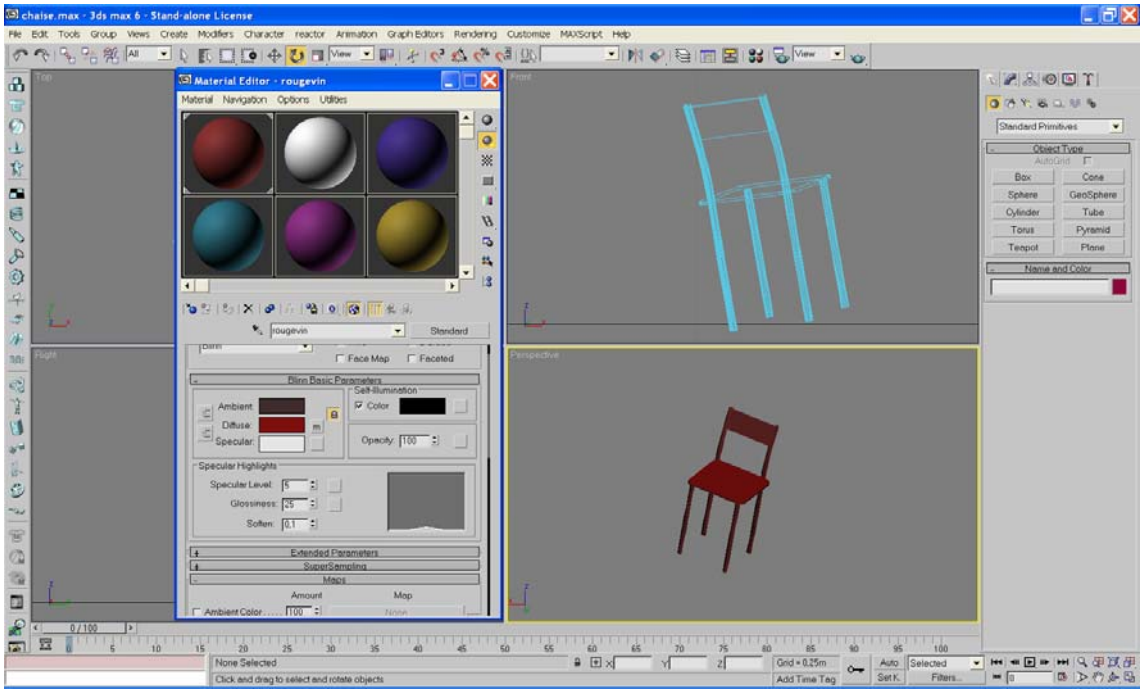


Annexe 14 : Logiciel de modélisation : Discreet 3D Studio Max

Copie d'écran : création d'une chaise

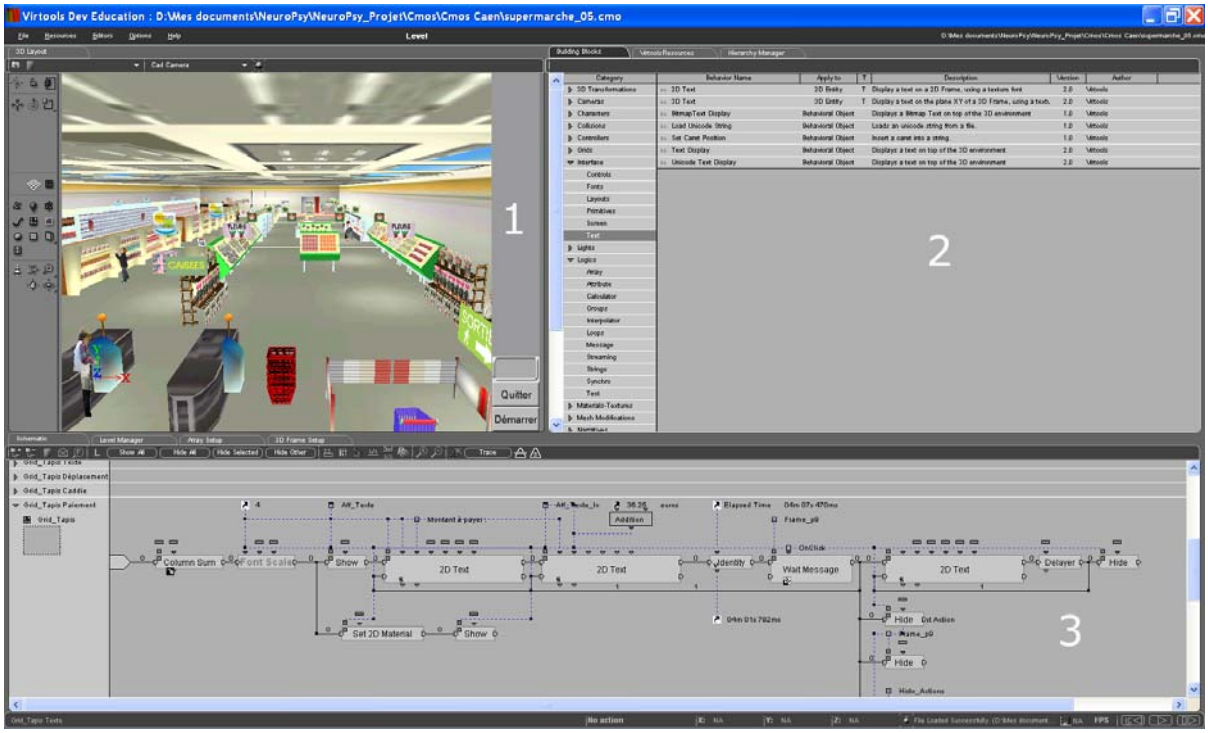


Copie d'écran : Application d'un matériau sur une chaise



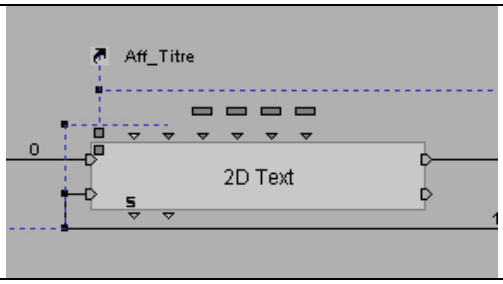
Annexe 15 : Plateforme de développement interactive : Virtools™

Copie d'écran de Virtools™



1 : Zone de création, de visualisation
2 : Zone des bases de données (Building Blocks, Ressources)
3 : Zone d'écriture des scripts (enchaînements de Building Blocks)

Un Building Block

	Les Building Blocks permettent de décrire des actions, d'appliquer des comportements.

Annexe 16 : Automatisation de traitement

A titre d'exemple nous nous plaçons dans le cadre du traitement automatisé d'une phobie.

La séance initiale (*Séance D*) est tout d'abord dédiée au diagnostic de la phobie *P* (APA, 1994), et à l'information du patient sur la méthodologie de la thérapie d'ERV. Puis, le thérapeute établit avec le patient la chronologie des *ERVi.* Enfin le patient est soumis à la batterie de tests *QP* et son score de départ *Scd* est établi, ainsi que le niveau de stimuli *Sj* de départ (Tableau 12).

La première séance de traitement (*Séance 1*) se déroule en présence du thérapeute afin : a) de s'assurer de la compréhension du principe de la thérapie et de la manipulation du système d'ERV par le patient grâce à la navigation dans une situation neutre ERV_0 ; b) d'ajuster si besoin est les paramètres définis lors de la séance initiale (notamment *Sj*, le niveau initial des stimuli) ; c) de définir avec le patient le rythme des séances de traitement et l'accessibilité aux équipements (n situations d'ERV ; m_j stimuli par situation ; donc environ ½ ($\sum_{i=1}^{n} m_i$) séances de traitement d'une heure) ; et d) de définir le rythme des séances avec le thérapeute (par exemple, toutes les quatre séances de traitement).

Les séances de traitement (*Séance T*) débutent avec un message d'accueil pour le patient et quelques questions sur les actions qu'il a menées depuis la séance précédente (ses difficultés, ses réussites). Puis elles continuent avec deux périodes d'ERV suivies de réponses aux questionnaires *QPr*, donc du calcul du score *Sc* qui détermine le passage ou non au niveau supérieur d'exposition. Pendant ces séances, les efforts du sujet sont renforcés par les messages d'accompagnement du logiciel : le score *Sc* est commenté, avec des félicitations si le patient est amené à passer au niveau supérieur, ou des encouragements, des explications, si le patient est amené à recommencer le même niveau. Même s'il a atteint le niveau *Sc* nécessaire pour passer au niveau supérieur, il se peut que le patient ne soit pas suffisamment confiant ou prêt pour aborder une situation plus anxiogène. Il a alors la possibilité de recommencer le niveau qu'il vient de quitter, et ainsi de renforcer ses acquisitions. A la fin de la séance des conseils sont prodigués au patient, et des consignes relatives à des tâches à réaliser d'ici la séance de traitement suivante sont données. Certaines de ces séances de traitement (*Séance T**) se déroulent en présence du thérapeute, permettant ainsi de recadrer la thérapie, de réajuster les paramètres, d'assurer le patient du suivi et de l'intérêt du thérapeute. Le système permet également au patient, s'il en éprouve le besoin, de communiquer avec le thérapeute.

La séance finale (*Séance F*) est consacrée à un travail d'approfondissement sur une des situations explorées, qui correspond le plus au problème du patient. Le patient est à nouveau soumis à la batterie de questionnaires *QP* et son score final est établi *Scf*. Cette séance conclut la thérapie, avec la définition d'un programme personnel à poursuivre au-delà de la thérapie.

Tout au long de la thérapie, des informations concernant le patient sont régulièrement enregistrées : Date de la séance, ERV pratiquée, Niveau de stimulus, Score obtenu après les questionnaires, Réponses du patient, ….

Tableau 12 : Organisation des séances de traitement automatisé d'une phobie

Séance D : Diagnostic et Information

1. Diagnostic ➔ Organisation des *ERVi*
2. Tests « pré » ➔ *QP* : Score *Scd* ➔ *Sj* : Niveau de départ des stimuli de ERV_1

Séance 1 : en présence du thérapeute

1. Vérification de la compréhension de l'ERV
   Apprentissage de la manipulation du matériel dans ERV_0 (neutre)
2. Définition du rythme des séances de traitement (par exemple une par semaine)
3. Définition du rythme des séances de traitement avec le thérapeute
4. Exposition ERV_1, niveau de stimuli Sj, avec le thérapeute
5. *QPr* : Score Sc_1
6. Comparaison avec le score de niveau *Scn*
   $Sc_1 < Scn$: le patient est apte à passer au niveau de stimuli supérieur, $Sj = Sj_{+1}$
   $Sc_1 \leq Scn$: le patient recommencera l'ERV avec le niveau *Sj*

Séance T : Traitement, $k^{ème}$ séance

1. Introduction, questionnement sur actions menées depuis la séance précédente
2. Exposition *ERVi*, niveau *Sj*
3. *QPr* : Score Sc_k
4. Comparaison avec le score de niveau *Scn*
   $Sc_k \geq Scn$: le patient recommence *ERVi* avec le niveau *Sj*, on passe au point 6
   $Sc_k < Scn$: le patient est apte à passer au niveau de stimuli supérieur
5. Si $j = m_i$: i.e. tous les m_i niveaux de stimuli de ERVi ont été explorés.
   $i = i+1$: on passe à l'ERVi suivante, niveau de stimuli S_1
   On passe au point 6
   Si $j < m_i$: $Sj = Sj_{+1}$, et on passe au point 6
6. Exposition *ERVi*, niveau *Sj*
7. *QPr* : Score Sc_k
8. Comparaison avec le score de niveau *Scn*
   $Sc_k \geq Scn$: le patient recommence *ERVi* avec le niveau *Sj*, on passe au point 10
   $Sc_k < Scn$: le patient est apte à passer au niveau de stimuli supérieur, $Sj = Sj_{+1}$
9. Si $j = m_i$: i.e. tous les m_i niveaux de stimuli de ERVi ont été explorés.
   $i = i+1$: on passe à l'ERVi suivante, niveau de stimuli S_1
   On passe au point 10
   Si $j < m_i$: $Sj = Sj_{+1}$, et on passe au point 10
10. Messages de renforcement, conseils, consignes pour la séance suivante

*Séance T** : Traitement en présence du thérapeute

Séance se déroulant comme la séance de traitement précédente, mais le thérapeute peut conseiller, guider, recadrer

Séance F : Séance finale, en présence du thérapeute

1. Choix d'une *ERVi* et d'un niveau *Sj* de stimuli
2. Tests « post » ➔ *QP* : Score *Scd*
3. Conclusion, conseils, programme

Annexe 17 : Réhabilitation cognitive dans le supermarché virtuel

Proposition de nouvelles listes de courses
Les nouveautés dans les listes peuvent être apportées au niveau : de la liste de produits (différentes listes prédéfinies) ; de la façon de présenter la liste (avec des icônes représentant les produits, ou avec des mots). Il peut aussi s'agir d'une « liste – objectif », comme la liste des produits nécessaires à la confection d'un plat. Pendant la tâche on n'indique pas au participant la liste des ingrédients à acheter mais on pourra en avoir discuté avec lui avant le démarrage de la tâche. Le participant doit par conséquent construire son parcours en fonction de ce qu'il a compris et retenu.

Gestion du paiement avec un porte-monnaie
Dans la version actuelle de notre SV seule l'intention de payer a besoin d'être manifestée. Il s'agit juste, le moment venu, de cliquer sur le porte-monnaie pour que le paiement s'effectue. La gestion du paiement au moyen d'un porte-monnaie, qu'il faudrait avoir pensé à alimenter en pièces et en billets, ajouterait de la complexité à la tâche ainsi que du réalisme.

Gestion des achats en fonction d'un budget
La difficulté peut encore être augmentée en imposant au participant de faire ses achats en fonction d'un budget, qui selon son montant entraînerait la possibilité de réaliser totalement ou partiellement les achats. Cette approche nécessite un étiquetage des prix des articles dans le SV. Le calcul du montant du caddie à un moment donné peut être fait automatiquement par le système et affiché à l'écran, ou encore laissé à la charge du patient, entraînement ainsi une multiplication des tâches simultanées (trouver le produit, se souvenir du montant du caddie, calculer le montant avec le caddie).

Gestion du passage aux caisses avec file d'attente
La difficulté au niveau du passage aux caisses peut également être hiérarchisée, selon l'existence ou non d'une file d'attente.

Introduction d'obstacles sur le trajet
La navigation du participant dans le SV pourra être gênée par la présence d'obstacles fixes, d'agents virtuels se déplaçant, ou d'événements perturbants tels que la chute d'une pile de boîtes de conserves.

Introduction d'éléments distracteurs
Des éléments distracteurs comme des appels, des sons, des sonneries peuvent venir détourner l'attention du participant.

Tâches de mémorisation
Le SV peut être également utilisé pour tester et réhabiliter d'autres fonctions cognitives comme la mémorisation (d'objets, d'emplacements). Un outil, tel qu'un plan du SV, peut être superposé à la demande sur l'écran afin d'aider le participant à se repérer.

Publications

Klinger E, Chemin I, Légeron P, Roy S, Lauer F, Nugues P (2002a). Issues in the Design of Virtual Environments for the Treatment of Social Phobia. In: VRMHR2002, pp 261-273. Lausanne.

Klinger E, Roy S, Légeron P, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2002b). Prototype and small scale-clinical trial for the Social Phobia Module. In: Deliverable D12.1: European Commission IST-2000-25323.

Klinger E, Roy S, Légeron P, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2002c). Pre-demonstrator of the Social Phobia Module and its associated clinical protocol. In: Deliverable D19.1: European Commission IST-2000-25323.

Klinger E, Chemin I, Légeron P, Roy S, Lauer F, Nugues P (2003a). Designing Virtual Worlds to treat Social Phobia. In: Cybertherapy 2003 (Wiederhold B, Riva G, Wiederhold MD, eds), pp 113-121. San Diego, CA: Interactive Media Institute.

Klinger E, Roy S, Légeron P, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2003b). Final Pre-demonstrator and large scale-clinical trial for the Social Phobia Module. In: Deliverable D26.1: European Commission IST-2000-25323.

Klinger E, Viaud-Delmon I (2003). Chapitre 8: Réalité virtuelle et psychiatrie. In: Le Traité de la réalité virtuelle (Volume 2), pp 297-324. Paris: Presses de l'Ecole des Mines de Paris, deuxième édition.

Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marié RM (2004a). A Virtual Supermarket to Assess Cognitive Planning. In: Cybertherapy 2004 (Wiederhold B, Riva G, Wiederhold MD, eds). San Diego, CA: Interactive Media Institute.

Klinger E, Legeron P, Roy S, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2004b). Virtual reality exposure in the treatment of social phobia. Stud Health Technol Inform 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. Cyberpsychol Behav 8(1):76-88.

Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marié RM (2006a). Virtual Action Planning in Parkinson's Disease: a control study. Cyberpsychol Behav 9(3).

Klinger E, Marié RM, Fuchs P (2006b). Réalité virtuelle et sciences cognitives: Applications en psychiatrie et neuropsychologie. In Cognito (in press).

Klinger E, Marié RM, Viaud-Delmon I (2006c). Applications de la RV aux troubles cognitifs et comportementaux, Chapitre 5 du volume "Applications de la réalité virtuelle". In: Le Traité de la réalité virtuelle (Volume 4), Fuchs P., Moreau G. & 72 authors, pp 121-158. Paris: Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, www.ensmp.fr/Presses.

Légeron P, Roy S, Klinger E, Chemin I, Lauer F, André C, Macqueron G, Nugues P (2003). Thérapie par Réalité Virtuelle dans la phobie sociale : Etude préliminaire auprès de 36 patients. Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive 13(3):113-127.

Marié RM, Klinger E, Chemin I, Josset M (2003). Cognitive Planning assessed by Virtual Reality. In: VRIC 2003, Laval Virtual Conference, pp 119-125. Laval, France.

Marié RM, Chemin I, Lebreton S, Klinger E (2005). Cognitive Planning Assessment and Virtual Environment in Parkinson's Disease. In: VRIC - Laval Virtual (Richir S, Taravel B, eds), pp 115-119. Laval.

Nugues P, Légeron P, Lauer F, Klinger E, Chemin I (2001). Functionnal Description and Clinical Protocols for the Anxiety Disorders Module: Social Phobia. In: VEPSY Updated Deliverable D8.1: European Commission. IST-2000-25323.

Riva G, Alcaniz M, Anolli L, Bacchetta M, Banos R, Buselli C, Beltrame F, Botella C, Castelnuovo 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, Spagnolli A, Troiani R, Weddle C (2003b). The VEPSY UPDATED Project: clinical rationale and technical approach. Cyberpsychol Behav 6(4):433-439.

Bibliographie

Abbott V, Black JB, Smith EE (1985). The representation of scripts in memory. J Memory and Language 24:179-189.

Aguirre GK, D'Esposito M (1997). Environmental knowledge is subserved by separable dorsal/ventral neural areas. J Neurosci 17(7):2512-2518.

Anderson P, Rothbaum BO, Hodges L (2000). Virtual reality exposure therapy for the fear of public speaking: A case study. In: Annual Meeting of the American Psychological Association. Washington, DC.

Anderson P, Rothbaum BO, Hodges LF (2003). Virtual reality in the treatment of social anxiety: Two case reports. Cognitive and Behavioral Practice 10:240-247.

Anderson P, Jacobs C, Rothbaum BO (2004). Computer-supported cognitive behavioral treatment of anxiety disorders. J Clin Psychol 60(3):253-267.

André C, Légeron P (1995). La phobie sociale: approche clinique et thérapeutique. L'Encéphale XXI:1-13.

André C, Légeron P (2000). La peur des autres: trac, timidité et phobie sociale. Paris: Editions Odile Jacob.

Andrews TK, Rose FD, Leadbetter AG, Attree EA, Painter J (1995). The use of virtual reality in the assessment of cognitive ability. In: Proceedings of the 2nd TIDE Congress (Placencia Porrero I, Puig de la Bellacasa R, eds), pp 276-279. Paris, France: IOS Press, Amsterdam.

APA (1994). DSM-IV : Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th Edition Edition. Washington DC: American Psychiatric Press.

Astur RS, Ortiz ML, Sutherland RJ (1998). A characterization of performance by men and women in a virtual Morris water task: a large and reliable sex difference. Behav Brain Res 93(1-2):185-190.

Astur RS, Taylor LB, Mamelak AN, Philpott L, Sutherland RJ (2002). Humans with hippocampus damage display severe spatial memory impairments in a virtual Morris water task. Behav Brain Res 132(1):77-84.

Astur RS, Mathalon DH, D'Souza DC, Krystal JH, Constable RT (2003). fMRI Assessment of Hippocampus Function in Participants with Schizophrenia using a Virtual Morris Water Task. Cognitive Neuroscience Society Abstracts.

Astur RS, St-Germain S, Mathalon DH, D'Souza DC, Krystal JK, Constable RT, Pearlson GD (2004a). Using virtual reality to investigate functioning of the hippocampus in schizophrenia. In: Cybertherapy 2004 (Wiederhold B, Riva G, Wiederhold MD, eds). San Diego, CA: Interactive Media Institute.

Astur RS, Tropp J, Sava S, Constable RT, Markus EJ (2004b). Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation. Behav Brain Res 151(1-2):103-115.

Attree EA, Brooks BM, Rose FD, 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. In: First European conference on Disability, VR and Associated Technologies. Maidenhead, UK.

Baas JM, Nugent M, Lissek S, Pine DS, Grillon C (2004). Fear conditioning in virtual reality contexts: a new tool for the study of anxiety. Biol Psychiatry 55(11):1056-1060.

Baddeley A, Wilson BA (1994). When implicit learning fails: amnesia and the problem of error elimination. Neuropsychologia 32(1):53-68.

Bandura A (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. Psychol Rev 84(2):191-215.
Banos RM, Botella C, Perpina C (1999). Virtual reality and psychopathology. CyberPsychology and Behavior 2:283-292.
Banos RM, Botella C, Alcaniz M, Liano V, Guerrero B, Rey B (2004). Immersion and emotion: their impact on the sense of presence. Cyberpsychol Behav 7(6):734-741.
Barlow DH, Lehman CL (1996). Advances in the psychosocial treatment of anxiety disorders. Implications for national health care. Archives of General Psychiatry 53(8):727-735.
Baumann SB (2004). Smoking cues in a virtual world provoke craving in cigarette smokers as demonstrated by neurobehavioral and fMRI data. In: Cybertherapy 2004 (Wiederhold BK, Riva G, Wiederhold MD, eds). San Diego, CA: Interactive Media Institute.
Baumann SB (2005). A neuroimagining pilot study of task loading and executive function using a virtual apartment. Presence: Teleop Virt.
Beaufrère J, Prêcheur J (2005). Projet de reconnaissance des formes : Analyse de trajectoire. ENST, Paris.
Beck AT, Beamesderfer A (1974). Assessment of depression: the Depression Inventory. Psychological Measurements in Psychopharmacology. In: Modern Problems In Pharmacopsychiatry (Pichot P, ed), pp 151-159. Paris & Basel: Karger,
Beck AT, Rush AJ, Shaw BF, Emery G (1979). Cognitive therapy of depression: a treatment manual. New York: Guilford.
Beck AT, Emery G (1985). Anxiety Disorders and phobias: A cognitive perspective. New York: Basic books.
Berka R, Slavik P (1998). Virtual Reality for Blind Users. In: Proceedings of The 2nd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (Sharkey P, Rose D, Lindstrom J, eds), pp 89-98. Skovde, Sweden.
Bernstein DA, Borkovec TD (1973). Progressive relaxation training : a manual for the helping professions, Research Press Edition. Illinois: Champaign.
Bertella L, Marchi S, Riva G (2001). Virtual Environments for Topographic Orientation (VETO): Clinical rationale and technical characteristics. Presence 10(4):440-449.
Berthoz A (2003). Conflits sensoriels: la perception du mouvement. In: La décision, pp 221-234. Paris: Odile Jacob,
Bordnick PS, Graap KM, Copp H, Brooks J, Ferrer M, Logue B (2004). Utilizing virtual reality to standardize nicotine craving research: a pilot study. Addict Behav 29(9):1889-1894.
Bordnick PS, Traylor AC, Graap KM, Copp HL, Brooks J (2005). Virtual reality cue reactivity assessment: a case study in a teen smoker. Appl Psychophysiol Biofeedback 30(3):187-193.
Botella C, Banos RM, Perpina C, Villa H, Alcaniz M, Rey A (1998). Virtual reality treatment of claustrophobia: a case report. Behav Res Ther 36(2):239-246.
Botella C, Banos RM, Guillen V, Perpina C, Alcaniz M, Pons A (2000a). Telepsychology: Public speaking fear treatment on the internet. Cyberpsychol Behav 3:959-968.
Botella C, Banos RM, Villa H, Perpina C, Garcia Palacios A (2000b). Virtual reality in the treatment of claustrophobic fear: A controlled multiple-baseline design. Behavior Therapy 31:583-595.
Botella C, Hofmann SG, Moscovitch DA (2004a). A self-applied, Internet-based intervention for fear of public speaking. J Clin Psychol 60(8):821-830.
Botella C, Osma J, Garcia Palacios A, Quero S, Banos RM (2004b). Treatment of flying phobia using virtual reality: Data from a 1-year follow-up using a multiple baseline design. Clin Psychol Psychotherapy 11(5):311-323.

Botella C, Villa H, Garcia-Palacios A, Quero S, Baños RM, Alcañiz M (2004c). The use of VR in the treatment of panic disorders and agoraphobia. Stud Health Technol Inform 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.
Bouchard S, St-Jacques J, Robillard G, Renaud P (2005). Anxiety increases the sense of presence in virtual reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments Currently available on-line in Presence-connectcom 4(1).
Bracy OL (1986). Cognitive rehabilitation: A process approach. Cognitive Rehabilitation 4(2):10-17.
Brittain JL, La Marche JA, Reeder KP, Roth DL, Boll TJ (1991). Effects of age and IQ on Paced Auditory Serial Addition Task (PASAT) Performance. Clin Neuropsychol 5:163-175.
Brooks BM, Attree EA, Rose FD, Clifford BR, Leadbetter AG (1999a). The specificity of memory enhancement during interaction with a virtual environment. Memory 7(1):65-78.
Brooks BM, McNeil JE, Rose FD, Greenwood R, Attree EA, Leadbetter A (1999b). Route learning in a case of amnesia: A preliminary investigation into the efficacy of training in a virtual environment. Neuropsychol Rehab 9(1):63-76.
Brooks BM, Rose FD, Attree EA, Elliot-Square A (2002). An evaluation of the efficacy of training people with learning disabilities in a virtual environment. Disabil Rehabil 24(11-12):622-626.
Brooks BM, Rose FD (2003). The use of virtual reality in memory rehabilitation: current findings and future directions. NeuroRehabilitation 18(2):147-157.
Brooks BM, Rose FD, Potter J, Jayawardena S, Morling A (2004). Assessing stroke patients' prospective memory using virtual reality. Brain Inj 18(4):391-401.
Brown DJ, Kerr SJ, Bayon V (1998). The development of the Virtual City: A user centred approach. In: Proceedings of the 2nd European Conference on Disability, VR and Associated Techniques (Sharkey P, Rose D, Lindstrom J, eds), pp 11-16. Reading, UK.
Brown J (1958). Some Tests of the Decay Theory of Immediate Memory. Q J Exp Psychol 10:12-21.
Brutel C, Omalek L (2003). Projections démographiques pour la France, ses régions et ses départements (horizon 2030/2050), Insee-Résultats. Société 16:40p.
Burdea GC, Coiffet P (1993). La réalité virtuelle. Paris: Hermès.
Burdea GC (2003). Virtual rehabilitation--benefits and challenges. Methods Inf Med 42(5):519-523.
Butler G (1985). Exposure as a treatment for social phobia: some instructive difficulties. Behav Res Ther 23(6):651-657.
Camp CJ (2001). From efficacy to effectiveness to diffusion: Making the transitions in dementia intervention research. Neuropsychol Rehab 11:495-517.
Canceil O, Cottraux J, Falissard B, Flament M, Miermont J, Swendsen J, Teherani M, Thurin JM (2004). Psychothérapie : Trois approches évaluées. Expertise Collective. INSERM,
Carbon M, Marie RM (2003). Functional imaging of cognition in Parkinson's disease. Curr Opin Neurol 16(4):475-480.
Cardebat D, Doyon B, Puel M, Goulet P, Joanette Y (1990). [Formal and semantic lexical evocation in normal subjects. Performance and dynamics of production as a function of sex, age and educational level]. Acta Neurol Belg 90(4):207-217.

Carlin AS, Hoffman HG, Weghorst S (1997). Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: a case report. Behav Res Ther 35(2):153-158.
Carr K (1995). Introduction. In: Simulated and Virtual Realities (Carr K, England R, eds). London: Taylor and Francis,
Cartwright G (1994). Virtual or real ? The mind in cyberspace. The Futurist:22-26.
Chase WG, Ericsson KA (1981). Skilled memory. In: Cognitive skills and their acquisition (Anderson JR, ed), pp 141-189. Hillsdale , NJ: Lawrence Erlbaum Associates,
Chen JL, Stanney KM (1999). A theoretical model of way finding in virtual environments: proposed strategies for navigational aiding. Presence: Teleop Virt 8(6):632- 656.
Choi YH, Jang DP, Ku JH, Shin MB, Kim SI (2001). Short-term treatment of acrophobia with virtual reality therapy (VRT): a case report. Cyberpsychol Behav 4(3):349-354.
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. Arch Phys Med Rehabil 79(8):888-892.
Chui HC, Mack W, Jackson JE, Mungas D, Reed BR, Tinklenberg J, Chang FL, Skinner K, Tasaki C, Jagust WJ (2000). Clinical criteria for the diagnosis of vascular dementia: a multicenter study of comparability and interrater reliability. Arch Neurol 57(2):191-196.
Cicerone KD, Dahlberg C, Kalmar K, Langenbahn DM, Malec JF, Bergquist TF, Felicetti T, Giacino JT, Harley JP, Harrington DE, Herzog J, Kneipp S, Laatsch L, Morse PA (2000). Evidence-based cognitive rehabilitation: recommendations for clinical practice. Arch Phys Med Rehabil 81(12):1596-1615.
Clark A, Kirkby KC, Daniels BA, Marks IM (1998). A pilot study of computer-aided vicarious exposure for obsessive-compulsive disorder. Aust N Z J Psychiatry 32(2):268-275.
Cobb SVG, Neale HR, Reynolds H (1998). Evaluation of virtual learning environment. In: Proceedings of The 2nd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (Sharkey P, Rose D, Lindstrom J, eds), pp 17-23. Skovde, Sweden.
Cohen NJ, Squire LR (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. Science 210(4466):207-210.
Cohen SB (1988). Tobacco addiction as a psychiatric disease. South Med J 81(9):1083-1088.
Collerton D (1993). Memory disorders. In: Neurological Rehabilitation (Greenwood R, Barnes MP, McMillan TM, Wards CD, eds), pp 363-375. Longman Group, UK,
Conklin CA, Tiffany ST (2002). Applying extinction research and theory to cue-exposure addiction treatments. Addiction 97(2):155-167.
Cooper M, Taylor ME (1998). Ambisonic sound in virtual environments and applications for blind people. In: Proceedings of The 2nd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (Sharkey P, Rose D, Lindstrom J, eds), pp 113-118. Skovde, Sweden.
Corkin S (1965). Tactually-guided maze learning in man: effects of unilateral cortical excisions and bilateral hippocampal lesions. Neuropsychologia 3:339-351.
Cottraux J (1994). Les thérapies cognitives et comportementales, 3ème Edition. Paris: PUF.
Cottraux J, Berthoz A, Jouvent R, Pull C, Zaoui M, Pelissolo A, Pull C, Genouilhac V, Giraud N, Duinat A, Znaidi F, De Mey Guillard C, Panagiotaki P, Fanget F, Viaud-Delmon I, Mollard E, Gueyffier F (2005). A comparative controlled study of virtual reality therapy and cognitive behaviour therapy in panic disorder with agoaphobia: design and methodological issues. In: VRIC - Laval Virtual (Richir S, Taravel B, eds), pp 125-130. Laval.

Crawford JR (1998). Introduction to the assessment of attention and executive functioning. Neuropsychological rehabilitation 8(3):209-211.
Cromby J, Standen P, Newman J, Tasker H (1996). Successful transfer to the real world of skills practiced in a virtual environment by student with severe learning disabilities. In: Proceedings of the 1st European Conference on Disability, VR and Associated Techniques (Sharkey PM, ed), pp 305-313. Reading, UK.
Cunningham D, Krishack M (1999). Virtual reality promotes visual and cognitive function in rehabilitation. Cyberpsychol Behav 2(1):19-23.
da Costa RM, de Carvalho LA (2004). The acceptance of virtual reality devices for cognitive rehabilitation: a report of positive results with schizophrenia. Comput Methods Programs Biomed 73(3):173-182.
Damasio AR (1994). Descartes' error: Emotion, Reason and the Human Brain. New York: Harper-Collins.
Damasio AR (1995). Consciousness. Knowing how, knowing where. Nature 375(6527):106-107.
Davies RC, 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 RC, 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. In: International Conference on Disabilities, Virtual Reality and Associated Technology. Hungary.
De Renzi E (1985). Disorders of spatial orientation. In: Handbook of Clinical Neurology (Frederics J, ed), pp 405-422. Amsterdam: Elsevier Science Publishers,
De Rijk MC, Tzourio C, Breteler MM, Dartigues JF, Amaducci L, Lopez-Pousa S, Manubens-Bertran JM, Alperovitch A, Rocca WA (1997). Prevalence of Parkinsonism and Parkinson's disease in Europe : the Europarkinson collaborative study. J Neurol Neurosurg Psychiatry 62(1):10-15.
Desbonnet M, Cox SL, Rahman A (1998). Development and evaluation of a virtual reality based training system for disabled children. In: Proceedings of The 2nd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (Sharkey P, Rose D, Lindstrom J, eds), pp 177-182. Skovde, Sweden.
Diamant JJ, Hakkaart PJW (1989). Cognitive rehablitation in an information-processing perspective. Cognitive Rehabilitation:22-29.
Difede J, Hoffman H, Jaysinghe N (2002). Innovative use of virtual reality technology in the treatment of PTSD in the aftermath of September 11. Psychiatr Serv 53(9):1083-1085.
Difede J, Hoffman HG (2002). Virtual reality exposure therapy for World Trade Center Post-traumatic Stress Disorder: a case report. Cyberpsychol Behav 5(6):529-535.
Diller L (1976). A model for cognitive retraining in rehabilitation. The Clinical Psychologist 26:13-15.
Dubois B, Boller F, Pillon B, Agid Y (1991). Cognitive deficits in Parkinson's disease. In: Handbook of Neuropsychology (Boller F, Grafman J, eds), pp 195-240. Amsterdam: Elsevier Science Publishes,
Dubois B (1993). Syndromes parkinsoniens Etiologie, diagnostic, traitement. Rev Prat 43(18):2439-2444.
Dubois B, Pillon B (1997). Cognitive deficits in Parkinson's disease. J Neurol 244(1):2-8.
Elkind JS, 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. Cyberpsychol Behav 4(4):489-496.

Emmelkamp PM, Bruynzeel M, Drost L, van der Mast CA (2001). Virtual reality treatment in acrophobia: a comparison with exposure in vivo. Cyberpsychol Behav 4(3):335-339.
Emmelkamp PM, Krijn M, Hulsbosch AM, de Vries S, Schuemie MJ, van der Mast CA (2002). Virtual reality treatment versus exposure in vivo: a comparative evaluation in acrophobia. Behaviour Research and Therapy 40(5):509-516.
Ernst MO, Banks MS (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. Nature 415(6870):429-433.
Foa EB, Kozak MJ (1986). Emotional processing of fear: exposure to corrective information. Psychol Bull 99(1):20-35.
Foreman NP, Orencas C, Nicholas E, Morton P, Gell M (1989). Spatial awareness in seven- to eleven-year-old physically handicapped children in mainstream schools. European Journal of Special Needs Education 4:171-179.
Foreman NP, 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. J Exp Psychol Appl 9(2):67-74.
Fuchs P (1996). Les interfaces de la réalité virtuelle: Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris.
Fuchs P (1999). Immersion et interaction naturelles dans un environnement virtuel. In: Actes de la conférence "Réalité Virtuelle et Cognition". ENST Paris.
Fuchs P, Moreau G, Arnaldi B, Burkhardt JM, Chauffaut A, Coquillart S, Donikian S, Duval T, Grosjean J, Harrouet F, Klinger E, Lourdeaux D, Mellet d'Huart D, Paljic A, Papin JP, Stergiopoulos P, Tisseau J, Viaud-Delmon I (2003). Le traité de la réalité virtuelle: Presses de l'Ecole des Mines de Paris, deuxième édition.
Fuchs P, Richir S (2003a). Réalité virtuelle et conception: principes et applications. In: Encyclopédie des Techniques de l"ingénieur, volume L'entreprise industrielle,
Fuchs P, Richir S (2003b). Réalité virtuelle et conception: méthodes. In: Encyclopédie des Techniques de l"ingénieur, volume L'entreprise industrielle,
Fuchs P, Arnaldi B, Guitton P (2006). Introduction à la réalité virtuelle, Chapitre 1 du volume "les applications de la réalité virtuelle". In: Le Traité de la réalité virtuelle (Volume 4), Fuchs P., Moreau G. & 72 authors, pp 3-30. Paris: Les Presses de Ecole des Mines de Paris, www.ensmp.fr/Presses.
Garcia-Palacios A, Hoffman H, Carlin A, Furness TA, Botella C (2002). Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study. Behaviour Research and Therapy 40(9):983-993.
Gelb DJ, Oliver E, Gilman S (1999). Diagnostic criteria for Parkinson disease. Arch Neurol 56(1):33-39.
Gershon J, Zimand E, Lemos R, Rothbaum BO, Hodges LF (2003). Use of virtual reality as a distractor for painful procedures in a patient with pediatric cancer: a case study. Cyberpsychol Behav 6(6):657-661.
Glantz K, Durlach NI, Barnett RC, Aviles WA (1997). Virtual reality (VR) and psychotherapy: opportunities and challenges. Presence Teleoper Virtual Environ 6(1):87-105.
Glisky EL, Schacter DL, Tulving E (1986). Learning and retention of computer-related vocabulary in memory-impaired patients: method of vanishing cues. J Clin Exp Neuropsychol 8(3):292-312.
Glisky EL, Schacter DL (1988). Long-term retention of computer learning by patients with memory disorders. Neuropsychologia 26(1):173-178.
Godbout L, Doyon J (2000). Defective representation of knowledge in Parkinson's disease: evidence from a script-production task. Brain Cogn 44(3):490-510.

Godefroy O, Aithamon B, Azouvy P, Didic M, le Gall D, Marié RM, Meulemans T, Chrystele M, Peres B, Pillon B, Robert P (2004). Groupe de Reflexion sur L'Evaluation des Fonctions EXecutives. Syndromes frontaux et dysexécutifs. Rev Neurol (Paris) 160(10):899-909.

Golden CJ (1978). The Stroop color and Word test: a manual for clinical and experimental uses, Stoelting Company Edition. Chicago, Illinois.

Gourlay D, Lun KC, Lee YN, Tay J (2000). Virtual reality for relearning daily living skills. Int J Med Inf 60(3):255-261.

Graap K (2004). Virtual Crack House. Science 303:1608.

Graf P, Schacter DL (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. J Exp Psychol Learn Mem Cogn 11(3):501-518.

Grafman J (1989). Plans, actions and mental sets : Managerial Knowledge units in the frontal lobes. In: Integrating Theory and Practice in Clinical Neuropsychology (Perecman E, ed), pp 93-138. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum,

Grafman J (1995). Similarities and distinctions among current models of prefrontal cortical functions. Ann N Y Acad Sci 769:337-368.

Gratch J, Marsella S (2004). Evaluating a General Model of Emotional Appraisal and Coping. In: AAAI Spring Symposium on Architectures for Modeling Emotion: Cross-disciplinary Foundations. Palo Alto, CA.

Grealy MA, Johnson DA, Rushton SK (1999). Improving cognitive function after brain injury: the use of exercise and virtual reality. Arch Phys Med Rehabil 80(6):661-667.

Grillon C (2002). Startle reactivity and anxiety disorders: aversive conditioning, context, and neurobiology. Biol Psychiatry 52(10):958-975.

Grumbach A (2003). Cognition Virtuelle: Réflexion sur le virtuel, ses implications cognitives, et ses réalisations artistiques. Paris: GET/ENST.

Gutierrez-Maldonado J, Ferrer-Garcia M (2005). Assessment of virtual reality effectiveness to produce emotional reactivity in patients with eating disorder. In: VRIC - Laval Virtual (Richir S, Taravel B, eds), pp 131-138. Laval.

Guy W (1976). ECDEU Assessment manual for psychopharmacology. Rev. Rockville, MD: National Institute of Mental Health, Psychopharmacology Research Branch.

Harris SR, Kemmerling RL, North MM (2002). Brief virtual reality therapy for public speaking anxiety. CyberPsychology & Behavior 5(6):543-550.

Harrison A, Derwent G, Enticknap A, Rose FD, Attree EA (2002). The role of virtual reality technology in the assessment and training of inexperienced powered wheelchair users. Disabil Rehabil 24(11-12):599-606.

Havermans RC, Jansen AT (2003). Increasing the efficacy of cue exposure treatment in preventing relapse of addictive behavior. Addict Behav 28(5):989-994.

Heaton RK, Chelune GJ, Talley JL, Kay GG, Curtis G (1993). Wisconsin Card Sorting Test manual: revised and expanded. Odessa: FL: Psychological Assessment Resources.

Hecaen H, Lanteri-Laura G (1983). Les fonctions du cerveau. Paris: Masson.

Heimberg RG, Barlow DH (1991). New developments in cognitive-behavioral therapy for social phobia. J Clin Psychiatry 52 Suppl:21-30.

Heimberg RG, Liebowitz MR, Hope DA, Schneier FR (1995). Social phobia : Diagnosis, Assessment and Treatment. New York: The Guilford Press.

Herbelin B, Riquier F, Vexo F, Thalmann D (2002). Virtual Reality in Cognitive Behavioral Therapy : a preliminary study on Social Anxiety Disorder. In: 8th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM2002.

Hodges LF, Rothbaum B, Kooper R, Opdyke D, Meyer T, North MM, de Graff J, Williford JS (1995). Virtual environments for treating the fear of heights. IEEE Computer Graphics and its Applications 28(7):27-34.

Hodges LF, Anderson P, Burdea G, Hoffman H, Rothbaum B (2001). Treating psychological and physical disorders with VR. IEEE Computer Graphics & Applications 21(6):25-33.

Hoehn MM, Yahr MD (1967). Parkinsonism: onset, progression and mortality. Neurology 17(5):427-442.

Hoffman HG, Doctor JN, Patterson DR, Carrougher GJ, Furness TA, 3rd (2000a). Virtual reality as an adjunctive pain control during burn wound care in adolescent patients. Pain 85(1-2):305-309.

Hoffman HG, Patterson DR, Carrougher GJ (2000b). Use of virtual reality for adjunctive treatment of adult burn pain during physical therapy: a controlled study. Clin J Pain 16(3):244-250.

Hoffman HG, Garcia-Palacios A, Patterson DR, Jensen M, Furness T, 3rd, Ammons WF, Jr. (2001a). The effectiveness of virtual reality for dental pain control: a case study. Cyberpsychol Behav 4(4):527-535.

Hoffman HG, Patterson DR, Carrougher GJ, Sharar SR (2001b). Effectiveness of virtual reality-based pain control with multiple treatments. Clin J Pain 17(3):229-235.

Hoffman HG, Patterson DR, Magula J, Carrougher GJ, Zeltzer K, Dagadakis S, Sharar SR (2004a). Water-friendly virtual reality pain control during wound care. J Clin Psychol 60(2):189-195.

Hoffman HG, Richards TL, Coda B, Bills AR, Blough D, Richards AL, Sharar SR (2004b). Modulation of thermal pain-related brain activity with virtual reality: evidence from fMRI. Neuroreport 15(8):1245-1248.

Hoffman HG, Sharar SR, Coda B, Everett JJ, Ciol M, Richards T, Patterson DR (2004c). Manipulating presence influences the magnitude of virtual reality analgesia. Pain 111(1-2):162-168.

Holt CS, Heimberg R, Hope D, Liebowitz M (1992). Situational domains of social phobia. Journal of Anxiety Disorders 6:63-77.

Hoorn JF, Konijn EA, van der Veer GC (2003). Virtual reality: Do not augment realism, augment relevance. Upgrade IV(1):18-26.

Inman DP, Loge K, Leavens J (1997). VR education and rehabilitation. Communications of the ACM 40(8):53-58.

Jaeger BK, Mourant RR (2001). Comparison of simulator sickness using a static and dynamic walking simulator. In: Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting, pp 1896-1900.

James LK, Lin CY, Steed A, Swapp D, Slater M (2003). Social anxiety in virtual environments: results of a pilot study. CyberPsychology & Behavior 6(3):237-243.

Jang DP, Kim IY, Nam SW, Wiederhold BK, Wiederhold MD, Kim SI (2002). Analysis of physiological response to two virtual environments: driving and flying simulation. Cyberpsychol Behav 5(1):11-18.

Jouvent R, Canet P, Rautureau G (2005). Which reality for which psychopathology ? In: VRIC - Laval Virtual (Richir S, Taravel B, eds), pp 121-124. Laval.

Katz N, Ring H, Naveh Y, Kizony R, Feintuch U, Weiss P (2004). Interactive virtual environment training for safe street crossing of right hemisphere stroke patients with unilateral spatial neglect. In: ICDVRAT, pp 51-56. Oxford.

Kennedy RS, Fowlkes JE, Berbaum KS, Lilienthal MG (1992). Use of a motion sickness history questionnaire for prediction of simulator sickness. Aviat Space Environ Med 63(7):588-593.

Kennedy RS, Stanney KM (1996). Postural instability induced by virtual reality exposure: development of a certification protocol. Int J Hum Comput Interact 8(1):25-47.

Kessler RC, McGonagle KA, Zhao S, Nelson CB, Hughes M, Eshleman S, Wittchen HU, Kendler KS (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.

Kessler RC, Stein MB, Berglund P (1998). Social phobia subtypes in the National Comorbidity Survey. Am J Psychiatry 155(5):613-619.

Kirsch NL, Levine SP, Lajiness-O'neill R, Schnyder M (1992). Computer-assisted interactive task guidance: Facilitating the performance of a simulated vocational task. Journal of Head Trauma Rehabilitation 7(3):13-25.

Klein RA (2000). Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying. J Contemporary Psychotherapy 30:195-207.

Klinger E, Chemin I, Légeron P, Roy S, Lauer F, Nugues P (2002a). Issues in the Design of Virtual Environments for the Treatment of Social Phobia. In: VRMHR2002, pp 261-273. Lausanne.

Klinger E, Roy S, Légeron P, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2002b). Prototype and small scale-clinical trial for the Social Phobia Module. European Commission IST-2000-25323,

Klinger E, Roy S, Légeron P, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2002c). Pre-demonstrator of the Social Phobia Module and its associated clinical protocol. European Commission IST-2000-25323,

Klinger E, Chemin I, Légeron P, Roy S, Lauer F, Nugues P (2003a). Designing Virtual Worlds to treat Social Phobia. In: Cybertherapy 2003 (Wiederhold BK, Riva G, Wiederhold MD, eds), pp 113-121. San Diego, CA: Interactive Media Institute.

Klinger E, Roy S, Légeron P, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2003b). Final Pre-demonstrator and large scale-clinical trial for the Social Phobia Module. European Commission IST-2000-25323,

Klinger E, Viaud-Delmon I (2003). Chapitre 8: Réalité virtuelle et psychiatrie. In: Le Traité de la réalité virtuelle (Volume 2), pp 297-324. Paris: Presses de l'Ecole des Mines de Paris, deuxième édition,

Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marié RM (2004a). A Virtual Supermarket to Assess Cognitive Planning. In: Cybertherapy 2004 (Wiederhold B, Riva G, Wiederhold MD, eds). San Diego, CA: Interactive Media Institute.

Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marié RM (2004b). A Virtual Supermarket to Assess Cognitive Planning. Cyberpsychol Behav 7(3):292-293.

Klinger E, Légeron P, Roy S, Chemin I, Lauer F, Nugues P (2004c). Virtual reality exposure in the treatment of social phobia. Stud Health Technol Inform 99:91-119.

Klinger E, Marié RM, Richir S, Grillon C (2004d). Emotions, Behaviors and Virtual Environments. In: IEEE - VRIC 2004, Laval Virtual Conference, pp 61-69. Laval, France.

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. Cyberpsychol Behav 8(1):76-88.

Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marié RM (2006a). Virtual Action Planning in Parkinson's Disease: a control study. Cyberpsychol Behav 9(3).

Klinger E, Marié RM, Fuchs P (2006b). Réalité virtuelle et sciences cognitives: Applications en psychiatrie et neuropsychologie. In Cognito (in press).

Klinger E, Marié RM, Viaud-Delmon I (2006c). Applications de la RV aux troubles cognitifs et comportementaux, Chapitre 5 du volume "Applications de la réalité virtuelle". In: Le Traité de la réalité virtuelle (Volume 4), Fuchs P., Moreau G. & 72 auteurs, pp 121-158. Paris: Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, www.ensmp.fr/Presses.

Kodgi SM, Gupta V, Conroy B, Knott BA (1999). Feasibility of using virtual reality for quantitative assessment of hemineglect: A pilot study. In: American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation 61st Annual Assembly. Washington DC.

Kolb B, Wishaw Q (2003). Fundamentals of Human Neuropsychology, 5th edition Edition. New-York: Freeman.

Kosslyn SM, Flynn RA, Amsterdam JB, Wang G (1990). Components of high-level vision: a cognitive neuroscience analysis and accounts of neurological syndromes. Cognition 34(3):203-277.

Kramer AF, Colcombe SJ, McAuley E, Eriksen KI, Scalf P, Jerome GJ, Marquez DX, Elavsky S, Webb AG (2003). Enhancing brain and cognitive function of older adults through fitness training. J Mol Neurosci 20(3):213-221.

Krijn M, Emmelkamp PM, Biemond R, de Wilde de Ligny C, Schuemie MJ, van der Mast CA (2004a). Treatment of acrophobia in virtual reality: the role of immersion and presence. Behav Res Ther 42(2):229-239.

Krijn M, Emmelkamp PM, Olafsson RP, Biemond R (2004b). Virtual reality exposure therapy of anxiety disorders: a review. Clin Psychol Rev 24(3):259-281.

Krohne HW, Pieper M, Knoll N, Breimer N (2002). The cognitive regulation of emotions: The role of success versus failure experience and coping dispositions. Cognition and Emotion 16:217-243.

Ku JH, Jang DP, Lee BS, Lee JH, Kim IY, Kim SI (2002). Development and validation of virtual driving simulator for the spinal injury patient. Cyberpsychol Behav 5(2):151-156.

Kuntze MF, Stoermer R, Mager R, Roessler A, Mueller-Spahn F, Bullinger AH (2001). Immersive virtual environments in cue exposure. Cyberpsychol Behav 4(4):497-501.

Kyriakakis C (1998). Fundamental and Technological Limitations of Immersive Audio Systems. Proceedings of the IEEE, 86(5):941-951.

Lang PJ (1985). The cognitive psychophysiologyof emotion: fear and anxiety. In: Anxiety and the Anxiety Disorders (Truma AH, Maser JD, eds). Hillsdale, NJ: Erlbaum,

Lee JH, Ku J, Cho W, Hahn WY, Kim IY, Lee SM, Kang Y, Kim DY, Yu T, Wiederhold BK, Wiederhold MD, Kim SI (2003a). A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. Cyberpsychol Behav 6(4):383-388.

Lee JH, Ku J, Kim K, Kim B, Kim IY, Yang BH, Kim SH, Wiederhold BK, Wiederhold MD, Park DW, Lim Y, Kim SI (2003b). Experimental application of virtual reality for nicotine craving through cue exposure. Cyberpsychol Behav 6(3):275-280.

Lee JH, Hahn WY, Kim HS, Ku JH, Park DW, Kim SH, Yang BH, Lim YS, Kim SI (2004). A functional magnetic resonance imaging (fMRI) study of nicotine craving and cue exposure therapy (CET) by using virtual stimuli. In: CyberTherapy2004. San Diego, CA.

Lee JM, Ku JH, Jang DP, Kim DH, Choi YH, Kim IY, Kim SI (2002). Virtual reality system for treatment of the fear of public speaking using image-based rendering and moving pictures. Cyberpsychol Behav 5(3):191-195.

Légeron P, Gailledreau J (1998). Phobies sociales. In: Phobies et Obsessions (Doin, ed). Paris,

Légeron P, Tanneau E (1998). Thérapie comportementale et cognitive de groupe de la phobie sociale. Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive 8(3):84-94.

Légeron P, Roy S, Klinger E, Chemin I, Lauer F, André C, Macqueron G, Nugues P (2003). Thérapie par Réalité Virtuelle dans la phobie sociale : Etude préliminaire auprès de 36 patients. Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive 13(3):113-127.

Lengenfelder J, Schultheis MT, Al-Shihabi T, Mourant R, DeLuca J (2002). Divided attention and driving: a pilot study using virtual reality technology. J Head Trauma Rehabil 17(1):26-37.

Lépine JP, Pélissolo A (1999). Epidemiology and comorbidity of social anxiety disorder. In: In Focus on Psychiatry. Social Anxiety Disorders (Westenberg HGM, Den Boer JA, eds), pp 29-43. Amsterdam, The Nederlands: Syn-Thesis Publishers,

Lezak MD, Le Gall D, Aubin G (1994). Evaluation des fonctions exécutives lors des atteintes des lobes frontaux. Revue de Neuropsychologie 4(3):327-343.

Lezak MD (1995). Neuropsychological Assessment, Oxford University Press Edition. New-York.

Liebowitz MR (1987). Social phobia. Modern Problems of Pharmacopsychiatry 22:141-173.

Liebowitz MR, Schneier FR, Hollander E, Welkowitz LA, Saoud JB, Feerick J, Campeas R, Fallon BA, Street L, Gitow A (1991). Treatment of social phobia with drugs other than benzodiazepines. J Clin Psychiatry 52 Suppl:10-15.

Liu L, Miyazaki M, Watson B (1999). Norms and validity of the DriVR: A virtual reality driving assessment for persons with head injuries. Cyberpsychol Behav 2:53-67.

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. Cyberpsychol Behav 6(3):281-287.

Lombard M, Ditton T (1997). At the heart of it all: The concept of presence. Journal of Computer-Mediated Communication 3(2).

Lumbreras M, Sanchez J (1998). 3D aural interactive hyperstories for blind children. In: Proceedings of The 2nd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (Sharkey P, Rose D, Lindstrom J, eds), pp 119-128. Skovde, Sweden.

Luria AR (1963). Restoration of brain function after brain injury. New York: MacMillan.

Luria AR (1978). Les fonctions corticales supérieures. Paris: PUF.

Maltby N, Kirsch I, Mayers M, Allen GJ (2002). Virtual reality exposure therapy for the treatment of fear of flying: a controlled investigation. J Consult Clin Psychol 70(5):1112-1118.

Marié RM, Rioux P, Eustache F, Travere JM, Lechevalier B, Baron JC (1995). Clues about the functional neuroanatomy of verbal working memory : a study of resting brain glucose metabolism in Parkinson's disease. EuroJNeurol 2:83-94.

Marié RM, Defer G (2001). Mémoire et fonctions exécutives dans la sclérose en plaques: proposition d'une batterie adaptée. Rev Neurol (Paris) 157(4):402-408.

Marié RM, Klinger E, Chemin I, Josset M (2003). Cognitive Planning assessed by Virtual Reality. In: VRIC 2003, Laval Virtual Conference, pp 119-125. Laval, France.

Marié RM (2005). Les grandes fonctions psychologiques: Fonctions exécutives. In: Traité de Neuropsychologie Clinique (Lechevalier B, Eustache F, Viader F, eds). Bruxelles: De Boeck,

Marié RM, Chemin I, Lebreton S, Klinger E (2005). Cognitive Planning Assessment and Virtual Environment in Parkinson's Disease. In: VRIC - Laval Virtual (Richir S, Taravel B, eds), pp 115-119. Laval.

Marié RM, Defer G (2005). Grandes fonctions psychologiques et leurs perturbations: La maladie de Parkinson. In: Traité de Neuropsychologie Clinique (Lechevalier B, Eustache F, Viader F, eds). Bruxelles: De Boeck,

Maringelli F, McCarthy J, Steed A, Slater M, Umilta C (2001). Shifting visuo-spatial attention in a virtual three-dimensional space. Brain Res Cogn Brain Res 10(3):317-322.

Marks IM (1987). Fears, phobias and rituals: Panic, anxiety and their disorders. New York: Oxford University Press.
Marks IM (1992). Behavioral psychotherapy towards the millennium. In: Annual Series of European Research in Behavior Therapy (Cottraux J, Légeron P, Mollard E, eds). Amsterdam: Swets & Zeitlinger,
Martin R (1972). Test des commissions (2nde édition). Bruxelles: Editest.
Matheis RJ, Schultheis MT, Rizzo AA (2003). Learning and memory in a virtual office environment. In: Proceedings of the 2nd International Workshop in Virtual Rehabilitation (Burdea G, Thalmann D, Lewis JA, eds), pp 48-54. Piscataway, NJ: Rutgers University.
Mattis S (1988). Dementia rating scale. Professional manual. Odessa: FL: Psychological assessment resources Inc.
McComas J, Dulberg C, Latter J (1997). Children's Memory for Locations Visited: Importance of Movement and Choice. J Mot Behav 29(3):223-229.
McComas J, Pivik J, Laflamme M (1998). Children's transfer of spatial learning from virtual reality to real environment. Cyberpsychol Behav 1(1):121-128.
McComas J, MacKay M, Pivik J (2002). Effectiveness of virtual reality for teaching pedestrian safety. Cyberpsychol Behav 5:185-190.
McGeorge P, Phillips L, Crawford JR, Garden SE, Della Sala S, Milne AB (2001). Using virtual environments in the assessment of executive dysfunction. Presence: Teleop Virt 10:379-387.
Meehan M, Insko B, Whitton M, Brooks FP (2002). Physiological measures of presence in stressful virtual environments. ACM Transactions on Graphics 21(3):645-652.
Meehan M, Razzaque S, Whitton M, Brooks FP, Jr. (2003). Effect of latency on presence in stressful virtual environments. In: Proceedings of IEEE Virtual Reality 2003, pp 141-148. Los Angeles, CA: IEEE Computer Society.
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. Cyberpsychol Behav 1:79-91.
Mersch PP (1994). The behavioral and cognitive therapy for social phobia. Groningen.
Michaud M, Bouchard S, Dumoulin S, Zhong XW (2004). Manipulating presence and its impact on anxiety. In: Cybertherapy 2004 (Wiederhold BK, Riva G, Wiederhold MD, eds). San Diego, CA: Interactive Madia Institute.
Miotto EC, Morris RG (1998). Virtual planning in patients with frontal lobe lesions. Cortex 34(5):639-657.
Moffat SD, Resnick SM (2002). Effects of age on virtual environment place navigation and allocentric cognitive mapping. Behav Neurosci 116(5):851-859.
Montgomery SA, Asberg M (1979). A new depression scale designed to be sensitive to change. Br J Psychiatry 134:382-389.
Moore K, Wiederhold BK, Wiederhold MD, Riva G (2002). Panic and agoraphobia in a virtual world. Cyberpsychol Behav 5(3):197-202.
Morris RG, Kotitsa M, Bramham J, Brooks BM, Rose FD (2002a). Virtual reality investigation of strategy formation, rule breaking and prospective memory in patients with focal prefrontal neurosurgical lesions. In: ICDVRAT, pp 101-108.
Morris RG, Parslow DM, Fleminger S (2002b). Functional magnetic resonance imagining investigation of allocentric spatial memory tested using virtual reality in patients with anoxic hippocampal damage. In: Proceedings of the 4th ICDVRAT (Sharkey P, Lanyi CS, Standen P, eds), pp 87-92. Reading, UK: University of Reading.
Morris RGM (1981). Spatial localization does not depend on the presence of local cues. Learning and Motivation 12:239-260.

Muhlberger A, Wiedemann GC, Pauli P (2003). Efficacy of a one-session virtual reality exposure treatment for fear of flying. Psychotherapy Research 13(3):323-336.
Myers RL, Bierig T (2000). Virtual reality and left hemineglect: A technology for assessment and therapy. Cyberpsychol Behav 3(3):465-468.
Nasoz F, Lisetti CL, Alvarez K, Finkelstein N (2003). Emotion Recognition from Physiological Signals for User Modeling of Affect. International Journal od Cognition, Technology and Work - Special Issue on Presence 6(1).
Neisser U (1978). Memory: What Are the Important Questions? In: Memory Observed: Remembering in Natural Contexts (Neisser U, ed). San Francisco: W. H. Freeman and Co.,
North MM, North SM, Coble JR (1996a). Effectiveness of virtual environment desensitization in the treatment of agoraphobia. Presence, Teleoperators and Virtual Environments 5(4):346-352.
North MM, North SM, Coble JR (1996b). Effectiveness of VRT for acrophobia. In: Virtual reality therapy. An innovative paradigm, p 68_70. Colorado Springs: IPI Press,
North MM, North SM, Coble JR (1997a). Virtual reality therapy: an effective treatment for psychological disorders. Stud Health Technol Inform 44:59-70.
North MM, North SM, Coble JR (1997b). Virtual environment psychotherapy: A case study of fear of flying disorder. Presence, Teleoperators and Virtual Environments 6(1):87-105.
North MM, North SM, Coble JR (1997c). Virtual Reality Therapy: an effective Treatment for psychological disorders. In: Virtual Reality in Neuro-Psycho-Physiology (Riva G, ed). Amsterdam, Netherlands: Ios Press,
North MM, North SM, Coble JR (1998a). Virtual reality therapy: an effective treatment for phobias. Stud Health Technol Inform 58:112-119.
North MM, North SM, Coble JR (1998b). Virtual Reality Therapy : An effective Treatment for the Fear of Public Speaking. International Journal of Virtual Reality 3(2):2-6.
North MM, North SM, Crunk J, Singleton J (2005). Assessment of brain activities in immersive environments. Stud Health Technol Inform 111:362-364.
Nugues P, Légeron P, Lauer F, Klinger E, Chemin I (2001). Functionnal Description and Clinical Protocols for the Anxiety Disorders Module: Social Phobia. European Commission. IST-2000-25323,
Olton DS, Samuelson RJ (1976). Remembrance of places passed: Spatial memory in rats. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes 2:97-116.
OMS (1992). Classification Internationale des Troubles mentaux et des Troubles du comportement, 10ème Edition. Paris: Masson.
Optale G (1993). Valutazione con metodica virtuale dell'attività della sfera sessuale di volontari sani versus soggetti affetti da impotenza o turbe sessuali. In: Sessuologia '93 (J. Baldaro Verde ARGPM, ed), pp 602-603. Modena-Italy: CIC Edizioni Internazionali,
Optale G, Munari A, Nasta A, Pianon C, Verde JB, Viggiano G (1998). A VR based therapy for the treatment of impotence and premature ejaculation. Stud Health Technol Inform 58:136-139.
Optale G, Riva G, Pianon C, Nasta A, Viggiano G (2000). Male sexual algorithm and Virtual Reality. European Journal of Medical Sexology - Revue Européenne de Sexologie Médicale IX(34):22-25.
Optale G, Pastore M, Marin S, Bordin D, Nasta A, Pianon C (2004). Male Sexual Dysfunctions: immersive Virtual Reality and multimedia therapy. Stud Health Technol Inform 99:165-178.

Owen AM, James M, Leigh PN, Summers BA, Marsden CD, Quinn NP, Lange KW, Robbins TW (1992). Fronto-striatal cognitive deficits at different stages of Parkinson's disease. Brain 115 (Pt 6):1727-1751.
Owen AM (1997). Cognitive planning in humans: neuropsychological, neuroanatomical and neuropharmacological perspectives. Prog Neurobiol 53(4):431-450.
Parkinson J (1817). An assay on the shaking palsy. London: Sherwood, Nelly and Jones.
Parslow DM, Rose D, Brooks B, Fleminger S, Gray JA, Giampietro V, Brammer MJ, Williams S, Gasston D, Andrew C, Vythelingum GN, Loannou G, Simmons A, Morris RG (2004). Allocentric spatial memory activation of the hippocampal formation measured with fMRI. Neuropsychology 18(3):450-461.
Patrick J (1992). Training research and practice. London: Academic Press.
Pavlov I (1963). Réflexes conditionnels et inhibition. Paris: Gonthier.
Pertaub DP, Slater M, Barker C (2001). An experiment on fear of public speaking in virtual reality. Stud Health Technol Inform 81:372-378.
Pertaub DP, Slater M, Barker C (2002). An Experiment on Public Speaking Anxiety in Response to Three Different Types of Virtual Audience. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 11(1):68-78.
Peruch P, Vercher JL, Gauthier GM (1995). Acquisition of spatial knowledge through visual exploration of simulated environments. Ecological Psychology 7(1):1-20.
Piaget J, Chomsky N (1979). Théories du langage, théories de l'apprentissage: Seuil.
Pillon B, Dubois B, Ploska A, Agid Y (1991). Severity and specificity of cognitive impairment in Alzheimer's, Huntington's, and Parkinson's diseases and progressive supranuclear palsy. Neurology 41(5):634-643.
Pillon B, Deweer B, Agid Y, Dubois B (1993). Explicit memory in Alzheimer's, Huntington's, and Parkinson's diseases. Arch Neurol 50(4):374-379.
Pimentel K, Teixeira K (1994). La réalité virtuelle, de l'autre côté du miroir, Addison Wesley France Edition.
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? Comput Biol Med 25(2):213-227.
Pugnetti L, Mendozzi L, Attree EA, Barbieri E, Brooks BM, Cazullo C, Motta A, Rose FD (1998a). Probing memory and executive functions with virtual reality, past and present studies. Cyberpsychol Behavior 1(2):151-161.
Pugnetti L, Mendozzi L, Brooks BM, Attree EA, Barbieri E, Alpini E, Motta A, Rose FD (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.
Pugnetti L, Meehan M, Mendozzi L (2001). Psychophysiological Correlates of Virtual Reality: A review. Presence: Teleop Virt 10(4):384-400.
Quéau P (1993). Le virtuel, Champ Vallon/INA Edition.
Rathus SA (1973). A thirty items schedule for assessing assertive behaviors. Behavior Therapy 4:398-406.
Reitan RM, Wolfson D (1985). The Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery. Theory and clinical interpretation. Tucson: Neuropsychology Press.
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 RM, Beltrame F, Botella C, Galimberti C, Gamberini L, Gaggioli A, Molinari E, Mantovani G, Nugues P, Optale G, Orsi G, Perpina C, Troiani R (2001a). The VEPSY updated project: virtual reality in clinical psychology. Cyberpsychol Behav 4(4):449-455.

Riva G, Bacchetta M, Baruffi M, Molinari E (2001b). Virtual reality-based multidimensional therapy for the treatment of body image disturbances in obesity: a controlled study. Cyberpsychol Behav 4(4):511-526.

Riva G, Davide F, (eds) (2001c). Communications through virtual technologies: identity, community and technology in the communication age. Amsterdam: IOS Press.

Riva G, Bacchetta M, Baruffi M, Molinari E (2002). Virtual-reality-based multidimensional therapy for the treatment of body image disturbances in binge eating disorders: a preliminary controlled study. IEEE Trans Inf Technol Biomed 6(3):224-234.

Riva G (2003). La réalité virtuelle en psychiatrie. Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive 13(3):97-100.

Riva G, Alcaniz M, Anolli L, Bacchetta M, Banos RM, Buselli C, Beltrame F, Botella C, Castelnuovo 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, Spagnolli A, Troiani R, Weddle C (2003a). The VEPSY UPDATED Project: clinical rationale and technical approach. Cyberpsychol Behav 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. Cyberpsychol Behav 6(3):251-258.

Riva G, Bacchetta M, Cesa G, Conti S, Molinari E (2004). The use of VR in the treatment of Eating Disorders. Stud Health Technol Inform 99:121-163.

Riva G (2005). Virtual reality in psychotherapy: review. Cyberpsychol Behav 8(3):220-230; discussion 231-240.

Rizzo AA, Buckwalter JG (1997). Virtual reality and cognitive assessment and rehabilitation: the state of the art. Stud Health Technol Inform 44:123-145.

Rizzo AA, Bowerly T, Buckwalter JG, Schultheis MT, Matheis R, Shahabi C, Neumann U, Kim L, Sharifzadeh M (2002a). Virtual Environments for the Assessment of Attention and Memory Processes: The Virtual Classroom and Office. In: Proceedings of the 4th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Techniques (Sharkey P, Lanyi CS, Standen P, eds), pp 3-12. Reading UK: University of Reading.

Rizzo AA, Buckwalter JG, van der Zaag C (2002b). Virtual Environment Applications for Neuropsychological Assessment and Rehabilitation. In: Handbook of Virtual Environments (Stanney K, ed), pp 1027-1064. New York: L.A. Earlbaum,

Rizzo AA, Bowerly T, Shahabi C, Buckwalter JG, Klimchuk D, Mitura R (2004a). Diagnosing Attention Disorders in a Virtual Classroom. IEEE Computer 37(6):87-89.

Rizzo AA, Schultheis MT, Kerns KA, Mateer C (2004b). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. Neuropsychol Rehab 14:207-239.

Rizzo AA, Strickland D, Bouchard S (2004c). The challenge of using virtual reality in telerehabilitation. Telemed J E Health 10(2):184-195.

Rizzo AA, Pair J, McNerney PJ, Eastlund E, Manson B, Gratch J, Hill R, Swartout B (2005). Development of a VR therapy application for Iraq war military personnel with PTSD. Stud Health Technol Inform 111:407-413.

Rizzo M, Reinach S, McGehee D, Dawson J (1997). Simulated car crashes and crash predictors in drivers with Alzheimer disease. Arch Neurol 54(5):545-551.

Robillard G, Bouchard S, Fournier T, Renaud P (2003). Anxiety and presence during VR immersion: A comparative study of the reactions of phobic and non-phobic participants in therapeutic virtual environments derived from computer games. Cyberpsychol Behav 6(5):467-476.

Rogers D (1986). Bradyphrenia in parkinsonism: a historical review. Psychol Med 16(2):257-265.

Rose FD, Attree EA, Johnson DA (1996). Virtual reality: an assistive technology in neurological rehabilitation. Curr Opin Neurol 9(6):461-467.
Rose FD, Brooks BM, Attree EA, Parslow DM, Leadbetter AG, McNeil JE, 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? Disabil Rehabil 21(12):548-554.
Rose FD, Attree EA, Brooks BM, Parslow DM, Penn PR, Ambihaipahan N (2000). Training in virtual environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. Ergonomics 43(4):494-511.
Rose FD, Attree EA, Brooks BM, Andrews TK (2001). Learning and memory in virtual environments - a role in neurorehabilitation? Questions (and occasional answers) from UEL. Presence Teleop Virt 10(4):345-358.
Rose FD, Brooks BM, Attree EA (2002). An exploratory investigation into the usability and usefulness of training people with learning disabilities in a virtual environment. Disabil Rehabil 24(11-12):627-633.
Rose FD, Brooks BM, Rizzo AA (2005). Virtual reality in brain damage rehabilitation: review. Cyberpsychol Behav 8(3):241-262; discussion 263-271.
Rothbaum BO, Hodges LF, Kooper R, Opdyke D, Williford JS, North MM (1995a). Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia. Am J Psychiatry 152(4):626-628.
Rothbaum BO, Hodges LF, Opdyke D, Kooper R, Williford JS, North MM (1995b). Virtual reality graded exposure in the treatment of acrophobia: A case study. J Behav Ther 26(3):547-554.
Rothbaum BO, Hodges LF, Watson BA, Kessler CD, Opdyke D (1996). Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying: a case report. Behaviour Research and Therapy 34(5-6):477-481.
Rothbaum BO, Hodges LF, Alarcon RD, 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. J Trauma Stress 12(2):263-271.
Rothbaum BO, Hodges LF, Smith S, Lee JH, Price L (2000). A controlled study of virtual reality exposure therapy for the fear of flying. J Consult Clin Psychol 68(6):1020-1026.
Rothbaum BO, Hodges LF, Ready D, Graap K, Alarcon RD (2001). Virtual reality exposure therapy for Vietnam veterans with posttraumatic stress disorder. J Clin Psychiatry 62(8):617-622.
Rothbaum BO, Hodges LF, Anderson PL, Price L, Smith S (2002). Twelve-month follow-up of virtual reality and standard exposure therapies for the fear of flying. J Consult Clin Psychol 70(2):428-432.
Roy S, Klinger E, Légeron P, Lauer F, Chemin I, Nugues P (2003). Definition of a VR-based protocol to treat social phobia. Cyberpsychol Behav 6(4):411-420.
Sadowski W, Stanney K (2002). Presence in Virtual Environments. In: Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications (Stanney KM, ed), pp 791-806. Mahwah, NJ: Lawrence Elbaum Associates, Publishers,
Saint-Cyr JA, Taylor AE, Lang AE (1988). Procedural learning and neostriatal dysfunction in man. Brain 111 (Pt 4):941-959.
Salthouse TA (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. Psychol Rev 103(3):403-428.
Sandstrom NJ, Kaufman J, Huettel SA (1998). Males and females use different distal cues in a virtual environment navigation task. Brain Res Cogn Brain Res 6(4):351-360.

Schneider SM, Workman ML (2000). Virtual reality as a distraction intervention for older children receiving chemotherapy. Pediatr Nurs 26(6):593-597.
Schneider SM, Prince-Paul M, Allen MJ, Silverman P, Talaba D (2004). Virtual reality as a distraction intervention for women receiving chemotherapy. Oncol Nurs Forum 31(1):81-88.
Schreiber M, Schweitzer A, Lutz K, Kalveram KT, Jäncke L (1999). Potential of an interactive computer-based training in the rehabilitation of dementia: an initial study. Neuropsychol Rehab 9:155-167.
Schultheis MT, Himelstein J, Rizzo AA (2002). Virtual reality and neuropsychology: upgrading the current tools. J Head Trauma Rehabil 17(5):378-394.
Schultheis MT, Rizzo AA (2002). The virtual office. In: 10th Annual Medicine Meets Virtual Reality Conference. Newport Beach, CA.
Schwartz MF, Mayer NH, Fitzpatrick-DeSalme EJ, Mongotmery MW (1993). Cognitive theory and the study of everyday actiondisorders after brain damage. J Head Trauma Rehabil 8:59-72.
Shallice T (1982). Specific impairments of planning. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 298(1089):199-209.
Shallice T, Burgess PW (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. Brain 144:727-741.
Sheehan DV, Ballenger J, Jacobsen G (1980). Treatment of endogenous anxiety with phobic, hysterical, and hypochondriacal symptoms. Archives of General Psychiatry 37(1):51-59.
Simon HA (1975). The functional equivalence of problem solving skills. Cognitive Psychology 7:268-288.
Skelton RW, Bukach CM, Laurance HE, Thomas KG, Jacobs JW (2000). Humans with traumatic brain injuries show place-learning deficits in computer-generated virtual space. J Clin Exp Neuropsychol 22(2):157-175.
Skinner BF (1971). L'analyse expérimentale du comportement. Bruxelles: Dessart.
Slater M, Pertaub DP, Steed A (1999). Public Speaking in Virtual Reality : Facing an Audience of avatars. IEEE Computer Graphics & Applications 19(2):6-9.
Slater M, Sadagic A, Usoh M (2000). Small Group Behaviour in a Virtual and Real Environment : A Comparative Study. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 9(1):37-51.
Slater M, Pertaub DP, Barker C, Clark D (2004). An Experimental Study on Fear of Public Speaking Using a Virtual Environment. In: 3rd International Workshop on Virtual Rehabilitation. Lausanne, Switzerland.
Smith ML, Milner B (1988). Estimation of frequency of occurrence of abstract designs after frontal or temporal lobectomy. Neuropsychologia 26(2):297-306.
Sohlberg MM, Mateer CA (1989). Introduction to cognitive rehabilitation: Theory and Practice. New York: The Guilford Press.
Standen PJ, Brown DJ, Cromby J (2001). The effective use of virtual environments in the education and rehabilitation of students with intellectual disabilities. Brit J Edu Tech 32(3):289-301.
Stangier U, Heidenreich T, Peitz M, Lauterbach W, Clark DM (2003). Cognitive therapy for social phobia: individual versus group treatment. Behav Res Ther 41(9):991-1007.
Stanney KM, Salvendy G, Deisinger J, DiZio P, Ellis S, Ellison J, Fogleman G, Gallimore J, Singer M, Hettinger L, Kennedy R, Lackner J, Lawson B, Maida J, Mead A, Mon-Williams M, Newman D, Piantanida T, Reeves L, Riedel O, Stoffregen T, Wann J, Welch R, Wilson J, Witmer B (1998). Aftereffects and sense of presence in virtual

environments: formulation of a research and development agenda. Int J Hum Comput Interact 10(2):135-187.
Stanney KM, Kennedy RS, Kingdon KS (2002). Virtual environment usage protocols. In: Handbook of Virtual Environments: Designs, Implementations and Applications (Stanney KM, ed), pp 721-730. New York: Lawrence, Erlbaum Associates, Inc,
Stanton D, Foreman N, Wilson PN (1998). Uses of virtual reality in clinical training: developing the spatial skills of children with mobility impairments. Stud Health Technol Inform 58:219-232.
Stoermer R, Mager R, Roessler A, Mueller-Spahn F, Bullinger AH (2000). Monitoring Human-Virtual Reality Interaction: A Time Series Analysis Approach. Cyberpsychol Behav 3(3):401-406.
Stoffregen TA, Bardy BG, Smart LJ, Pagulayan RJ (2003). On the nature and evaluation of fidelity in virtual environments. In: Virtual and adaptive environments: Applications, Implications, and Human Performance Issues (Hettinger LJ, Haas MW, eds), pp 111-128. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc,
Strickland D, Marcus LM, Mesibov GB, Hogan K (1996). Brief report: two case studies using virtual reality as a learning tool for autistic children. J Autism Dev Disord 26(6):651-659.
Strickland D (1997). Virtual reality for the treatment of autism. Stud Health Technol Inform 44:81-86.
Talland GA (1964). The Psychopathology of the Amnesic Syndrome. Bibl Psychiatr Neurol 12:443-469.
Taylor AE, Saint-Cyr JA, Lang AE (1986). Frontal lobe dysfunction in Parkinson's disease. The cortical focus of neostriatal outflow. Brain 109 (Pt 5):845-883.
Thalman D, Thalman N (2004). Handbook of virtual humans.
Thomas KG, Hsu M, Laurance HE, Nadel L, Jacobs WJ (2001). Place learning in virtual space. III: Investigation of spatial navigation training procedures and their application to fMRI and clinical neuropsychology. Behav Res Methods Instrum Comput 33(1):21-37.
Thyer BA, Papsdorf JD, Davis R, Vallecorsa S (1984). Autonomic correlates of the subjective anxiety scale. J Behav Ther Exp Psychiatry 15(1):3-7.
Trepagnier C, Sebrechts MM, Peterson R (2002). Atypical face gaze in autism. Cyberpsychol Behav 5(3):213-217.
Trepagnier C, Sebrechts MM, Finkelmeyer A, Coleman M, Stewart W, Werner-Adler M (2005). Virtual environments to address autistic social deficits. Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine: A decade of VR 3:101-107.
Tulving E (2002). Episodic memory: from mind to brain. Annu Rev Psychol 53:1-25.
Ungerleider LG, Mishkin M (1982). Two cortical visual systems. In: Analysis of visual behavior (Ingle DJ, Goodale MA, Mansfield RJW, eds). Cambridge, MA: MIT Press,
Van der Linden M, Juillerat AC (2004). La revalidation neuropsychologique dans la maladie d'Alzheimer à un stade précoce: principes, méthodes et perspectives. Rev Neurol (Paris) 160:6470.
Viaud-Delmon I, Ivanenko YP, Berthoz A, Jouvent R (1998). Sex, lies and virtual reality. Nat Neurosci 1(1):15-16.
Viaud-Delmon I, Warusfel O, Seguelas A, Rio E, Jouvent R (2005). High sensitivity to multisensory conflicts in agoraphobia exhibited by virtual reality. European Psychiatry.
Vincelli F, Anolli L, Bouchard S, Wiederhold BK, Zurloni V, Riva G (2003). Experiential cognitive therapy in the treatment of panic disorders with agoraphobia: a controlled study. Cyberpsychol Behav 6(3):321-328.

Vriezen ER, Moscovitch M (1990). Memory for temporal order and conditional associative-learning in patients with Parkinson's disease. Neuropsychologia 28(12):1283-1293.
Wald J, Taylor S (2000). Efficacy of virtual reality exposure therapy to treat driving phobia: a case report. J Behav Ther Exp Psychiatry 31(3-4):249-257.
Wald J, Taylor S (2003). Preliminary research on the efficacy of virtual reality exposure therapy to treat driving phobia. Cyberpsychol Behav 6(5):459-465.
Waller D, Hunt E, Knapp D (1998). The transfer of spatial knowledge in virtual environment training. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 7(2):129-143.
Waller D, Knapp D, Hunt E (2001). Spatial representations of virtual mazes: the role of visual fidelity and individual differences. Hum Factors 43(1):147-158.
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. Cyberpsychol Behav 6(3):329-334.
Wann JP, Rushton SK, Smyth M, Jones D (1997). Virtual environments for the rehabilitation of disorders of attention and movement. Stud Health Technol Inform 44:157-164.
Warren WH, Jr., Kay BA, Zosh WD, Duchon AP, Sahuc S (2001). Optic flow is used to control human walking. Nat Neurosci 4(2):213-216.
Wiederhold BK, Gervirtz R, Wiederhold MD (1998). Fear of flying: A case report using virtual reality therapy with physiological monitoring. Cyberpsychol Behav 1:97-103.
Wiederhold BK, Wiederhold MD (1998). A review of virtual reality as a psychotherapeutic tool. Cyberpsychol Behav 1(1):45-52.
Wiederhold BK, Jang DP, Gevirtz RG, Kim SI, Kim IY, Wiederhold MD (2002a). The treatment of fear of flying: a controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy. IEEE Trans Inf Technol Biomed 6(3):218-223.
Wiederhold BK, Jang DP, Kim SI, Wiederhold MD (2002b). Physiological monitoring as an objective tool in virtual reality therapy. Cyberpsychol Behav 5(1):77-82.
Wiederhold BK, Wiederhold MD (2003). Three-year follow-up for virtual reality exposure for fear of flying. Cyberpsychol Behav 6(4):441-445.
Wilson BA, Cockburn J, Baddeley A (1985). The Rivermead Behavioral Memory Task. In: Thames Valley test Co. Bury St. Edmunds.
Wilson BA (1995). Management and remediation of memory problems in brain-injured adults. In: Handbook of Memory Disorders (Baddeley AD, Wilson BA, Watts FN, eds), pp 451-479. Chichester: John Wiley,
Wilson BA, Evans JJ (1996). Error-free learning in the rehabilitation of people with memory impairments. J Head Trauma Rehabil 11(2):54-64.
Wilson BA (1997). Cognitive rehabilitation: how it is and how it might be. J Int Neuropsychol Soc 3(5):487-496.
Wilson BA (2002). Towards a comprehensive model of cognitive rehabilitation. Neuropsychological Rehabilitation 12:97-110.
Wilson PN, Foreman N, Tlauka M (1996). Transfer of spatial information from a virtual to a real environment in physically disabled children. Disabil Rehabil 18:633-637.
Wilson PN, Foreman N, Gillet R (1997). Active versus passive processing of spatial information in a computer-simulated environment. Ecological Psychology 9:207-222.
Wilson PN (1999). Active exploration of a virtual environment does not promote orientation or memory for objects. Environment and Behavior 31(6):752-763.
Witmer B, Singer M (1998). Measuring presence in virtual environments: A Presence Questionnaire. Presence Teleop Virt 7(3):225-240.
Wolpe J (1969). The Practice of Behavior Therapy. New York: Pergamon Press.

Zalla T, Sirigu A, Pillon B, Dubois B, Grafman J, Agid Y (1998). Deficit in evaluating pre-determined sequences of script events in patients with Parkinson's disease. Cortex 34(4):621-627.
Zalla T, Sirigu A, Pillon B, Dubois B, Agid Y, Grafman J (2000). How patients with Parkinson's disease retrieve and manage cognitive event knowledge. Cortex 36(2):163-179.
Zalla T, Plassiart 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 BC, Masel B, Scheibel RS, Christiansen CH, Huddleston N, Ottenbacher KJ (2001). Virtual reality in the assessment of selected cognitive function after brain injury. Am J Phys Med Rehabil 80(8):597-604; quiz 605.
Zhang L, Abreu BC, Seale GS, Masel B, Christiansen CH, Ottenbacher KJ (2003). A virtual reality environment for evaluation of a daily living skill in brain injury rehabilitation: reliability and validity. Arch Phys Med Rehabil 84(8):1118-1124.
Zigmond AS, Snaith RP (1983). The hospital anxiety and depression scale. Acta Psychiatrica Scandinavica 67(6):361-370.

Index

A

Abbott V, 111
acrophobie, 25
actif, 16, 62
activités de la vie quotidienne, 67, 74, 112, 128, 141, 150
addictions, 42
aéro-acrophobie, 27
aftereffects, 19
agents virtuels, 29, 42, 60, 137, 141, 149
agnosie topographique, 64
agoraphobie, 31
Aguirre GK, 65
aides logicielles, 14, 16, 93, 116
allocentrique, 63
amnésie topographique, 64
analgésique, 48
Anderson P, 90, 105, 142
André C, 86, 97
Andrews TK, 62
anxiété, 25, 81, 83, 86, 140, 141
anxiété d'affirmation, 30, 86, 94
anxiété d'intimité, 30, 86, 93
anxiété d'observation, 30, 86, 94
anxiété de performance, 30, 86, 93
APA, 25, 30, 31, 86
apprentissage, 22, 58, 60, 72, 74, 88, 134, 136
approche fonctionnelle, 70
approche réadaptative, 70
arachnophobie, 32
Astur RS, 63, 83
attention, 53
attractivité, 140
Attree EA, 61, 62
augmentation tactile, 27, 32
autisme, 41
auto entraînement, 153
auto questionnaires, 96
automatisation, 152

B

Baas JM, 83
Baddeley A, 72
Bandura A, 22
Banos RM, 149, 150
Barlow DH, 88
Baumann SB, 43, 59, 83, 114
Beck AT, 22, 96
Berka R, 65
Bernstein DA, 88
Bertella L, 65
béta-bloquants, 87
BIAS, 40
Bordnick PS, 43
Botella C, 28, 31, 33, 89, 136
Bouchard S, 27, 107
Bracy OL, 151
Brittain JL, 54
Brooks BM, 60, 61, 62, 73, 75
Brown DJ, 69, 75
Brown J, 54
Brutel C, 83, 148
Burdea GC, 14, 133, 140, 142
Butler G, 88

C

Camp CJ, 151
Canceil O, 22
Carbon M, 128
Cardebat D, 121
Carlin AS, 32
Carr K, 15
Cartwright G, 143
CAVE, 14
Changement virtuel, 139
Chase WG, 70
Chemin I, 85, 109
Chen JL, 65
Choi YH, 25
Christiansen C, 69, 75
Chui HC, 119
Cicerone KD, 70
CIM 10, 86
cinétose, 18, 142
Clark A, 39
claustrophobie, 33
Cobb SVG, 69
cognitif, 14
cognition, 51
Cohen NJ, 71
Cohen SB, 101
Collerton D, 60
comportements, 42, 52, 82, 88, 98, 100, 105, 137, 141
conditionnement, 22, 83
Conklin CA, 42
contrôle, 21, 52, 53, 93, 114, 134, 137
Cooper M, 65
Corkin S, 63
Cottraux J, 21, 23, 24, 32
Crawford JR, 57
Cromby J, 69, 74, 75
cuisine virtuelle, 69
Cunningham D, 71

D

da Costa RM, 75
Damasio AR, 57, 129
Davies RC, 69
De Renzi E, 64
De Rijk MC, 110
Desbonnet M, 68
désensibilisation, 23, 25
désorganisation, 60
désorientation, 60, 64
diagnostic, 144
Diamant JJ, 151

Difede J, 38
Diller L, 151
distracteur, 49, 52, 59, 73, 134
distraction de la douleur, 48
driVR, 33, 68
DSM IV, 31, 86
Dubois B, 110, 128

E

échelle de Liebowitz (LSAS), 97, 166
échelle de Rathus, 97, 166
échelle de Sheehan, 97, 166
échelle HAD, 97, 166
échelle impression clinique (CGI), 97, 166
échelle SUDS, 24
écologique, 18, 52, 59, 67, 112, 129, 136, 141
efficacité de la RV, 140
égocentrique, 63
Elkind JS, 58
Elliot, 57
Emmelkamp PM, 26, 89, 95
émotions, 18, 24, 38, 57, 98, 106, 137, 150
enregistrement, 114, 118, 135
Ernst O, 136
évaluation, 18, 23, 25, 51, 81, 92, 98, 115, 145
évaluation cognitive, 51, 120
évitement, 25, 87, 88, 97, 100, 101, 136, 140, 141
exercice physique, 73
exploration objective, 81
exploration subjective, 81
exposition en imagination, 89
exposition graduée, 23, 24, 152
exposition *in virtuo*, 89
exposition *in vivo*, 25
exposition sous réalité virtuelle, 24
eye-patching, 71

F

feedback, 28, 32, 42, 113, 134
Foa EB, 21, 82, 150
fonctionnel, 14
fonctionnement général, 97, 101, 104
fonctionnement social, 97, 101, 104
fonctions exécutives, 57, 109, 128
Foreman NP, 72, 74
Fuchs P, 13, 14, 138

G

Garcia-Palacios A, 32, 89
Gelb DJ, 119
Gershon J, 50
Glantz K, 149
Glisky EL, 72
Godbout L, 112, 130
Godefroy O, 57
Golden CJ, 121
Gourlay D, 70, 75
Graap K, 43
graduation, 31, 54, 73, 88, 106, 144
Graf P, 71
Grafman J, 51, 110
Gratch J, 150
Grealy MA, 73
GREYC – ENSICAEN, 85, 109
Grillon C, 83
Grumbach A, 13
Gutierrez-Maldonado J, 40
Guy W, 97

H

habiletés spatiales, 74
habituation, 21, 25, 28, 34, 38, 82, 136
handicap, 16, 67, 72, 74, 97, 151, 166
Harris SR, 29, 89, 105
Harrison A, 68
Havermans RC, 42
Heaton RK, 120
Hecaen H, 51
Heimberg RG, 87, 88
héminégligence visuelle, 54, 71
Herbelin B, 30, 90, 106
hiérarchisation, 23, 28, 109, 136, 150, 152
hippocampe, 64, 82
Hodges LF, 26, 30, 105
Hoehn MM, 119
Hoffman HG, 48, 49
Holt CS, 30, 86, 92
Hoorn JF, 17
humains virtuels, 30, 89, 92, 93, 106, 116

I

image du corps, 39
immersion, 13
Inman DP, 68
interaction, 13
interfaces adaptées, 137
interfaces comportementales, 13, 17
inventaire abrégé de Beck (BDI-13), 96
IRMf, 43, 49, 59, 64, 65, 83

J

Jaeger BK, 19
James LK, 30, 90, 106
Jang DP, 82
Jouvent R, 153

K

Katz N, 72
Kennedy RS, 19, 81
Kessler RC, 87
kinesthétique, 74
Kirsch NL, 71
Klein RA, 28
Klinger E, 21, 30, 59, 85, 91, 107, 109, 115, 150, 152
Kodgi SM, 55
Kolb B, 57
Kosslyn SM, 64
Kramer AF, 73
Krijn M, 26
Krohne HW, 150
Ku JH, 68
Kuntze MF, 42
Kyriakakis C, 65

L

Lang PJ, 81, 151
Lanier J, 13
Lee JH, 42, 59, 113, 129
Lee JM, 30
Légeron P, 30, 85, 88, 98, 101
Lengenfelder J, 54
Lépine JP, 87
Lezak MD, 51, 109
LFAM, 58
Liebowitz MR, 87, 90, 95, 97
limites, 142
Liu L, 68
Lo Priore C, 59, 114
Lombard M, 106
LSAS, 29
Lumbreras M, 65
Luria AR, 57, 151

M

maladie de Parkinson, 110, 128
Maltby N, 28
Marié RM, 57, 59, 109, 115, 120
Maringelli F, 55
Marks IM, 22, 88
Martin R, 111, 115
Matheis RJ, 62
Mattis S, 120
McComas J, 67, 74
McGeorge P, 59
Meehan M, 82
mémoire, 60
mémoire auditive, 65
mémoire incidente, 62
mémoire prospective, 61
mémoire spatiale, 63
mémoires de la peur, 21
Mendozzi L, 58
Mersch PP, 87
mesures comportementales, 54
mesures objectives, 42, 81, 90, 146
mesures subjectives, 25, 81, 90, 151
métaphores, 14
Michaud, 107
Miotto EC, 112
modalités sensorielles, 16, 17, 18, 134, 137
modeling, 22, 23
Moffat SD, 64
monitoring, 82, 151
Montgomery SA, 119
Moore K, 32, 83
Morris RG, 61, 63
Morris RGM, 63
Morris Water Task, 63
motivation, 58, 60, 72, 73, 113, 140, 141
Muhlberger A, 28
Myers RL, 55, 71

N

Nasoz F, 150
navigation, 16, 74, 128
Neisser U, 52
neuropsychologie, 51, 111
niveau cognitif, 14
niveau d'affirmation de soi, 166
niveau d'anxiété, 24, 97, 106, 144, 166
niveau de dépression, 97, 166
niveau d'évitement, 144
niveau émotionnel, 18
niveau fonctionnel, 14
niveau sensori-moteur, 14
North MM, 23, 25, 27, 29, 31, 39, 82, 89, 105, 140
Nugues P, 85, 91, 92

O

Olton DS, 63
Optale G, 40
orientation attentionnelle, 55
orientation topographique, 64
Owen AM, 109, 110, 129

P

paradigme de Brown-Peterson, 120
Parkinson J, 110
Parslow DM, 83
passif, 16, 62
patients frontaux, 113, 130
Patrick J, 15
pauses, 135
Pavlov I, 22
perception d'efficacité, 22
performances, 16, 23, 59, 82, 112, 113, 125, 136, 145
Pertaub DP, 30, 106
Peruch P, 63
peur de parler en public, 29, 86
phobie, 25
phobie de conduire, 33
phobie sociale, 30, 86, 97, 101
physiologique, 21, 27, 42, 81, 87, 106, 148, 151, 152
Piaget J, 14
Pillon B, 110
Pimentel K, 13
planification de l'action, 57, 59, 109, 114, 128
point de vue subjectif, 24, 93, 116
Polhemus, 32
PRCS, 29
présence, 15, 107, 141
primitives comportementales virtuelles, 15
processus clinique, 138, 144, 145
protocoles de traitement, 85
psychiatrie, 21, 91
psychophysiologie, 18, 81
PTSD, 38
Pugnetti L, 52, 57, 63, 81

Q

Quéau P, 18
questionnaire SCIA, 97, 166

R

Rathus SA, 97, 104
réalisme, 15, 17, 141
réalité virtuelle, 13
réhabilitation cognitive, 51, 70, 114, 148, 150
Reitan RM, 151
rejouer, 135

réorganisation, 72
répétition, 38, 42, 49, 71, 72, 100, 114, 144, 150, 152
respect de la confidentialité, 140
respect du rythme, 140
Richir S, 13
Riva G, 24, 39, 43, 85, 89, 91, 133, 140
Rizzo AA, 38, 52, 56, 70, 75, 76, 133, 140
Rizzo M, 68
Robillard G, 107
Rogers D, 129
Rose FD, 61, 63, 71, 75, 140
Rothbaum BO, 25, 28, 38, 89
Roy S, 24, 30, 85, 91, 98

S

Sadowski W, 106
Saint-Cyr JA, 111, 129
Salthouse TA, 122
Sandstrom NJ, 63
schéma d'action, 110
schéma technocentrique, 15
schémas cognitifs, 22
schèmes, 14
Schneider SM, 50
Schreiber M, 72
Schultheis MT, 51, 54
Schwartz MF, 111
sécurité, 41, 67, 134
sensorimoteur, 14
Shallice T, 52, 110, 111
Sheehan DV, 97
signaux d'aide, 134
signaux évocateurs, 42
Simon HA, 111
Skelton RW, 63
Skinner BF, 22
Slater M, 30, 89, 106
Smith ML, 63
Sohlberg MM, 70
Standen PJ, 144
Stanney KM, 13, 19, 129
Stanton D, 72, 74
stimuli, 16, 21, 135, 136, 141
Stoermer R, 82
Stoffregen R, 18
stress post traumatique, 38
Strickland D, 41, 67
substitutions, 14
succès thérapeutique, 134
suivi du regard, 55
supermarché virtuel, 115

T

tâche, 115, 117, 128
Talland GA, 72
taxonomie fonctionnelle, 138
Taylor AE, 130
TCC de groupe, 91, 100
TCC individuelle, 105
temps réel, 14
test de la fluence verbale, 121
test de scripts, 51
test de Stroop, 121
test des commissions, 115
test RBMT, 60, 64
tests cognitifs standard, 111
tests de scripts, 111
tests écologiques, 111
tests papier-crayon, 52, 58, 65, 134
tests traditionnels, 51, 57, 62, 129
Thalman D, 149
théorie cognitive, 22
thérapie cognitive, 88
thérapie comportementale, 88
thérapie par réalité virtuelle, 98
thérapies cognitives et comportementales, 21, 88
thérapies d'exposition, 23
Thomas KG, 63
Thyer BA, 81
traitement, 22, 133, 144
traitement émotionnel, 21
transfert, 27, 43, 58, 64, 67, 69, 74, 137, 141, 150
Trepagnier C, 41
trouble panique, 31
troubles des conduites alimentaires, 39
troubles obsessionnels compulsifs, 39
troubles sexuels masculins, 40
Tulving E, 60

U

Ungerleider LG, 64

V

Van der Linden M, 70, 151
VEPSY, 39, 40, 83, 85, 91
Viaud-Delmon I, 18, 136
vieillissement, 19, 83, 110
ville virtuelle, 69
Vincelli F, 31
Virtools, 91, 115
visiocasque, 17
visiocube, 14
Vriezen ER, 130

W

Wald J, 33
Waller D, 64, 75
Walshe DG, 34
Wann JP, 55
Warren WH, 136
wayfinding, 65
WCST, 57, 120
Wiederhold BK, 28, 82, 143
Wilson BA, 60, 64, 70, 72, 134
Wilson PN, 63, 74
Witmer B, 81
Wolpe J, 22, 81

Z

Zalla T, 59, 112, 113, 130
Zhang L, 57, 59, 69, 113
Zigmond AS, 97