



HAL
open science

Impact des caractéristiques de l'information délivrée par un système virtuel dans une tâche de recherche de cibles : perspectives en rééducation cognitive

Heni Cherni

► To cite this version:

Heni Cherni. Impact des caractéristiques de l'information délivrée par un système virtuel dans une tâche de recherche de cibles : perspectives en rééducation cognitive. Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2012. Français. NNT : 2012ENAM0030 . pastel-00866795

HAL Id: pastel-00866795

<https://pastel.hal.science/pastel-00866795>

Submitted on 27 Sep 2013

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 n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité " Informatique-traitement du signal "

présentée et soutenue publiquement par

Heni CHERNI

le 03 Octobre 2012

Impact des caractéristiques de l'information

délivrée par un système virtuel dans une tâche de recherche de cibles

Perspectives en rééducation cognitive

Directeurs de thèse : **Pierre-Alain JOSEPH, Jean-Pierre L'HUILLIER**

Co-encadrement de la thèse : **Evelyne KLINGER**

Jury	
M. Philippe FUCHS, Professeur, Centre de robotique d'Armines, Mines ParisTech	Président
M. Pierre CHEVAILLIER, Maître de conférences (HDR), Lab-STICC, UMR CNRS 6285, ENIB	Rapporteur
M. Oliver REMY-NERIS, Professeur, LaTIM, CHU de Brest	Rapporteur
M. Jean-Pierre L'HUILLIER, Professeur, LAMPA- EA 1427, Arts et Métiers ParisTech	Examineur
M. Pierre-Alain JOSEPH, Professeur, EA 4136, Université de Bordeaux	Examineur
Mme Evelyne KLINGER, Ingénieur de recherche, LAMPA- EA 1427, Arts et Métiers ParisTech	Examineur

“Say. Surely my prayer and my sacrifice and my life and my death are (all) for Allah, the Lord of the worlds; No associate has He; and this am I commanded, and I am the first of those who submit. “

REMERCIEMENTS

Le travail relatif à ce mémoire a été réalisé à Laval au sein de l'entité Handicaps et Innovations Technologiques (HIT) de l'équipe Présence & Innovation du Laboratoire de Arts et Métiers ParisTech d'Angers (LAMPA – EA 1427).

Mes premiers remerciements s'adressent à Laval Agglomération et au Conseil Général de la Mayenne pour le financement de mes trois années de thèse.

J'adresse ensuite mes sentiments de gratitude à mes encadrants de thèse : Jean-Pierre L'Huillier, Pierre-Alain Joseph et Evelyne Klinger.

Merci à Jean-Pierre pour ses prestigieux conseils et son soutien. Merci à Pierre Alain 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. Sa confiance et sa gentillesse m'ont énormément touché.

Merci à Evelyne Klinger, co-directrice de ma thèse, responsable de l'entité HIT qui m'a ouvert à ce domaine et m'a facilité l'enrichissement de mes connaissances. Sa rigueur scientifique et la pertinence de ses remarques ont grandement contribué à améliorer ce travail. Merci pour son guidage, son aide et le temps qu'elle m'a consacré. Merci pour sa confiance et son accueil au sein de l'entité.

Je tiens ensuite à remercier Olivier Rémy-Néris et Pierre Chevaillier d'avoir accepté d'être rapporteurs de ma thèse, ainsi que Philippe Fuchs de l'intérêt qu'il a témoigné à ce travail en acceptant de faire partie du jury.

Merci à tous les membres de l'entité HIT et en particulier Abdelmajid Kadri, Yasmine Boumenir, Redouane Boudaoud et David Perret pour leur soutien et leurs conseils.

Je remercie les ergothérapeutes du centre de rééducation de Kerpape et du CHU de Bordeaux et particulièrement Eric Sorita et Annabelle Tarruella d'avoir conduit les expérimentations sur les patients. Je remercie également tous les volontaires patients et sujets sains qui ont accepté de participer aux différentes études expérimentales que nous avons mis en place.

Enfin, une grande pensée à mes chers parents, mes chers frères et sœurs qui ensoleillent ma vie et qui ont toujours été présents dans les pires moments de doute comme dans les plus grandes joies.

RESUME

Nos travaux s'inscrivent dans le cadre de la prise en charge des dysfonctionnements cognitifs par les technologies de la réalité virtuelle. La rééducation cognitive permet d'accroître ou d'améliorer la capacité d'un individu à traiter et à utiliser l'information entrante de façon à permettre un fonctionnement amélioré dans les activités de la vie quotidienne. Les technologies de la réalité virtuelle ont montré leurs potentiels dans la proposition de stratégies d'intervention rééducative innovantes. Elles permettent de simuler des activités de vie quotidienne (AVQ), de les répéter autant que nécessaire, de les graduer, et de contrôler la situation. Les environnements virtuels utilisés permettent de délivrer aux patients des informations variées et multimodales aux finalités diverses : affichage de l'environnement 3D et des objets le constituant, compréhension de la tâche, augmentation de la saillance de certains objets, ou encore délivrance d'instructions liées à l'interaction avec l'environnement. Alors se pose la question de la prise en considération effective par le patient de ces informations délivrées par le système virtuel.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'amélioration de la performance des sujets dans une tâche de vie quotidienne simulée. Il s'agit d'étudier l'impact des caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel sur la performance des participants, dans une tâche de recherche de cibles dans le processus de rééducation cognitive par les technologies de la réalité virtuelle. Les travaux abordant cette question dans la littérature évoquent l'effet des caractéristiques de l'information virtuelle sur la performance des sujets sains principalement dans des tâches d'orientation spatiale et de navigation dans des environnements virtuels simples et pauvres en information.

Pour répondre à cette question nous avons étudié l'échange d'informations entre l'utilisateur et le système virtuel puis nous avons proposé une taxonomie de l'information virtuelle. Ensuite, une étude théorique sur notre dispositif expérimental le Virtual Action Planning Supermarket (le VAP-S) a été proposée. Sur la base des études précédentes, l'étape suivante a été de mettre en place de nouvelles fonctionnalités dans le VAP-S permettant d'augmenter de façon paramétrable l'information présente dans l'environnement avec des stimuli additionnels. Pour ce faire, nous avons défini un « Stimulus Logiciel Ajouté » par toute information, additionnelle, délivrée par le système virtuel, qui vient augmenter l'information présente dans l'environnement virtuel et dont l'absence de l'environnement virtuel n'interdit pas l'accomplissement de la tâche. Nous nous sommes intéressés aux SLA visuels et sonores.

Grâce à trois études expérimentales nous avons étudié le lien qui existe entre les caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel et la performance des sujets dans la tâche. La première étude concerne l'effet de l'augmentation du champ visuel physique sur la performance. Elle a permis de montrer que chez les sujets sains et chez les sujets cérébrolésés, une meilleure visibilité des objets virtuels et un moins grand nombre d'erreurs

de sélection peuvent être obtenus en utilisant un grand écran et un champ visuel physique large. La seconde étude concerne l'effet des SLA non contextuels sur la performance. Elle a permis de montrer que la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés diminue en présence de SLA non contextuels dans l'environnement. La troisième étude, sur les SLA contextuels, a permis de montrer que la délivrance de stimuli liés à l'interaction permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans la tâche, même s'ils ne sont pas informés du lien sémantique qui existe entre les stimuli délivrés et la tâche.

En perspective, il serait souhaitable de pouvoir confirmer les résultats trouvés dans nos études en testant l'effet des autres SLA intégrés dans le VAP-S. Il serait également intéressant de mettre en place des études sur l'effet de la combinaison de SLA (auditif et visuel) sur la performance dans la tâche.

ABSTRACT

This thesis was led in the context virtual cognitive rehabilitation. After brain injury, cognitive rehabilitation aims to enable the autonomy of the patients in the instrumental Activities of Daily Living (iADL) (e.g., shopping, meal preparation). It refers to the therapeutic process of increasing or improving an individual capacity to process and use incoming information so as to allow increased functioning in everyday life. The technologies of virtual reality have shown its potential to suggest innovative therapeutics interventions strategies. VR offers to the patient the possibility to experience controlled simulated activities of daily living that can be repeated as often as necessary and gradual with regards to the state of the patient. During the patient session, the VR system provides various kinds of information for different purposes: display of the virtual environment, understanding of the task, but also highlighting functionalities or delivery of instructions.

In this thesis, we are interested in improving participants' performance in a virtual iADL. Our objective is to study the effects of the information delivered by the virtual system on participants' performance in the context of virtual rehabilitation. Previous studies already showed that an effect exists on healthy subjects' performance mainly in spatial orientation and navigation tasks in simple virtual environments. In order to answer to this question, we studied the process of exchange of information between the user and the virtual system and we built a taxonomy of the virtual information. Then, we suggested a theoretical study on our experimental tool the Virtual Action Planning Supermarket (VAP-S). On the basis of the previous studies, the following stage was to develop new functionalities in the VAP-S allowing it to deliver additional stimuli that enrich the information presents in the VAP-S. In this purpose, we defined an "Additional Software Stimulus" (ASS) by any additional information, delivered by the virtual system which comes to increase the present information in the virtual environment and whose absence from the virtual environment does not forbid the fulfillment of the task. We were interested in the auditory and visual ASS.

Thanks to three experimental studies, we studied the relationship between the characteristics of the virtual information and the performance of the participants in the task. The first study concerns the relationship between the increase of the field of view and the performance. It shows that, among patients with brain injury and healthy subjects, it is possible to improve the perception of the virtual objects and to reduce the number of errors in the task by using a large screen and a large field of view in the experiments. The second study concerns the impact of the non-contextual ASS on the performance. It shows that the performance of patients with brain injury and healthy subjects decreases when non contextual ASS are delivered during the task. The third study concerns the relationship between the contextual ASS and the performance. It shows that the deliverance of ASS related to the interaction improves the performance of patients with brain injury and healthy subjects in the task even they are not informed about the semantic link between the delivered stimuli and the task.

To extend this work, it would be interesting to confirm the results found in our experiments by testing the effects of other ASS developed in the VAP-S. It would also be interesting to conduct studies on the effects of combining ASS (auditory and visual) on the performance in the task.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	5
RÉSUMÉ.....	7
ABSTRACT.....	9
TABLE DES MATIÈRES.....	11
PARTIE 1. INTRODUCTION.....	15
I. CONTEXTE ET MOTIVATION.....	17
II. ORGANISATION DE LA THÈSE.....	19
PARTIE 2. ETAT DE L'ART.....	21
I. INTRODUCTION.....	23
II. L'INFORMATION DANS UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL.....	25
1. <i>Introduction</i>	25
2. <i>Définition de l'information</i>	25
3. <i>Définition de la réalité virtuelle</i>	26
4. <i>L'information dans un environnement virtuel</i>	27
5. <i>Echange d'information dans un environnement virtuel</i>	29
6. <i>Perception de l'information visuelle dans un environnement virtuel</i>	31
A. Caractéristiques de la vision en monde virtuel.....	31
B. Etude du SFOV dans des applications de réalité virtuelle pour des sujets sains.....	35
C. Etude du PFOV dans des applications de réalité virtuelle pour des sujets sains.....	36
7. <i>Conclusion</i>	38
III. L'USAGE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE DANS LE DOMAINE DE LA RÉÉDUCATION.....	39
1. <i>Introduction</i>	39
2. <i>Méthodes classiques pour la prise en charge de patients cérébrolésés</i>	39
A. Les fonctions exécutives.....	40
B. Méthodes papier-crayon.....	41
C. Méthodes écologiques.....	44
3. <i>Apprentissage par la réalité virtuelle chez les sujets sains</i>	45
4. <i>Rééducation par la réalité virtuelle chez des patients cérébrolésés</i>	48
5. <i>Conclusion</i>	51
IV. L'INFORMATION DANS LES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS POUR L'APPRENTISSAGE ET POUR LA RÉÉDUCATION.....	53
1. <i>Introduction</i>	53
2. <i>L'information dans les environnements virtuels pour l'apprentissage</i>	54
3. <i>L'information dans les environnements virtuels pour la rééducation</i>	61
4. <i>Bilan de travaux sur l'usage des stimuli logiciels dans l'apprentissage et la réhabilitation</i>	69
5. <i>Conclusion</i>	71
V. CONCLUSION.....	73
PARTIE 3. MÉTHODOLOGIE.....	75
I. PROBLÉMATIQUE.....	77
II. HYPOTHÈSES.....	81
III. PROPOSITIONS THÉORIQUES SUR L'INFORMATION DANS UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL.....	83

IV.	PROPOSITIONS SUR LE DISPOSITIF EXISTANT : LE VAP-S	91
1.	<i>Modélisation de la tâche dans le VAP-S</i>	91
2.	<i>Modélisation de SLA dans le VAP-S</i>	94
3.	<i>Choix des SLA</i>	97
4.	<i>Interface de paramétrage des SLA</i>	100
5.	<i>Implémentation des SLA</i>	103
A.	Chargement des SLA dans le VAP-S.....	103
B.	Développement des SLA	104
V.	CONCLUSION	108
PARTIE 4. ETUDES EXPÉRIMENTALES		109
I.	PRÉSENTATION DES ÉTUDES	111
1.	<i>Présentation générale</i>	111
2.	<i>Dispositif expérimental</i>	112
3.	<i>Procédure globale</i>	114
A.	Phases des tests	114
4.	<i>Déroulement des expérimentations</i>	115
5.	<i>Méthodologie statistique</i>	115
II.	PREMIÈRE ÉTUDE : CHAMP VISUEL ET PERFORMANCE.....	117
1.	<i>Introduction</i>	117
2.	<i>Méthodologie</i>	117
A.	Hypothèse.....	118
B.	Participants	118
3.	<i>Procédure expérimentale</i>	118
A.	Conditions expérimentales	118
B.	Evaluation	120
4.	<i>Résultats</i>	120
5.	<i>Conclusion</i>	124
III.	SECONDE ÉTUDE : SLA NON CONTEXTUELS ET PERFORMANCE	127
1.	<i>Introduction</i>	127
2.	<i>Méthodologie</i>	127
A.	Hypothèse.....	127
B.	Participants	128
3.	<i>Procédure expérimentale</i>	128
A.	Conditions expérimentales	128
B.	Procédure.....	128
4.	<i>Résultats</i>	130
A.	Résultats pour les sujets sains.....	130
B.	Résultats pour les patients cérébrolésés	135
5.	<i>Conclusion</i>	139
IV.	TROISIÈME ÉTUDE : SLA CONTEXTUELS ET PERFORMANCE.....	141
1.	<i>Introduction</i>	141
2.	<i>Méthodologie</i>	142
A.	Hypothèse.....	142
B.	Participants	142
C.	Conditions expérimentales	142
D.	Procédure.....	142
3.	<i>Résultats</i>	144
A.	Résultats pour les sujets sains.....	144

B. Résultats pour les patients cérébrolésés	148
4. Conclusion	152
PARTIE 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	155
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	157
LISTE DES FIGURES	167
LISTE DES TABLEAUX.....	171
GLOSSAIRE D'ABRÉVIATIONS.....	173
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	175
RÉFÉRENCES	179

PARTIE 1. INTRODUCTION

I. CONTEXTE ET MOTIVATION

La réalité virtuelle permet à l'utilisateur de s'extraire de son environnement quotidien et de s'immerger dans un environnement virtuel (EV) où il peut observer, interagir, dialoguer mais aussi apprendre de nouvelles habiletés. Cette souplesse a ouvert des horizons dans plusieurs domaines tels que la robotique, l'urbanisme, l'industrie, l'art, l'éducation, etc. Par exemple, un pilote d'avion peut s'entraîner à des atterrissages difficiles par mauvais temps, sans danger pour lui ou ses passagers. Un chirurgien peut se former à une intervention spécifique, avant de la réaliser réellement. De plus, il existe des situations difficilement reproductibles dans la réalité, tels qu'un déraillement de train ou une complication chirurgicale. Les utilisateurs peuvent alors se former et s'entraîner à des situations complexes et les répéter à volonté. De même l'usage de la réalité virtuelle (RV) dans le traitement de la phobie permet d'exposer le patient à l'objet de sa phobie dans un EV paramétrable et contrôlable.

Un des nouveaux domaines qui a bénéficié des potentiels de la RV est celui de la rééducation cognitive après un accident vasculaire cérébral (AVC) ou un traumatisme crânien (TC) (Klinger and Joseph 2008). La rééducation cognitive est un processus qui permet d'accroître ou d'améliorer la capacité d'un individu à traiter et utiliser l'information entrante de façon à permettre un fonctionnement amélioré dans les activités de la vie quotidienne (Sohlberg and Mateer 1989). Elle a pour objectif de restaurer les fonctions altérées et de maximiser le retour à la vie en communauté et l'autonomie des personnes dans les Activités de Vie Quotidienne (AVQ).

Les thérapeutes évoquent d'une part le manque de généralisation et le déficit de transfert des acquis vers le monde réel de l'approche analytique de restauration des fonctions cognitives, et d'autre part la fragilité du surentraînement sans amélioration des composantes cognitives sous-jacentes de l'approche fonctionnelle. Il y a donc, un manque fréquent de ressources pour délivrer aux patients les interventions nécessaires à leur réadaptation.

Suite au succès dans les domaines de l'apprentissage et de la formation chez des sujets sains, grâce à l'usage des technologies de la réalité virtuelle, les thérapeutes se sont intéressés aux EV fonctionnels. Ils estiment que les technologies de la RV permettraient de remédier aux faiblesses des approches classiquement utilisées en rééducation cognitive. Les EV fonctionnels permettent de simuler des AVQ complexes, par exemple, faire ses courses dans un supermarché virtuel (Klinger, Chemin et al. 2004) ou préparer un café dans une cuisine virtuelle (Cao, Douguet et al. 2010).

Grâce à plusieurs travaux de recherche, ayant eu lieu dans les vingt dernières années dans le domaine de la rééducation cognitive, il est devenu possible d'exercer la rééducation cognitive dans le monde virtuel (Davies, Löfgren et al. 2002, Castelnovo, Lo Priore et al. 2003, Zhang, Abreu et al. 2003, DaCosta and DeCarvalho 2004, Klinger, Chemin et al. 2004, Rizzo,

Schultheis et al. 2004, Klinger 2006, Werner, Rabinowitz et al. 2009). Ces travaux ont permis de comparer les performances, sous réalité virtuelle, de patients et de sujets contrôlés sains, ou encore celles de diverses populations de patients. L'avancement de l'état du patient peut donc être évalué par sa performance dans l'environnement virtuel.

Les fonctions exécutives (FE) recouvrent l'ensemble de processus cognitifs dont la fonction essentielle est de garantir l'adaptation du sujet aux situations nouvelles et/ou complexes, constituant ainsi de véritables fonctions régulatrices du comportement (Meulemans 2006). Les applications de la RV pour la rééducation des fonctions exécutives, simulent dans la plupart des cas des activités de vie quotidienne complexes. Ces environnements virtuels permettent de délivrer aux patients des informations complexes mais aussi multimodales. Une exploitation inadéquate de l'information délivrée par le système virtuel peut impacter négativement la performance des sujets dans la tâche. Comment peut-on alors exploiter le caractère multimodal et la richesse de l'information virtuelle délivrée aux sujets pour améliorer leur performance dans la tâche virtuelle ?

L'objectif général de cette thèse a été d'étudier l'impact des caractéristiques de l'information délivrée par un système virtuel dans une tâche de recherche de cibles dans des perspectives de rééducation cognitive.

II. ORGANISATION DE LA THESE

Cette thèse est organisée de la manière suivante :

- La seconde partie de ce mémoire contient un état de l'art sur l'information dans les EVs et présente l'usage de l'information dans les domaines de l'apprentissage et de la rééducation, basé sur les technologies de la RV. Cette partie commence par un chapitre qui retrace brièvement l'historique de l'utilisation de la RV dans les domaines de l'apprentissage et de la rééducation ;
- Dans la partie 3, nous détaillons la problématique et les hypothèses de notre travail. Nous proposons par la suite une étude théorique sur l'échange de l'information dans un EV puis dans le Virtual Action Planning Supermarket (VAP-S) notre dispositif expérimental. Ensuite, nous présentons notre travail de développement dans le VAP-S en vue des études théoriques proposées ;
- Dans la partie 4, nous présentons les études expérimentales menées pour étudier la validité de nos hypothèses. La première étude concerne le lien entre le champ visuel physique et la performance. La seconde et la troisième étude abordent respectivement les questions de l'impact des stimuli ajoutés contextuels (liés à la tâche) et non contextuels (non liés à la tâche) sur la performance dans une tâche de vie quotidienne simulée.
- La cinquième partie conclut ce travail et présente ses perspectives;

PARTIE 2. ETAT DE L'ART

I. INTRODUCTION

Les utilisateurs des applications fondées sur la réalité virtuelle peuvent être des personnes saines ou des patients avec différentes pathologies, pour des finalités d'apprentissage, de formation, de réhabilitation, de sensibilisation, etc.

Quel que soit l'objectif, quelle que soit la population ciblée, la mise au point de l'application nécessite un échange permanent entre les développeurs, les chercheurs et le formateur ou le thérapeute. Ce travail pluridisciplinaire et collaboratif porte principalement sur les différentes caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel aux sujets, comme par exemple les modalités d'émission (e.g., écran, visiocasque, etc.), le type de l'information (e.g., visuelle, auditive, etc.) ou son degré de réalisme.

Grâce aux interfaces utilisées, le système virtuel peut capter et interpréter les actions motrices de l'utilisateur dans la scène virtuelle et lui restituer en retour les informations sensorielles résultant de son interaction avec la scène virtuelle. L'utilisateur perçoit alors cette scène virtuelle modifiée par ses actions.

Dans une application de réalité virtuelle pour *l'Apprentissage ou la Rééducation*, le processus d'interaction entre le système virtuel et l'utilisateur peut être décrit de la manière suivante : le *Système Virtuel* délivre l'*Information* au *sujet* qui la perçoit. Ensuite, le sujet intègre cette information et réagit avec des actions motrices. Le système virtuel est informé par les actions de l'utilisateur par des interfaces dédiées.

Cette description permet de nous orienter dans le choix des axes à explorer dans notre étude bibliographique qui se divise en 4 parties. La première partie introduit à l'état de l'art. La seconde partie présente une étude sur l'information dans un environnement virtuel. La troisième partie présente l'usage de la réalité virtuelle dans les domaines de l'apprentissage humain et de la rééducation. Quant à la quatrième partie, elle souligne l'exploitation des caractéristiques de l'information dans des applications de RV pour l'apprentissage et la rééducation. La cinquième partie conclut sur l'état de l'art.

II. L'INFORMATION DANS UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL

1. Introduction

Dans ce chapitre qui se divise en six paragraphes, nous présenterons une étude bibliographique sur l'information dans les environnements virtuels en soulignant le processus d'échange qui existe entre l'humain et le système virtuel. Après avoir introduit au chapitre, nous donnons une définition de l'information avec ses facettes multiples selon le domaine considéré. Puis, nous présentons les systèmes d'information permettant de délivrer l'information et d'assurer le processus d'échange entre l'humain et le système virtuel. Nous poursuivons en présentant ce processus d'échange de l'information entre l'utilisateur et le système virtuel. Dans le paragraphe suivant, nous présentons une étude sur la perception de l'information visuelle dans un EV. Ce chapitre se termine par une conclusion.

2. Définition de l'information

Dans notre vie courante, le plus souvent, on peut se satisfaire des approches que le sens commun impose et qui se contente de définir l'information par des exemples tels que les nouvelles et l'actualité, les documents scientifiques, etc. Or, ces définitions triviales ne permettent pas de circonscrire ce concept qui nécessite d'être défini d'une manière plus formelle.

Dans les dictionnaires, l'information est définie comme tout événement, tout fait, tout jugement porté à la connaissance d'un public plus ou moins large, sous forme d'images, de textes, de discours, de sons. (Abréviation familière : info.). Au sens étymologique, l'information est ce qui donne une forme à l'esprit. Elle vient du verbe Latin « informare », qui signifie « donner forme à » ou « se former une idée de » (Pierrel 2005).

L'information est définie aussi comme l'émission, la réception, la création et la retransmission, de signaux groupés oraux ou écrits, sonores, visuels ou audiovisuels. Ces interactions sont en vue de la diffusion et de la communication d'idées, de faits, de connaissances, d'analyses, de concepts, de thèses, de plans, d'objets, de projets, d'effets de toute sorte, dans tous les domaines, agissant ou rétroagissant ainsi sur leur environnement immédiat, proche ou lointain. Le but étant de déclencher éventuellement des processus

dialectiques plus ou moins amples alimentant l'échange, base naturelle et indispensable de l'animation de la vie sociale (Scoffer 2001). Le message en référence à un signifiant explicite ou implicite est donc un élément important dépassant les seules caractéristiques physiques du support de l'information.

D'une manière générale, l'information automatisée est délivrée par un système d'information. Marciniak et Rowe définissent un système d'information comme étant un système intégré « utilisateur-machine » qui produit de l'information dans le but d'assister les êtres humains dans les fonctions de gestion et de prise de décision. Il utilise des équipements informatiques, des logiciels, des bases de données, des procédures manuelles et des modèles pour l'analyse, la planification, le contrôle et la prise de décision. Il représente en effet un ensemble organisé de ressources, qui permettent d'acquérir, de traiter, de stocker, et de communiquer des informations (Marciniak and Rowe 2009).

D'après les auteurs, une information délivrée par un système d'information est considérée pertinente lorsqu'elle vérifie six critères. Elle doit être exhaustive, non bruitée, précise, ponctuelle (nécessité du bon choix de l'information émise et du moment de son émission), avoir une forme bien déterminée et être facilement accessible. La qualité de l'information, sa structure, son organisation et sa représentation constituent des problèmes majeurs dans la conception d'un système d'information.

Dans un système d'information, le processus informant-informé se décompose en cinq sous-processus : la connexion entre l'utilisateur et la machine, la diffusion de l'information, le filtrage de l'information, la cognition et l'action de l'utilisateur.

Un système virtuel peut être considéré comme étant un système d'information avec la particularité de générer et d'assurer l'échange d'informations virtuelles.

3. Définition de la réalité virtuelle

La réalité virtuelle peut avoir plusieurs définitions selon le domaine d'application considéré. Cette diversité de définition n'empêche pas de retrouver des concepts fondamentaux qui réapparaissent dans chacune d'entre elles.

Voici quelques définitions de la réalité virtuelle :

« La réalité virtuelle est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et les interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre-elles avec un ou des utilisateurs en

immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs » (Fuchs, Moreau et al. 2003).

« La réalité virtuelle est l'utilisation d'un ordinateur et d'une interface homme-machine pour créer un monde 3D contenant des objets interactifs, permettant un fort sentiment de présence » (Bryson 1996)

« La réalité virtuelle se réfère aux environnements tridimensionnels générés par ordinateurs, immersifs, interactifs, multi-sensoriels et centrés sur l'utilisateur, ainsi qu'à la combinaison des technologies requises pour construire ces environnements » (Cruz-Neira, J-Sandin et al. 1993)

Dans les trois définitions présentées, on retrouve plus ou moins évoqués les concepts clés de la réalité virtuelle :

- l'informatique qui représente la technologie qui permet de créer le monde virtuel ;
- les interfaces comportementales qui assurent l'échange d'information entre l'utilisateur et le système virtuel ;
- le monde virtuel qui est le monde artificiel créé avec les technologies de l'informatique pour des objectifs variés ;
- l'interaction qui souligne l'échange d'information entre l'utilisateur et le système virtuel dans le cadre de la boucle « perception, cognition, action » ;
- l'immersion qui cherche à rendre compte de la couverture sensorielle et motrice de l'utilisateur par le système ;
- le concept du « temps réel », une notion fondamentale qui permet à l'utilisateur de ne pas sentir un temps de latence entre ses actions motrices et les réponses du système virtuel.

4. L'information dans un environnement virtuel

En réalité virtuelle, le monde virtuel ainsi que les objets le constituant, sont des informations. L'utilisateur de la réalité virtuelle ne dispose pas de toutes les perceptions sensorielles ni de toutes les possibilités d'action caractéristiques de la situation naturelle (il n'y a pas immersion totale).

Typiquement les informations proprioceptives, les sensations tactiles et les retours d'efforts sont difficiles à reproduire et donc plus limités à l'usage. Néanmoins, l'application fonctionne. De la même manière que sur le plan perceptif, le spectateur dans une salle de cinéma peut être captivé par une situation, une scène, un film bien que l'immersion soit très partielle. Le cerveau dispose d'importantes capacités de focalisation d'attention sur certaines perceptions, et de complétion c'est-à-dire d'activation d'images mentales à partir d'informations incomplètes à condition que les informations essentielles soient disponibles (Grumbach 2001).

D'après Grumbach (Grumbach 2001), le traitement de l'information effectué par l'opérateur peut s'exprimer à partir de : (1) l'image mentale de l'information perçue ; (2) l'intention du sujet : il s'agit de la motivation pour laquelle il se trouve dans la situation de réalité virtuelle (mentalo-ception) ; (3) l'image mentale de l'action émise qui désigne l'activité mentale conséquente au choix d'action effectué par le sujet, avant qu'il ne déclenche celle-ci.

L'information délivrée par le système virtuel peut avoir différents degrés de réalisme. Il faut noter que le réalisme peut concerner plusieurs aspects du monde virtuel. On peut avoir un réalisme au niveau de certaines modalités sensorimotrices et aussi un réalisme au niveau des activités cognitives (Burkhardt and Lourdeaux 2006).

Le réalisme pour des activités cognitives peut être accompagné du réalisme au niveau sensorimoteur. Ce cas concerne les applications dont le principal objectif est d'obtenir un réalisme au niveau de la fidélité psychologique et aussi pour certaines modalités sensorimotrices comme par exemple les environnements virtuels pour la formation et l'apprentissage.

Le réalisme des activités cognitives peut aussi ne pas être accompagné du réalisme au niveau de certaines modalités sensorimotrices. Ce cas concerne les applications qui simulent des activités cognitives, avec seulement une mise en situation sensori-motrice du sujet pour lui permettre d'agir dans l'environnement virtuel. Le principal objectif est d'obtenir un réalisme au niveau de la fidélité psychologique. C'est le cas en général des formations en environnement virtuel axées sur l'apprentissage à des protocoles, comme la formation à la conception de l'organisation de secours. Dans ce type d'application, le niveau de réalisme peut être variable et modifiable par le praticien pour ses besoins de traitement. Ainsi, le réalisme au niveau de la fidélité perceptive est recherché, parfois à son état maximum, parfois à un niveau moindre.

Dans d'autres applications, le réalisme est souhaitable mais pas obligatoire. Dans ce cas, pour faciliter l'immersion et l'interaction des sujets dans le monde virtuel, on peut exploiter un schéma comportemental importé du monde réel plutôt qu'une métaphore. Dans d'autres applications, le réalisme est inadapté (e.g., on ne veut pas représenter les molécules à l'échelle 1).

5. Echange d'information dans un environnement virtuel

L'information est délivrée à l'utilisateur via des interfaces spécifiques homme-machine. Une interface homme-machine est définie comme l'ensemble de dispositifs matériels et logiciels permettant à un utilisateur de communiquer et d'échanger de l'information avec un système informatique (Sillard 1999). Les interfaces comportementales sont des interfaces hommes-machines.

Le terme interfaces comportementales a été employé pour la première fois par Fuchs (Fuchs 1996) pour différencier celles-ci des interfaces homme-machine ou des interfaces matérielles. Ce concept a été mis en place suite à la « révolution » ayant eu lieu dans les vingt dernières années dans les interfaces spécifiques à la réalité virtuelle permettant de discerner une nouvelle approche d'interfaçage entre l'homme et la machine. Cet interfaçage offre aux utilisateurs la possibilité de réaliser des activités dans le monde virtuel en exploitant leurs comportements dans le monde réel. Ainsi « l'interface comportementale repose sur un dispositif qui exploite la motricité ou les perceptions de l'homme issues de son comportement dans le monde réel » (Fuchs 1996).

Une large gamme d'interfaces comportementales plus ou moins complexes existe. Elles visent chacune des modalités sensorielles (vision, audition, sensation tactile, retour d'effort, etc.) et offrent des spectres de couverture variables de ces modalités. C'est la qualité et le degré de couverture sensorielle plus ou moins grand qui caractérise la notion d'immersion.

Les interfaces sensorielles peuvent ainsi être classées selon l'organe sensoriel de l'utilisateur qui perçoit l'information (Burkhardt and Lourdeaux 2006). On retrouve donc :

- Les interfaces visuelles : conçues pour transmettre l'information visuelle aux yeux de l'utilisateur ;
- Les interfaces auditives : permettant d'émettre les sons aux oreilles de l'utilisateur ;
- Les interfaces tactiles : permettant une transmission mécanique sur la peau ;
- Les interfaces proprioceptives (retour d'effort et simulation de mouvement) : permettant des transmissions mécaniques sur le corps.

Il existe 3 types d'interfaces pour l'échange de l'information entre le système virtuel et l'utilisateur : *Les interfaces sensorielles, les interfaces motrices et les interfaces sensorimotrices* (Fuchs 1999). Les interfaces sensorielles permettent d'informer l'utilisateur des informations émises par le système virtuel (e.g, l'écran d'un ordinateur pour l'information visuelle, les hauts parleurs pour l'information auditive, ...). Les interfaces motrices, informent le système virtuel des informations (réponses motrices) fournies par l'utilisateur (e.g, clavier,

souris, joystick, ...). Quant aux interfaces sensori-motrices, elles permettent d'informer dans les deux sens (bras à retour d'effort, écran tactile, ...).

La Figure 1 illustre l'échange d'information entre l'utilisateur et le système virtuel et les 3 types d'interfaces.

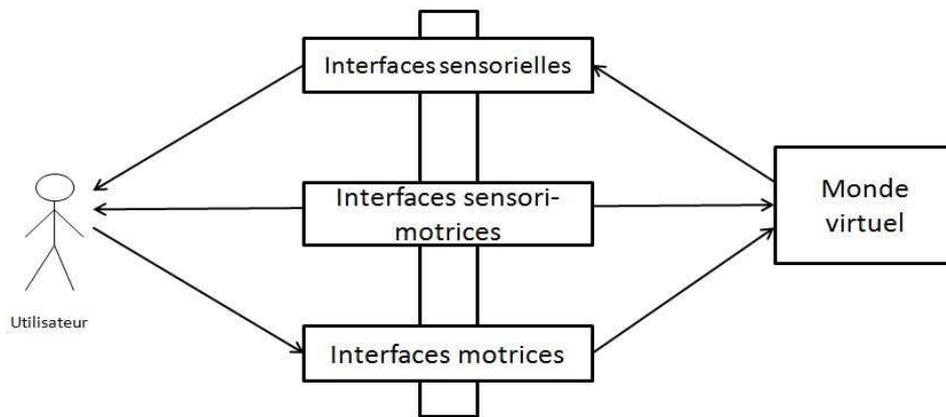


Figure 1. Echange d'information entre le système virtuel et l'utilisateur (Fuchs 1999)

Une interface comportementale est dite « transparente » lorsqu'elle devient non perçue par l'utilisateur au cours de son utilisation. L'interface est transparente si : (1) elle ne gêne pas ou peu, physiquement l'utilisateur, en particulier dans ses mouvements (2) elle ne nécessite pas ou peu d'apprentissage (Burkhardt and Lourdeaux 2006).

L'information dans un environnement virtuel peut avoir plusieurs formes selon sa modalité d'émission et le sens humain qui capte cette information. Elle peut être visuelle, auditive, haptique, olfactive, etc. Les deux formes principales, utilisées le plus souvent dans les applications de réalité virtuelle sont la forme visuelle et la forme auditive.

L'information délivrée par le système virtuel, prend sa forme selon le but de l'application (d'ailleurs, c'est le cas pour toute autre caractéristique de l'information). Par exemple, dans certaines applications, l'information peut être principalement auditive comme dans le cas des environnements virtuels conçus pour la prise en charge des personnes aveugles (Lumbreras and Sanchez 2000). Dans d'autres applications, elle peut être principalement visuelle comme dans les systèmes de réalité virtuelle implémentés pour la rééducation à la marche chez des personnes atteintes de la maladie de parkinson (Baram, Aharon-Peretz et al. 2002).

Dans un environnement virtuel, une des caractéristiques de l'information visuelle est le champ visuel (FOV). Il existe deux types de champs visuels : le champ visuel physique (PFOV) qui correspond à l'angle de vision formé par les deux extrémités de l'écran et les yeux de l'utilisateur et le champ visuel logiciel (SFOV) qui correspond à la valeur de l'angle de vision de la caméra virtuelle.

6. Perception de l'information visuelle dans un environnement virtuel

Les environnements virtuels délivrent aux participants différents types d'informations. Il existe dans la littérature des travaux qui ont utilisé des informations auditives, olfactives ou tactiles dans des tâches d'évaluation et de rééducation (Rizzo, Newman et al. 2009, Sanchez, Tadres et al. 2009). Néanmoins, le nombre de ces travaux reste limité et la plupart des travaux qui utilisent les technologies de la réalité virtuelle pour la rééducation utilisent plutôt les informations visuelles et auditives.

Plusieurs facteurs peuvent avoir un effet considérable sur le processus d'interaction humain-système virtuel et donc sur la performance des sujets dans la tâche virtuelle. Parmi ces facteurs on distingue principalement le champ visuel physique (PFOV), et le champ visuel logiciel (SFOV).

A. Caractéristiques de la vision en monde virtuel

Les dispositifs d'affichage visuel présentent l'information à l'utilisateur à travers le système visuel humain (processus de vision). La vision peut être définie comme l'ensemble des mécanismes physiologiques et psychologiques par lesquels la lumière émise ou réfléchiée par l'environnement détermine des impressions sensorielles de natures variées, comme les formes, les couleurs, les textures, le mouvement, la distance et le relief. Ces mécanismes font intervenir l'œil, organe récepteur de la vue, ainsi que des processus cognitifs complexes mis en œuvre par des zones spécialisées du cerveau (Jacob 2005).

Le fonctionnement du système visuel ne se limite pas à une analyse statique des images qui sont projetées sur la rétine mais celui-ci construit dynamiquement un monde visuel. A la réception sur la rétine de la lumière, celle-ci est transformée en signaux chimiques puis électriques et ensuite des traitements spécialisés travaillent en parallèle et décomposent l'information. Les images formées sur les deux rétines sont décomposées selon des critères de profondeur, de forme, de couleur et de mouvement. Mais avant l'extraction des formes ou de la profondeur, des informations de bas niveau sont traitées et exploitées : des canaux fréquentiels travaillant en parallèle sont chargés d'établir des représentations de l'information visuelle à différentes échelles de l'espace observé (Fuchs, Hafez et al. 2003).

La perception de la profondeur d'un monde tridimensionnel ne découle pas seulement de la vision binoculaire. Avec seulement un œil, l'homme interprète l'image reçue et en déduit des

notions de profondeur. Cette interprétation se fait inconsciemment par traitement cognitif grâce à l'expérience apprise dès le plus jeune âge. Au stade précoce du traitement visuel, la décomposition et le traitement de l'information visuelle par différents canaux permettent d'utiliser une série variée d'indices pour la perception de l'espace tridimensionnel, donc de la profondeur. Ces indices se décomposent en deux grandes catégories :

- les indices proprioceptifs (dus aux actions des muscles orbitaux et ciliaires), composés de l'accommodation et de la convergence : ces indices sont fiables à faible distance (quelques mètres) ;
- les indices visuels, composés des indices binoculaires et des indices monoculaires.

Les indices proprioceptifs, accommodation et convergence, sont ajustés par le système visuel. C'est par la valeur de commande des muscles orbitaux et ciliaires que le cerveau a une perception proprioceptive de la profondeur de l'objet observé.

En vision monoculaire, les indices monoculaires, appris inconsciemment, permettent d'appréhender la troisième dimension avec un œil, même si la perception de la profondeur est nettement mieux quantifiée avec la vision binoculaire. Les indices monoculaires peuvent être classés de la façon suivante (Fuchs, Moreau et al. 2006) :

- Ombres et les lumières : Les variations de lumière et les ombres sur les objets permettent d'avoir une meilleure perception de la forme tridimensionnelle de ceux-ci ;
- Interposition : deux objets identiques ayant la même taille, si l'un est plus petit que l'autre, le cerveau comprendra qu'il est situé plus loin ;
- Gradient de la texture d'une surface : La texture d'une surface est perçue plus nettement si la surface est positionnée à faible profondeur ;
- Variation de visibilité dans une scène extérieure : La visibilité d'une scène extérieure est décroissante en fonction de l'épaisseur de la couche atmosphérique, donc de la profondeur ;
- Parallaxe due aux mouvements : Pendant le déplacement d'un sujet, les images rétiniennes d'objets immobiles bougent en fonction de leurs distance par rapport à l'observateur ;
- Perspective : Elle permet de percevoir le monde en relief sur un écran monoscopique. Il existe plusieurs types de perspectives (cavalière, géométrique, photographique, artistique).

La formation de l'image sur le fond de l'œil répond aux principes généraux de celles d'une image sur un film, à travers les lentilles d'une caméra. Mais à la différence d'un film, l'œil est tapissé d'une mince couche de cellules nerveuses, dite rétine. Sur le fond de ses rétines,

l'observateur recueille 2 images 2D à partir d'un objet 3D réel, son système visuel en extrait une perception 3D (Fuchs, Moreau et al. 2003).

La vision est caractérisée par un champ de regard et un champ de vision. Le champ de regard (FOR) correspond à l'espace physique entourant l'utilisateur dans lequel les images visuelles sont affichées. Par exemple si l'on construit un affichage cylindrique dans lequel l'utilisateur peut s'installer, l'affichage a un champ de regard horizontal de 360° (Bowman, Kruijff et al. 2004).

La partie du monde extérieur représentée sur la rétine, dépend de la direction dans laquelle les yeux sont dirigés. Cette partie de l'espace est appelée champ visuel physique (PFOV) (Robert 2003). Le champ visuel physique correspond au nombre maximal de degrés d'angles visuels qui peuvent être vus simultanément dans un affichage. Par exemple sur un écran de projection large, le champ de vision est entre 80° et 120° dépendant de la position de l'utilisateur par rapport à l'écran.

D'une manière générale, le FOV est plus petit ou égal au FOR. C'est-à-dire qu'à chaque instant, un utilisateur peut voir α degrés (PFOV) sur la totalité de β degrés (FOR) disponible pour lui (Bowman, Kruijff et al. 2004). Le champ visuel binoculaire correspond à l'espace perçu par les deux yeux immobiles fixant droit devant. Il s'étend sur 120 degrés, encadré de part et d'autre d'un croissant de perception monoculaire de 30° (Zanglonhi, Avital et al. 2000). La vision dans un environnement virtuel se caractérise aussi par le champ visuel logiciel (SFOV) qui correspond à la valeur de l'angle de la caméra dans le monde virtuel.

Foels et Jonqueres ont proposé une carte de pondération du champ visuel binoculaire afin de permettre l'évaluation quantitative d'une atteinte périmétrique sur la vie quotidienne d'un patient (Foels and Jonqueres 1989). Elle divise le champ visuel en 85 rectangles de surface inégale. Chaque rectangle non vu donne 1 % de taux médical d'incapacité.

La Figure 2 représente la carte de pondération binoculaire d'une patiente cérébrolésée, âgée de 25 ans, présentant une quadranopsie latérale homonyme supérieure droite. 33 rectangles roses testés en statique ne sont pas vus. Son taux médical d'incapacité en champ visuel est donc de 33% (Zanglonhi, Avital et al. 2000).

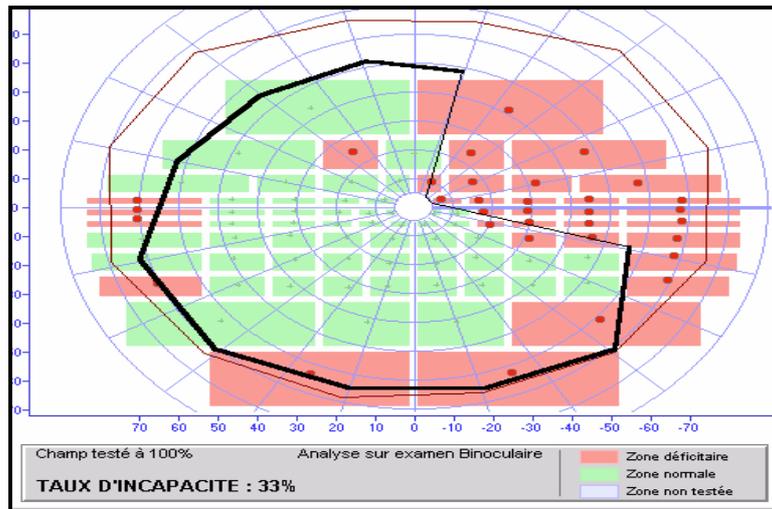


Figure 2. Carte de pondération du champ visuel binoculaire

D'une manière générale les objets perçus par l'œil sont reconnus en fonction de leur emplacement dans le champ visuel. La figure suivante représente les champs de reconnaissance de différents objets par le système visuel (Panero and Zelnik 1992).

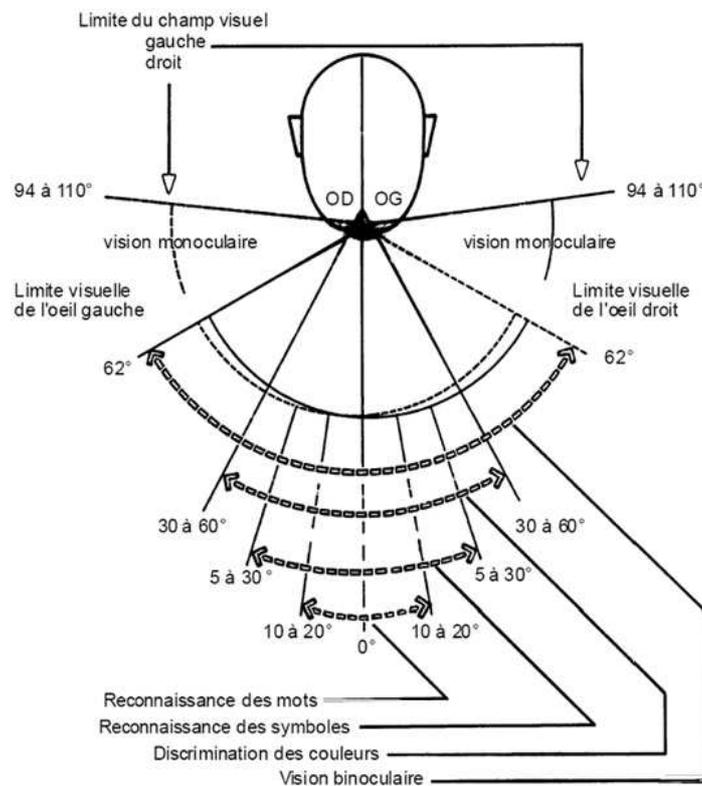


Figure 3. Le champ visuel et ses différentes zones dans un plan horizontal

En regardant un objet à moins de 65 mètres environ, l'image réfléchi deviendrait floue sur la rétine si l'œil ne possédait le pouvoir d'accommoder automatiquement. Sous l'action des muscles ciliaires, la puissance du cristallin varie et permet de mettre au point sur la rétine pour voir des objets proches ou éloignés: c'est le phénomène d'accommodation. Il est important de signaler que l'accommodation et la convergence des yeux étant toutes deux liées à la profondeur de l'objet que l'on observe, il en découle une relation entre celles-ci. Cette correspondance n'est pas innée chez l'homme mais est apprise expérimentalement et inconsciemment par l'enfant. Cette relation naturelle peut être mise en défaut artificiellement lorsque l'on regarde des images stéréoscopiques sur un écran : un objet virtuel positionné en arrière de l'écran fait converger les axes optiques sur lui tandis que les yeux s'accommodent sur l'écran. Cette modification de la relation convergence-accommodation est susceptible de créer des difficultés visuelles et de la fatigue pour l'utilisateur (Fuchs, Moreau et al. 2003).

B. Etude du SFOV dans des applications de réalité virtuelle pour des sujets sains

Le champ visuel logiciel (SFOV) correspond à la valeur de l'angle de la caméra dans le monde virtuel. Le SFOV peut déformer la vision de l'environnement virtuel par l'utilisateur et avoir un effet considérable sur sa navigation et son interaction avec les objets dans l'environnement virtuel. La navigation devient alors plus difficile et moins naturelle car les distances séparant l'utilisateur des obstacles sont mal estimées et les collisions sont ainsi plus nombreuses.

La manipulation d'objets peut aussi être affectée si l'objet à modifier change de forme en fonction de sa place sur l'écran. Dans ce contexte, Polys et al. ont mis en œuvre un environnement virtuel riche en information (Information-Rich Virtual Environment) pour étudier l'effet d'un champ visuel trop large ou trop étroit dans certaines tâches virtuelles chez des sujets sains (Polys, Kim et al. 2007). Les participants devaient trouver une information abstraite selon des critères spatiaux ou bien trouver une information spatiale en fonction de critères abstraits.

Les auteurs en concluent qu'un SFOV trop étroit a un impact négatif sur une tâche de recherche et d'orientation spatiale car il n'y a qu'un trop petit nombre d'informations affichées à l'écran à la fois et le temps de recherche s'en trouve augmenté.

Les sujets ont également été impliqués dans des tâches de comparaisons qui consistaient à comparer des informations abstraites selon des critères spatiaux ou bien à comparer des informations spatiales en fonction de critères abstraits. Dans ces conditions, un SFOV trop large est néfaste car les objets situés sur les bords de l'écran sont très déformés et des erreurs d'estimation des distances ou des formes apparaissent. L'impact d'un champ visuel plus large

sur la performance dans une tâche virtuelle peut ainsi être positif ou négatif selon le type de la tâche.

Dans le contexte de l'apprentissage virtuel, Sowndararajan a étudié l'impact du SFOV sur performance dans la tâche virtuelle (Sowndararajan 2008). Il a mené des expérimentations dans lesquels les participants devaient placer des objets virtuels sur une grille dans un ordre préétabli. La difficulté de la tâche augmente en fonction du nombre d'objets à placer.

L'apprentissage s'est déroulé dans deux conditions : une condition avec un champ visuel logiciel adapté (90 degrés) et une condition avec un champ visuel logiciel non adapté (135° degrés). Les résultats des tests démontrent qu'un champ visuel logiciel adapté améliore la compréhension de l'espace ce qui augmente significativement l'efficacité de l'apprentissage et de la mémorisation dans les tâches d'apprentissage.

C. Etude du PFOV dans des applications de réalité virtuelle pour des sujets sains

Diverses études ont abordé la problématique de l'effet du champ visuel physique sur la performance dans une tâche virtuelle chez des sujets sains. Ces études ont été menées majoritairement dans des tâches relatives à la mémoire spatiale, en adoptant deux approches pour le choix du champ visuel.

La première approche consiste à garder un champ de vision constant face à des écrans de taille variable en ajustant la distance par rapport aux écrans. La Figure 4 illustre les conditions expérimentales adoptées dans cette approche.

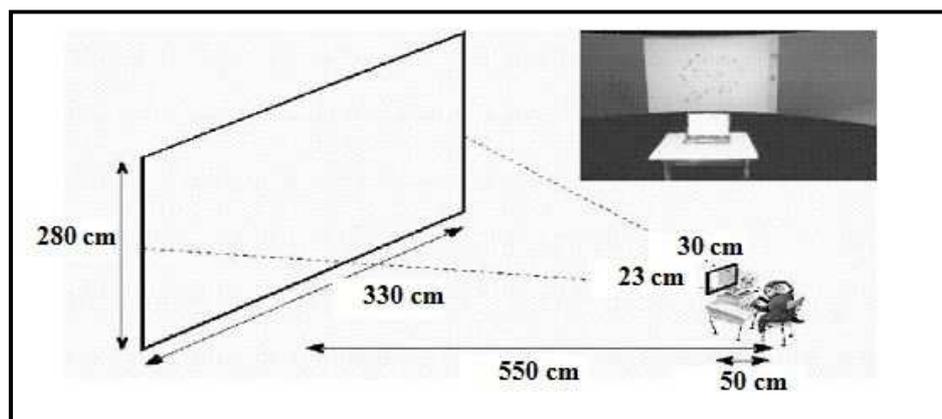


Figure 4. Deux tailles d'écran pour un champ visuel constant (distance variable)

Il est important de signaler que cette configuration induit le même champ visuel quelle que soit la taille de l'écran. Il en résulte que les objets vus sous le même angle visuel ont

exactement la même taille sur la rétine quelle que soit leur grandeur réelle à l'écran (Rodieck 2003).

Ainsi, lors d'une séance d'expérimentation adoptant cette approche, l'utilisateur perçoit des informations de même taille sur la rétine sur les deux types d'affichage dans les deux configurations.

Dans la Figure 5, trois objets de tailles différentes O1, O2 et O3, sont vus sous le même angle de vision α , ce qui induit 3 objets de même taille sur la rétine.

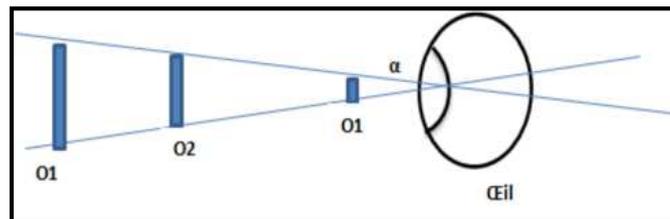


Figure 5. Les objets vus sous le même angle visuel ont la même taille sur la rétine

Dans l'étude de Patrick et al., 48 personnes ont participé à une tâche de reconnaissance spatiale dans un environnement virtuel, puis de reproduction de la carte cognitive de cet environnement. Dans ces travaux, deux configurations ont été mises en œuvre qui aboutissent à un champ visuel de 42° . Dans la première configuration, les utilisateurs ont été placés à une distance de 0.69 m d'un écran de largeur 0.53 m. Dans la seconde configuration, les utilisateurs ont été placés à une distance de 2.66 m d'un écran de projection de largeur 3.35 m. Les résultats montrent une détérioration de l'appréciation des distances dans la condition petit écran que les auteurs expliquent par une variation du champ visuel en raison des mouvements de l'utilisateur lors de l'expérimentation (Patrick, Cosgrove et al. 2000).

Dans leurs travaux, Tan et al. (2006) avaient mis en œuvre deux conditions expérimentales voisines en plaçant les participants face à deux écrans de largeurs 0.36 m et 1.93 m à une distance de 0.64 m du petit écran et de 3.45 m du grand écran, conduisant à un champ visuel de 52° . Les participants ont réalisé deux tâches différentes : une tâche de navigation dans un environnement 3D complexe et une tâche de lecture et de compréhension. Les résultats montrent que lors de stratégies égocentriques (c.-à-d. que l'utilisateur doit imaginer son point de vue comme s'il était présent dans l'environnement), le grand écran permet d'améliorer la performance des utilisateurs dans des tâches d'orientation spatiale. En revanche, aucune différence n'a été notée dans la tâche de lecture et de compréhension entre les deux types d'affichage (Tan, Gergle et al. 2006).

La seconde approche consiste à positionner le participant à une distance fixe par rapport à deux écrans de tailles différentes, induisant ainsi une variation du champ visuel et donc de la

taille des objets sur la rétine. Ainsi dans leurs travaux, Ni et al. (2006) aient placé l'utilisateur à une distance de 0.61 m environ par rapport à deux écrans de largeurs respectives 0.50 et 1.20 m, faisant passer le champ visuel physique de 48° pour le petit écran à 90° pour le grand écran. La Figure 6 illustre les conditions expérimentales adoptées dans cette approche. Ni et al. ont pu montrer à travers leurs travaux que l'augmentation de la taille de l'écran, et donc du champ visuel, conduit à plus d'efficacité dans une tâche de navigation spatiale (Ni, Bowman et al. 2006).

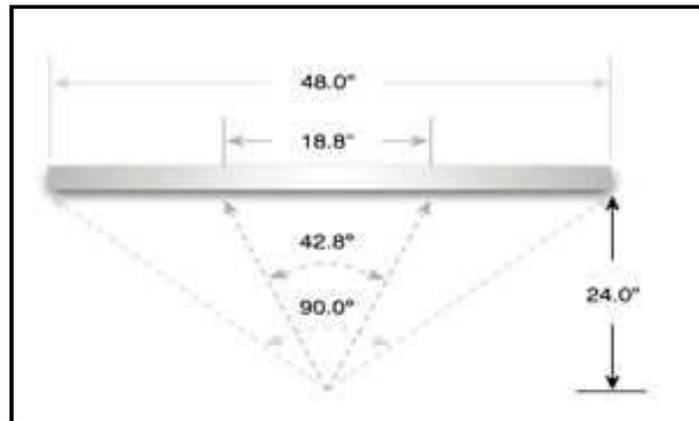


Figure 6. Deux tailles d'écrans pour un champ visuel variable

7. Conclusion

Dans cette partie de l'état de l'art, après avoir défini l'information avec ses facettes multiples, nous avons présenté l'échange de l'information entre l'utilisateur et le système virtuel ainsi que les interfaces comportementales assurant cet échange. Nous nous sommes intéressés en particulier à deux caractéristiques de l'information visuelle qui sont le champ visuel physique et le champ visuel logiciel. Ensuite, nous avons présenté des travaux étudiant l'impact des modalités d'émission de l'information visuelle (le PFOV et le SFOV) dans un environnement virtuel sur la performance dans une tâche virtuelle chez des sujets sains.

Nous pouvons constater à travers les travaux présentés qu'il est relativement facile de manipuler expérimentalement les différentes informations virtuelles délivrées aux sujets dans le processus d'interaction utilisateur-système virtuel. Cette facilité de manipulation peut être exploitée dans les applications de réalité virtuelle pour l'apprentissage et pour la rééducation chez des personnes saines mais aussi chez des personnes atteintes de lésions cérébrales.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter comment les domaines de l'apprentissage et de la rééducation ont bénéficié des potentiels de la réalité virtuelle.

III. L'USAGE DE LA REALITE VIRTUELLE DANS LE DOMAINE DE LA REEDUCATION

1. Introduction

Comme nous l'avons signalé dans le chapitre précédent, le domaine de l'apprentissage, et plus récemment le domaine de la rééducation, font partie des domaines à bénéficier des potentiels de la réalité virtuelle. L'usage des technologies de la réalité virtuelle dans ces domaines a offert de nouveaux paradigmes d'interaction « système virtuel-apprenant » et « système virtuel-patient », en procurant au participant un monde artificiel dans lequel il devient acteur.

A l'encontre des applications de la réalité virtuelle pour l'apprentissage, qui sont destinées à des personnes saines, les applications de la réalité virtuelle pour la rééducation sont destinées à des patients avec des troubles pouvant être moteurs, cognitifs, sensoriels ou comportementaux. Dans le premier cas, il s'agit principalement de l'apprentissage de nouvelles habilités (e.g., gestes professionnels de soudure (Steib, L. Da Dalto et al. 2005)) alors que dans le second cas, il s'agit d'un réapprentissage des habilités perdues totalement ou partiellement par les patients (e.g., réhabilitation à la marche (Kaminsky, Dudgeon et al. 2007)).

Dans les applications de la réalité virtuelle pour des patients, nous allons nous intéresser principalement aux applications dédiées aux patients avec des troubles cognitifs.

2. Méthodes classiques pour la prise en charge de patients cérébrolésés

Cette partie est consacrée à l'exposition des méthodes classiques pour la prise en charge de patients cérébrolésés et en particulier des personnes atteintes de dysfonctionnements exécutifs. Cette introduction va permettre de mieux souligner les avantages et les apports de la réalité virtuelle dans ce domaine. Nous avons choisi de faire un focus sur les fonctions exécutives car les troubles affectant les fonctions exécutives participent très largement aux difficultés d'adaptation familiale, sociale et professionnelle rencontrés par les patients. Dès lors, les fonctions exécutives jouent un rôle important dans l'adaptation des patients aux différentes situations de la vie quotidienne (Allain, Aubin et al. 2006). En conséquence, la prise en charge des troubles des fonctions exécutives est indispensable pour maximiser le retour à la vie en communauté des patients.

A. Les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives peuvent être définies par un rôle de contrôle intervenant en particulier dans des situations non familières ou complexes nécessitant la coordination de différentes actions vers un but finalisé. Il s'agit de capacités de contrôle de haut niveau impliquant la prise de décision et l'inhibition de comportements inappropriés. C'est-à-dire qu'à chaque fois que le répertoire de nos habilités apprises, de nos habitudes, de nos réflexes, ne nous permet pas d'affronter adéquatement une situation, le fonctionnement exécutif est susceptible de déterminer la réponse comportementale adaptée. Elles recouvrent donc l'ensemble de processus cognitifs dont la fonction essentielle est de garantir l'adaptation du sujet aux situations nouvelles et/ou complexes, constituant ainsi de véritables fonctions régulatrices du comportement (Meulemans 2006).

En conséquence, dans notre vie quotidienne, un grand nombre d'actions sont réalisées sans attention particulière et donc d'une manière principalement automatique, alors qu'un contrôle attentionnel volontaire important s'avère lorsqu'une composante de planification ou d'inhibition d'un comportement dominant est requise (Duprey, Allain et al. 2006).

Les fonctions exécutives ont fait l'objet de plusieurs études qui proposent différents modèles théoriques tentant de les expliquer. Le modèle de contrôle attentionnel de l'action développé par Norman et Shallice est à l'origine des propositions théoriques les plus pertinentes dans le domaine des fonctions exécutives. Ce modèle est basé sur l'idée que nous sommes capables de réaliser un grand nombre d'activités sans réellement y prêter attention, de manière automatique, alors que certaines situations (telles que les situations nouvelles qui impliquent une composante de planification) requièrent un contrôle attentionnel volontaire (Norman and Shallice 1986). Ce modèle est représenté dans la Figure 7.

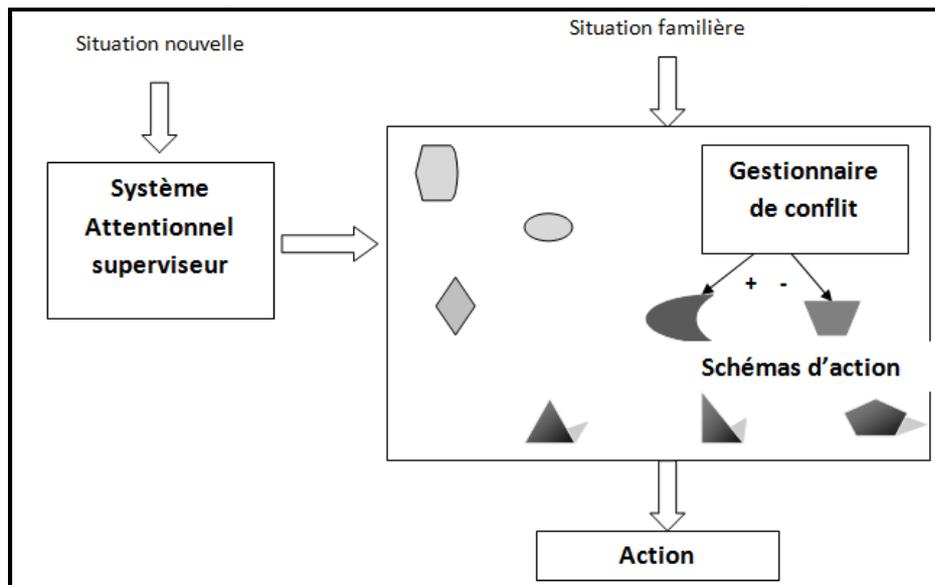


Figure 7. Le mode de contrôle attentionnel de Norman et Shallice

L'unité fondamentale de ce modèle est le *schéma d'actions*. Il consiste en un ensemble de structures de connaissances contrôlant des séquences d'actions ou des pensées sur-apprises, telles que par exemple préparer une tasse de café ou sortir la voiture du garage.

Selon Rabbitt et al. L'intervention des fonctions exécutives dans une tâche est fonction de 8 critères (Rabbitt 1997) :

- La nouveauté ;
- Lors de la recherche active de l'information en mémoire ;
- Lors du passage d'une séquence comportementale à une autre (l'inhibition) ;
- Lors du choix d'une réponse selon le contexte ;
- Lors de la répartition des ressources (réalisation simultanée de plusieurs tâches) ;
- Dans le monitoring d'actions et la mise en place de nouveaux plans d'action ;
- Dans le maintien d'une activité (longues séquences actions) ;
- Accessible à la conscience.

B. Méthodes papier-crayon

Evaluation

Des troubles affectant les fonctions exécutives peuvent s’observer dans de nombreuses pathologies neurologiques (traumatisme crânien, maladies neurodégénératives ...) et psychiatriques (autisme, schizophrénie, etc.). Ces troubles participent très largement aux difficultés d’adaptation familiale, sociale et professionnelle rencontrés par les patients. L’identification des troubles des fonctions exécutives est donc un problème central en neuropsychologie (Allain, Aubin et al. 2006).

Le tableau ci-dessous représente quelques méthodes classiques proposées pour l’évaluation des fonctions exécutives (Allain, Aubin et al. 2006). Elles sont présentées selon les processus exécutifs classiquement décrits dans la littérature, à savoir l’inhibition, la flexibilité mentale, l’élaboration conceptuelle, la déduction des règles, la planification, la mémoire de travail.

Fonction exécutive	Méthode d’évaluation proposée
- Processus inhibiteur	- Test de Stroop - Test Go/No-go - Test Hayling
- Flexibilité cognitive	- Trail Making Test : - Les tâches de fluences
- Elaboration conceptuelle	- Wisconsin Card Storing
- Déduction des règles	- Test de Brixton
- Planification	- Epreuve de la tour de Londres
- Mémoire de travail	- Le paradigme de double tâche - Génération aléatoire de chiffres ou de lettres - Test des Empan

Tableau 1. Méthodes classiques d’évaluation des fonctions exécutives

Rééducation

La rééducation des fonctions exécutives peut être considérée comme étant l’ensemble des procédures qui visent à fournir au patient le répertoire comportemental nécessaire à la

résolution de problèmes ou à l'exécution de tâches qui paraissent difficiles ou impossibles depuis la lésion cérébrale (Castelnuovo, Lo Priore et al. 2003).

En trente ans, des progrès considérables ont été réalisés dans le domaine de la rééducation cognitive. Cette dernière était quasiment limitée à la rééducation du langage. Depuis, sont apparues des approches nouvelles, dans le domaine de la mémoire, de l'attention spatiale et non spatiale mais surtout des fonctions exécutives (Seron, Rossetti et al. 2008).

Les stratégies de rééducation des fonctions exécutives sont classées sous 4 catégories (P.Alain 2008):

- *Restauration des fonctions déficitaires* : l'enjeu de cette stratégie de réhabilitation est d'améliorer la fonction cognitive déficitaire par l'entraînement, soit en se focalisant sur une fonction ou un type de perturbation, soit en utilisant des activités de la vie quotidienne. Cette procédure est basée sur une progression graduelle, la répétition et la confrontation du sujet à ses performances. Une décomposition de la tâche en sous ensemble hiérarchisé de tâches est proposée. Les programmes proposés ont pour objectif d'étendre l'amélioration des performances ou l'application des procédures acquises à des tâches similaires voire moins spécifiques et d'assurer à distance le maintien de ces acquisitions ;
- *Réorientation vers des fonctions réservées* : Cette démarche rééducative consiste en s'appuyant sur des niveaux préservés du fonctionnement cognitif, à tenter d'amener le patient à utiliser des solutions nouvelles. Cette technique nécessite chez le patient une certaine connaissance de ces troubles afin d'opérationnaliser au mieux les ressources résiduelles. Le plus souvent, il est fait appel à des niveaux cognitifs hiérarchiquement inférieurs en particulier ceux qui sont performant dans des situations de routine.

On pourra ainsi réapprendre certaines séquences d'action. Les différentes étapes de l'activité à apprendre sont à présenter l'une après l'autre, par écrit, et les indices externes sont progressivement estompés, jusqu'à ce que le patient parvienne à réaliser la tâche de manière quasiment automatique ;

- *Contention comportementale* : les troubles émotionnels, de la personnalité ou encore des conduites sociales sont souvent des obstacles majeurs à la réinsertion familiale, sociale ou professionnelle. Ce type d'approche s'appuie le plus souvent sur des techniques de conditionnement opérant à partir de paradigmes classiques de renforcement positifs ou négatifs. Les objectifs sont la prise de conscience, l'auto-inhibition, l'autocontrôle ;
- *Substitution et compensation par des aides externes* : Cette technique s'appuie sur les interventions extérieures d'un tiers ou de moyens matériels ainsi que l'organisation préalable de l'environnement et des tâches. L'objectif poursuivi est d'assurer la mise en œuvre de l'activité au moment opportun, de réduire les interférences et d'assurer une supervision externe. Cette approche nécessite une analyse minutieuse des situations et des

tâches. Les procédures reposent sur l'organisation temporelle des activités (planification, gestion du temps) et le contrôle des résultats. Ces techniques utilisées dans le cadre domestique ou institutionnel, par les proches ou les équipes soignantes, n'ont fait l'objet que de fort peu d'évaluations spécifiques d'efficacité, toujours difficiles à réaliser.

C. Méthodes écologiques

Cette approche consiste à passer en revue toutes les activités ordinaires de la vie et à entraîner le patient à les réaliser (tâches de toilette, tâches de petit déjeuner, habillage, tâches de cuisine, etc.). Il a été confirmé à travers plusieurs travaux dans la littérature qu'une telle évaluation est sensible pour détecter les troubles exécutifs.

Ces travaux ont été basés sur des tâches très variées tels que de la recherche d'un chemin entre un point donné et une destination fixée (Boyd and Sautter 1993) et à la réalisation d'une tâche dans une cuisine (Chevignard, Pillon et al. 2000, Chevignard, Taillefer et al. 2006).

Cependant, cette approche présente quelques inconvénients. Il est évident que c'est une approche difficile à mettre en œuvre dans la pratique courante car elle nécessite de la part des thérapeutes de bénéficier d'équipements coûteux mais indispensable au déroulement de la séance, comme par exemple une cuisine bien équipée dans le cas de la réalisation des tâches de cuisine, ou d'un supermarché à proximité et d'en avoir reconstitué le plan dans le cas de tâches réalisées dans un supermarché. Il faut disposer, en plus, d'un budget pour recouvrir les frais des achats des patients. Ça nécessite également de s'approprier des évaluateurs pendant une durée considérablement longue sans oublier la difficulté d'établir un protocole d'évaluation dans le monde réel (capteurs, caméras, matériel, etc.). Un autre facteur défavorable, à ne pas négliger, consiste aux risques éventuels pouvant parvenir de l'immersion du patient dans l'environnement réel avec tous les dangers qu'il contient (traversé de route, chutes, collisions, obstacles, etc.) (Klinger and Joseph 2008).

Comment peut-on alors, bénéficier de tous les avantages des approches écologiques sans en subir les conséquences qui nuisent à la séance d'évaluation (coût en termes de temps et de matériel, risques, imprévus, etc.), tout en laissant le contrôle de la séance dans les mains du thérapeute ? La réalité virtuelle, avec toute la souplesse dont elle bénéficie, peut-elle être la solution pour une meilleure prise en charge des fonctions exécutives? Est-elle la pièce manquante aux approches classiques et écologiques pour construire un outil d'évaluation et de rééducation efficace et approprié?

3. Apprentissage par la réalité virtuelle chez les sujets sains

Dans un sens large, l'apprentissage peut se définir comme le regroupement de différents mécanismes par lesquels un sujet humain modifie sa conduite avec l'expérience, de façon à la rendre plus adaptée aux exigences de la situation. Cela repose sur des processus de maturation biologique (en particulier chez l'enfant), sur des processus physiologiques, sur des processus cognitifs et sur des processus sociaux, dans le cadre de la confrontation du sujet à l'environnement.

On retrouve ainsi plusieurs modèles de l'apprentissage en psychologie. Parmi les principaux courants : les modèles behavioristes, notamment le conditionnement et l'apprentissage opérant, les modèles piagétiens et néo-piagétiens du développement et de l'acquisition des schèmes, les approches cognitives et les théories sociales ou socioculturelles de l'apprentissage (Burkhardt, Lourdeaux et al. 2006).

La formation professionnelle sur terrain réel est souvent coûteuse. Elle monopolise le terrain et le matériel, empêchant ainsi la productivité, et entraîne parfois la dégradation et la destruction du matériel. Par ailleurs, il est souvent difficile de reproduire des situations perturbées qui permettraient l'acquisition des compétences nécessaires à la maîtrise des risques. En effet, reproduire ce type de situations peut engendrer des risques pour soi ou pour autrui. La formation sur terrain réel n'est donc pas toujours possible ou difficile à réaliser notamment sur les sites classifiés à hauts risques. Pour pallier ces difficultés, la formation sur terrain est souvent remplacée par des enseignements en salle avec des supports pédagogiques tels que des manuels, PowerPoint, etc. Toutefois, ces supports, s'ils permettent l'acquisition du savoir, ne permettent pas l'acquisition du savoir-faire ou du savoir-être (Amokrane 2010).

Les environnements virtuels pour l'apprentissage humain, ont apporté les premières réponses aux limites rencontrées par la formation sur terrain et en salle. L'utilisation de la réalité virtuelle pour l'apprentissage est relativement récente. Ses premières utilisations étaient vers les années 90 par le système de formation pour la NASA. Elle permet de réaliser des applications prenant des formes variées utilisées dans de nombreux domaines (Amokrane 2010). Le spectre de ses applications est large. Il va des apprentissages conceptuels abstraits (tels que des concepts scientifiques dans Science-Space (Dede, Salzman et al. 1997)) à l'apprentissage de gestes professionnels (comme le geste du soudage dans le CS WAVE (Mellet-d'Huart 2002, El-Kechai 2007)).

Les plates-formes d'apprentissage basées sur la réalité virtuelle sont particulièrement utiles lorsque le monde réel ne permet pas de créer une situation d'apprentissage adéquate du fait, par exemple, des risques existants, du coût de la solution et/ou de la complexité des apprentissages. Ils permettent aussi de créer des situations où l'apprentissage se trouve être

plus facile qu'en situation réelle (par exemple, par simplification) ou pouvant s'opérer selon des modalités nouvelles (Mellet-d'Huart and Michel G 2006, El-Kechaï 2007).

Les potentiels génériques des environnements virtuels pour la formation et l'apprentissage ont notamment été présentés dans (Burkhardt, Lourdeaux et al. 2003, Lourdeaux, Mellet-d'Huart et al. 2003). Nous en rappelons ici quelques-uns :

- Dépasser l'utilisation du texte pour la représentation de connaissances notamment pour la navigation et la mise en situation. Par exemple, les informations visuelles sont présentées en trois dimensions, ce qui permet d'avoir une dimension supplémentaire pour la structuration de l'information, et cela permet aussi de représenter un grand nombre d'information ;
- Suivre le comportement de l'apprenant, l'analyser et fournir à l'apprenant des informations pertinentes au moment où elles lui sont utiles. Les activités réflexives comme la trace, le rejeu et les analyses directement produites par l'environnement virtuel facilitent le retour sur l'action de l'apprenant pour favoriser la correction et permettre à l'apprenant d'améliorer ses performances ;
- Suivre et gérer les parcours des apprenants ;
- Modifier des paramètres de l'environnement ou de l'apprenant (modifier l'échelle) ;
- Réduire les risques, les activités de préparation et/ou la présence du formateur ;
- Inverser les actions pour permettre de reprendre une action et de chercher à comprendre, ce qui est déterminant dans le processus de l'action ;
- mieux contrôler les coûts de formation ;
- Tester des scénarios inattendus par la simulation des situations inhabituelles, des accidents, des échecs, etc. ;
- Réifier des éléments abstraits (par exemple, la force du vent, le niveau d'attention) ou des éléments invisibles (par exemple, infrarouge ou radioactivité), et leur intégration dans le modèle de la situation et de l'environnement ;
- Superposer les informations et les assistances au sein de l'environnement virtuel ;
- Limiter les capacités de l'action de l'apprenant en lui interdisant certaines opérations.

L'apprenant devant pouvoir aisément dialoguer avec le formateur à ses côtés, il n'est pas recommandé d'utiliser un visiocasque pour l'immersion visuelle. L'utilisateur devant manipuler des objets et se déplacer le plus naturellement, l'environnement virtuel doit être représenté à l'échelle 1 dans un cave avec un large champ visuel logiciel. L'immersion de l'utilisateur est réussie s'il oublie qu'il est face à un système informatique. Il peut alors se concentrer sur sa formation (Burkhardt and Lourdeaux 2006).

Un exemple d'environnement virtuel pour l'apprentissage humain pour des sujets sains est le CS WAVE. Il consiste en une application de formation professionnelle aux gestes du soudage

basé sur la réalité virtuelle. La plate-forme de soudage virtuel CS WAVE est le fruit d'une étroite collaboration entre le Département Sectoriel Industrie de l'AFPA et la société Immersion. L'objectif du développement du CS WAVE était de résoudre les problèmes de formation fréquents connus dans le domaine de la soudure qui font obstacle à l'apprentissage (Mellet-d'Huart 2002, Burkhardt, Lourdeaux et al. 2003, Mellet-d'Huart 2004).

Le CS WAVE se compose d'un écran mobile permettant de s'exercer à différents types de soudage ainsi que d'une torche pour le procédé MAG. L'écran peut être ajusté à la taille de l'utilisateur et se positionne en fonction des exercices à la verticale ou à l'horizontale afin de couvrir la plupart des situations de soudage.

Cet outil d'apprentissage reproduit des situations de soudage à travers divers exercices permettant de contribuer à l'apprentissage du geste technique en le décomposant, en simplifiant son contexte d'exécution et en fournissant des retours d'informations en temps réel sur l'activité. La décomposition du geste de soudage selon 4 paramètres (vitesse, trajectoire, distance et orientation) permet à l'apprenant de les apprendre progressivement. En outre, Une analyse en différé permet d'opérer des retours sur l'ensemble du processus. Le CS WAVE se distingue également par une architecture professeur/apprenants permettant de contrôler simultanément la formation de plusieurs apprenants (Mellet-d'Huart 2004).

La Figure 8 montre un apprenant entrain d'utiliser le CS WAVE dans deux positions différentes.



Figure 8. Le CS WAVE, différentes positions de l'écran en fonction de la tâche

Il faut signaler que les simulateurs de pilotage d'avion existent depuis plusieurs décennies, bien avant l'apparition de l'expression "réalité virtuelle". Dans un but d'apprentissage, un tel système permet de simuler le pilotage dans un environnement et des conditions proches de la réalité, mais aussi dans des conditions inhabituelles, critiques, que peut rencontrer quelques fois un pilote, et ceci sans danger physique.

Le pilote dispose d'informations visuelles et auditives, éventuellement de mouvements de la cabine. Il peut effectuer toutes les commandes présentes habituellement dans une cabine de pilotage. Les conditions de vol sont gérées par un formateur, qui peut créer des conditions extrêmes, et des situations inhabituelles, ce qui permet à l'apprenant de se familiariser quelque peu avec celles-ci, à moindre danger et moindre coût.

En raison d'un manque fréquent de ressources pour délivrer aux patients les interventions nécessaires à leur réadaptation, et avec le succès prouvé par l'usage des technologies de la réalité virtuelle dans le domaine de l'apprentissage, les thérapeutes se sont orientés vers de nouvelles approches de prise en charge des patients et commencent à s'intéresser de plus en plus aux environnements virtuels fonctionnels (Klinger, Chemin et al. 2004, Rizzo, Schultheis et al. 2004, Tichon and Banks 2006, Sanchez, Tadres et al. 2009, Werner, Rabinowitz et al. 2009, Yehuda, Weiss et al. 2009) qui permettent de simuler des Activités de Vie Quotidienne complexes.

L'exploitation des potentiels de la réalité virtuelle dans le domaine de la rééducation fera l'objet de la prochaine partie de ce chapitre.

4. Rééducation par la réalité virtuelle chez des patients cérébrolésés

La prise en charge des patients cérébrolésés par la réalité virtuelle est un tout nouveau domaine d'application de la réalité virtuelle. Dès les premiers travaux des chercheurs, elle a suscité un grand intérêt et de nombreux espoirs ont été placés dans ses potentiels. L'objectif principal des recherches exploratoires qui ont été menées concerne l'évaluation des dysfonctionnements cognitifs et de leurs conséquences dans la vie quotidienne.

Dans la foulée de ces travaux, les chercheurs ont réfléchi à la transformation des applications vers la rééducation, notamment afin de permettre aux personnes d'acquérir des habiletés facilitant leur retour à l'autonomie et à leur domicile.

La réalité virtuelle présente l'avantage de fournir un environnement sécurisé, bien contrôlé permettant, pour le patient un grand nombre de répétitions de la tâche d'une manière relaxé avant de passer au danger potentiel et au stress de l'environnement réel (Davies, Löfgren et al. 2002).

Pour toutes ces raisons, la réalité virtuelle pourrait être la solution de l'un des problèmes majeurs dans la prise en charge du dysfonctionnement cognitif, celui de trouver des méthodes de rééducations efficaces (Castelnuovo, Lo Priore et al. 2003). Cependant, ce domaine de recherche est peu exploité non seulement parce que le nombre d'études qui l'abordent est très

réduit, mais aussi parce que le nombre de sujets testés dans ces études est limité à causes des contraintes difficiles d'inclusion des patients (Rachel, Naomi et al. 2008).

L'entraînement dans un environnement virtuel présente plusieurs avantages par rapport à l'entraînement des patients dans un environnement réel (Brooks, McNeil et al. 1999) :

- Dans une même période d'entraînement, le patient fait plus de répétition de la tâche dans le monde virtuel que dans le monde réel ;
- Le patient ne serait pas restreint par une déshabilité physique dans l'environnement virtuel comme il le serait dans l'environnement réel ;
- Pas d'éléments de distraction dans l'environnement virtuel.

Les éléments distracteurs peuvent être préprogrammés de manière à évoluer en fonction de l'avancement du sujet dans la tâche cognitive (Rachel, Naomi et al. 2008). Par ailleurs, les séances de réalité virtuelle étant individuelles, elles peuvent être adaptées à l'état du patient ainsi qu'à son rythme de progression. Se déroulant, dans la majorité des cas actuellement, en milieu de soins et en présence d'un thérapeute, elles préservent la confidentialité de l'intervention. Notons aussi que des études sont menées sur les possibilités de télé-réhabilitation, notamment au domicile des personnes, mais elles se situent pour l'instant dans le domaine de la rééducation motrice (Klinger and Joseph 2008).

A titre d'exemple, Rand et al. (2007) ont développé un supermarché virtuel (le VMall) qui combine l'évaluation dans des Activités de Vie Quotidienne Instrumentalisées à une thérapie visant la réduction de dysfonctionnements moteurs et cognitifs. Le VMall utilise les bases du fonctionnement du système GestureTek'sGX. Ce système prend une image vidéo du participant, utilise un logiciel de soustraction de couleur pour éliminer le fond monochrome et insère le participant dans un environnement virtuel dans lequel il a la possibilité d'interagir avec des objets.

Dans le VMall, les participants se voient en miroir dans un environnement virtuel 2D avec lequel ils peuvent interagir, et réalisent une tâche fondée sur l'acquisition de quatre items. Avec leur main gantée de rouge, ils sélectionnent les items et se déplacent dans l'environnement en pointant vers des icônes spécifiques. Ce système, qui ne nécessite que des gestes grossiers, encourage les mouvements d'épaule et de coude correspondants à la main atteinte. Par ailleurs, il enregistre les données relatives à la performance du participant, telles que ses actions ou le temps écoulé. La faisabilité de son utilisation avec des patients cérébrolésés a été explorée par une étude auprès de 14 patients après AVC et 93 sujets contrôle (Rand, Katz et al. 2007).

Les résultats relatent un feedback positif de tous les participants par rapport à l'expérimentation et permettent de différencier les sujets contrôle des patients, notamment avec le temps mis pour acheter un item. Les auteurs en concluent que le VMall est un environnement fonctionnel et écologique permettant de mettre en évidence les difficultés de fonctionnement des patients après AVC dans les activités de la vie quotidienne.

Un autre exemple d'environnement virtuel mis en place pour la prise en charge du dysfonctionnement cognitif est le VAP-S (Virtual Action Planning Supermarket). Le VAP-S est un supermarché virtuel qui a été développé par Klinger et al. dans le contexte clinique de la maladie de Parkinson (Marié, Klinger et al. 2003, Klinger, Chemin et al. 2006), et dans un paradigme similaire au Test des commissions (Martin 1972). Le VAP-S est un supermarché de taille moyenne contenant plusieurs rayons (fruits et légumes, boissons, produits surgelés, pâtes et conserves, une boucherie, vêtements, produits d'entretien...), 4 caisses dont 2 avec caissières. En plus des humains virtuels ont été placé dans le supermarché (poissonnier, boucher, agent d'accueil, clients). Des obstacles ont été mis entre certains rayons.

Dans une séance d'expérimentation dans le VAP-S, le participant est invité à réaliser une tâche de courses dans laquelle il doit mettre en place des stratégies nouvelles tout en respectant des contraintes imposées (respect de la liste de course : produits et catégories, faire le moins de détours possibles, effectuer les achats, ou encore sortir après avoir payé).

Situé devant un écran, le participant explore le supermarché en vision subjective. Il se déplace dans le supermarché avec les flèches du clavier et saisit les articles avec le clic gauche de la souris.

Pendant les achats, effectués en cliquant sur les objets recherchés, diverses variables sont enregistrées, comme les positions et les actions du participant, le temps écoulé et la distance parcourue par le patient. Ces variables sont reprises lors de l'analyse ultérieure afin, par exemple, de visualiser la trajectoire du participant (Figure 10) ou encore d'examiner divers paramètres comme la distance parcourue, la durée de la séance, les arrêts, ou encore le séquençage de la tâche. Le VAP-S permet trois types de tâches :

- Tâche de familiarisation : Elle permet de découvrir le supermarché et de se familiariser avec le mode d'interaction avec les objets virtuels ;
- Tâche d'évaluation : C'est une tâche de courses basée sur l'achat de 7 articles ;
- Tâche d'entraînement : Il s'agit d'une tâche de courses de difficulté croissante comportant de 1 à 8 produits avec contraintes.

Selon les contextes cliniques, des tests psychométriques relatifs aux fonctions exécutives sont proposés au participant avant ou après la séance de réalité virtuelle.

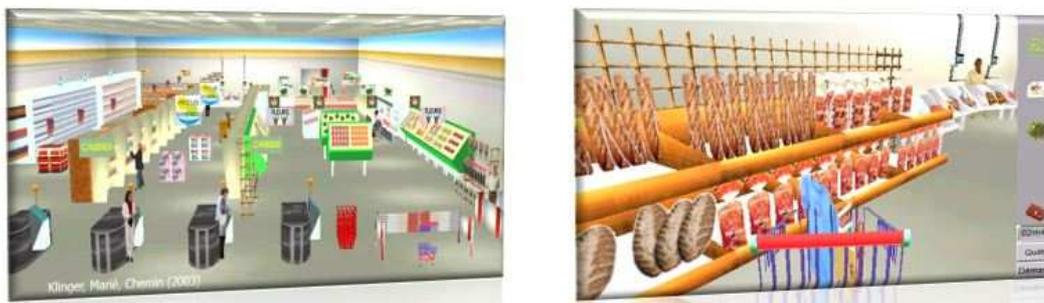


Figure 9. Le Virtual Action Planning Supermarket

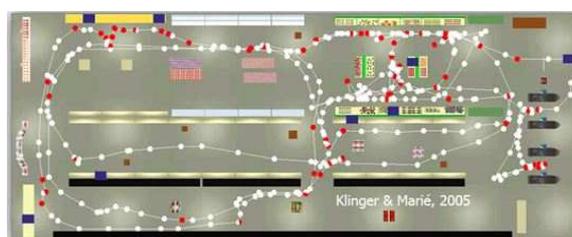


Figure 10. Revue de la performance dans le VAP-S

La recherche d'un article permet d'analyser ses choix stratégiques et notamment ses capacités de planification aussi bien sur le plan spatial et temporel que sémantique (VAP-S : Virtual Action Planning Supermarket), la planification étant un des éléments clé des fonctions exécutives.

Plusieurs travaux ont permis de démontrer l'efficacité du VAP-S comme outil d'évaluation cognitive, auprès de populations variées, telles que la maladie de Parkinson (Klinger, Chemin et al. 2006), les Troubles Cognitifs Légers (Werner, Rabinowitz et al. 2009) ou encore la schizophrénie (Josman, Schenirderman et al. 2009).

5. Conclusion

Le domaine de la réalité virtuelle appliquée à l'apprentissage et la rééducation doit faire face à plusieurs sources de complexité, parmi lesquelles la complexité liée à l'hétérogénéité et aux difficultés d'appréhension des processus de l'apprentissage et du réapprentissage humain, la complexité des environnements virtuels, la complexité et la multi-dimensionnalité des configurations sociotechniques où la réalité virtuelle s'insère (Burkhardt, Lourdeaux et al. 2006).

Dès lors, concevoir un environnement virtuel pour l'apprentissage ou pour la rééducation requiert une instrumentation et des méthodes permettant de maîtriser la complexité des processus à aborder. D'autres difficultés s'y ajoutent dans le cas de la rééducation cognitive, telles que le besoin de faire converger des domaines tels que l'informatique et la neuropsychologie qui n'ont pas l'habitude de coopérer de façon étroite, la récurrence des usages, l'originalité des problèmes, le nombre réduit de la documentation et la particularité des utilisateurs finaux (patients avec des troubles cognitifs). Toutes ces difficultés participent largement à la réduction de la performance des sujets dans la tâche d'apprentissage ou de rééducation dans l'environnement virtuel fonctionnel.

L'étude des caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel aux sujets peut constituer une solution pour pallier à ces difficultés et améliorer la performance des sujets dans la tâche. Dans la partie suivante de ce chapitre, nous allons tenter de répondre à la question suivante : *Comment les différents travaux, menés dans les domaines de l'apprentissage et de la rééducation, ont-ils exploité cette souplesse dans la manipulation expérimentale des différentes informations sensorielles délivrées aux sujets dans le processus d'interaction utilisateur-système virtuel pour pallier aux difficultés rencontrées?*

IV. L'INFORMATION DANS LES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS POUR L'APPRENTISSAGE ET POUR LA REEDUCATION

1. Introduction

Dans ce paragraphe, nous présentons une étude sur l'exploitation du caractère multimodal de l'information virtuelle et sa manipulation expérimentale dans les domaines d'apprentissage et de réhabilitation pour des sujets sains et pour des patients avec différents types de pathologies. Dans les processus d'apprentissage et de rééducation, des informations variées sont délivrées aux sujets. On s'intéresse particulièrement aux informations additionnelles délivrées aux sujets pendant la tâche. C'est-à-dire que nous allons nous intéresser à ce que nous avons appelé dans nos études expérimentales les « stimuli logiciels ajoutés ».

Nous définissons un « stimulus logiciel ajouté » par toute information, additionnelle, délivrée par le système virtuel, qui vient augmenter l'information présente dans l'environnement virtuel et dont l'absence de l'environnement virtuel n'interdit pas l'accomplissement de la tâche. On parle dans ce cas de la Réalité Virtuelle Augmentée .

Afin de mieux expliquer cette définition, nous allons l'illustrer avec des exemples du VAP-S¹. Dans le VAP-S, une flèche qui pointe sur un produit de la liste est un SLA puisqu'elle vient augmenter l'information existante dans le VAP-S et la tâche de courses peut être accomplie sans cette information. Par contre, l'information « affichage des produits du supermarché » n'est pas un SLA puisqu'elle fait partie de l'information existante dans l'environnement et son absence interdit l'accomplissement de la tâche de courses.

Nous distinguons deux types de SLA : les SLA contextuels qui sont liés à la tâche dans l'environnement virtuel comme par exemple l'énoncé du nom du produit de la liste proche dans une tâche de courses dans un environnement virtuel. Le second type de SLA est les SLA non contextuels qui n'ont pas de rapport avec la tâche. Par exemple l'apparition d'un objet inattendu dans l'environnement est SLA non contextuel.

Il est aussi important de signaler que les stimuli étant des types particuliers d'information peuvent être délivrés sous différentes formes : auditive, visuelle, olfactive, etc.

L'examen de la littérature montre que les stimuli délivrés par l'environnement virtuel peuvent avoir différents effets entre les patients cérébrolésés et les sujets sains et au sein de la

¹ Voir le paragraphe précédent

population des patients cérébrolésés selon le type de leur pathologie. Par exemple, dans le cadre de la réhabilitation à la marche chez des patients parkinsoniens, Kaminsky et al. ont démontré que la délivrance de stimuli non contextuels via un système de réalité augmentée améliore significativement les mouvements des sujets et les aide à mieux se déplacer dans l'environnement réel (Kaminsky, Dudgeon et al. 2007). En revanche, Brodsky et al. ont démontré que, dans une tâche de conduite dans un environnement virtuel, les stimuli non contextuels perturbent des sujets sains pendant la tâche. Ils ont démontré que l'augmentation du tempo musical augmente le risque de collisions et les violation des règles de conduite (Brodsky 2001). Il a aussi été démontré que le même type de stimuli a un rôle distrayant chez des enfants souffrant de troubles attentionnels dans des tâches d'attention dans une classe virtuelle (Rizzo, Bowerly et al. 2004).

Les SLA peuvent être émis en amont pour guider le sujet à réaliser au mieux la tâche et améliorer sa performance par l'élimination des erreurs pouvant être commises et ne laisser que la possibilité de réussite forcée [errorless], ou être délivrés à posteriori (sous forme feedback positif ou négatif, procédures par succès et erreurs) [errorfull]. Elles peuvent également avoir des fins de distraction selon le type de la tâche souhaitée.

Dans les travaux que nous allons présenter dans les prochains paragraphes de ce chapitre, nous allons faire un focus sur les SLA. Nous allons commencer par extraire les caractéristiques principales des SLA délivrées (modalité d'émission, rapport avec la tâche, etc.). Ensuite, nous allons souligner, s'il existe, le lien entre les caractéristiques des SLA délivrées aux sujets et leurs performances dans la tâche.

2. L'information dans les environnements virtuels pour l'apprentissage

Plusieurs travaux ont utilisé des environnements virtuels fonctionnels, riches en information, permettant de délivrer des stimuli logiciels dans l'objectif d'acquérir de nouvelles connaissances ou de renforcer l'automatisation et le transfert des compétences déjà acquises (Burkhardt, Lourdeaux et al. 2006).

Le CS WAVE est une plate-forme d'apprentissage de la soudure virtuelle mise en place grâce aux collaborations entre le Département Sectoriel Industrie de l'AFPA et la société Immersion. Il est conçu afin de permettre des démarches d'apprentissage continues et progressives qui alterne l'utilisation de l'environnement virtuel et des situations réelles (Mellet-d'Huart 2004, Steib, L. Da Dalto et al. 2005).

La plate-forme propose 178 exercices de complexités différentes. Chaque exercice traite d'une composante particulière du geste concourant ainsi à la conceptualisation. Pendant la tâche, l'environnement virtuel délivre des stimuli visuels (textes et schémas) comme par

exemple des repères visuels pour guider l'apprenant à ne pas déborder de la zone de soudure. L'objectif de la délivrance de ces stimuli est de guider l'utilisateur, d'orienter son attention et de l'aider à acquérir le contrôle de son geste. Le rajout des stimuli a été accompagné par l'intuition que tels stimuli ne peuvent être que bénéfiques pour le sujet car ils lui apportent de l'information supplémentaire.

Plusieurs travaux ont étudié les apports du CS WAVE pour la formation au geste de la soudure (Mellet-d'Huart 2002, Burkhatdt, Lourdeaux et al. 2003, Lourdeaux, Mellet-d'Huart et al. 2003, Mellet-d'Huart 2004, Steib, L. Da Dalto et al. 2005, Mellet-d'Huart and Michel G 2006, El-Kechai 2007). Nous en citons quelques-uns :

- améliorer la formation au soudage en temps et en qualité. L'apprentissage de la gestuelle est progressif et ludique ;
- réduire le coût de la formation initiale jusqu'à 50% ;
- offrir un suivi pédagogique unique et en temps réel, particulièrement apprécié par les formateurs ;
- détecter les erreurs liées au geste avec une précision difficile à atteindre à l'œil nu et a posteriori ;
- permettre une approche sécurisée du soudage ;
- donner une dimension innovante et technologique au soudage valorisant l'apprentissage ;
- autoriser l'auto apprentissage jusqu'alors impossible ;
- favoriser une homogénéité accrue des formations entre les différents centres ;
- apporter une contribution à la protection de l'environnement.

Cependant, dans tous les travaux de recherche qui ont porté sur le CS WAVE seuls les apports de l'outil en tant que plate-forme d'apprentissage à la soudure ont été étudiés. C'est-à-dire qu'aucun travail n'a essayé de déterminer les apports des stimuli délivrés pendant la tâche et s'ils ont vraiment le rôle d'aides logicielles, raison pour laquelle ils ont été mis en place.



Figure 11. Les repères visuels dans le CS WAVE

Dans le contexte de l'étude des stimuli auditifs délivrés par un système virtuel dans une tâche d'orientation spatiale, Costabile et al. ont mené une étude auprès de 40 étudiants en master et doctorants (16 H et 24 F) dans le domaine d'Arts Moderne et Histoire de l'université de Bari en Italie (Costabile, De Angeli et al. 2003).

L'objectif des expérimentations menées était d'étudier l'effet des stimuli auditifs sur la performance des sujets dans une tâche d'orientation spatiale dans l'environnement virtuel du site web « German Expressionism » représentant un musée connu en Venise. Les auteurs ont mené deux sessions expérimentations composée chacune d'une phase de familiarisation et de trois tests. Dans les deux sessions, les participants devaient naviguer dans le musée virtuel selon un chemin donné et collecter des informations telles que les noms des chambres et de certains tableaux puis les noter dans un cahier dédié.

L'environnement virtuel a été enrichi avec deux stimuli auditifs. Le premier stimulus consiste en des fragments de musique associés pour chaque chambre déclenchés à chaque fois que le participant entre dans cette chambre. Quant au second stimulus, il consiste en des fragments musicaux qui n'ont pas de rapport avec les thèmes des chambres et délivrés en permanence durant la tâche.

Pour chaque session, trois conditions ont été mises en place. Dans la première condition, les participants ont réalisé la tâche sans stimulus auditifs. Dans la deuxième et la troisième condition, la réalisation de la tâche a été accompagnée par la délivrance de fragments de musique contextuels (dans la condition 2) ou non contextuels (dans la condition 3). Les participants de la première session ont été informés par la relation qui existe entre les stimuli auditifs délivrés par le système dans la seconde condition et la tâche de navigation. Dans la seconde session, la procédure a été exactement la même que celle de la première session, mais cette fois ci, les participants ont été explicitement informés par la relation qui existe entre les

stimuli auditifs délivrés et la scène virtuelle. Les sujets ont été divisés en deux groupes et chaque groupe a réalisé la tâche dans l'une des deux sessions.

Pour mesurer la performance des sujets dans la tâche, les auteurs ont utilisé différentes variables telles que le nombre d'erreurs dans les réponses au questionnaire, la vitesse de déplacement et le nombre d'étapes qui correspond au nombre de clicks de la souris sur les flèches de la navigation. Les résultats des expérimentations dans la première session, montrent que la délivrance de stimuli auditifs, dans une tâche d'orientation et de navigation spatiale, n'a pas eu d'effets sur la performance des sujets dans la tâche.

Les auteurs expliquent ce résultat par le fait que les participants non pas compris le lien qui existe entre les stimuli auditifs délivrés et la scène virtuelle. En outre, les évaluateurs ont remarqué que les participants ont été distraits et perturbés par les différents fragments de musique. Cette observation a été confirmée par le moins grand nombre d'erreurs commises par les participants dans la condition sans musique, bien que la différence entre les résultats ne soit pas significative. Dans la seconde session, les résultats montrent qu'une fois les sujets sont informés du rôle fonctionnel de la musique, ils réalisent la tâche plus rapidement que les sujets non informés. Cependant, aucune différence n'a été observée au niveau du nombre d'étapes dans la navigation.

Les auteurs ont conclu que la musique peut aider les participants à reconnaître les scènes dans un environnement virtuel à condition qu'ils soient préalablement informés du lien sémantique qui existe entre la musique et la scène virtuelle.

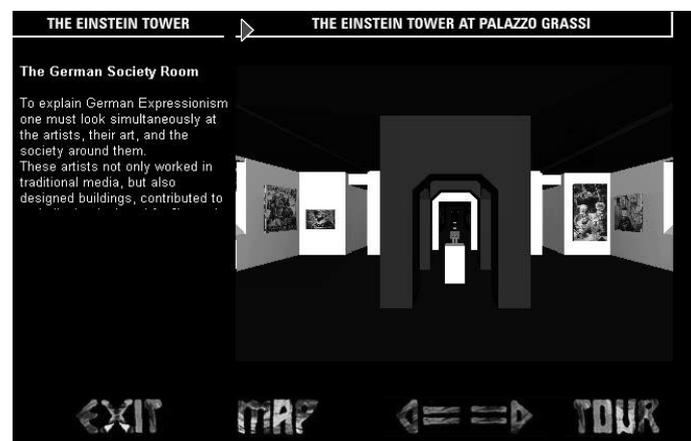


Figure 12. Une scène du musée virtuel utilisé dans la tâche

Dans le même contexte d'orientation spatiale, Burigat et al. ont implémenté deux environnements virtuels dans l'objectif d'étudier l'effet des aides logicielles sur la performance des sujets dans des tâches virtuelles d'orientations spatiale (Burigat and Chittaro 2007). Le premier environnement consistait en une base aérienne contenant des pistes, des routes, des hangars et une tour de contrôle et entourée contenant plusieurs routes et plusieurs

bâtiments dont certains représentent des repères. Le deuxième environnement était un environnement virtuel abstrait qui consiste en une sphère vide d'un kilomètre de diamètre.

Quarante-huit sujets sains ont participé aux expérimentations (33 H et 15 F). Parmi les participants, 24 sujets sont des étudiants ayant suivi des cours de réalité virtuelle et considéré comme des utilisateurs expérimentés. Le reste des sujets n'ont aucune expérience en réalité virtuelle. La tâche consistait à trouver différentes cibles dans chacun des environnements (des bâtiments ou des objets distingués pour le premier environnement et des objets quelconques tels qu'une lampe ou une vase pour le second environnement).

Les environnements virtuels ont été enrichis avec trois stimuli logiciels qui avaient pour but d'assister les participants à naviguer dans l'environnement virtuel. Les deux premiers stimuli consistaient respectivement en une flèche 2d et une flèche 3d pointant sur les endroits et les objets recherchés par l'utilisateur. Le troisième stimulus consistait en un radar 2d qui fournissait la position de l'utilisateur par rapport à l'objet cible.

La Figure 13 montre les trois stimuli utilisés pour assister les sujets dans l'environnement. Quatre conditions ont été mises en places dans l'expérimentation : une condition contrôle sans stimuli, une condition avec le stimulus flèche 2d, une condition avec le stimulus flèche 3d et une condition avec le stimulus radar 2d. La performance des sujets a été donnée par le temps mis et la distance parcourue par les sujets dans la tâche.

Les résultats des expérimentations ont montré que la performance des sujets était bien meilleure lorsque la navigation dans l'environnement virtuel est accompagnée par la délivrance de stimuli logiciels aussi bien pour les utilisateurs expérimentés que pour les utilisateurs non expérimentés. En outre, les utilisateurs non expérimentés ont bénéficié des aides délivrées beaucoup plus que les utilisateurs expérimentés.

Les auteurs en ont conclu que les aides logicielles émises par l'environnement virtuel semble améliorer la performance des sujets dans des tâches d'orientation spatiale mais ceci nécessite d'être consolidé par d'autres études.

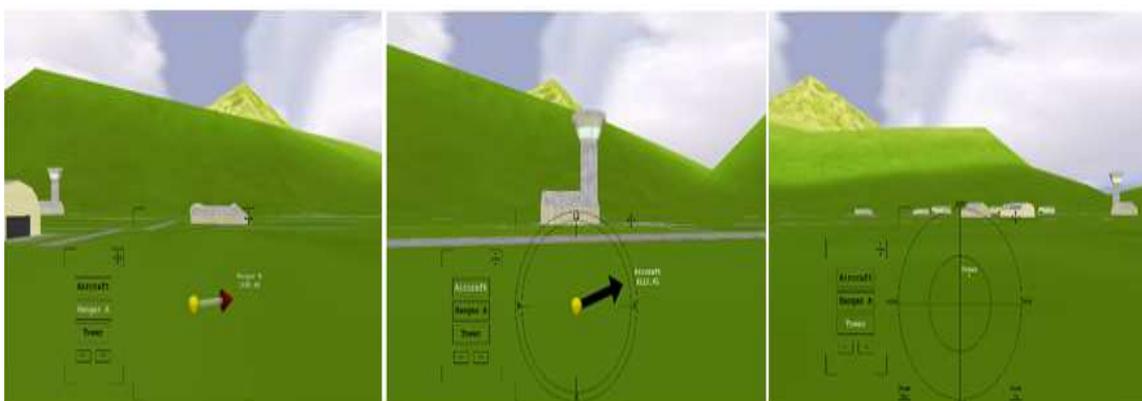


Figure 13. Les trois stimuli utilisés pour assister les sujets dans l'environnement (flèche 2d, flèche 3d et radar 2d)

Dans le contexte de la manipulation d'objets 3d dans le monde virtuel, Ullah et al. ont mené un travail dont l'objectif est d'étudier l'effet des aides visuelles et de la communication orale entre les participants co-présents dans un environnement virtuel collaboratif (Ullah, Richard et al. 2009). Ils ont mis en place un système permettant à deux utilisateurs connectés à un réseau local de coopérer dans un environnement virtuel collaboratif simple contenant des cubes, des sphères et des tores.

Deux expérimentations ont été mises en place. Dans la première expérimentation, les participants ont réalisé la tâche dans la configuration « single » c'est-à-dire sans coopération avec un autre sujet. La deuxième expérimentation correspond à la manipulation collaborative des objets virtuels (configuration coopérative). 20 étudiants en Master, (10 H et 10 F) ont participé aux expérimentations (10 participants dans chacune des expérimentations). Les sujets devaient manipuler (simultanément deux par deux dans la configuration coopérative) les objets virtuels 3d en utilisant un robot virtuel (deux robots virtuels similaires dans la configuration coopérative) représenté par une sphère.

L'environnement virtuel a été enrichi par des aides logicielles (des flèches 3D et des ombres des objets virtuels) pour faciliter la manipulation simultanée des objets par deux utilisateurs. Par exemple, si un utilisateur utilise son robot pour manipuler un cylindre, une flèche 3d pointe sur l'objet, si ce dernier perd le contrôle sur l'objet, la flèche disparaît. Ainsi, cette aide visuelle permet d'informer la personne manipulant l'objet sur la tâche qu'il est entrain d'effectuer mais aussi d'informer l'autre utilisateur présent dans l'environnement virtuel que l'objet est en train d'être manipulé par son collègue.

Des ombres ont été mises en place pour les objets virtuels dans l'objectif de rajouter plus de précision sur la position des objets les uns par rapport aux autres. En outre, les utilisateurs co-présents dans l'environnement peuvent communiquer oralement via le réseau. Trois conditions ont été mises en œuvre. La première condition C1 correspond à la tâche avec l'affichage des ombres des objets. La condition C2 correspond à la tâche avec l'affichage des ombres et des flèches 3d. Dans la condition C3, les participants ont effectué la tâche sans stimuli. La performance des sujets a été donnée par le nombre d'erreurs commises, le temps mis dans la tâche et les réponses aux questionnaires posés aux sujets après la tâche.

Les résultats montrent que l'affichage des ombres des objets virtuels améliore significativement la performance des sujets dans la tâche tandis que les flèches 3d et les communications orales permettent non seulement d'améliorer significativement la performance des sujets mais aussi d'augmenter la sensation de coprésence dans l'environnement.

Dans l'objectif de déterminer l'effet des stimuli auditifs, visuels et haptiques sur la performance des sujets sains dans une tâche de manipulation d'objets dans un monde virtuel, Lécuyer et al. ont mené cette étude auprès de 24 sujets sains (19 H et 5 F) en utilisant un

système de réalité virtuelle composé de deux grands écrans et un gant permettant d'avoir des retours tactiles (Lécuyer, C. et al. 2002).

La tâche consistait à déplacer une boule virtuelle blanche en l'insérant dans des ouvertures en commençant par toucher une boule verte se trouvant à droite de l'écran (cf. Figure 14). La tâche prend fin lorsque le sujet touche une boule rouge située à gauche de l'écran. Les sujets devaient effectuer la tâche le plus rapidement possible.

Des informations sensorielles additionnelles peuvent être délivrées par le système virtuel lorsque la boule blanche manipulée par les sujets entre en collision avec les différents objets de l'environnement. Six conditions expérimentales ont été mises en place. Une condition contrôle, sans informations additionnelles et cinq conditions correspondant chacune à la tâche augmentée par un stimulus sensoriel additionnel qui apparaît lorsque la boule manipulée par le sujet entre en contact avec un autre objet de l'environnement.

Le premier stimulus consistait en ce que les auteurs ont appelé « une assistance visuelle dirigée ». Il correspond à une flèche 3d indiquant la bonne direction à prendre pour éviter la collision. Le second stimulus correspondait à « une assistance haptique dirigée » qui consiste en des retours haptiques, transmis au sujet via le gant, allant dans le même sens que la flèche 3d. Le troisième stimulus consistait en « une assistance haptique simplifiée » comportant un retour haptique simple en cas de collision. Quant au quatrième stimulus, il s'agissait d'une alarme auditive qui correspondait à bip sonore continu. Le dernier stimulus était « une alarme haptique vibratoire » qui correspondait à un retour vibratoire transmis au sujet via le gant en cas de collision.

La performance des sujets dans la tâche a été donnée par : le temps mis dans la tâche, le nombre de collisions avec les objets virtuels et le temps de réponse après chaque collision.

Les résultats des tests ont montré que la délivrance des stimuli additionnels n'a pas eu d'effet positif sur le temps de complétion de la tâche. Quant aux mouvements des sujets après les collisions, ils sont plus contrôlés lorsque des stimuli additionnels sont délivrés par le système. Les auteurs expliquent l'absence d'effet des stimuli sur la performance des participants par le fait que les informations directionnelles délivrées sont difficiles à comprendre et à exploiter. Cependant, les sujets ont apprécié les stimuli délivrés et considèrent que ces derniers améliorent le réalisme des simulations.

Il est important de signaler que les stimuli sont délivrés à posteriori par le système virtuel en mode « errorfull ». Ils ne permettent donc pas aux sujets d'éviter de tomber dans l'erreur, mais de leur faciliter de se remettre correctement dans la tâche en cas d'erreurs. Ceci peut être une explication du fait d'avoir trouvé quasiment le même nombre d'erreurs dans la tâche avec et sans stimuli.

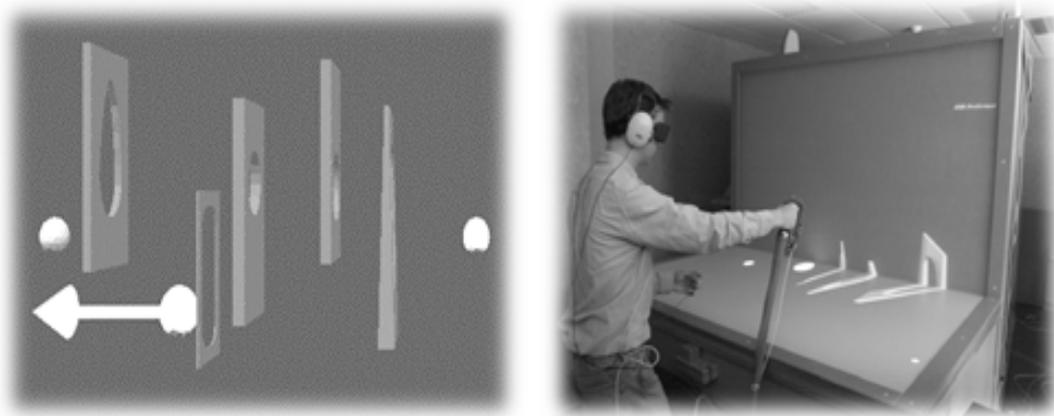


Figure 14. Le système mis en place par Lécuyer et al. pour l'étude des aides logicielles

3. L'information dans les environnements virtuels pour la rééducation

La facilité avec laquelle il est possible de manipuler expérimentalement les différentes informations sensorielles fournies au sujet fait de la réalité virtuelle un outil de choix pour l'étude chez l'homme de l'intégration multi-sensorielle et de ses troubles. Pourtant, dans la littérature, l'étude de l'effet des stimuli délivrés par le système virtuel aux patients a fait l'objet de très peu de travaux.

Il existe des travaux étudiant l'impact de l'usage de stimuli visuels distracteurs dans des tâches de rééducation motrice sur l'oubli de la fatigue (Secoli, Milot et al. 2011). Mais la tâche réalisée, ainsi que les stimuli étudiés, sont tous dans le monde réel. Dans ce paragraphe, nous allons présenter des travaux utilisant des environnements virtuels fonctionnels riches en stimuli logiciels dans des objectifs de réhabilitation chez différents types de patients. L'étude des stimuli délivrés dans ces travaux, si elle apparaît, reste très superficielle et la relation entre la performance des sujets et les stimuli délivrés est rarement établie.

Dans le contexte de la réhabilitation après des troubles de stress post-traumatiques, Rizzo et al. ont utilisé le Virtual Iraq (cf. Figure 15), un environnement virtuel riche en stimuli, pour la prise en charge des soldats revenants de l'Irak après la guerre (Rizzo, Newman et al. 2009). Des expérimentations ont été mises en place auprès de 20 soldats souffrants de stress post-traumatique.

L'environnement virtuel consistait en une ville arabe typique contenant des éléments variés tels que des marchés, des rues, des vieilles constructions, des appartements délabrés, des

entrepôts et des mosquées. Les différents bâtiments de l'environnement sont accessibles. Le Virtual Iraq peut délivrer des stimuli logiciels, visuels et/ou auditifs, relatifs au temps (jour ou nuit), à la météo (pluie, nuages, vent, etc.) ou encore à l'ambiance générale de l'environnement (des piétons animés, des voitures animées, l'appel à la prière depuis des minarets, etc.). En outre, les thérapeutes peuvent rajouter des informations olfactives et du son 3d en temps réel dans le scénario virtuel. Les différentes informations additionnelles sont délivrées en fonction des patients et de leur expérience individuelles à l'origine de leurs traumatismes.

Le thérapeute peut utiliser une interface dédiée pour gérer la délivrance des stimuli par l'environnement. Il peut ainsi contrôler et introduire graduellement des stimuli visuels, auditifs, olfactifs et tactiles, via l'interface, afin de favoriser l'anxiété demandée pour y habituer le patient et réaliser un traitement émotionnel d'une façon personnalisée. Les patients qui utilisent des manettes de jeu pour interagir avec l'environnement virtuel affiché à travers un visiocasque, avaient juste à naviguer dans l'environnement virtuel dans différents scénarios.

Les résultats montrent que 80% des participants (16 participants sur 20) ont marqué une réduction, clinique et statistique, significative des symptômes de dépression et d'anxiété. En outre, les patients considèrent qu'il y a des améliorations dans les situations de leur vie quotidienne. Les auteurs estiment qu'il est prématuré de considérer que le système est un vrai outil de rééducation et que le résultat nécessite d'être confirmé par d'autres études.



Figure 15. Deux scènes du Virtual Iraq utilisé dans la réhabilitation après des troubles de stress post-traumatiques

Dans le cadre de la prise en charge du dysfonctionnement cognitif par la réalité virtuelle, Cao et al, ont développé la TVK (the Virtual Therapeutic Kitchen), une cuisine virtuelle similaire à la cuisine réelle utilisée dans le centre de rééducation de Kerpape pour des fins thérapeutiques (Cao, Douguet et al. 2010). L'objectif final du développement de la cuisine est de tester le transfert des acquis dans le monde virtuel vers le monde réel.

La TVK contient la plupart des objets que l'on peut trouver dans une cuisine réelle et nécessaires à la préparation d'un repas (meubles, électroménagers, etc.). La cuisine virtuelle offre aux thérapeutes un outil générateur de tâches écologiques paramétrables pour la prise en charge des troubles cognitifs. A présent, la tâche pouvant être réalisée par le patient consiste en une tâche de préparation de café.

La cuisine virtuelle a été enrichie avec des stimuli auditifs et visuels liés aux objets virtuels tels que le bruit de la cafetière ou le son de l'eau qui coule du robinet. En outre, durant la tâche, le thérapeute peut envoyer des aides logicielles liées à la tâche au sujet via l'environnement virtuel en utilisant des touches spécifiques du clavier. Ces aides peuvent être auditives (un message vocal d'explication) ou visuelles (messages textuels d'explications, flèches 3d indiquant l'objet avec lequel le sujet interagit, une main 3d animé indiquant les objets manipulables, etc.).

Les premières expérimentations ont inclus 13 sujets contrôles sains et 7 patients cérébrolésés. Les résultats des expérimentations ont permis de valider la TVK comme outil thérapeutique basé sur la réalité virtuelle permettant de générer des tâches écologiques paramétrables pour la rééducation des fonctions exécutives. Cependant, jusqu'à présent, aucune étude n'a été menée pour étudier l'effet des stimuli logiciels pouvant être délivrés par la TVK durant la tâche. Cela pourrait être une des perspectives de travail des auteurs, outre l'étude du transfert des acquis vers le monde réel.



Figure 16. Similitude entre la TVK (à gauche) et la cuisine réelle de Kerpape (à droite)

Dans un contexte différent, et dans l'objectif de protéger les adolescents hyperactifs souffrant de déficits attentionnels (ADHA), A.Clancy et al. ont mis en place une étude utilisant un environnement virtuel immersif pour comparer le comportement des adolescents ADHD avec celui de sujets sains lors d'une mise en situation de traversée de route dans un monde virtuel (Clancy, Rucklidge et al. 2006). L'environnement virtuel consistait en une portion de route marquée par des lignes continues blanches et divisée en deux voies de 3 mètres de largeurs chacune. Des stimuli distracteurs comme un poteau, un arbre, et 11 camions actifs, ont été rajoutés à l'environnement pour simuler les conditions réelles de traversée de route. 25 sujets sains (12 H et 13 F) et 24 sujets ADHD (12 H et 12 F), âgés entre 13 et 17 ans, ont participé aux expérimentations. Les sujets expérimentent l'environnement, affiché à travers un visiocasque, en vision subjective. Les sujets ont effectué 50 tests de traversé dont 6 sans véhicules qui passent, dans une chambre d'environ 64 m².

Les résultats montrent que les adolescents ADHD, sont moins concentrés dans la tâche et plus attirés par les autres objets de l'environnement, prennent des marges de sécurité réduites, marchent plus lentement dans la traversée et prennent plus de risque que les sujets sains.

Dans le même contexte de prise en charge d'enfants hyperactifs souffrants de déficiences attentionnels (ADHD), Yehuda et al. (Yehuda, Weiss et al. 2009) ont utilisé une salle de classe virtuelle développée par Rizzo et al. (Rizzo, Bowerly et al. 2004) pour deux objectifs. Le premier objectif est de comparer la performance de sujets ADHD sans et avec un traitement méthylphénidate. Le second objectif est de comparer la classe virtuelle avec le test classique TOVA (Test Of Variables of Attention) dans la mesure de la continuité de performance dans la tâche (CPT : Continuous Performance Tasks) chez des enfants ADHD.

La classe virtuelle contient la plupart des objets que l'on peut trouver dans une salle de classe réelle (meubles, un tableau mural, etc.). Elle contient également une porte donnant sur le couloir et une fenêtre qui donne sur l'extérieur. Des humains virtuels (élèves, enseignant) peuvent être rajoutés à la scène (cf. Figure 17). Les auteurs ont mené des expérimentations auprès de 27 enfants (16 garçons et 11 filles), âgés entre 11 et 17 ans et d'âge moyen 13.7 ± 1.6 , sachant que 19 enfants sur 27 était ADHD.

Les sujets ont utilisé la souris pour interagir avec l'environnement virtuel affiché sur un écran d'ordinateur. Ils devaient cliquer sur le bouton « réponse » à chaque fois que le chiffre 7 est affiché sur le tableau virtuel précédé du chiffre 3. Ils ont été instruits pour cliquer le plus rapidement possible et pour ne rien faire lorsqu'une autre séquence de chiffres est affichée.

Chaque test a duré 10 minutes pendant lesquels 400 séquences de chiffres sont présentées. L'affichage des séquences de chiffres sur le tableau est accompagné par la délivrance de 20 stimuli à des fins distracteurs par le système virtuel. Ce dernier, permet d'émettre des stimuli auditifs tels que l'ambiance auditive classique d'une salle de classe réelle (bavardages, etc.), ou du bruit provenant du couloir lorsque la porte est ouverte. Il permet aussi d'émettre des stimuli visuels comme un avion de papier volant dans le champ visuel de l'enfant et des

stimuli audio-visuels comme par exemple une voiture bruyante qui passe (visible par la fenêtre) ou une personne qui marche dans la salle de classe.

Les résultats montrent que les stimuli délivrés jouent effectivement un rôle distracteur pendant la tâche. Les auteurs suggèrent également que la présence de stimuli distracteurs paramétrables va faire de la classe virtuelle un outil d'évaluation et de rééducation plus utilisé dans les domaines de la médecine et des sciences psychologiques.



Figure 17. Une scène de la classe virtuelle (Rizzo, Bowerly et al. 2004)référence ?

Dans le cadre de la réhabilitation à la marche chez des patients parkinsoniens, Kaminsky et al. ont utilisé un système de réalité augmentée, basé sur un phénomène dit « kinesia paradoxa » (Kaminsky, Dudgeon et al. 2007). Dans ce phénomène, très fréquent chez des personnes atteintes de la maladie de parkinson, les individus qui ont des difficultés sévères dans des mouvements simples, peuvent réaliser des mouvements complexes facilement.

Exploitant ce phénomène, les auteurs ont utilisé des lunettes permettant d'afficher des lignes horizontales lumineuses lorsque le sujet porteur de la lunette regarde vers ces pieds, formant ainsi des obstacles que ce dernier doit enjamber pour pouvoir marcher. Lorsque le sujet commence à marcher, les lignes sont défilées vers lui. Ces lignes disparaissent lorsque le sujet lève la tête et réapparaissent automatiquement s'il rebaisse la tête.

Six sujets parkinsoniens (4 hommes et 2 femmes) âgés entre 50 et 76 ans ont participé aux expérimentations. Les participants ont été invités à porter les lunettes et à se déplacer dans le monde réel pour effectuer des tâches quotidiennes dans leurs maisons.

Les résultats montrent une amélioration significative des mouvements de tous les participants. Ces derniers ont apprécié l'aide apportée par le système. Les auteurs en concluent l'efficacité

des stimuli distracteurs délivrés par le système qu'ils considèrent comme un outil efficace pour la réhabilitation à la marche chez des patients atteints par la maladie de parkinson.

Dans le contexte de la prise en charge de personnes aveugles, et dans l'objectif d'étudier l'effet des stimuli auditifs sur la performance de patients aveugles dans une tâche de navigation et de représentation spatiale dans un environnement virtuel, Sanchez et al. ont développé L'AbES (Audio-based Environment Simulator), un environnement virtuel adapté aux personnes aveugles et permettant de délivrer des stimuli auditifs (Sanchez, Tadres et al. 2009).

L'AbES (cf. Figure 18) consiste en un bâtiment contenant plusieurs chambres et différents objets (murs, meubles, toilette, bain, portes, etc.). Trois types de tâches sont proposés aux participants : Une tâche de navigation libre, une tâche de navigation selon un chemin prédéfini et un jeu dans lequel les sujets devaient collecter des bijoux dans l'appartement et les ramener à l'extérieur en présence de monstres ennemis qui essaient de voler les bijoux et de les cacher. Les sujets sont informés de la présence des ennemis par une alerte sonore. De même, toutes les actions pouvant être réalisées dans l'environnement virtuel ont des sons particuliers associés.

Pour interagir avec l'environnement, les participants utilisent les touches H, K, J, F et espace du clavier. L'appui sur ces touches permet de délivrer des stimuli auditifs additionnels dans le but de donner aux sujets des informations sur l'environnement. Les touches K et H permettent de tourner respectivement à droite et à gauche. Dans ce cas le système délivre un stimulus auditif indiquant la direction cardinale du participant. La touche espace du clavier permet de marcher. Dans le cas où le sujet peut marcher, le système délivre le son de pas, autrement, le système délivre une alerte indiquant qu'il y a un obstacle qui empêche d'avancer. Quant à la touche J, elle permet d'ouvrir une porte ou pour demander quel est l'objet en face. L'appui sur la touche F du clavier permet de fournir au sujet des informations sur sa position et son orientation et sur la tâche à réaliser.

Durant la tâche, le système permet plusieurs enregistrements tels que la distance parcourue, les différentes positions et le temps mis dans la tâche. Grâce à ces enregistrements, il est possible de recréer les trajectoires des participants et d'analyser leurs performances.

Les expérimentations ont été menées auprès de 6 enfants (4 garçons et 2 filles), âgés entre 9 et 11 ans. Après une phase de familiarisation, les sujets ont réalisé la tâche de navigation selon un chemin donné et la tâche de jeu.

Les résultats montrent que le système est compréhensible et utilisable par des personnes aveugles. En effet, l'AbES a permis aux participants, grâce aux stimuli auditifs délivrés, d'apprendre à naviguer dans l'environnement qui les entoure, de comprendre les notions d'espace, de dimension et des objets correspondants et de construire une carte mentale de leurs environnements.

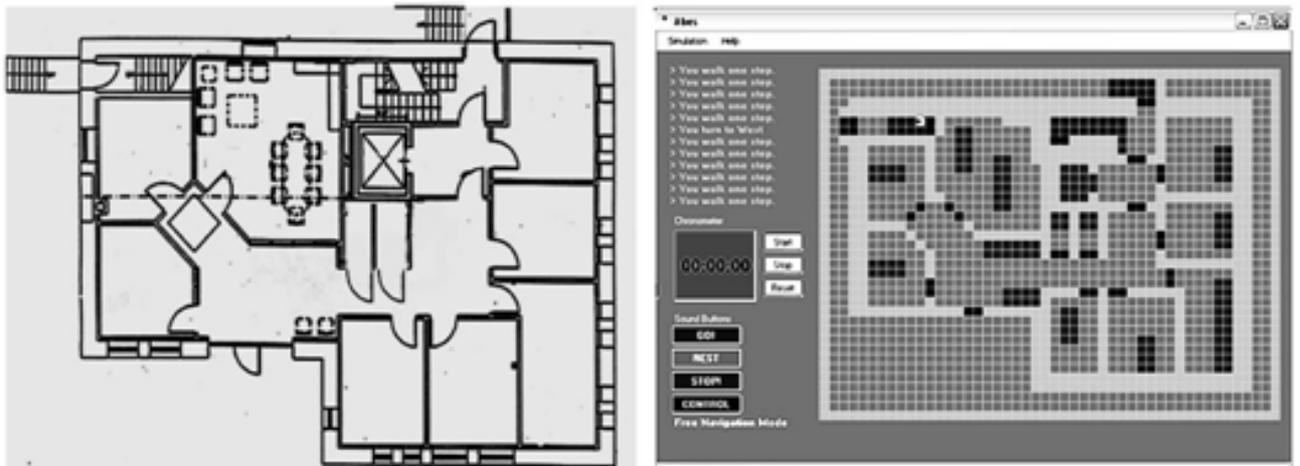


Figure 18. Le plan original du bâtiment utilisé (à gauche) et l'environnement virtuel qui le représente

Dans le contexte d'évaluation des capacités à traiter et à ordonner l'information chez des patients frontaux et chez des sujets contrôles sains, Zalla et al. ont mis en œuvre un appartement virtuel en 3d composé de quatre pièces : une chambre, une salle de bain, une cuisine et un séjour (Zalla, Plassiart et al. 2001).

La tâche a été réalisée en trois phases. La première phase était une phase de familiarisation. Le but de cette phase était de faire explorer l'environnement virtuel par les patients et de leurs apprendre à interagir avec les objets de l'environnement avec la souris. Dans la seconde phase, le participant devait générer verbalement la séquence d'actions correspondantes aux tâches routinières réalisées le matin par une personne vivant seule dans un appartement. Dans la troisième phase, les participants devaient réaliser la séquence d'actions dans le monde virtuel. Dans cette phase, le participant pouvait visualiser sa localisation dans l'appartement sur un plan qui pouvait apparaître à l'écran.

A différents moments de la tâche dans le monde virtuel, des stimuli logiciels auditifs et visuels ont été émis (comme par exemple le son de la pluie qui tombe ou la pluie visible à travers les fenêtres pour rappeler le sujet de prendre son parapluie avant de sortir).

Plusieurs variables ont été utilisées pour mesurer la performance telles que le temps mis pour accomplir la tâche, le nombre d'omissions, le nombre d'actions commencées mais non complétées. Les résultats ont montré que pendant la phase de génération de plan d'action, la présence d'un contexte réaliste a permis de minimiser l'altération des performance des patients. Cependant, dans la phase d'exécution, les patients frontaux avaient des performances largement inférieures (actions erronées, omissions, manque d'initiative, errance, difficulté de s'adapter au contexte). En outre, l'analyse du temps de planification a montré, qu'au contraire des patients, les sujets sains mettaient plus de temps à l'exécution du plan que dans son élaboration.

Dans le cadre de l'évaluation et la rééducation des activités de vie quotidienne chez des patients traumatisés-crâniens, Lee et al. ont développé un supermarché virtuel de taille petite et de structure compliquée (Figure 19) contenant 10 virages et 6 réfrigérateurs(Lee, Ku et al. 2003).

Pendant la tâche, des aides logicielles ont été émis par l'environnement virtuel pour faciliter l'interaction des sujets avec l'environnement. Lorsque le sujet se rapproche d'un objet avec lequel il peut interagir, l'objet change de couleur. Si le sujet s'éloigne de l'objet, ce dernier reprend sa couleur initiale. Les sujets interagissent avec le monde virtuel affiché sur un petit écran d'ordinateur, avec un Joystick.

Après une séance de familiarisation pour explorer le supermarché et se familiariser avec les différentes manipulations, les participants devaient faire une tâche de courses lors de laquelle ils devaient prendre tous les articles puis les poser dans la charrette.

La réussite dans la tâche était fonction de 6 critères : le temps mis dans la tâche, la distance totale parcourue, le nombre de collisions avec les murs, le nombre d'articles sélectionnés, le nombre de portes de réfrigérateurs ouvertes et le nombre d'appuis sur le bouton du joystick. Chaque sujet a eu cinq séances d'entraînement pendant 5 jours.

Avant et après l'expérimentation, les sujets devaient répondre aux questionnaires suivants : the Immersive Tendency Questionnaire (ITQ), le Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), le Presence Questionnaire (PQ) et le Virtual Reality Questionnaire (VRQ).

Les résultats montrent une amélioration significative des patients après les séances d'entraînement non seulement dans la réalisation de la tâche mais aussi dans les scores obtenus dans les différents questionnaires. Cependant, aucun lien n'a été établi entre la performance des sujets dans la tâche et le stimulus logiciel délivré par l'environnement virtuel. Il est possible que les auteurs considèrent le fait comme acquis et que les stimuli délivrés représentent des aides effectives aux sujets pendant la tâche.

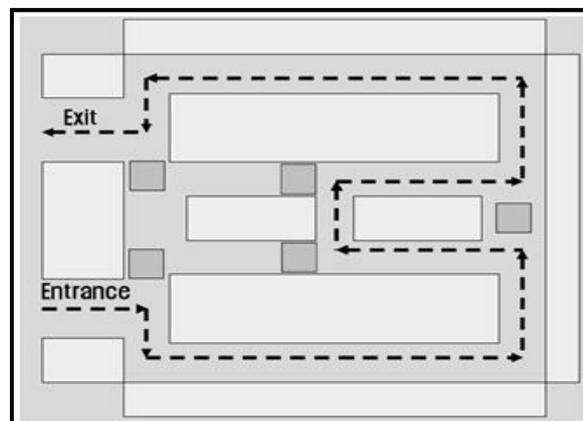


Figure 19. Plan du supermarché de Lee et al.

4. Bilan de travaux sur l'usage des stimuli logiciels dans l'apprentissage et la réhabilitation

Travaux	Population	Tâche	Type du SLA	finalité du SLA	Apports/Limites du travail	Effet constaté des SLA
(Mellet-d'Huart 2002, Burkhatdt, Lourdeaux et al. 2003, Lourdeaux, Mellet-d'Huart et al. 2003, Mellet-d'Huart 2004, Steib, L. Da Dalto et al. 2005, Mellet-d'Huart and Michel G 2006)	Sujets sains	Apprentissage de la soudure	Visuels	Aide	Amélioration de la formation au soudage en temps, en qualité et en coût	Non étudié
(Costabile, De Angeli et al. 2003)	Sujets sains	Navigation spatiale	Auditifs	Aide	Les SLA auditifs améliorent la performance si le lien SLA-tâche est explicité	Aide
(Burigat and Chittaro 2007)	Sujets sains	Navigation et orientation	Visuels	Aide	Les SLA visuels aident les sujets dans les tâches d'orientation	Aide
(Ullah, Richard et al. 2009)	Sujets Sains	Manipulation d'objets virtuels	Auditifs et visuels	Aide	Les SLA visuels aident les sujets dans la manipulation d'objets dans un environnement virtuel collaboratif	Aide
(Lécuyer, C. et al. 2002)	Sujets sains	Manipulation d'objets virtuels	Auditifs , visuels et hapiques	Aide	les SLA délivrés sont difficiles à comprendre et à exploiter par les sujets.	Aucun effet
(Rizzo, Newman et al. 2009)	Patients avec troubles de stress post-traumatique	Navigation	Auditifs , visuels, olfactifs et tactiles	Aide	Réduction, des symptômes de dépression et d'anxiété	Non étudié
(Cao, Douguet et al. 2010)	Sujets sains et patients avec AVC et TC	Préparer un café dans une cuisine virtuelle	Auditifs et Visuels	Aide	Capacité de l'outil développé à distinguer entre les sujets sains et les patients cérébrolésés	Non étudié
(Clancy, Rucklidge et al. 2006)	Patients avec des troubles attentionnels (enfants HADA)	Traversée de route	Visuels	Distracti on	Sensibilité de l'outil implémenté à la détection de l'hyperactivité chez les enfants HADA	distracti on
(Rizzo, Bowerly et al. 2004, Yehuda, Weiss et al. 2009)	Patients avec des troubles attentionnel	Tâche d'attention dans une classe virtuelle	Visuels et auditifs	Distracti on	La classe virtuelle est sensible aux améliorations induites par le traitement marquée par la diminution du temps de réaction des	Distracti on

	s (enfants HADA)					participants	
(Baram, Aharon-Peretz et al. 2002, Kaminsky, Dudgeon et al. 2007)	Patients parkinsoniens	Tâche de marche	de Visuels	Distracti on		Efficacité de l'outil pour la réhabilitation à la marche chez des patients atteints par la maladie de parkinson	Distracti on
(Sanchez, Tadres et al. 2009)	Patients aveugles	Tâche de navigation et d'orientation spatiale dans l'AbES (Audio based Environment simulator)	de Auditifs	Aide		Le système a permis aux sujets d'apprendre à naviguer dans l'environnement, d'en construire une carte mentale et de comprendre les notions d'espace, de dimensions et des objets correspondants	Aide
(Zalla, Plassiart et al. 2001)	patients frontaux et sujets contrôles sains	Génération verbale dans un appartement virtuel d'une séquence d'actions	puis un visuels	Aide		Contrairement aux sujets sains les patients frontaux mettaient plus de temps à l'élaboration d'un plan que dans son exécution	Non étudié
(Lee, Ku et al. 2003)	patients traumatisés-crâniens	Réalisation d'une tâche de course dans un supermarché virtuel	de Visuels	Aide		une amélioration des patients après les séances d'entraînement	Non étudié
(Klinger, Chemin et al. 2006)	Patients cérébrolésés	Réalisation d'une tâche de course dans un supermarché virtuel	de Visuel	Aide (principalement dans la séance de familiarisation)		Efficacité de l'outil développé pour la prise en charge des troubles exécutives	Non étudié

5. Conclusion

Les études abordées dans ce chapitre évoquent le rôle important des SLA, contextuels et non contextuels, visuels et auditifs, dans performance des sujets sains dans la tâche. Cependant, les environnements virtuels utilisés dans ces études sont, dans la plupart des cas, simples et pauvres en information. Or, il existe un intérêt particulier à l'apprentissage et le réapprentissage des activités de vie quotidienne complexes. Dans ce contexte, les environnements virtuels utilisés sont riches en information. Ainsi, l'effet des SLA délivrés nécessite d'être démontré dans des tâches de vie quotidienne complexes chez les sujets sains.

Par ailleurs, chez la population de patients, à l'exception de quelques travaux effectués sur l'étude de l'attention chez des enfants (HADA) et sur les aides auditives aux personnes aveugles, aucun travail n'avait pour but principal d'étudier les SLA et leur impact sur la performance dans une tâche basée sur la réalité virtuelle chez des patients cérébrolésés. Ceci pourrait être dû au fait que la délivrance des SLA est souvent accompagnée par l'idée, que l'information additionnelle ne peut être que bénéfique pour les sujets, sans étudier l'effet réel de ces stimuli et comment modifier leurs caractéristiques pour mieux les exploiter et favoriser ainsi la bonne perception et la bonne intégration de l'information.

V. CONCLUSION

Dans cette partie du mémoire, nous avons discuté le rôle fondamental de l'information dans les applications de réalité virtuelle pour l'apprentissage et pour la rééducation. Nous avons commencé par définir l'information avec ses facettes multiples. Ensuite, nous avons souligné quelques particularités de l'information délivrée dans un environnement virtuel, notamment les différentes interfaces comportementales assurant l'interaction système virtuel-utilisateur. Puis, nous avons mis en lumière l'importance de la modification de certaines caractéristiques de l'information, telles que les modalités d'émission (PFOV et SFOV), dans l'optimisation de la performance de sujets sains dans une tâche virtuelle.

Nous avons également retracé brièvement l'historique de l'utilisation de la réalité virtuelle dans les domaines de l'apprentissage et de la rééducation afin d'identifier les objectifs initiaux et de comprendre le contexte et les raisons pour lesquels la réalité virtuelle a été utilisée dans ces domaines.

Nous avons par la suite présenté des travaux élaborés dans les domaines de l'apprentissage et de la rééducation utilisant des environnements virtuels fonctionnels riches en stimuli logiciels. Ce qui est important à retenir de ces travaux est qu'ils évoquent le rôle important des SLA dans performance des sujets sains dans une tâche dans des environnements virtuels simples et pauvres en information. L'effet des SLA sur les sujets sains nécessite donc d'être démontré dans des tâches complexes de vie quotidienne. Par ailleurs, dans le domaine de la rééducation des fonctions exécutives, aucun travail n'avait pour objectif d'établir la relation qui peut exister entre les SLA délivrés aux patients et leurs performances dans la tâche virtuelle. Ceci peut être expliqué par le fait que la délivrance d'information additionnelle est souvent accompagnée par l'idée, qu'elle ne peut être que bénéfique pour les sujets. Pourtant, l'effet des SLA délivrés doit être prouvé.

Malgré la facilité avec laquelle il est possible de manipuler expérimentalement les différents stimuli sensoriels délivrés aux sujets dans le processus d'interaction utilisateur-système virtuel, dans le domaine de la rééducation, aucune étude n'avait tenté d'exploiter ces potentiels de l'information virtuelle pour établir les liens qui peuvent exister entre les SLA délivrés par le système virtuel et la performance des patients dans la tâche. Pourtant, une telle étude se révèle indispensable pour pallier aux principaux verrous soulevés par la rééducation cognitive basée sur la réalité virtuelle telle que la complexité des environnements virtuels, la particularité des utilisateurs finaux des applications développées, la récence des usages et le nombre réduit de la documentation.

Dans la partie 3 de cette thèse, nous allons détailler la problématique, les hypothèses et la méthodologie de notre travail.

PARTIE 3.

METHODOLOGIE

I. PROBLEMATIQUE

Rappelons que pendant une tâche dans un monde virtuel, le processus d'interaction entre l'utilisateur et le système virtuel peut être décrit de la manière suivante : l'utilisateur agit sur l'environnement virtuel grâce à l'usage d'interfaces motrices qui captent ses actions et les transmettent en temps réel à l'ordinateur qui les interprète et modifie en conséquence le monde virtuel. Conformément à l'action réalisée par l'utilisateur, l'ordinateur évalue les transformations à apporter à l'environnement virtuel et les restitutions sensorielles (images, son, efforts, etc.) à transmettre aux interfaces sensorielles qui acheminent ces informations à l'utilisateur. Et le processus continue assurant la boucle «perception, cognition, action» du comportement de l'homme dans un mode réel (cf. chapitre II, paragraphe 5 de l'état de l'art). La performance des utilisateurs dans la tâche virtuelle dépend de cette boucle d'échange d'information entre le système virtuel et le sujet. Plusieurs facteurs peuvent altérer cette boucle à différents niveaux induisant une dégradation de la performance des sujets dans la tâche.

Les dispositifs d'interface ne sont pas parfaits dans la transmission des données. En outre, un mauvais rendu des images avec une résolution spatiale pauvre, peut induire des distorsions optiques, ainsi que l'impossibilité de percevoir ou d'inférer correctement les distances (Witmer and Kline 1998). De même, le comportement sensori-moteur du sujet imposé en environnement virtuel est imparfait, du moins différent de celui dans le monde réel (Burkhardt and Lourdeaux 2006). En outre la littérature démontre que la perception est plus qu'un simple reflet de l'environnement qui nous entoure, elle en est une représentation. Elle affirme également que l'information présente dans l'environnement peut être différente de l'information perçue par les observateurs sur le plan quantitatif (e.g., en position immobile, une personne saine ne voit pas tout ce qui l'entoure ou encore une personne qui a une vision scotome est obligée de bouger pour percevoir les objets en face d'elle) et sur le plan qualitatif (e.g., un myope perçoit les objets d'une manière floue) (Delorme and Flückiger 2003).

Ainsi, l'information de départ délivrée par le système virtuel peut être différente de l'information perçue par les organes sensoriels de l'observateur qui peut à son tour être différente de l'information intégrée par son système cognitif. Un écart peut apparaître entre l'*information délivrée* par le système virtuel (I_D), l'*information perçue* par les organes sensoriels du sujet (I_P) et l'*information intégrée* par son système cognitif (I_I).

En fonction de cet écart que nous appelons I_{DPI}^3 , le système cognitif du sujet va générer 3 comportements possibles : un comportement positif dans le cas où la réaction au stimulus perçu induit une amélioration du processus d'interaction humain-système virtuel et donc de la

performance du sujet; un comportement négatif si la réaction au stimulus perçu induit une dégradation de la performance du sujet ou un comportement nul si aucune réaction n'a été réalisée. La Figure 20 illustre l'écart I_{DPI}^3 . La réduction de cet écart entraîne donc une amélioration de la boucle perception-cognition-action.

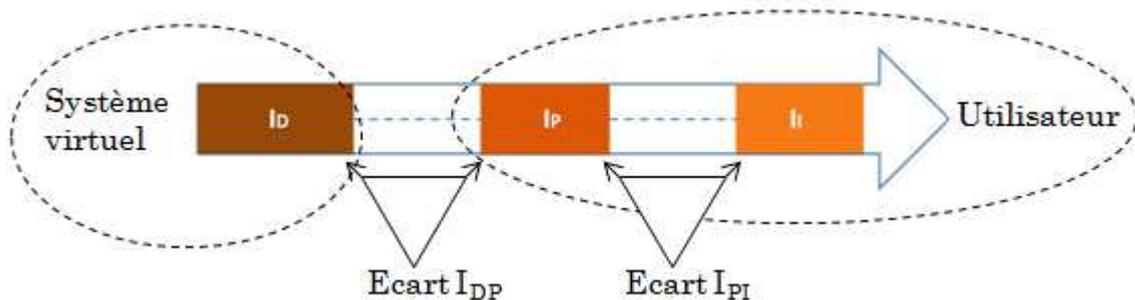


Figure 20. Ecart I_{DPI}^3

Par ailleurs, le processus d'échange de l'information entre le sujet et le système virtuel peut induire ce que l'on appelle « une surcharge informationnelle » (« Information overload »). Plusieurs travaux de recherche mettent en évidence qu'il existe un volume optimal d'informations, qui, une fois franchi, dégrade la performance de la personne qui reçoit l'information. Ce concept peut recouvrir plusieurs concepts de surcharge tels que la surcharge cognitive et la surcharge sensorielle (Marciniak and Rowe 2009).

Notre objectif dans cette thèse est d'étudier l'écart I_{DPI}^3 dans l'échange d'informations entre un utilisateur et un système virtuel dans le contexte de la rééducation cognitive. Il s'agira de proposer des moyens de réduire cet écart afin d'augmenter la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans la tâche.

Afin d'atteindre cet objectif, 3 niveaux d'interventions sont possibles : Le niveau cognitif : est le niveau que l'on cherche à améliorer ; le niveau moteur : qui peut être modifié soit en améliorant les interfaces motrices qui transmettent l'information vers l'environnement virtuel, soit en améliorant les métaphores d'interaction à l'intérieur de l'environnement virtuel ; le niveau sensoriel : qui peut être amélioré soit par le choix adéquat des interfaces sensorielles qui transmettent l'information au sujet, soit en jouant sur les caractéristiques de l'information à l'intérieur de l'environnement virtuel.

Dans le cadre des études que nous menons, nous utilisons le Virtual Action Planning supermarket (VAP-S) qui est expérimenté par les sujets uniquement à l'aide du clavier et de la souris. Il n'y a donc pas de choix d'interfaces motrices à exploiter pour améliorer le processus d'interaction. En effet, il n'y aura pas non plus beaucoup de potentiels à exploiter en améliorant les métaphores d'interaction.

Nous avons donc choisi de travailler plutôt sur l'aspect sensoriel où on peut intervenir au niveau des interfaces (périphérique d'affichage, champ visuel physique) et au niveau des caractéristique de l'information dans l'environnement virtuel.

Dans la partie état de l'art de ce mémoire, nous avons constaté que certains travaux (Patrick, Cosgrove et al. 2000, Ni, Bowman et al. 2006, Tan, Gergle et al. 2006), réalisés avec des sujets sains, ont montré que les modalités d'émission de l'information visuelle par le système virtuel, tels que le champ visuel physique, le champ visuel logiciel et la taille de l'écran d'affichage, influent sur la performance des sujets dans des tâches virtuelles. Ces tâches étaient principalement des tâches d'orientation spatiale. Cependant, aucun travail n'a été fait avec des patients cérébrolésés dans le contexte de la rééducation cognitive. De ce fait, *quel serait l'effet des modalités d'émission de l'information sur la performance de sujets sains et de patients cérébrolésés dans une tâche complexe de vie quotidienne simulée telle qu'une tâche de course dans un supermarché virtuel? »*

Par ailleurs, certains travaux ont exploité l'effet distracteur des SLA non contextuels dans la détection des troubles attentionnels (Rizzo, Bowerly et al. 2004, Kaminsky, Dudgeon et al. 2007, Yehuda, Weiss et al. 2009). Il serait ainsi pertinent de savoir si *les SLA non contextuels, ont le même effet distracteur sur des sujets sains et des sujets cérébrolésés dans une tâche complexe de vie quotidienne simulée ?*

D'autres travaux, réalisés avec des sujets sains, évoquent l'importance du rôle des SLA contextuels dans la tâche virtuelle (Costabile, De Angeli et al. 2003, Burigat and Chittaro 2007, Ullah, Richard et al. 2009). La plupart de ces travaux ont été réalisés dans des tâches d'orientation spatiale. En outre, ils ont souvent été réalisés dans des environnements virtuels pauvres en information impliquant des tâches simples. Or, actuellement, il existe un intérêt pour l'apprentissage et le réapprentissage de capacités dans des activités de vie quotidiennes complexes simulées. Dans ce contexte, les environnements virtuels sont riches en information. La démonstration du rôle aidant des SLA contextuels, nécessite donc d'être renforcée pour des sujets sains et démontrée dans le contexte des patients cérébrolésés. Notre troisième problématique est de savoir *quel serait l'effet des SLA contextuels sur des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne complexe simulée faisant appel aux fonctions exécutives ?*

Ces trois questions feront l'objet de nos hypothèses dont nous allons tenter d'étudier la validité à travers les études expérimentales menées dans le cadre de cette thèse.

II. HYPOTHESES

Nos hypothèses de travail sont les suivantes :

- Hypothèse 1 « L'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'affichage de l'information visuelle permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne » ;
- Hypothèse 2 « Les SLA non contextuels augmentent la difficulté de la tâche de la vie quotidienne simulée chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés » ;
- Hypothèse 3 « Les SLA contextuels permettent d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne » ;

III. PROPOSITIONS THEORIQUES SUR L'INFORMATION DANS UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL

Le cheminement de l'information dans l'interaction avec un environnement virtuel peut être décrit de la façon suivante :

Le processus commence par l'émission de l'information par le système virtuel à travers les interfaces sensorielles. Ensuite, si l'information n'atteint pas la cible sensorielle, il peut s'agir d'un problème technologique. Dans le cas où l'information atteint la cible sensorielle, elle peut ne pas être perçue par l'utilisateur suite à un problème lié à son organe sensoriel ou à l'expérimentation. Si l'information est perçue par l'utilisateur, elle est transmise pour être traitée par le système cognitif. S'il y a absence de traitement, il peut s'agir d'un problème de circulation de l'information dans le cerveau, sinon, une réponse est attendue de la part du sujet. Si ce dernier ne génère pas de réponse ou génère une mauvaise réponse, alors il peut s'agir d'un problème cognitif, sinon la réponse est transmise au système virtuel qui l'étudie et génère en conséquence des réponses sensorielles et le processus reboucle. Ainsi, nous proposons ce que nous avons appelé *Arbre Logique d'Echange d'Information*.

La Figure 21 illustre l'Arbre Logique d'Echange d'Information entre l'utilisateur et le système virtuel.

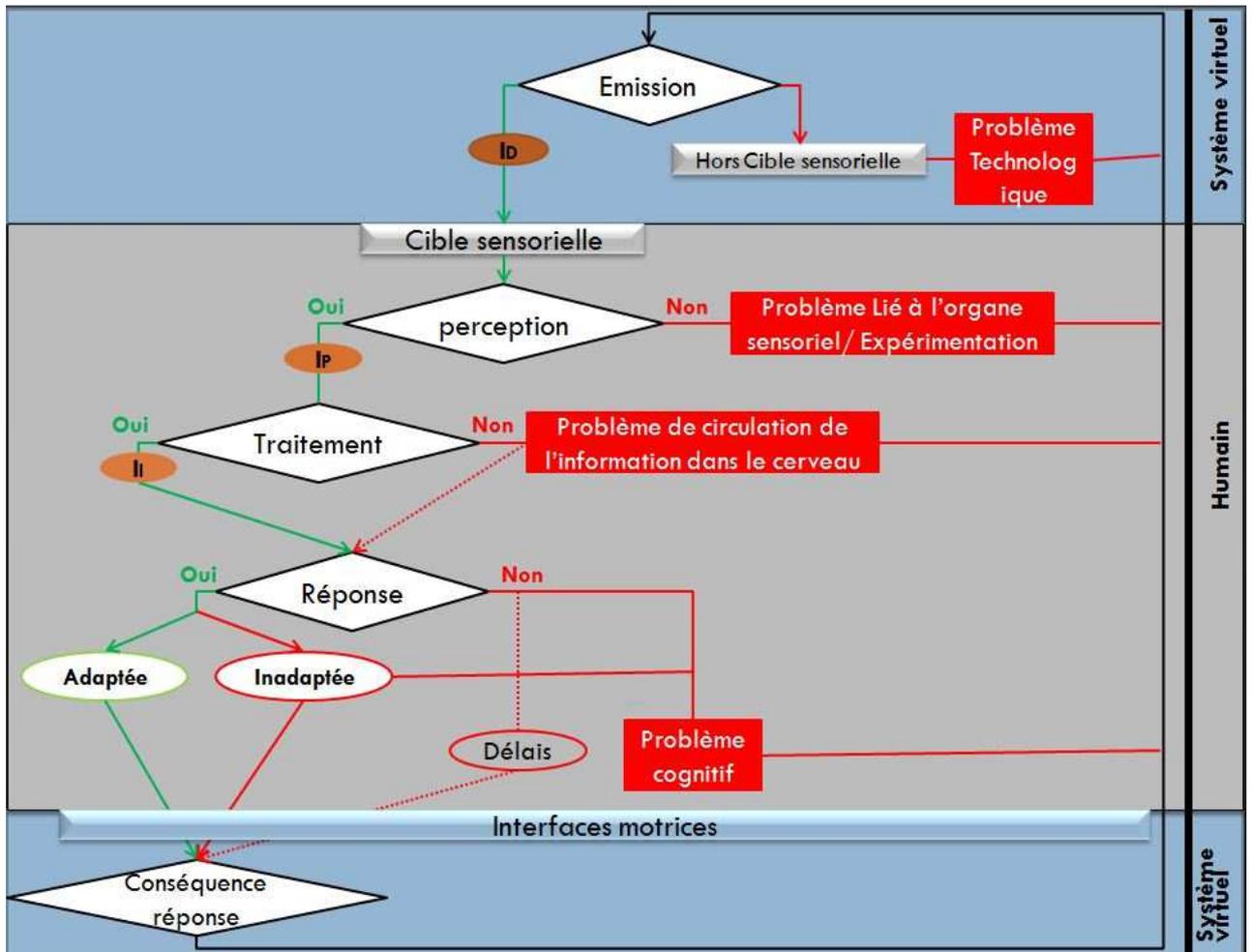


Figure 21. Cheminement de l'information entre le système virtuel et l'utilisateur : arbre logique d'échange de l'information entre le système virtuel et l'utilisateur

Le troisième facteur responsable de l'échec des participants dans ce type de tâches est lié au choix des caractéristiques de l'information. L'échec dans la tâche peut ainsi être dû à une caractérisation inadéquate de l'information délivrée. Par exemple la délivrance d'une information auditive par le système virtuel peut perdre son utilité lorsque le sujet récepteur de l'information souffre de troubles auditifs. De même, l'affichage d'une information visuelle sur le côté gauche, pour un patient souffrant d'une hémiparésie gauche dû à une lésion du côté droit du cerveau dans le côté droit du cerveau, risque de ne pas être exploitable pour lui dans la tâche.

La Figure 22 illustre d'une manière détaillée l'échange d'information entre le système virtuel et l'utilisateur et souligne l'écart I^3_{DPI} .

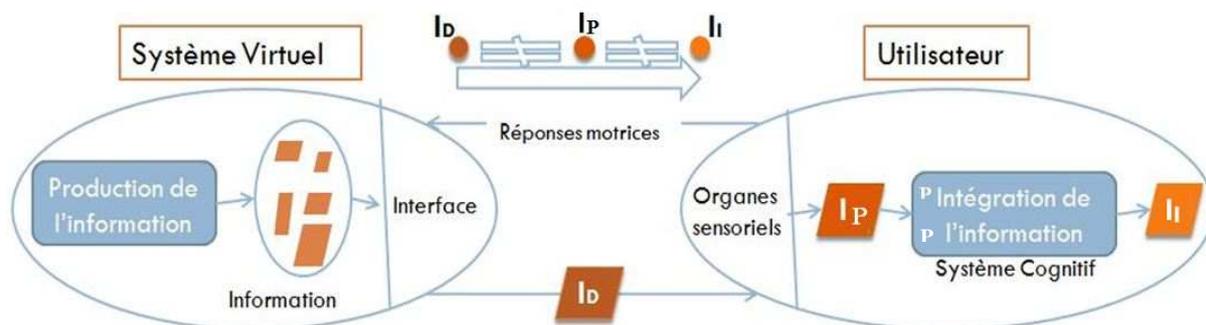


Figure 22. Echange d'information utilisateur-système virtuel, et écart I^3_{DPI}

Notre étude dans cette thèse sera focalisée sur les caractéristiques de l'information délivrée I_D .

La manipulation de l'information virtuelle peut être effectuée de deux manières : la première manière consiste en la manipulation grâce aux SLA qui peut à son tour être effectuée de deux façons :

- La première façon est celle où, par exemple, une information difficile à percevoir change de caractéristiques ou acquiert de nouvelles caractéristiques (taille, couleur, clignotement, etc.) ou est transformée en une autre forme de représentation (e.g. un texte transformé en image) ou encore est redirigée sur une autre entrée perceptive et donc une autre modalité d'émission. Ainsi une information textuelle telle que « tournez à droite » peut être manipulée en augmentant la taille ou la couleur de la police, en la faisant clignoter, en la transformant en une image d'une flèche pointant vers la droite ou encore en la redirigeant à la forme auditive pour devenir une instruction verbale. L'objectif de ce type de manipulation est d'augmenter la saillance des objets cibles dans l'environnement virtuel.
- La deuxième façon correspond à l'augmentation de l'information par une autre information additionnelle ou par un SLA contextuel dirigé vers la même entrée perceptive ou vers une autre entrée. Par exemple, les informations relatives à la consigne délivrée aux sujets au début de la tâche virtuelle peuvent être délivrées sous forme visuelle (des textes) ou sous forme auditive. Dans les deux cas l'information délivrée peut être augmenté par un SLA contextuel sous forme d'une image. La Figure 23 et la Figure 24 représentent deux manières différentes de présenter la consigne de départ dans une tâche de rééducation cognitive basée sur la réalité virtuelle.

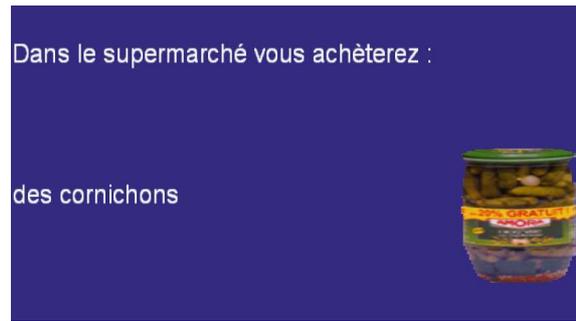


Figure 23. Information relative à la consigne présentée sous forme textuelle augmentée par un SLA (image des cornichons). (Le VAP-S (Klinger, Chemin et al. 2004))

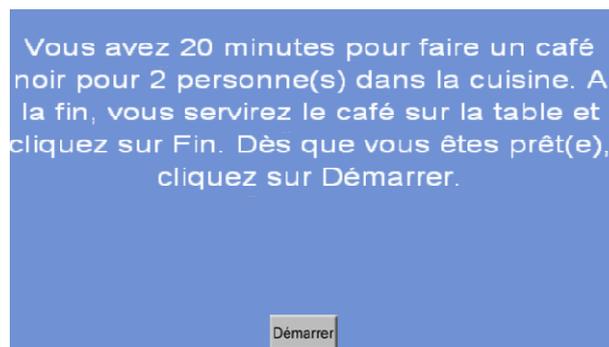


Figure 24. Information relative à la consigne présentée sous forme textuelle non augmentée par un SLA. La TVK (Klinger, Cao et al. 2009, Cao, Douguet et al. 2010)

Quant à la seconde manipulation, elle peut être effectuée en jouant sur les différentes modalités d'émission de l'information telles que le champ visuel physique, le champ visuel logiciel et la taille de l'écran d'affichage qui caractérisent l'information visuelle.

Plusieurs caractéristiques qui dépendent des objectifs de la tâche peuvent être attribuées à l'information virtuelle. Elle peut avoir plusieurs « **modalités d'émission** » suivant l'organe sensoriel récepteur de l'information : lorsque l'organe récepteur de l'information privilégié par l'application est l'œil, l'information délivrée est principalement *visuelle*. De même si l'organe sensoriel visé par l'application est l'oreille, le nez ou le touché, la modalité d'émission de l'information est respectivement *auditive*, *olfactive* ou *haptique*.

L'information possède aussi :

- une « **durée d'émission** ». Elle peut ainsi être *permanente*, lorsqu'elle est délivrée en continue durant la tâche, ou bien être *ponctuelle* si elle est délivrée à des moments donnés pour une durée limitée dans le temps.
- une « **origine** » et peut ainsi être *conditionnée par un événement* lorsque son déclenchement est lié à un événement de la scène virtuelle.

- un « **rapport avec la tâche** » et peut être *contextuelle* liée à la tâche virtuelle ou *non contextuelle* sans rapport avec la tâche virtuelle.

Ainsi, toute information délivrée par le système virtuel est caractérisée au moins par une « modalité d'émission », « un rapport avec la tâche », une « origine » et une « durée ».

Voici quelques exemples concrets pour illustrer notre propos :

- Dans une tâche de courses dans le Virtual Action Planning Supermarket (Le VAP-S), la voix d'un petit garçon qui pleure est une information *auditive* (perçue par l'oreille du sujet), *non contextuelle* (elle n'a pas de rapports avec la tâche de courses), non conditionnée par un événement (pas d'événement déclencheur) et ponctuelle (délivrée pour une durée limitée dans le temps) ;
- Dans la même tâche dans le VAP-S, une flèche qui pointe sur le prochain produit de la liste des courses est une information *visuelle* (perçue par l'œil), *contextuelle* (liée à la tâche des courses), *conditionnée par un événement* (il faut que le sujet soit à proximité du produit pour que l'information soit délivrée) et *ponctuelle* (délivrée pour une durée limitée dans le temps) ;
- Dans la même tâche dans le VAP-S, le son d'ambiance du supermarché est une information *auditive*, *contextuelle* (ambiance du supermarché), *non conditionnée par événement* (pas d'événement déclencheur) et *permanente* (car elle est délivrée en continue durant la tâche) ;
- Un animal domestique qui se déplace dans le VAP-S est une information visuelle, non contextuelle (aucun rapport avec la tâche des courses), non conditionnée par un événement et ponctuelle (délivrée pour une durée limitée dans le temps).

La Figure 25 illustre notre taxonomie de l'information délivrée par un système virtuel.

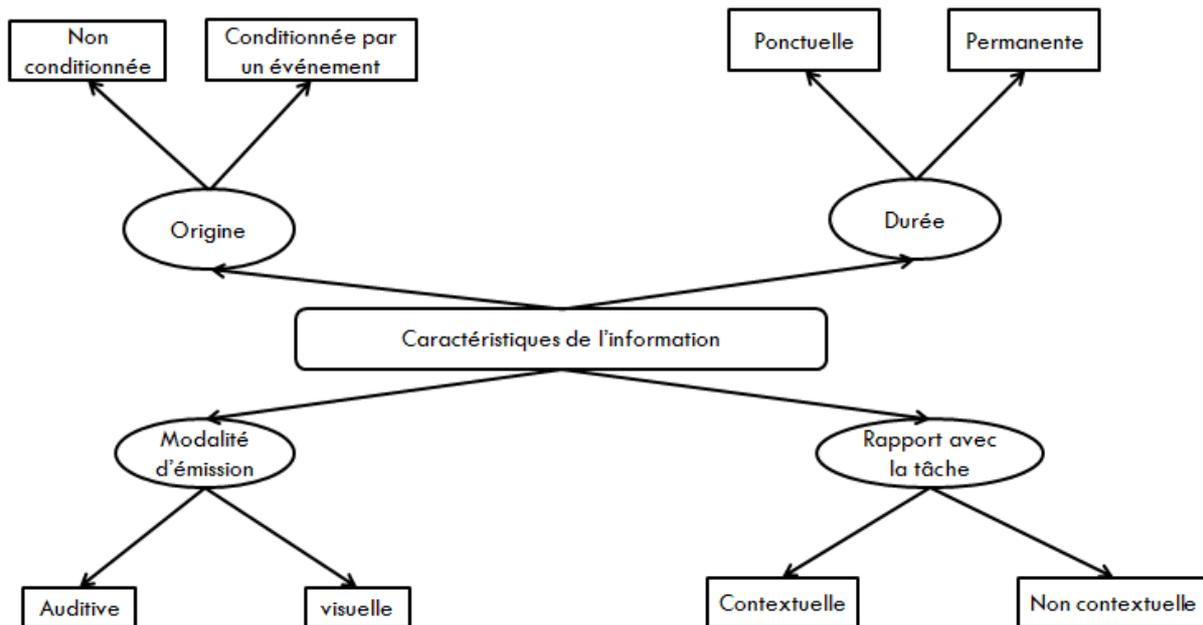


Figure 25. Taxonomie de l'information dans un environnement virtuel

Dans l'étude que nous menons sur les caractéristiques de l'information à travers cette thèse, nous nous intéressons en particulier à ce que nous avons appelé « stimuli logiciels ». Dans le chapitre 2, nous avons défini un SLA par toute information, additionnelle, délivrée par le système virtuel, qui vient augmenter l'information présente dans l'environnement virtuel et dont l'absence de l'environnement virtuel n'interdit pas l'accomplissement de la tâche. Il faut signaler qu'un SLA est un type particulier d'information virtuelle. De ce fait, il peut être classé selon notre taxonomie proposée ci-dessus. Par exemple, l'information « Clignotement des produits de la liste » dans le VAP-S est un SLA *visuel*, *contextuels*, *conditionné par un événement (rapprochement du sujet)* et *ponctuel (durée limitée dans la tâche)*.

L'importance des caractéristiques de l'information réside dans ses liens solides qui l'attachent aux fonctions cognitives humaines. Comme nous l'avons démontré dans l'état de l'art présentée dans chapitre 2, la délivrance des SLA contextuels est souvent intuitivement utilisée, même si cela nécessite d'être prouvé, comme une aide logicielle aux utilisateurs. De même pour les SLA non contextuels qui sont souvent utilisés intuitivement comme étant des distracteurs dans la tâche.

D'après le professeur Pierre-Alain JOSEPH, il existe des liens très forts, non exploités, entre les caractéristiques des SLA, délivrés aux patients lors d'une tâche de rééducation cognitive basé sur la réalité virtuelle, et les fonctions cognitives des patients.

Par exemple, les patients avec des troubles de vigilance ou des troubles visuels et les sujets facilement distraits avec un syndrome frontal désinhibé peuvent bénéficier, plus que tout autre

types de patients, des *SLA contextuels auditifs*. En revanche, les *SLA contextuels visuels* peuvent être plus bénéfiques pour les patients avec des troubles auditifs, des troubles spatiaux d'exploration (notamment la négligence Visio-spatiale) ou aussi les sujets avec des troubles de vigilance. Quant aux *SLA non contextuels visuels et auditifs*, ils peuvent avoir un rôle distracteur pendant la tâche pour tous les types de patients à l'exception des patients atteints par des troubles attentionnels (e.g, enfants hyperactifs) surtout dans le processus d'évaluation de leurs troubles.

Dans la prochaine partie de ce chapitre, nous allons proposer une étude sur notre dispositif applicatif : le VAP-S.

IV. PROPOSITIONS SUR LE DISPOSITIF EXISTANT : LE VAP-S

1. Modélisation de la tâche dans le VAP-S

L'étude menée dans cette thèse est basée essentiellement sur le Virtual Action Planning Supermarket (Le VAP-S) : un environnement virtuel mis en œuvre pour la prise en charge du dysfonctionnement cognitif chez des patients cérébrolésés. Le VAP-S est un supermarché virtuel qui a été développé par Klingner et al. dans le contexte clinique de la maladie de Parkinson (Marié, Klingner et al. 2003, Klingner, Chemin et al. 2006), et dans un paradigme similaire au Test des commissions (Martin 1972).

Le VAP-S est un supermarché virtuel de taille moyenne contenant la plupart des produits que l'on peut trouver dans un supermarché réel. Il est composé de plusieurs rayons (fruits et légumes, boissons, produits surgelés, pâtes et conserves, une boucherie, une boulangerie, vêtements, produits d'entretien, etc.) et de quatre caisses dont 2 avec caissières. En plus des humains virtuels non animés ont été placés dans le supermarché (poissonnier, boucher, agent d'accueil, clients). Des obstacles ont également été mis entre certains rayons.

Le participant est invité à réaliser une tâche de courses dans laquelle il doit mettre en place des stratégies nouvelles tout en respectant des contraintes imposées (respect de la liste de course : produits et catégories, faire le moins de détours possibles, effectuer les achats, ou encore sortir après avoir payé). Le VAP-S permet également une revue de la performance des participants en vision du top.

La Figure 26 contient une vue du VAP-S. La Figure 27 illustre une revue de la trajectoire dans le VAP-S d'un sujet cérébrolésé. Les points rouges sur la trajectoire représentent les points d'arrêts et les carrés bleus représentent les emplacements des produits de la liste des courses.



Figure 26. Le Virtual Action Planning Supermarket



Figure 27. Revue de la performance dans le VAP-S

Description de la tâche avant l'arrivée aux caisses :

Dans le meilleur des cas, le sujet *se déplace* dans les allées du supermarché (1) en *évitant* les obstacles ; il *consulte* en permanence la liste et *saisit* les produits (3) de la liste dès qu'ils sont proches (2). Le produit pris, s'il figure dans la liste, passe automatiquement dans le caddie (4).
La

Figure 25 illustre une représentation du déroulement de la tâche dans le VAP-S avant l'arrivée aux caisses.

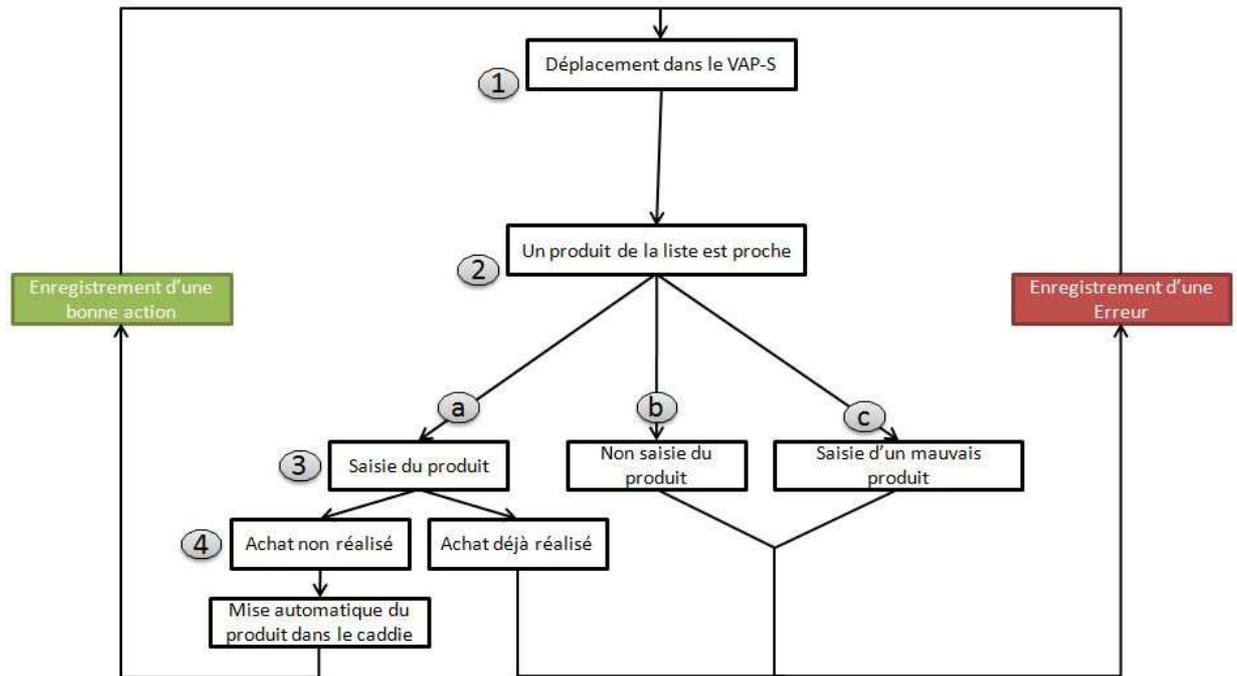


Figure 28. Description de la tâche dans le VAP-S avant l'arrivée aux caisses

Durant une séance d'expérimentation dans le VAP-S, des SLA sont délivrés aux sujets et certains ont pour objectif de les assister dans la tâche. Une partie de ces stimuli est délivrée pendant la phase de familiarisation proposée aux sujets pour leur faire apprendre les modalités de déplacement et d'interaction avec l'environnement dans la scène virtuelle. Dans cette phase, les stimuli sont délivrés essentiellement autour des caisses. Ils consistent en quatre messages délivrés aux sujets sous forme textuelle (e.g., Cliquer sur le tapis pour vider le caddie, pour payer cliquez sur le portefeuille). La deuxième partie des stimuli est délivrée au participant pendant les séances d'évaluation et de rééducation. Il s'agit de l'affichage des noms des rayons, des humains virtuels et des différents obstacles placés entre les rayons (palettes, etc.).

Un des avantages majeurs du VAP-S est le fait qu'il propose une tâche de vie quotidienne simulée, complexe qui implique plusieurs fonctionnalités cognitives telles que les capacités de planification, l'attention, les fonctions exécutives, etc. Cependant, les produits de la liste de courses ne sont pas mis en lumière par rapport aux autres objets du supermarché. Les produits du supermarché virtuel n'ont pas de saillance particulière. Ceci soulève la question des rôles des SLA contextuels et des SLA non contextuels dans l'environnement virtuel et de leur impact sur la performance dans la tâche.

Dans le paragraphe suivant, nous allons tenter d'établir une modélisation d'une couche supplémentaire enrichissante au VAP-S afin de lui permettre de délivrer des SLA avec une interface de paramétrage selon les différents caractéristiques que nous avons pu dégager dans la première partie de ce chapitre.

2. Modélisation de SLA dans le VAP-S

Dans ce paragraphe, nous allons tenter de modéliser l'insertion de SLA dans le VAP-S.

Parmi les caractéristiques de l'information dégagées dans le paragraphe précédent, dans notre démarche d'implémentation, nous nous sommes basés sur les caractéristiques : « rapport avec la tâche » et « modalité d'émission ». En fait ces deux caractéristiques de l'information sont en rapport avec nos hypothèses de départ qui visent à étudier les effets du champ visuel physique, des SLA contextuels et des SLA non contextuel sur la performance dans la tâche.

En outre, dans les applications de la réalité virtuelle pour la rééducation cognitive, les informations visuelles et auditives sont les plus privilégiées par rapports aux autres. Certains travaux ont utilisé d'autres types d'information telle que l'information olfactive utilisée dans le travail de Rizzo et al. dans l'environnement virtuel «The Virtual Iraq » qui a été implémenté pour la prise en charge les soldats revenant de la guerre en Iraq et souffrant de troubles de stress post-traumatiques(Rizzo, Newman et al. 2009). Néanmoins, le nombre des travaux utilisant des informations autres que visuelles est auditives reste limité.

En partant de la description de la tâche donnée dans le paragraphe précédent, nous avons choisi de rajouter des SLA contextuels visuels et auditifs à proximité des produits de la liste des courses c'est-à-dire étapes (2) et (3). Nous avons aussi choisi de rajouter des SLA non contextuels visuels et auditifs pendant le déplacement dans le supermarché c'est-à-dire entre les étapes (1) et (2). La Figure 29 illustre la nouvelle représentation de la tâche dans le VAP-S (avant l'arrivée aux caisses) en prenant en compte les SLA avec lesquels nous souhaitons enrichir le VAP-S.

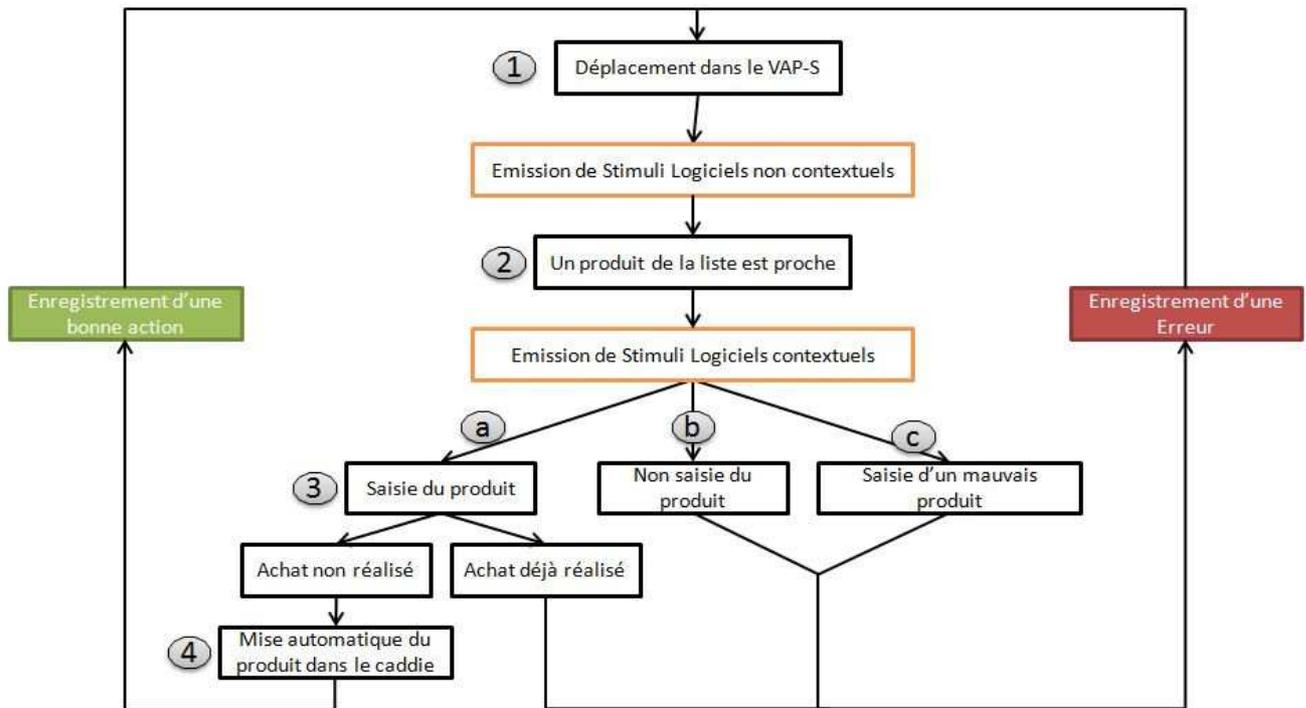


Figure 29. Description informelle de la tâche dans le VAP-S avec SLA

L'objectif de l'ajout des SLA contextuels est d'assister les participants dans la tâche en leur fournissant plus d'information et en apportant plus de saillance aux produits du supermarché. Ceci pourrait réduire le passage par les arcs (b) et (c) en faveur du passage par l'arc (a).

Modèle Conceptuel de Données (MCD) pour les SLA dans le VAP-S

En se basant sur la description donnée dans le paragraphe précédent, nous pouvons dégager les entités principales actrices de la tâche et les relations entre elles :

- Entités : Sujet, Produit, Liste, Allée, Obstacle ;
- Relations : Saisir (Sujet, Produit), Consulter (Sujet, Liste), Se déplacer (Sujet, Allée), Eviter (Sujet, Obstacle), Appartenir (Produit, Liste), Appartenir (Obstacle, Allée), Percevoir (Sujet, Liste, Allée, Obstacles, Produits) ;

La Figure 30 représente le diagramme MCD décrivant la tâche sans SLA.

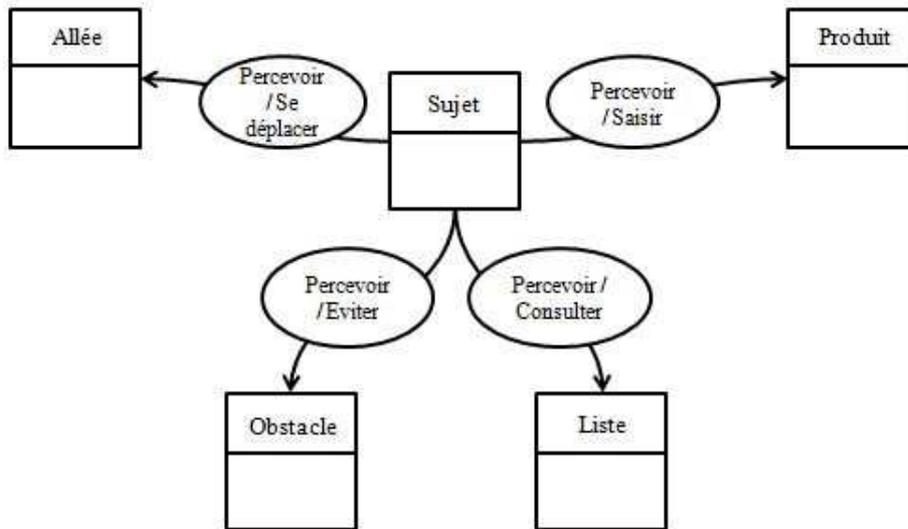


Figure 30. Diagramme MCD de la tâche dans le VAP-S sans SLA

Une fois que les entités principales constituant la tâche dans le VAP-S sont identifiées, on peut considérer les SLA avec lesquels nous souhaitons enrichir le VAP-S. Les SLA devront d'une part être perçus par le sujet et d'autre part modifier son comportement. Dès lors, on peut rajouter l'entité *SLA* et les relations : *Percevoir (Sujet, SLA)* et *Modifier comportement (SLA, Sujet)*. Ainsi, nous obtenons le diagramme MCD suivant :

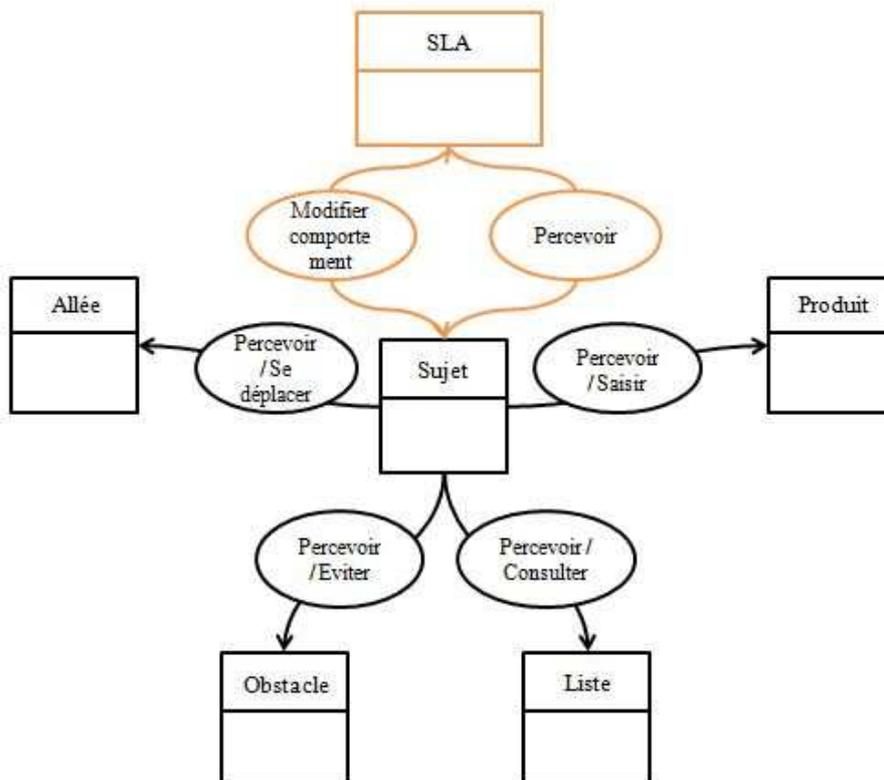


Figure 31. Modèle conceptuel de données pour la tâche dans le VAP-S avec SLA

3. Choix des SLA

Comme nous l'avons signalé dans le paragraphe précédent, nous nous sommes basés dans le choix des SLA sur les deux caractéristiques : « modalité d'émission » et « rapport avec la tâche ».

Les SLA avec lesquels nous avons enrichi le VAP-S sont les suivants :

- « Alerte sonore » : C'est un stimulus logiciel auditif, contextuel, conditionné par un événement et ponctuel. Il s'agit d'un bip simple émis lorsque ses conditions de déclenchement sont vérifiées. Ce stimulus permettrait d'augmenter la vigilance de l'utilisateur et déclencher chez lui un comportement de recherche ;
- « Effet sonar »: C'est un stimulus logiciel auditif, contextuel, conditionné par un événement et ponctuel. Ce stimulus consiste en un bip simple qui change de fréquence et de volume en fonction de la distance de l'utilisateur par rapport au produit de la liste le plus proche. Il est délivré si certaines conditions sont vérifiées. Ce stimulus permettrait d'augmenter la vigilance de l'utilisateur et de déclencher chez lui un comportement de recherche. Mais aussi de lui donner des indications sur sa position par rapport au produit vu le lien qui existe entre, d'une part la distance le séparant du produit et d'autre part le son et la fréquence du bip délivré ;
- « Enoncé du produit » : tout comme les stimuli « alerte sonore » et « effet sonar », ce stimulus est auditif, contextuel, conditionné par un événement et ponctuel. Il s'agit d'énoncer le nom du produit de la liste le plus proche de l'utilisateur si certaines conditions sont vérifiées. De même que les stimuli auditifs de la même catégorie (Alerte sonore et effet sonar), ce stimulus permettrait d'augmenter la vigilance de l'utilisateur et de déclencher chez lui un comportement de recherche. En outre, il a la particularité d'indiquer le nom du produit recherché ;
- « Clignotement du produit » : C'est un stimulus logiciel visuel, contextuel, conditionné par un événement et ponctuel. Ce stimulus va permettre au VAP-S de faire clignoter le produit de la liste le plus proche de l'utilisateur si les conditions de déclenchement sont vérifiées. Ce stimulus permettrait d'augmenter la vigilance de l'utilisateur mais aussi d'attirer son attention vers le produit recherché de la liste ;
- « Grossissement du produit » : C'est un stimulus logiciel visuel, contextuel, conditionné par un événement et ponctuel. Il s'agit d'augmenter la taille du produit de la liste le plus proche de l'utilisateur si certaines contraintes sont vérifiées. De la même manière que le stimulus « clignotement du produit », ce stimulus permettrait d'augmenter la vigilance de l'utilisateur et d'attirer son attention vers le produit recherché de la liste ;

- « Apparition du produit dans le champ visuel du sujet » : C'est un stimulus logiciel visuel, contextuel, conditionné par un événement et ponctuel. Il s'agit de faire apparaître le produit de la liste le plus proche de l'utilisateur dans son champ visuel et de le faire clignoter avant de le faire disparaître lorsque les conditions de déclenchement sont vérifiées. Ce stimulus est délivré pour les mêmes fins que le stimulus « Grossissement du produit » ;
- « Sons aléatoires périodiques » : C'est un stimulus logiciel auditif, non contextuel, non conditionné par un événement et ponctuel. Il permet d'émettre périodiquement pendant une durée déterminée un son tiré aléatoirement parmi une liste de sons choisis et chargé dynamiquement au lancement du VAP-S. Ce stimulus est délivré pour des fins de distraction mais il pourrait être bénéfique pour les patients souffrant de troubles attentionnels ;
- « Clignotement de l'écran » : C'est un stimulus logiciel visuel, non contextuel, non conditionné par un événement et ponctuel. Il consiste en faire clignoter l'écran périodiquement pour une durée déterminée. L'objectif de la délivrance de tel stimulus serait de distraire les participants durant la tâche ce qui pourrait servir dans le processus de rééducation pour faire évoluer la complexité de la tâche en fonction de l'état du sujet. Pareillement que le stimulus « Sons aléatoires périodiques », les sujets souffrant de troubles attentionnels pourraient en bénéficier ;
- « Apparition d'un objet 3d dans le champ visuel du sujet » : C'est un stimulus visuel, non contextuel, spontané et ponctuel. Il s'agit d'une sphère qui apparaît, périodiquement pour une durée déterminée dans le champ visuel de l'utilisateur avant de se dupliquer dynamiquement en deux ou 4 copies (le nombre de copies est géré d'une façon aléatoire). Ensuite les sphères parcourent l'écran selon plusieurs directions possibles gérées également d'une façon aléatoire. Pendant leurs parcours de l'écran, les sphères suivent le champ visuel logiciel de l'utilisateur. La délivrance de ce stimulus a les mêmes objectifs que les stimuli « Clignotement de l'écran » et « Sons aléatoires périodiques » ;

La Figure 32 illustre l'architecture globale des SLA implémentés. Comme nous l'avons indiqué précédemment, nous allons nous baser principalement sur les caractéristiques « modalité d'émission » et « rapport avec la tâche » pour présenter l'architecture globale des stimuli logiciels que nous souhaitons implémenter.

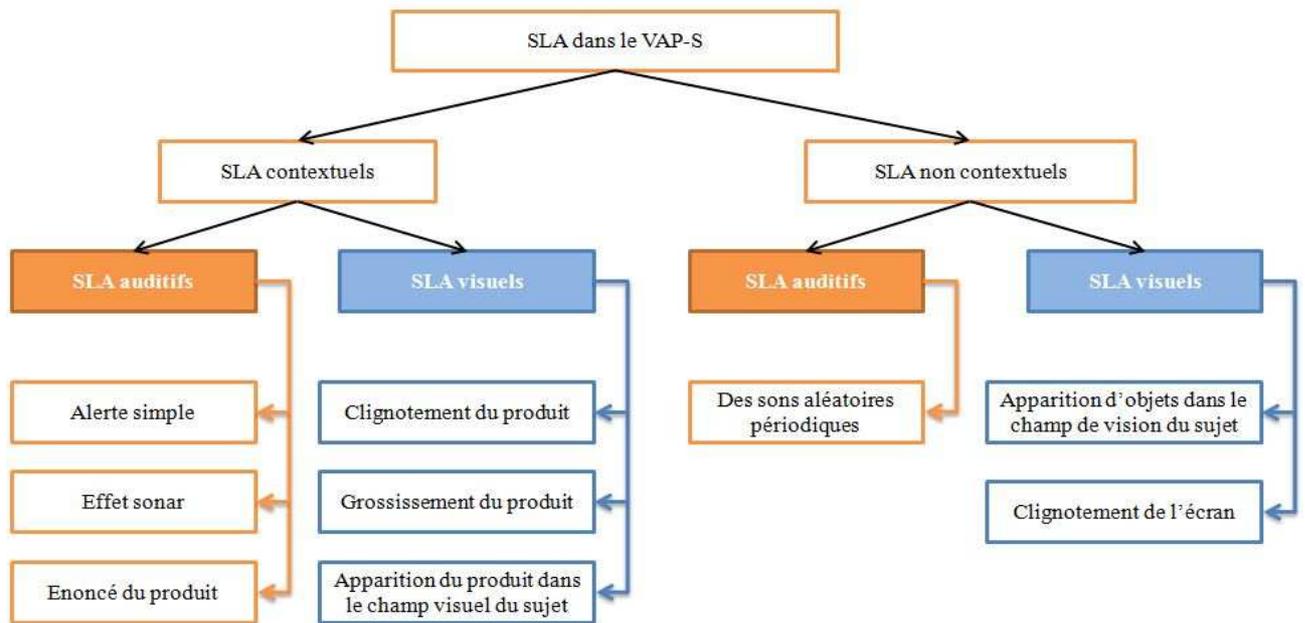


Figure 32. Architecture globale des SLA implémentés dans le VAP-S

Le Tableau 2 résume la classification de chacun des SLA selon notre taxonomie de l'information proposé dans la première partie de ce chapitre.

Caractéristiques				
Stimulus	Modalité d'émission	Rapport avec la tâche	Origine	durée
Clignotement des produits	Visuel	Contextuel	Conditionné par un événement	Ponctuel
Grossissement des produits	Visuel	Contextuel	Conditionné par un événement	Ponctuel
Déplacement du produit dans l'écran	Visuel	Contextuel	Conditionné par un événement	Ponctuel
Alerte sonore	Auditif	Contextuel	Conditionné par un événement	Ponctuel
Effet sonar	Auditif	Contextuel	Conditionné par un événement	Ponctuel
Enoncé du produit	Auditif	Contextuel	Conditionné par un événement	Ponctuel
Déplacement d'objets dans l'écran	Visuel	Non contextuel	Non Conditionné par un événement	Ponctuel
Clignotement de l'écran	Visuel	Non contextuel	Non Conditionné par un événement	Ponctuel
Des sons aléatoires périodiques	Auditif	Non contextuel	Non Conditionné par un événement	Ponctuel

Tableau 2. Classification des SLA selon la taxonomie de l'information proposée

4. Interface de paramétrage des SLA

La configuration des stimuli est implémentée essentiellement dans les fichiers *Help.cpp* et *Help.hpp* pour la structure d'un stimulus (catégorie, type, stimulus proprement dit) et dans les fichiers *HelpDialog.cpp* et *HelpDialog.hpp* pour l'interface de paramétrage des stimuli.

L'interface préexistante liée aux paramètres du VAP-S a été réalisée en QT. Elle permet de saisir des informations sur le patient : nom, sexe, date de naissance, etc. Cette interface propose aussi d'autres configurations telles que la liste des courses et le temps limite avant lequel il doit remplir la tâche.

Un espace réservé aux configurations des stimuli a été ajouté à ce travail déjà existant. Le défi dans cette partie de travail était de trouver la meilleure manière de présenter les stimuli et de récupérer ces informations pour les réutiliser sous le logiciel Virtools.

Il a fallu créer une interface qui permet de sélectionner les SLA en respectant les catégories et les sous catégories proposées dans l'étude théorique. Tous ces aspects doivent être pris en compte dans l'interface de configuration du VAP-S. Différentes propositions ont donc été faites pour l'ajout de la configuration des stimuli dans l'interface de paramétrage. Finalement, la solution retenue fut celle d'une fenêtre à onglets, spécifique à la configuration des stimuli. Chaque onglet de la fenêtre correspond à une catégorie de stimuli : Stimuli contextuels, Stimuli non contextuels, etc. Dans chacune de ces catégories, on retrouve les deux sous-catégories : Stimuli auditifs et stimuli visuels présentées chacune dans un GroupBox. L'interface a été implémentée de manière à ce que l'on peut rajouter autant de catégories et de sous catégories de stimuli que l'on veut, on rajoutant des onglets et des GroupBox.

Chaque stimulus est lié à une case à cocher. L'utilisateur doit donc choisir parmi les stimuli proposés ceux qui lui conviennent. Ce choix est sélectif par type et par catégorie : l'utilisateur ne pourra donc pas choisir deux stimuli appartenant à la même catégorie et à la même sous catégories. Par exemple, on ne peut pas choisir les stimuli « énoncé du produit » et « effet sonar » au même temps. Ceci a été fait pour éviter de surcharger inutilement l'apport d'informations au patient. Par contre, il pourra sélectionner un stimulus visuel et un stimulus auditif dans chaque catégorie.

La fenêtre principale de paramétrage des stimuli est représentée dans la Figure 33.

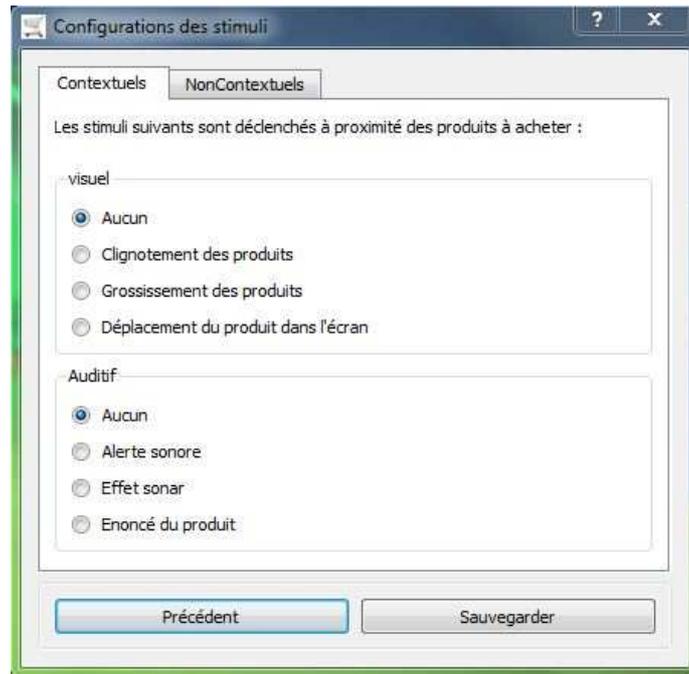


Figure 33. Interface graphique pour le choix des stimuli

Pour guider l'utilisateur et vérifier qu'il a bien saisi les deux catégories de stimuli, un « QMessageBox » a été rajouté à l'interface. Deux autres « QMessageBox » ont également été implémentés pour lui confirmer si les stimuli ont bien été enregistrés ou non. C'est-à-dire que si l'utilisateur appuie sur le bouton « sauvegarder » de la fenêtre de choix des stimuli, une fenêtre de rappel sur le choix des stimuli est affichée, contenant un message de confirmation et deux boutons « oui » et « non ». A partir de cette fenêtre, si l'utilisateur appuie sur le bouton « non », la sauvegarde des stimuli est annulée et il est renvoyé à la fenêtre de choix des stimuli après avoir affiché une fenêtre lui informant que les stimuli sélectionnés n'ont pas été enregistrés. Si, à partir de la fenêtre de rappel sur le choix des stimuli, l'utilisateur clique sur le bouton « oui », alors les stimuli sont sauvegardés et une fenêtre de confirmation s'affiche si le processus est terminé.

Ensuite, un bouton poussoir dans l'interface d'accueil a été rajouté pour permettre d'accéder à cette fenêtre de configuration. Un système de sauvegarde et de chargement de configurations des stimuli a également été rajouté. Cet ajout permet d'éviter aux thérapeutes de reconfigurer tous les stimuli à chaque fois, dans le cas où ils souhaiteraient faire une série de tests avec les mêmes configurations. Ainsi, un bouton de sauvegarde, présent dans la fenêtre à onglet, permet de créer des fichiers liés aux stimuli. Les SLA sélectionnés sont sauvegardés dans un fichier texte, portant la terminaison « .hlp ». Quand le VAP-S est lancée, le fichier contenant les informations sur les SLA s'ouvre en mode lecture et un tableau dans Virtools « infos_Aides » est rempli dynamiquement à partir de ce fichier. Les SLA sont enregistrés dans le fichier externe sous la forme suivante :

Categorie1	1	2
Categorie2	0	0

Cela signifie que l'on a sélectionné le stimulus auditif n°1 et le stimulus visuel n°2 dans la Categorie1, alors qu'on n'a sélectionné aucun stimulus dans la Categorie2.

Dans l'interface de paramétrage du VAP-S, l'utilisateur pourra alors sélectionner un fichier de stimuli, s'il veut en mettre lors de la session. Un bouton dans l'interface de paramétrage permet de revenir à la fenêtre à onglets, mais où tous les stimuli sont grisés (impossible à sélectionner). Ceci afin de pouvoir s'assurer que le fichier choisi répond bien aux attentes de l'utilisateur.

La Figure 34 présente la nouvelle interface de paramétrage après l'intégration des modifications liées aux stimuli.

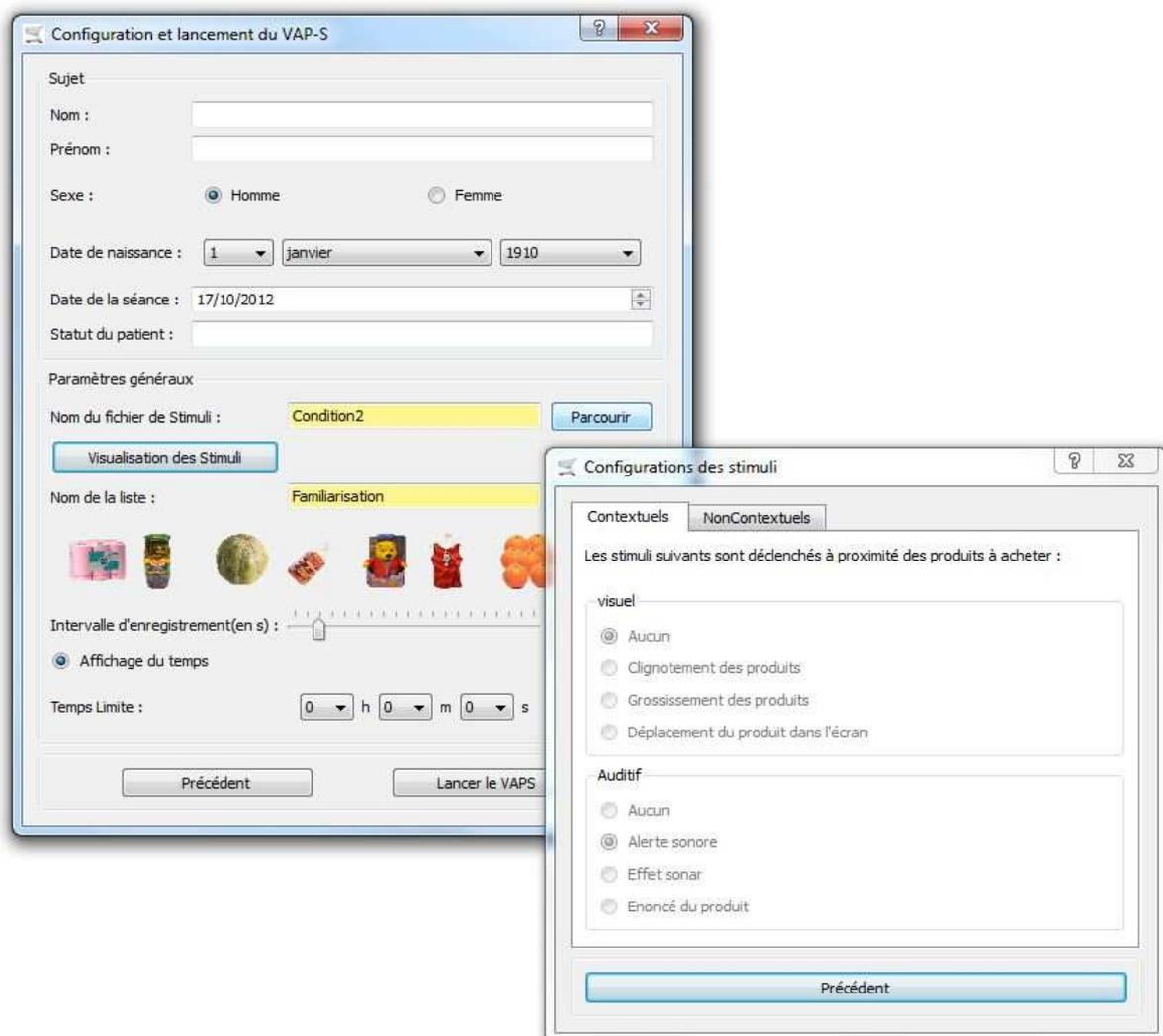


Figure 34. Nouvelle interface de paramétrage

5. Implémentation des SLA

Après avoir configuré les stimuli dans l'interface de paramétrage du VAP-S, une réflexion particulière a été menée sur la méthode à utiliser pour transposer ces configurations dans Virtools et sur la manière d'implémenter les stimuli dans le code préexistant dans le VAP-S tout en gardant la stabilité du logiciel.

A. Chargement des SLA dans le VAP-S

Les stimuli fonctionnent de la même manière que les listes de courses. Dans l'écran d'accueil du VAP-S, un bouton permet de créer un fichier de stimuli, qui sera sauvegardé avec la terminaison « .hlp ». Ce fichier, une fois chargé dans Virtools, donne un tableau de 3 colonnes, avec une ligne par catégorie. Ceci dit, deux possibilités s'offrent à nous :

- Faire un tableau de Vecteurs :

	Visuel	Auditif
Contextuel	(0,1)	(1,0)
Non contextuel	(0,0)	(1,0)

Chaque cellule contient un vecteur correspondant aux cases cochées. Par exemple, (0,1) voudra dire qu'on n'a pas coché la première case, mais la deuxième oui.

- Avantage : possibilité de laisser des checkBox pour le choix des stimuli
- Inconvénient : tests plus difficiles

- Faire un tableau d'Entiers :

	Visuel	Auditif
Contextuel	2	1
Non contextuel	0	1

Chaque cellule contient un entier correspondant à la case sélectionnée. Par exemple, 2 voudra dire qu'on a sélectionné la deuxième case. 0 signifiera qu'on n'en a pas coché.

- Avantage : tests plus simples à réaliser
- Inconvénient : radioButton nécessaires

Dans le premier cas, chaque ligne du fichier « help.cfg » contiendra, pour chaque catégorie, une série de 0 et de 1 correspondant aux stimuli sélectionnés. Par exemple, on aurait, pour les stimuli contextuels : **Stimuli contextuels 0 1 1 0**

Cela voudrait dire que pour les stimuli contextuels, on aurait sélectionné le stimulus n°2 et le stimulus n°3, possible uniquement si ces deux stimuli n'appartiennent pas à la même sous-catégorie (visuel, auditif).

Dans le deuxième cas, il est plus simple de mettre directement les entiers correspondant aux stimuli : **Stimuli contextuels 2 1**

Cela voudrait dire que pour les stimuli contextuels, on aurait sélectionné le second stimulus auditif et le premier stimulus visuel.

Lors du lancement du VAP-S, une ligne est ajoutée à la fin du fichier « config.cfg ». Cette ligne contient le nom du fichier de stimuli sélectionné, ou « Default » si aucun fichier de stimuli n'a été sélectionné.

B. Développement des SLA

Une fois l'interface de paramétrage du VAP-S remaniée, l'ajout des stimuli proprement dit pouvait débiter. Des modifications ont été apportées sur certains scripts du VAP-S et sur les structures de données (tableaux, listes, etc.) afin de garder la stabilité et le bon fonctionnement du logiciel. L'intégration du code relatif aux SLA dans le code existant du VAP-S a nécessité de la synchronisation entre les différents stimuli qui peuvent se déclencher ensemble et entre les stimuli et la tâche dans le VAP-S.

Notre stratégie pour la mise au point des SLA, est de les classer sous deux grandes catégories : les SLA contextuels et les SLA non contextuels. Dans chaque catégorie, nous avons placé deux sous catégories : les SLA visuels et les SLA auditifs (Cf. Figure 32).

Les SLA non contextuels sont déclenchés périodiquement pendant la séance dans le VAP-S, ils n'ont donc pas besoin de contraintes pour être déclenchés. A l'opposé, un SLA contextuel est déclenché si cinq conditions sont vérifiées. Il suffit que l'une de ces conditions ne soit plus vérifiée pour que le stimulus s'arrête. Ces cinq conditions sont les suivantes :

- Condition C1 : L'article doit appartenir à la liste des courses ;
- Condition C2 : L'article ne doit pas appartenir à la liste d'articles déjà saisis ;
- Condition C3 : Le stimulus doit être préalablement coché dans l'interface de paramétrage de stimuli au lancement du VAP-S ;

- Condition C4 : L'article doit être à une distance inférieure ou égale à 3 mètres de l'utilisateur ;
- Condition C5 : L'article doit être dans la même allée que l'utilisateur. Le but de ce test est d'éviter le déclenchement inutile des stimuli qui peut alourdir le temps de calcul dans le VAP-S et distraire l'utilisateur dans la tâche. Par exemple, si le sujet est à une distance inférieure à 3 mètres du produit de la liste le plus proche mais de l'autre côté de l'allée, le déclenchement du stimulus « alerte sonore » pourrait distraire le sujet au lieu de l'aider.

Le processus de déclenchement des SLA contextuels commence par un test d'existence de stimuli contextuels. Ce test sera assuré par la lecture d'un fichier externe contenant les informations sur les stimuli créé grâce à un système de sauvegarde de stimuli rajouté à l'interface de lancement du VAP-S².

Ensuite, un test de proximité est déclenché pour vérifier que la distance minimale exigée pour le déclenchement des stimuli est vérifiée. Le test de proximité est suivi d'un test d'appartenance à la même allée du supermarché car il se peut que le participant vérifie bien le test de proximité mais dans une allée différente de celle contenant le produit. Les calculs dans ces tests seront basés sur la position du produit et la dernière position du sujet enregistrée dans le supermarché.

Ensuite, les stimuli sont déclenchés après leur identification. Le processus termine avec une synchronisation entre les différents stimuli déclenchés avant de reboucler sur le test de proximité d'un autre produit de la liste (ou bien sur le même produit si ce dernier n'a pas été saisi par le sujet).

Le déclenchement des SLA non contextuels passe par les mêmes étapes sauf le test de proximité d'un article et le test d'appartenance à la même allée du supermarché, puisque ces stimuli n'ont pas de rapport avec la tâche et ne portent donc pas sur les produits.

La Figure 35 illustre notre approche dans la mise au point des différents SLA.

² Voir le paragraphe suivant

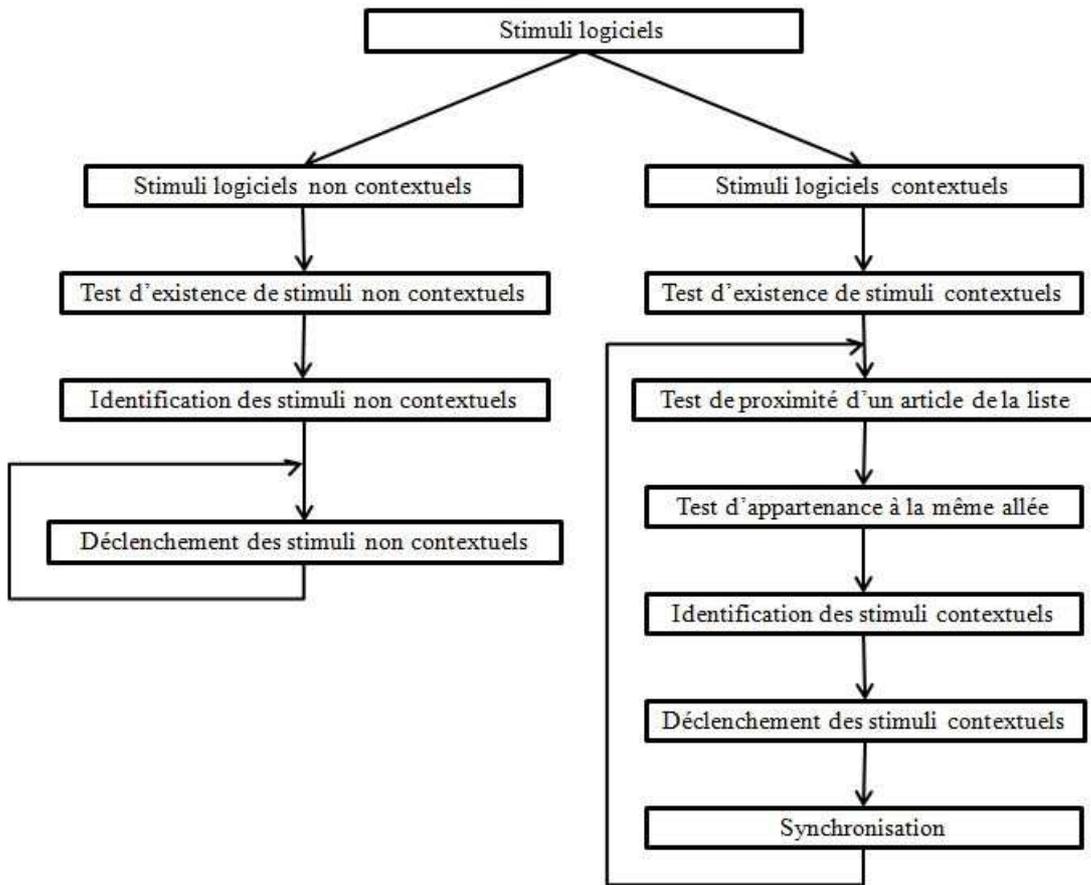


Figure 35. Stratégie de mise en œuvre des SLA dans le VAP-S

Une fois l'intégration des stimuli dans le VAP-S réalisée, il a fallu modifier le VAPS-anal, qui permet la visualisation de la performance des sujets, afin qu'il puisse prendre en compte la délivrance de stimuli dans le compte rendu de la séance.

La Figure 36 présente le compte rendu de la séance modifié.

Compte-Rendu de séance et visualisation de la trajecto...

Compte-Rendu de séance

Nom : M, vincent goasguen

Date de naissance : 26/02/1979

Age(ans) : 33

Date de la séance : 24/04/2012

Statut du sujet :

Nom de la liste : Liste_L2

Temps affiché : Non

Temps limité : Non

Distance parcourue (en m): 102,5

Durée totale de la séance : 03min 09s

Nombre d'achats effectués : 4/4

Nombre de bonnes actions : 9/9

Nombre d'intrusions : 0

Nombre total d'arrêts : 7

Durée totale des arrêts : 01min 09s

Temps mis pour payer : 02s 646ms

Sortie : Passage par la sortie

Stimuli sensoriels

Contextuels : - Clignotement des produits
- Aucun stimulus auditif

NonContextuels : - Aucun stimulus visuel
- Aucun stimulus auditif

Précédent Visualisation

Figure 36. Compte rendu de la séance modifié

V. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons détaillé la problématique et les hypothèses de notre travail. Ensuite nous avons proposé une étude théorique sur l'information dans un environnement virtuel à l'issue de laquelle nous avons proposé une taxonomie de l'information virtuelle. Nous avons ensuite fait une étude sur l'information dans le VAP-S (Le Virtual Action Planning Supermarket), notre dispositif applicatif sur lequel se basent toutes les expérimentations réalisées dans cette thèse. Ensuite, en vue de la taxonomie proposée, nous avons implémenté une couche supplémentaire au VAP-S lui permettant de délivrer des SLA paramétrables pendant la tâche de course qu'il propose. Les développements effectués vont nous permettre de mener des expérimentations pour étudier la validité de nos deuxième et troisième hypothèses.

PARTIE 4. ETUDES EXPERIMENTALES

Dans cette partie, nous présentons les trois expérimentations que nous avons menées dans le cadre de cette thèse pour étudier la validité de nos hypothèses de travail. Après une présentation générale des études, nous détaillerons, dans la partie spécifique à chaque étude, la mise au point des protocoles expérimentaux, le choix des participants, le déroulement des passations, le recueil des données, les résultats et leur analyse.

I. PRESENTATION DES ETUDES

1. Présentation générale

Les expérimentations menées ont pour objectif de déterminer l'influence de certaines caractéristiques de l'information sur la performance des utilisateurs dans une tâche de vie quotidienne simulée. Chacune des trois hypothèses annoncées dans la partie Méthodologie a fait l'objet d'une étude expérimentale. La Figure 37 illustre les niveaux d'intervention de chacune des études dans le processus de transfert de l'information du système virtuel vers l'utilisateur via les interfaces sensorielles.

La première étude nous a permis de tester la validité de l'Hypothèse 1 : « L'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'affichage de l'information visuelle permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne ». Nous avons cherché à travers cette étude à identifier les caractéristiques de l'information visuelle qui permettent de réduire l'écart entre l'information délivrée par le système virtuel I_D et l'information perçue par le système sensoriel du sujet I_P .

La seconde étude, a servi à tester la validité de notre seconde hypothèse « Les SLA non contextuels augmentent la difficulté de la tâche de vie quotidienne simulée chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés ». Nous avons cherché à travers cette étude d'identifier les caractéristiques de l'information qui permettent d'augmenter la difficulté de la tâche virtuelle et dont l'absence de l'environnement permettra de réduire l'écart entre l'information délivré par le système virtuel I_D et l'information perçue par le système sensoriel du sujet I_P .

Quant à la troisième étude, elle avait pour objectif de tester la validité de l'Hypothèse 3 : « Les SLA contextuels permettent d'améliorer la performance des sujets sains et des sujets cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne complexe ». A travers cette étude, nous avons tenté d'identifier les caractéristiques de l'information qui permettent de réduire la seconde partie de l'écart I_{DPI}^3 . C'est-à-dire l'écart entre l'information perçue par le système sensoriel du sujet I_P et l'information intégrée par son système

cognitif I_I . Par exemple, lors d'une tâche de courses dans le VAP-S, si un utilisateur perçoit un melon, et qu'il a un doute sur l'information reçue, la délivrance d'un SLA contextuel (par exemple l'énoncé du nom du produit), va lui confirmer l'information qu'il a reçue et réduire donc l'écart entre l'information perçue I_P par ses organes sensoriels et l'information intégrée I_I par son système cognitif.

Pour résumer, nous visons par l'ensemble des études menées à réduire l'écart entre l'information initiale délivrée par le système virtuel et l'information finale intégrée par le système cognitif du sujet.

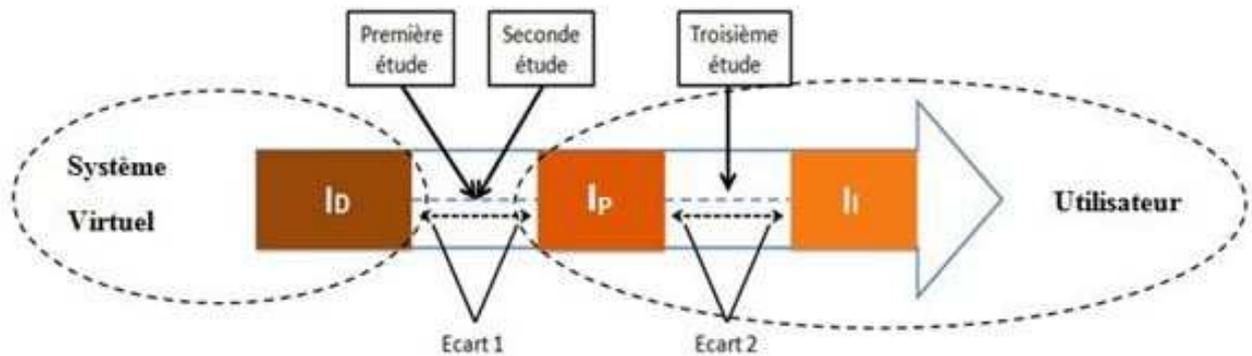


Figure 37. Niveaux d'intervention des trois études expérimentales menées

2. Dispositif expérimental

Les études expérimentales menées dans cette thèse sont toutes basées sur le Virtual Action Planning Supermarket (le VAP-S) : cet outil de réalité virtuelle propose une tâche de vie quotidienne complexe ; il a été réalisé dans le cadre de la prise en charge du dysfonctionnement cognitif par Klinger et al (Klinger, Chemin et al. 2004, Klinger 2006). Le VAP-S a été décrit dans la partie 2 de ce mémoire.

La première étude a été menée en utilisant la version existante du VAP-S. La seconde et la troisième étude ont été menées en utilisant la nouvelle version du VAP-S que nous avons enrichie avec une couche logicielle supplémentaire permettant de délivrer des SLA contextuels ou non contextuels.

Étant donné que la question de SLA n'a jamais été abordée dans le contexte de la rééducation cognitive chez des patients cérébrolésés, nous avons choisi de mener nos premières études dans ce cadre avec les SLA les plus simples possibles parmi les SLA implémentés.



Figure 38. Le Virtual Action Planning Supermarket

Mesures

La performance des participants dans la tâche demandée dans chacune des expérimentations, est mesurée grâce aux variables indicatrices de la performance dans le VAP-S. Ces variables sont : la distance parcourue en mètres (DP), le temps mis pour accomplir la tâche (T), le nombre de produits achetés, le nombre de bonnes actions (BA), le nombre de mauvaises actions (MA), le nombre de pauses (NbP), la durée des pauses (TP) et le temps mis pour effectuer le paiement (Tp).

Le VAP-S fait la distinction entre deux types de mauvaises actions (MA) : les erreurs d'intrusions et les erreurs de persévération.

Dans les expérimentations relatives à la première et la seconde études, nous avons rajouté une variable supplémentaire « Intersect » qui représente le nombre de points d'intersection dans la courbe représentant la trajectoire du participant dans le VAP-S.

3. Procédure globale

Chacune des expérimentations menées contient deux phases, une phase de familiarisation et une phase d'évaluation.

A. Phases des tests

Phase de familiarisation

Cette phase vise à apprendre aux sujets les modalités de déplacement et d'interaction avec les différents objets virtuels du supermarché. Elle consiste en une tâche de commission selon une liste de courses spécifique à chaque étude. Dans la phase de familiarisation de la première étude concernant le champ visuel physique, il a été demandé de collecter 3 produits (P1, P2 et P3) appartenant à différentes catégories et bien répartis dans le VAP-S. Les produits choisis étaient : P1 (un débardeur rouge), P2 (un sachet de croissant), P3 (papier WC rose). La répartition géographique de ces produits dans le VAP-S est illustrée dans la Figure 39.

Les sujets ont effectué la tâche dans cette phase avec un petit écran et un petit champ visuel.

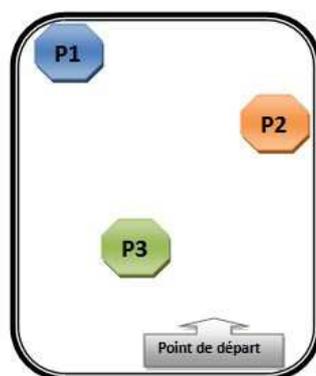


Figure 39. Répartition des produits de la liste de familiarisation pour l'étude 1

Dans chacune des phases de familiarisation de la seconde et de la troisième étude, il a été demandé aux participants de réaliser une tâche de courses selon les produits d'une liste de familiarisation, préalablement construite par le thérapeute, de payer et sortir. La liste de familiarisation contient trois produits appartenant à trois catégories différentes dispersés dans le supermarché.

Phase d'évaluation

La phase d'évaluation consiste en une tâche de courses avec une procédure spécifique à chaque étude.

4. Déroulement des expérimentations

Les expérimentations ont été menées en collaboration étroite entre notre équipe à Laval, le centre de rééducation de Kerpape et le CHU de Bordeaux. Les tests sur les sujets sains se sont déroulés à Laval, tandis que les tests sur les patients cérébrolésés se sont déroulés à Kerpape et à Bordeaux.

5. Méthodologie statistique

Des statistiques descriptives (moyennes, écarts-types, étendues des valeurs) ont été utilisées pour décrire l'échantillon et les variables principales. Dans nos expérimentations, chaque participant ayant été testé sous différentes conditions, il s'agit donc d'une expérience intra-sujets [15]. Etant donné notre échantillon, nous avons choisi le test de T de Student pour échantillon appariés pour étudier la signification des différences.

II. PREMIERE ETUDE : CHAMP VISUEL ET PERFORMANCE

1. Introduction

Dans une séance de rééducation cognitive basée sur la réalité virtuelle, l'information relative à la tâche doit être délivrée de façon appropriée par le système virtuel afin que le patient puisse la percevoir, en tirer les meilleures conclusions et générer les réactions les plus performantes possible.

Comme nous l'avons énoncé dans la partie problématique de ce mémoire, notre démarche est d'exploiter les caractéristiques de l'information à l'intérieur de l'environnement virtuel mais aussi les interfaces sensorielles afin d'augmenter la performance des sujets dans la tâche virtuelle.

Dans la partie « Etat de l'art » de ce mémoire nous avons mis en lumière l'importance du champ visuel et de la taille de l'écran dans la réalisation de tâches virtuelles chez des sujets sains (Patrick, Cosgrove et al. 2000, Ni, Bowman et al. 2006, Tan, Gergle et al. 2006). Nous avons constaté que l'usage d'un champ visuel physique large permet d'augmenter la performance de sujets sains dans différents types de tâches. Cette augmentation de la performance des sujets sains nous incite à suggérer que l'effet positif de l'usage d'un grand champ visuel physique dans une tâche virtuelle est aussi valable pour la population de patients cérébrolésés.

Etant donné le nécessaire choix des modalités pour l'affichage de l'information visuelle dans une tâche simulée de rééducation cognitive, nous nous sommes interrogés sur l'effet du champ visuel sur la performance de patients cérébrolésés dans une telle tâche. Rappelons que le champ visuel physique correspond à l'espace perçu par les deux yeux immobiles fixant droit devant. Il s'étend sur 120 degrés, encadré de part et d'autre d'un croissant de perception monoculaire de 30°(Zanglonhi, Avital et al. 2000). Dans un système virtuel, le champ visuel physique correspond à l'angle formé entre les yeux de l'utilisateur et les deux extrémités de l'écran. Il peut être modifié en faisant varier la taille de l'écran d'affichage.

2. Méthodologie

A. Hypothèse

Cette étude a pour objectif de tester la validité de notre première hypothèse :

« L'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'affichage de l'information visuelle permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne complexe ».

Rappelons que l'objectif étant de trouver le lien qui existe entre l'augmentation du PFOV et la performance des sujets et des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulée. Cette étude concerne la première partie de l'écart I_{DPI}^3 (écart entre l'information délivrée I_D et l'information perçue I_P).

B. Participants

Douze patients ayant subi un Accident Vasculaire Cérébral, hémiparétiques hospitalisés en service de rééducation, la plupart ne sont pas très éloignés de la survenue de l'AVC (8 F et 4 H, âge moyen 54.3 ± 14 ans) et vingt-six sujets sains (11 F et 15 H, âge moyen 29 ± 10 ans) ont participé aux expérimentations.

3. Procédure expérimentale

A. Conditions expérimentales

Afin de définir ces deux configurations, nous nous sommes basés sur les connaissances sur le champ visuel humain ainsi que sur les travaux dans le domaine de la réalité virtuelle concernant la relation entre la taille de l'écran et la performance dans la réalisation d'une tâche en EV. Nous avons opté pour une approche pragmatique en nous plaçant dans des conditions correspondant aux possibilités d'usage du Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux et du centre de rééducation de Kerpape. Nous avons donc mis en place deux configurations opposées de test : Une configuration Config G : condition de test avec un grand écran et un grand PFOV (vidéoprojection sur un écran mural classique) et une configuration Config P : condition de test avec un petit écran et un petit PFOV. Nous avons modifié le PFOV en faisant varier deux paramètres principaux : la taille de l'écran et la distance par rapport à l'écran.

Pour la configuration Config G, nous avons tenté de fixer le PFOV à 90° pour se rapprocher de la valeur du champ visuel physique humain. Nous avons constaté que la distance courte résultante d'une telle valeur du champ visuel physique peut engendrer deux problèmes pendant les tests. Le premier problème est lié à la résolution de l'écran. Le second est lié au confort des sujets pendant la tâche. En fait, la distance du participant par rapport à l'écran devait rester suffisante pour ne pas gêner l'exploration de l'espace par les patients cérébrolésés. Les mouvements de tête qu'elle entraîne pouvaient devenir difficiles pour certains patients. Dans un souci de confort, nous avons ainsi choisi un champ visuel de 70° pour le grand écran et un champ visuel de 45° pour le petit écran.

Le Tableau 3 illustre les choix adoptés pour notre protocole expérimental :

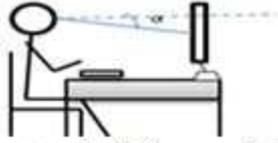
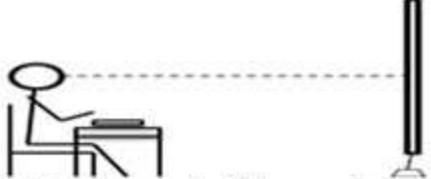
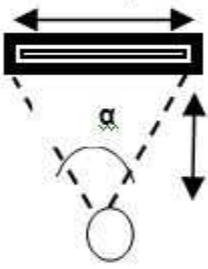
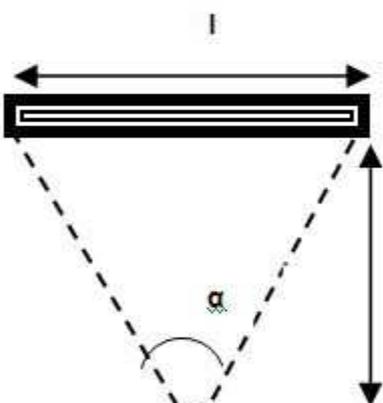
Config P	Config G
Position de l'utilisateur par rapport à l'écran	
 <p>Le centre de l'écran doit être placé sous la ligne d'horizon qui passe par les yeux de l'utilisateur</p>	 <p>Le centre de l'écran doit appartenir à la ligne d'horizon qui passe par les yeux de l'utilisateur</p>
Champ visuel physique (angle horizontal entre les extrémités gauche et droite de l'écran et les yeux de l'utilisateur.)	
 <p>$\alpha = 45^\circ$</p>	 <p>$\alpha = 70^\circ$</p>
Distance par rapport à l'écran $D = (L/2)/\text{tg}(\alpha/2)$	
<p>Exemple : Si $L = 40$ cm alors : $D = 48$ cm ($\text{tg}(22.5) = 0.414$)</p>	<p>Exemple : Si $L = 200$ cm alors : $D = 143$ cm ($\text{tg}(35) = 0,7$)</p>

Tableau 3. Conditions expérimentales mises en place : Config P (petit écran, champ visuel de 45°) et Config G (grand écran, champ visuel de 70°)

B. Evaluation

Dans la phase d'évaluation les sujets ont effectué une tâche d'achat de sept produits sans contrainte de temps avec consigne de la réaliser le mieux possible. Chaque sujet a passé le test d'évaluation deux fois avec un intervalle d'au moins une semaine: une fois dans config G et une fois dans config P. L'ordre de passage étant « G puis P » ou « P puis G » selon les participants. Afin d'éviter tout effet d'apprentissage, en plus de la période de séparation entre les deux tests, le nombre de participant qui ont commencé le test avec la configuration Config G est le même que celui des participant ayant commencé le test avec la configuration Config P.

Les mesures qui constituent les bases de la comparaison entre les deux configurations ont été décrites dans le chapitre qui présente aux études

4. Résultats

Les résultats des comparaisons (moyennes, écart-type, étendues de valeurs et significativités des différences) entre les deux configurations Config G (configuration avec un grand écran et un grand champ visuel) et Config P (configuration avec un petit écran et un petit champ visuel) sont donnés par le Tableau 4 pour les patients cérébrolésés et par le Tableau 5 pour les sujets sains.

La dernière colonne de chaque tableau contient la significativité bilatérale ($p \leq 0.05$: résultat significatif)

Patients	Config P		Config G		P
	Patients N= 12 (4 H et 8 F)	Patients Etendue de Valeur	Patients N= 12 (4 H et 8 F)	Patients Etendue de Valeur	
Age	54.3±13.9	[23 ; 67]	54.3±13.9	[23 ; 67]	-
NbA	7	[7 ; 7]	7	[7 ; 7]	-
BA	11.5±1	[7 ; 12]	11.8±1	[9 ; 12]	0.5
MA	33±30	[3 ; 111]	18±15	[3 ; 59]	0.01
Tp	4±2.9	[1.4 ; 11]	5.4±4.7	[1.6 ; 14.6]	0.3
DP (m)	351±137	[210 ; 578]	312±147	[148; 573]	0.4
T (min)	23.6±14	[7.5 ; 51.2]	22.8±14.5	[9 ; 55.9]	0.7
NbP	57±35	[17 ; 125]	50±30	[19 ; 114]	0.5
TP(min)	14.4±11.7	[3 ; 38.5]	14.3±13.1	[3.7 ; 45.3]	0.9

Tableau 4. Comparaison des résultats entre les configurations Config G et Config P chez les patients

Sujets sains	Config P		Config G		P
	Sujets sains N= 26 (11 F, 15 H)	Sujets sains Etendue de Valeur	Sujets sains N= 26 (11 F, 15 H)	Sujets sains Etendue de Valeur	
Age	29±10.2	[22 ; 59]	29±10.2	[22 ; 59]	-
NbA	7	[7 ; 7]	7	[7 ; 7]	-
BA	12	[12 ; 12]	12	[12 ; 12]	-
MA	8±5.4	[3 ; 24]	3.65±3	[0 ; 17]	<0.001
Tp	2.2±1.5	[0.3 ; 5.6]	2.1±1.4	[0.3 ; 5.6]	0.6
DP (m)	176±38	[135; 251]	171±29	[128 ; 261]	0.7
T (min)	5.7±1.5	[3.8 ; 10.3]	5.8±2.1	[4 ; 11.1]	0.1
NbP	13±5	[5 ; 22]	13±6	[4 ; 30]	0.3
TP (min)	2.09±2.73	[0.9 ; 3.56]	2.27±1.18	[0.75 ; 5.75]	0.3

Tableau 5. Comparaison des résultats entre les configurations Config G et Config P chez les sujets sains

Tous les sujets sains ont réussi à accomplir la tâche de courses dans le VAP-S : achat des sept produits et réalisation des douze bonnes actions requises. Par contre, chez la population des patients cérébrolésés, trois participants sur 12 ont omis quelques actions lors du passage aux caisses (e.g., sortie sans paiement).

Chez les deux populations, les résultats étaient très proches entre les deux configurations. Par exemple, chez les patients cérébrolésés, la valeur moyenne du nombre de bonnes actions (BA) était égale à 11 ± 1.8 dans la configuration Config G, et à 11.5 ± 1 dans la configuration Config P. Par contre, un avantage léger non significatif a été marqué pour la configuration Config G dans certaines variables (e.g., Distance parcourue et Durée de la séance).

En revanche, le nombre de mauvaises actions a augmenté d'une manière significative chez les deux populations dans la configuration Config P par rapport à la configuration Config G. Les mauvaises actions incluent toute erreur d'intrusion (saisir un produit qui n'appartient pas à la liste des courses) ou de persévération (ressaisir un produit de la liste déjà saisi). La valeur moyenne de cette variable chez les patients est passée 18 ± 15 dans la configuration Config G à 33 ± 30 dans la configuration Config P avec une significativité bilatérale de 0,01. Pour la population des sujets sains, le nombre de mauvaises actions a doublé de valeur d'une manière significative en passant de la configuration Config G (4 ± 3) à la configuration Config P (8 ± 4) avec une significativité bilatérale inférieure à 0,001.

Il est important de signaler que les mauvaises actions commises par les sujets chez les deux populations correspondent majoritairement à des erreurs d'intrusion. Pour la population des sujets sains, 185 erreurs sur 186 au total représentent des erreurs d'intrusion. Pour la population des patients, plus de 92% des erreurs commises correspondent à des erreurs d'intrusion.

La Figure 40 illustre les différences entre les deux configurations au niveau de la variable « nombre de mauvaises actions » (MA) chez les deux populations de sujets.

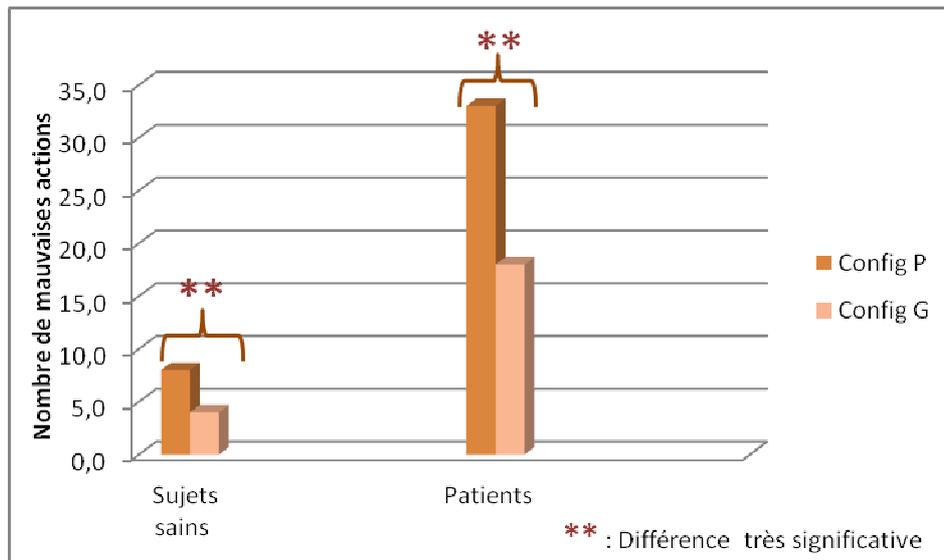


Figure 40. Comparaisons du Nombre de mauvaises actions entre les deux configurations chez les patients.

Ainsi, le résultat le plus important à retenir de cette étude est le suivant : le nombre d’erreurs augmente d’une manière significative en passant de la configuration Config G à la configuration Config P chez les deux populations de sujets. Ceci implique que les sujets sains et les patients cérébrolésés font plus d’erreurs dans la configuration Config P avec un petit écran et un petit champ visuel. Ceci veut dire que l’augmentation du champ visuel et de la taille de l’écran permet de réduire les erreurs de sélection des objets virtuels.

Nous pouvons donc confirmer que les sujets ont une meilleure perception des objets virtuels et sont ainsi capables de mieux les sélectionner lorsque ces objets sont présentés avec un grand champ visuel physique et un grand écran. Ceci peut être expliqué par le moins grand nombre de stimuli perçus simultanément avec un grand écran et un large champ visuel, réduisant le flux d’informations à traiter. Car en fait, les stimuli qui sont source d’information peuvent aussi être une source de confusion et de ralentissement lorsqu’ils sont fournis en grande quantité.

Nous avons aussi fait une comparaison inter-groupes entre les sujets sains et les patients cérébrolésés. Les résultats des analyses ont montré des différences significatives entre les performances des deux populations de sujets ce qui confirme des résultats antérieurs prouvant la sensibilité du VAP-S à distinguer entre les sujets sains et les patients cérébrolésés. Nous n’avons pas présenté ces résultats à cause de la grande différence d’âge qui existe entre les deux groupes de sujets (54.3 ± 13.9 pour les patients cérébrolésés et 29 ± 10.2 pour les sujets sains).

5. Conclusion

Cette étude a été menée pour tester la validité de notre première hypothèse sur la relation entre l'augmentation du champ visuel physique et la performance des sujets dans une tâche de vie quotidienne simulée. Il s'agit de la première étude menée avec des sujets sains et des patients cérébrolésés dans des perspectives de rééducation cognitive.

Elle concerne la première partie de l'écart I^3_{DPI} que nous avons défini entre l'information délivrée par le système virtuel et l'information perçue par les organes sensoriels du sujet. Les résultats de l'étude ont permis de démontrer que, chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés, le nombre d'erreurs de sélection des objets virtuels est plus petit lorsqu'ils réalisent la tâche avec un grand écran et un large champ visuel physique.

La diminution du nombre d'erreurs dans la sélection des objets virtuels peut donner plus de confiance aux sujets, ce qui favorise le bon accomplissement de la tâche et l'amélioration de la performance des participants. Il semble également que les cibles dans un environnement virtuel sont plus visibles et plus détectables par les participants si elles sont présentées avec un large champ visuel et un grand écran. Cependant, il semble que l'augmentation du champ visuel et de la taille de l'écran n'a pas d'influence significative sur la diminution de la distance parcourue ou le temps mis dans la tâche par les participants. Ainsi, l'utilisation d'un large champ visuel et d'un grand écran permet d'améliorer la performance des sujets uniquement en diminuant le nombre d'erreurs de sélection.

Cette diminution du nombre d'erreurs de sélection s'explique par le moins grand nombre de stimuli perçus simultanément avec un large champ visuel sur un grand écran. Car les stimuli qui sont source d'information peuvent être source de distraction et de ralentissement s'ils sont délivrés en grande quantité (Dewar 1988, Green 2000). Cela s'explique également par le fait que les objets virtuels et notamment les produits de la liste des courses sont plus visibles et plus distinguables avec un grand écran et un large champ visuel.

Quant au nombre d'arrêts des sujets dans la tâche, nous nous attendions à ce qu'il soit plus grand dans Config G puisque logiquement les participants doivent s'arrêter plus souvent devant le grand écran pour bouger leurs têtes afin de balayer le grand champ visuel sous lequel l'information est présentée. Cependant, le nombre d'arrêts dans l'environnement virtuel était plus grand dans Config P même si la différence entre les résultats n'était pas significative. Cela pourrait être expliqué par le fait que les sujets ont une meilleure perception de l'information virtuelle dans la configuration Config G, ils n'ont donc pas à s'arrêter souvent pour balayer le large champ visuel dans cette configuration.

Les résultats trouvés vont dans le même sens que d'autres travaux dans la littérature démontrant que l'augmentation du champ visuel physique et de la taille d'affichage de l'information visuelle permet d'augmenter la performance de sujets sains dans des tâches virtuelles de navigation, d'orientation et de mémoire spatiale (Patrick, Cosgrove et al. 2000, Ni, Bowman et al. 2006, Tan, Gergle et al. 2006). Les résultats de notre étude ont aussi permis de démontrer que l'effet positif de l'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'écran est aussi valable pour des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulée. Il est bien entendu qu'un tel paramétrage pour les caractéristiques de l'information visuelle a un effet positif immédiat sur la performance des sujets dans la tâche et non pas un effet différé à long terme. Ceci veut dire que la configuration (Grand écran, Champ visuel large) ne permet pas d'aider les sujets à apprendre la tâche de courses mais de les aider à la réussir.

Le travail mené dans cette étude permet donc de valider notre première hypothèse :

« L'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'affichage de l'information visuelle permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne complexe ».

Par ailleurs, cette étude ne permet pas de déterminer les limites de l'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'écran. En fait, il peut y avoir une valeur du champ visuel physique au-delà de laquelle la performance des participants commence à se dégrader.

Il existe dans la littérature des travaux qui ont été mis en place pour déterminer la valeur du champ visuel physique minimal requis pour une navigation efficace dans un environnement virtuel et l'effet de la variation de la du contraste des images affichés sur cette valeur (Hassan, Hicks et al. 2007).

Il existe également des études dans des contextes similaires sur le champ visuel logiciel qui correspond à la valeur de l'angle de la caméra à l'intérieur de l'environnement virtuel. Ces études ont permis de démontrer qu'un champ visuel logiciel trop large a un effet négatif, chez des sujets sains, sur la perception des objets virtuels (objets déformés) et sur l'appréciation des distances dans l'environnement virtuel (Psocka, Lewis et al. 1998, Bowman and McMahan 2007, Bowman, Sowndararajan et al. 2009). Cependant, aucun travail dans la littérature n'a été mis en place pour déterminer la valeur du champ visuel physique qui correspond à un seuil de performance ni chez les sujets sains ni chez les patients cérébrolésés.

Cette problématique peut faire l'objet d'une perspective éventuelle du travail de recherche mené dans cette étude. Une autre piste intéressante est l'exploration plus détaillée de la question de l'augmentation du champ visuel physique en la combinant avec différentes valeurs du champ visuel logiciel. L'objectif étant de déterminer, si elle existe, la combinaison

(champ visuel physique, champ visuel logiciel) pour laquelle la performance des participants est optimale.

III. SECONDE ETUDE : SLA NON CONTEXTUELS ET PERFORMANCE

1. Introduction

Dans une séance de rééducation cognitive basée sur une tâche de vie quotidienne simulée en réalité virtuelle, le système virtuel délivre aux participants des informations diverses avec différentes finalités : affichage de l'environnement et des objets le constituant (e.g., Cuisine, supermarché, etc.), compréhension de la tâche (e.g., préparation d'un repas, courses, etc.), augmenter la saillance de certains objets de l'environnement (e.g, changement du curseur), des instructions liées à l'interaction avec l'environnement (e.g., instructions orales, instructions visuelles, etc.), etc.. Cependant, il existe des informations qui ne sont pas liées à l'interaction dans l'environnement virtuel (e.g., images et bruits de voitures qui passent à travers la fenêtre de la cuisine, etc.) délivrées pour diverses raisons (e.g., enrichir l'environnement, rendre l'environnement proche de la réalité). Ce type d'information est souvent utilisé dans différentes applications de réalité virtuelle sans que l'on prenne en considération l'effet que peut avoir la délivrance d'une telle information sur le comportement des sujets dans la tâche. Pourtant, l'effet des informations non contextuelles sur la performance des sujets dans la tâche devrait être clairement déterminé.

Rappelons que nous avons défini un Stimulus Logiciel Additionnel non contextuel par toute information additionnelle non liée à la tâche, délivrée par le système virtuel, qui vient augmenter l'information présente dans l'environnement virtuel et dont l'absence de l'environnement virtuel n'interdit pas l'accomplissement de la tâche.

2. Méthodologie

A. Hypothèse

Cette étude a pour objectif de tester la validité de notre seconde hypothèse :

« Les SLA non contextuels permettent d'augmenter la difficulté de la tâche de la vie quotidienne simulée chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés ».

Rappelons que l'objectif étant de trouver le lien qui existe entre la délivrance de SLA non contextuels et la performance des sujets et des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulée. Cette étude concerne la première partie de l'écart I_{DPI}^3 (écart entre l'information délivrée I_D et l'information perçue I_P).

B. Participants

19 sujets sains (12 hommes et 7 femmes, âgés entre 22 et 35 ans, âge moyen = 28 ± 3) et 5 patients cérébrolésés (4 hommes et 1 femmes, âgés entre 21 et 72 ans, âge moyen = 51 ± 20) ont participé aux expérimentations de cette étude.

3. Procédure expérimentale

A. Conditions expérimentales

Pour mettre en œuvre les conditions expérimentales et notamment la taille de l'affichage et le champ visuel physique, nous avons exploité les résultats de notre première étude expérimentale sur le champ visuel. Les conditions expérimentales adoptées sont les suivantes :

- Position de l'utilisateur par rapport à l'écran : Le centre de l'écran doit appartenir à la ligne d'horizon qui passe par les yeux de l'utilisateur ;
- Champ visuel physique (angle horizontal entre les extrémités gauche et droite de l'écran et les yeux de l'utilisateur) : $\alpha = 70^\circ$;
- Distance par rapport à l'écran : $D = (L/2) / \tan(\alpha/2)$. Exemple : Si $L = 200$ cm alors : $D = 143$ cm

B. Procédure

Chaque sujet inclus dans le protocole a passé une séance d'expérimentation d'une heure au maximum qui s'est déroulée en deux phases : une phase de familiarisation et une phase de test.

La phase de familiarisation avait pour objectif de permettre aux sujets de se familiariser avec l'environnement virtuel du VAP-S, avec 1 tâche de commissions et avec les modalités d'interaction avec les objets virtuels dans le supermarché. Cette phase a été décrite dans la partie commune aux trois études.

Dans la phase d'évaluation il était demandé aux participants d'acheter les produits de deux listes (L1 et L2) dans quatre conditions. Les conditions de tests ont été mises en place selon les listes de courses et le stimulus logiciel additionnel non contextuel délivré pendant la tâche.

Chacune des deux listes contient quatre produits appartenant aux mêmes catégories et situés dans la même localisation géographique. Les listes des courses L1 et L2 mises en place sont décrites dans Tableau 11.

Catégorie	Liste L1	Liste L2
Fruits et légumes	Pommes vertes	Un melon
Produits d'entretien	Papier WC	Du gel douche
Linge	Tee-shirt	Chaussettes
Conserves	Farine	Pates

Tableau 6. Les deux listes de courses L1 et L2 mises en place pour les expérimentations

Les quatre conditions mises en place sont les suivantes :

- la condition (C0) : réaliser l'achat des produits de la liste L1 sans aucun SLA ;
- la condition (C2) : réaliser l'achat des produits de la liste L1 avec la délivrance du SLA auditif non contextuel « Sons aléatoires périodiques » ;
- la condition (C1) : réaliser les quatre courses de la liste L2 sans délivrance de SLA ;
- la condition (C3) : réaliser l'achat des produits de la liste L2 avec la délivrance du SLA visuel non contextuel « Apparition d'objets dans le champ visuel du sujet ».

Afin d'éviter tout effet d'apprentissage, chaque participant ont commencé les tests soit avec une condition avec SLA soit avec une condition sans SLA. Les participants ont été affectés aux tests de la manière suivante : le premier sujet a effectué les tests dans l'ordre C0, C2, C1, C3, l'ordre des conditions pour le second participant était C2, C0, C3, C1. Le troisième

participant a effectué les tests dans le même ordre que le premier et le quatrième est passé dans le même ordre que le second et ainsi de suite pour le reste des participants.

La Figure 41 illustre la manière dont les sujets ont été affectés aux expérimentations.

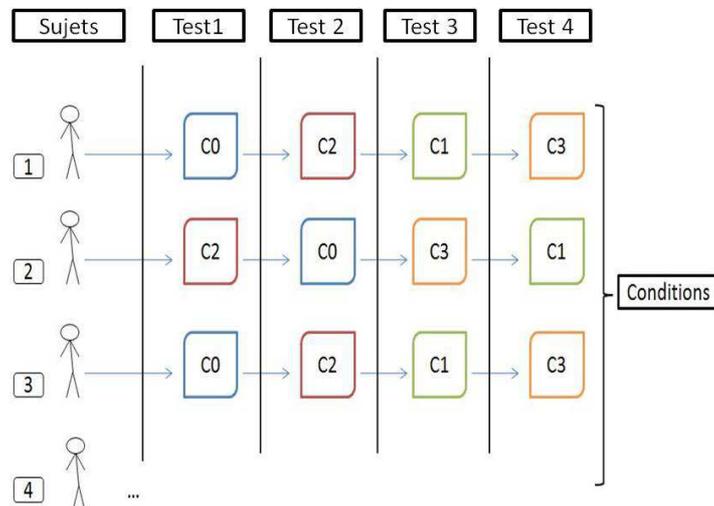


Figure 41. Affectation des sujets aux conditions des tests

A la fin de chaque passation, chacun des sujets a répondu à la question suivante :

Quel(s) effet(s) avaient les SLA délivrés sur vous durant la tâche ?

Les participants ont réalisé la tâche dans les différentes conditions sans avoir été informés du lien sémantique qui existe entre les SLA délivrés et la tâche dans le VAP-S.

Les comparaisons entre la condition C0 et la condition C2 vont nous permettre de déterminer l'effet des SLA auditifs non contextuels sur la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans la tâche proposée. L'effet des SLA visuels non contextuels sera déterminé grâce aux comparaisons entre la condition C1 et la condition C3.

4. Résultats

A. Résultats pour les sujets sains

Les résultats des performances des sujets sains dans les tests sont présentés dans le

Tableau 7 (comparaisons entre la condition C0 et la condition C2) et le Tableau 8 (comparaisons entre la condition C1 et la condition C3) : moyennes, étendue de valeurs et comparaisons entre les quatre conditions présentées.

Les résultats montrent que tous les sujets ont réussi à acheter tous les produits des listes et ont réalisé toutes les bonnes actions nécessaires à accomplir la tâche des courses dans la VAP-S (achat des produits, paiement, sortie du magasin, etc.)

Les résultats montrent aussi que la performance des sujets a baissé d'une manière significative en passant de la condition C0 à la condition C2 et de la condition C1 à la condition C3. La distance moyenne parcourue dans la VAP-S a fait une augmentation de 16.5 % en passant de 132 ± 22 mètres dans la condition C0 à 155 ± 23 mètres dans la condition C2. La significativité bilatérale de la différence marquée est de 0.002. Elle a également augmenté de 16.2 % en passant de 117 ± 16 mètres dans la condition C1 à 136 ± 20 mètres dans la condition C3, avec une significativité bilatérale inférieure à 0.001.

Le temps moyen mis dans la tâche a également augmenté en passant de 3.7 ± 0.9 minutes dans la condition C0 à 4.6 ± 1 minutes dans la condition C1, soit une augmentation de 24 % avec une significativité bilatérale inférieure à 0.001. Il a aussi augmenté de 24.2 % en passant de 3.3 ± 1 minutes dans la condition C1 à 4.1 ± 1.3 minutes dans la condition C3. La significativité bilatérale cette la différence est également inférieure à 0.001.

Les mêmes observations sont aussi valides pour le nombre moyen de pauses (arrêt d'une durée supérieure à 3 secondes) effectués par les participants durant la tâche. Il est passé de 7 ± 2 et de 6 ± 3 respectivement dans les conditions C0 et C1 à 9 ± 4 et 8 ± 4 respectivement dans les conditions C2 et C3. Il a ainsi effectué une augmentation de 28.5 % dans le cas de délivrance d'SLA non contextuel auditifs et une augmentation de 33.3% dans le cas d'émission d'SLA non contextuels visuels.

De même pour la durée moyenne des pauses qui a augmenté de 36,3 % en passant de la condition C0 à la condition C2 et de 44,4% en passant de la condition C1 à la condition C3. Les significativités bilatérales des différences marquées sont respectivement de 0.015 et de 0.07.

Le nombre moyen de mauvaises actions a lui aussi augmenté en passant de 1 ± 1 dans les conditions C0 et C1 à 3 ± 4 et 3 ± 2 respectivement dans les conditions C2 et C3. Les significativités bilatérales des différences marqués entre la condition C0 et la condition C2 et entre la condition C1 et la condition C3 sont respectivement de 0.042 et de 0.012.

	Condition C0		Condition C2		P*
	Sujets sains N= 19 (7 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	Sujets sains N= 19 (7 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	
Age	28±3	[22 ; 35]	28±3	[22 ; 35]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	132±22	[103, 196]	155±23	[115, 207]	0.002
T (min)	3.7±0.9	[2.6, 6]	4.6±1	[2.9, 6.5]	<0.001
MA	1±1	[0, 3]	3±4	[0, 18]	0.042
NbP	7±2	[3, 12]	9±4	[2, 15]	0.015
TP (min)	1.1±0.4	[0.6, 2.5]	1.5±0.6	[0.3, 2.1]	0.011
Intersect	2±3	[0, 10]	4±2	[1, 8]	0.035

Tableau 7. Comparaisons des performances des sujets sains entre la condition C0 (liste L1 sans SLA) et la condition C2 (liste L2 avec le SLA « Sons aléatoires périodiques »)

	Condition C1		Condition C3		P*
	Sujets sains N= 23 (11 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	Sujets sains N= 23 (11 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	
Age	28±3	[22 ; 35]	28±3	[22 ; 35]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	117±16	[103, 156]	136±20	[105, 180]	<0.001
T (min)	3.3±1	[2.1, 6]	4.1±1.3	[2.1, 7.1]	< 0.001
MA	1±1	[0, 3]	3±2	[0, 7]	0.012
NbP	6±3	[2, 13]	8±4	[1, 15]	0.07
TP (min)	0.9±0.3	[0.4, 1.6]	1.3±0.6	[0.3, 2.1]	<0.001
Intersect	1±1	[0, 4]	2±2	[0, 7]	0.002

Tableau 8. Comparaisons des performances des sujets sains entre la condition C1 (liste L1 sans SLA) et la condition C3 (liste L2 avec le SLA « Apparition d'objets dans le champ visuel du sujet »)

Les comparaisons entre les différentes conditions au niveau de la distance parcourue, du temps mis et du nombre de mauvaises actions sont représentées dans les figures ci-dessous.

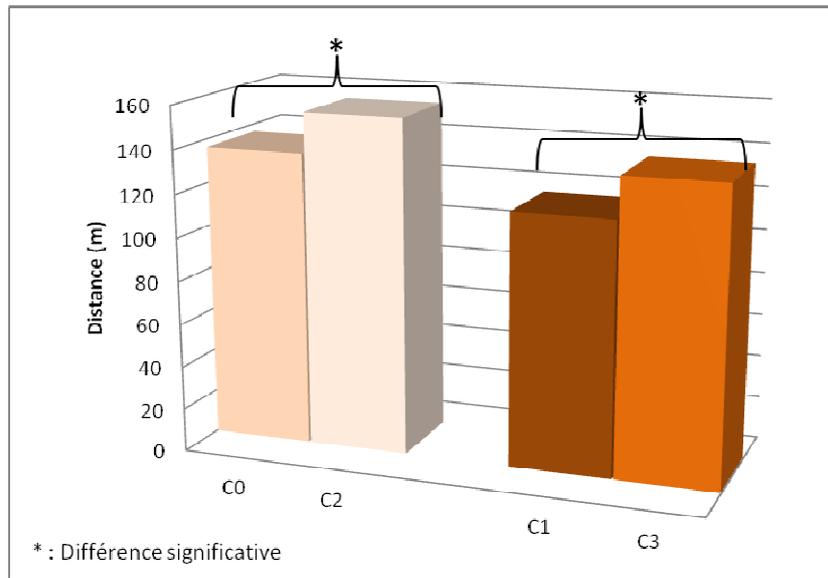


Figure 42. Comparaisons entre les distances moyennes parcourues dans les différentes conditions sans et avec SLA non contextuels chez les sujets sains

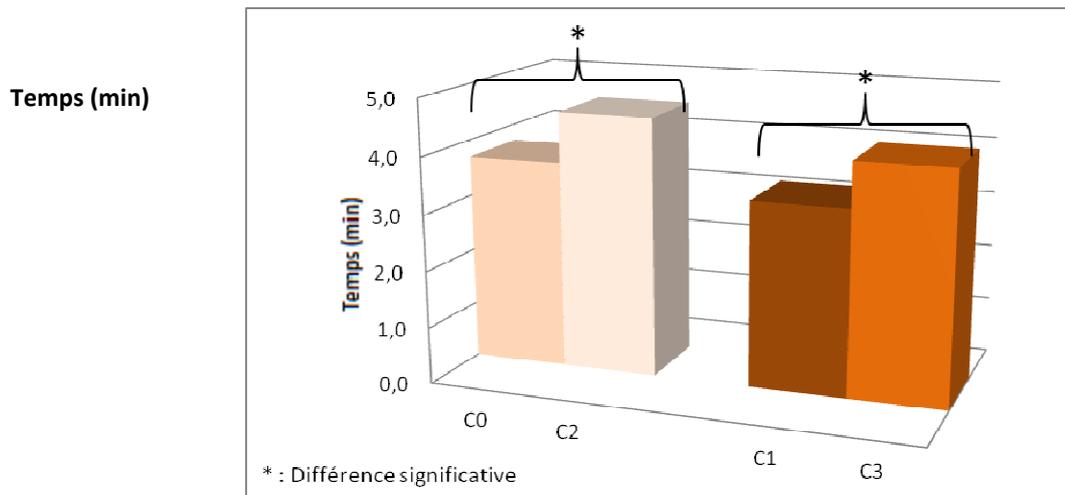


Figure 43. Comparaisons entre les temps moyens mis dans la tâche dans les différentes conditions sans et avec SLA non contextuels chez les sujets sains

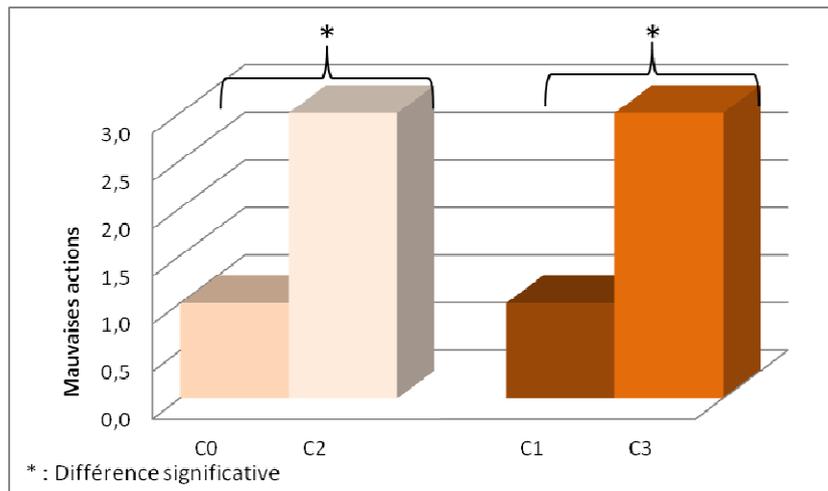


Figure 44. Comparaisons entre les nombres moyens d’erreurs commises dans les différentes conditions sans et avec SLA non contextuels chez les sujets sains

Les résultats montrent donc que les sujets sains ont mis 16 % plus de temps pour accomplir la tâche, ont parcouru une distance 20 % plus longue, se sont arrêtés plus souvent et plus longtemps et ont commis plus d’erreurs lorsque des SLA non liés à la tâche étaient délivrés pendant la séance.

Ceci s’explique par le fait que la délivrance des SLA qui ne sont pas liés à la tâche peut détourner l’attention des participants des cibles virtuelles (distracteurs) et/ou augmenter l’information à traiter (charge attentionnelle). En conséquence, ils ont mis plus de temps à trouver les produits des listes des courses et ont donc mis plus de temps et parcouru plus de distance pour accomplir la tâche de courses dans le VAP-S. L’augmentation du temps mis dans la tâche va impérativement augmenter le risque d’erreurs d’où l’augmentation significative du nombre de mauvaises actions.

L’augmentation significative du nombre et de la durée des pauses découle essentiellement de deux raisons : la première raison est le fait que l’augmentation de la durée de la séance augmente systématiquement le nombre de pauses et la durée des pauses. La deuxième raison consiste au fait qu’à chaque fois qu’il y a délivrance de SLA non lié à la tâche, les participants s’arrêtent pour le suivre du regard s’il s’agit d’un SLA visuel, ou pour l’écouter s’il s’agit d’un SLA auditif.

En outre l’étude des courbes représentant les trajectoires des participants dans le supermarché montre que le nombre des points d’intersection dans les courbes a augmenté lorsque les sujets ont réalisé la tâche avec les SLA non contextuels auditifs ou visuels dans les conditions C2 et C3.

Les résultats de cette partie de l'étude menée sur les sujets sains montre donc que la performance des sujets sains dans la tâche diminue s'il y a délivrance d'SLA non contextuels auditifs et visuels. En effet, une meilleure performance peut être achevée en évitant de délivrer aux participants des SLA non contextuel.

Par ailleurs, les participants sont capables de réaliser des trajectoires plus adaptées, comme le montre l'étude des courbes représentant leurs trajectoires, lorsqu'ils réalisent la tâche sans SLA non contextuels.

Cette diminution de la performance dans les conditions avec SLA non contextuels est confirmée par le fait que plus de 84 % des sujets sains considèrent que les SLA non contextuels délivrés les ont perturbés dans l'accomplissement de la tâche.

Les participants n'ont pas été informés au préalable de la délivrance des SLA non contextuels. En conséquence, on aurait pu s'attendre à un effet distrayant moins important si les sujets avait été informés en amont de la délivrance des stimuli.

B. Résultats pour les patients cérébrolésés

Les résultats des performances des patients cérébrolésés dans les tests sont présentés dans Tableau 9 (comparaisons entre la condition C0 et la condition C2) et Tableau 10 (comparaisons entre la condition C1 et la condition C3) : moyennes, étendue de valeurs et comparaisons entre les quatre conditions présentées.

Les résultats montrent que tous les sujets ont réussi à acheter tous les produits des listes et ont réalisé toutes les bonnes actions nécessaires à accomplir la tâche des courses dans la VAP-S (achat des produits, payement, sortie du magasin, etc.).

Les résultats montrent aussi que les participants ont parcouru une distance plus longue et ont mis plus de temps pour accomplir la tâche dans la condition C2 et la condition C3 par rapport aux conditions C0 et C1.

La distance moyenne parcourue par les sujets dans le VAP-S fait une augmentation significative de 38 % en passant de 146 ± 11 mètres dans la condition C0 à 202 mètres dans la condition C2. La significativité bilatérale de cette différence est de 0.047. Elle est passée de 142 ± 57 mètres dans la condition C1 à 155 ± 51 mètres dans la condition C3 ; soit une

augmentation significative de 10 % entre les deux configurations avec une significativité bilatérale de 0.050.

La même observation est valide pour le temps mis par les participants dans la tâche, qui est passé de 9 ± 2.7 minutes dans la condition C0 à 10.2 ± 2.6 minutes ; dans la condition C2 effectuant une augmentation significative de 12 %. La significativité bilatérale de la différence marquée est de 0.034. Dans la condition C3, les sujets ont mis 6.5 ± 0.5 minutes pour accomplir la tâche de courses, soit 18 % plus de temps que dans la condition C1 où la durée moyenne de la séance était de 5.5 ± 0.9 minutes. La significativité bilatérale de la différence marquée est de 0.024.

	Condition C0		Condition C2		P*
	Patients N= 5 (1 F, 4H)	Patients Etendue de valeur	Patients N= 5 (1 F, 4H)	Patients Etendue de valeur	
Age	51±20	[21 ; 72]	51±20	[21 ; 72]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	146±11	[131, 157]	202±77	[117, 324]	0.047
T (min)	9.1±2.7	[7, 13.8]	10.2±2.6	[7.5, 14.5]	0.039
MA	2±2	[0, 4]	2±2	[0, 4]	0.69
NbP	25±10	[13, 38]	23±10	[11, 37]	0.467
TP (min)	5.4±2.8	[2.9, 10.2]	1.5±0.6	[0.3, 2.1]	0.158
Intersect	3±2	[1, 5]	5±4	[1, 12]	0.21

Tableau 9. Comparaisons des performances des patients entre la condition C0 (liste L1 sans SLA) et la condition C2 (liste L2 avec le SLA « Sons aléatoires périodiques »)

	Condition C1		Condition C3		P*
	Patients N= 5 (1 F, 4H)	Patients Etendue de valeur	Patients N= 5 (1 F, 4H)	Patients Etendue de valeur	
Age	28±3	[22 ; 35]	28±3	[22 ; 35]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	142±57	[110, 244]	155±52	[111, 244]	0.05
T (min)	5.5±0.9	[3.9, 6.2]	6.5±0.5	[5.8, 7]	0.017
MA	1±1	[0, 2]	1±1	[0, 2]	0.815
NbP	13±3	[9, 18]	12±5	[14, 17]	0.38
TP (min)	2.7±1	[1.8, 3.4]	2.2±0.9	[1, 2.9]	0.158
Intersect	1±1	[0, 3]	3±5	[0, 13]	0.24

Tableau 10. Comparaisons des performances des patients entre la condition C1 (liste L1 sans SLA) et la condition C3 (liste L2 avec le SLA « Apparition d'objets dans le champ visuel du sujet »)

La Figure 45 et la Figure 46 présentent les comparaisons entre les différentes conditions au niveau des variables distances parcourues (DP) et temps mis pour accomplir la tâche (T).

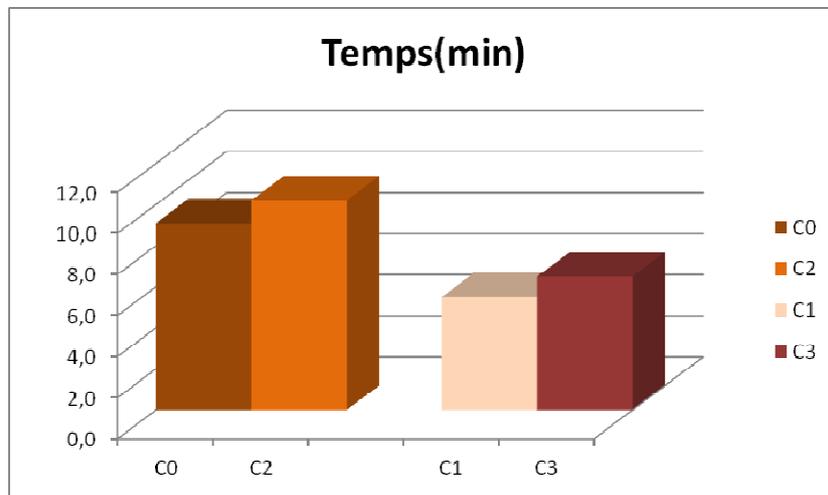


Figure 45. Comparaisons entre les temps moyens mis dans la tâche dans les différentes conditions sans et avec SLA non contextuels chez les patients

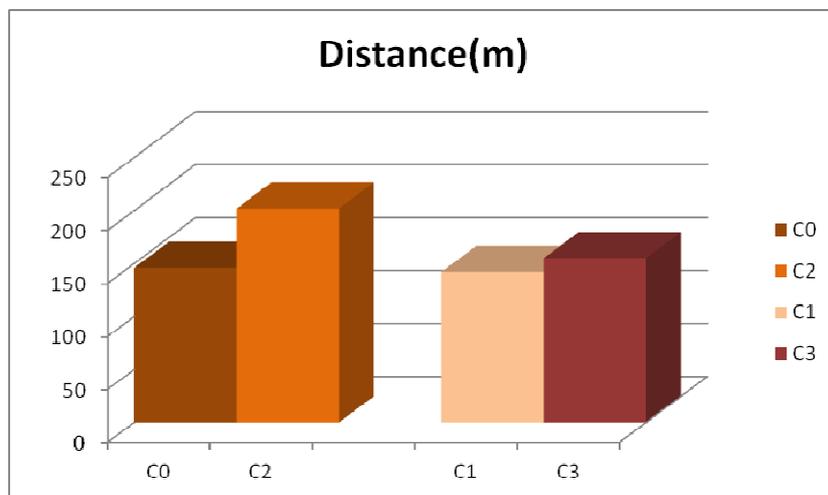


Figure 46. Comparaisons entre les distances moyennes parcourues dans les différentes conditions sans et avec SLA non contextuel chez les patients

5. Conclusion

Cette étude a été menée pour tester la validité de notre seconde hypothèse sur l'effet des SLA non contextuels sur la performance des sujets dans la tâche virtuelle. Elle concerne la première partie de l'écart entre l'information délivrée par le système virtuel et l'information perçue par les organes sensoriels du sujet. L'objectif du travail réalisé a été de vérifier si l'effet distracteur, constaté dans la littérature, de la délivrance de stimuli non contextuels, chez des sujets sains dans des tâches virtuelles, est aussi valable pour la population des patients cérébrolésés dans une tâche complexe telle qu'une tâche de courses dans le VAP-S.

Les résultats ont permis de démontrer que les sujets, chez les deux populations, mettent plus de temps, parcourent plus de distance, s'arrêtent plus souvent et font plus d'erreurs lorsqu'ils exécutent la tâche en présence de stimuli logiciels non contextuels.

En fait, lorsqu'il y a délivrance de stimuli auditifs, les patients cérébrolésés parcourent 38 % plus de distance dans l'environnement virtuel. En présence des stimuli visuels, ils parcourent 10 % plus de distance dans l'environnement. De même pour le temps mis pour accomplir la tâche, ils mettent 12 % plus de temps en présence des stimuli auditifs et 18 % plus de temps en présence des stimuli visuels.

Pour la population des sujets sains, l'effet deux types de stimuli était plus homogène. En présence de stimuli auditifs et de stimuli visuels, les sujets ont mis 16 % plus de temps pour accomplir la tâche et ont parcouru une distance 20 % plus longue.

Ainsi, la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés, dans une tâche de vie quotidienne simulée, diminue si le système délivre des SLA non contextuels auditifs ou visuels. Cette diminution de la performance s'explique par plusieurs facteurs.

Elle s'explique par le fait que l'attention des sujets est détournée des cibles dans l'environnement virtuel à chaque fois qu'un stimulus est délivré. Elle s'explique également par les perturbations causées aux participants par les stimuli additionnels délivrés sans apport d'information sur la tâche. Lors des expérimentations et pendant l'exécution de la tâche, lorsqu'il y a délivrance de SLA non contextuel, certains sujets s'arrêtent complètement pour le suivre de regard, ou pour essayer de le contourner s'il s'agit d'un stimulus visuel, ou pour l'écouter et essayer de trouver la source du son, s'il s'agit d'un stimulus auditif.

L'étude des courbes représentant les trajectoires des patients dans le supermarché montre que le nombre des points d'intersection dans les courbes a augmenté lorsque les sujets ont réalisé la tâche avec les SLA non contextuels auditifs ou visuels dans les conditions C2 et C3. Cependant, cette augmentation n'est pas statistiquement significative.

Les résultats montrent donc que la performance des patients diminue lorsqu'ils effectuent la tâche de courses dans le VAP-S avec la délivrance de SLA non contextuels. Ces résultats ont été confirmés par le fait que plus de 84 % des sujets sains et 60 % des patients considèrent que les SLA non contextuels délivrés les ont perturbés pendant la tâche. En corollaire, une meilleure performance dans la tâche de vie quotidienne simulée, chez des sujets sains et des patients cérébrolésés, peut être obtenue en évitant au maximum la délivrance de stimuli non contextuels.

En outre, les sujets au sein des deux populations n'ont pas été informés de la délivrance des SLA non contextuel. Ceci suggère que si les participants avaient été au courant de la délivrance des SLA, ils auraient été moins sensibles aux stimuli délivrés.

Les résultats de cette étude vont dans le même sens que le travail de Rizzo et al. (2004), mis en place dans le contexte de la prise en charge de patients souffrant de troubles attentionnels (enfants HADA). Le travail mené dans leur étude a permis de démontrer que l'information additionnelle non liée à l'interaction a un effet distrayant lors d'une tâche virtuelle chez des enfants hyperactifs (Rizzo, Bowerly et al. 2004). Notre étude a permis de démontrer que l'effet distrayant des stimuli non contextuels est aussi valable pour des patients cérébrolésés et des sujets sains dans une tâche de vie quotidienne simulée.

Pour conclure, cette étude a permis de valider notre seconde hypothèse :

« Les SLA non contextuels permettent d'augmenter la difficulté de la tâche de la vie quotidienne simulée chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés ».

Cette étude apporte des éléments de réponse concernant l'effet des SLA non contextuels sur la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulée. Elle ouvre aussi deux pistes de recherche.

La première piste concerne l'effet des SLA non contextuels sur les capacités stratégiques pour la recherche de cibles virtuelles. La seconde piste concerne la comparaison de l'effet des stimuli entre les deux populations de sujets, c'est-à-dire avec quelles proportions les stimuli délivrés ont modifié le comportement de chacune des deux populations.

D'autres expérimentations, dans les mêmes conditions expérimentales avec d'autres stimuli de même type et avec des sujets de même type sont aussi nécessaires afin de confirmer l'effet distracteur des stimuli non contextuels dans une tâche de vie quotidienne simulée.

IV. TROISIEME ETUDE : SLA CONTEXTUELS ET PERFORMANCE

1. Introduction

Les produits de la liste de courses dans le VAP-S ne sont pas mis en lumière par rapport aux autres objets du supermarché. Ils manquent donc de saillance. Ceci soulève la question des rôles des SLA contextuels et des SLA non contextuels dans l'environnement virtuel et leurs impacts sur la performance dans la tâche.

L'étude de l'information virtuelle s'avère donc nécessaire pour améliorer la performance des sujets et augmenter les chances de réussite dans la tâche virtuelle. L'information existante dans l'environnement peut être augmentée qualitativement ou quantitativement. L'enrichissement qualitatif de l'information peut être achevé en rajoutant de la saillance à l'information existante. Par exemple, faire clignoter les cibles dans l'environnement virtuel (faire clignoter les produits de la liste des courses si l'on se réfère à la tâche de courses dans le VAP-S). L'enrichissement quantitatif de l'information existante consiste en l'ajout d'autres informations additionnelles en rapport avec la tâche comme par exemple des flèches pointant vers les cibles dans l'environnement.

L'objectif d'une telle augmentation de l'information virtuelle est d'avoir un effet positif immédiat et non pas un effet différé sur la performance des sujets dans la tâche. Cela veut dire que l'objectif de ces enrichissements n'est pas d'apprendre à réaliser la tâche (e.g., apprentissage de gestes professionnels (Steib, L. Da Dalto et al. 2005)), mais d'améliorer la performance des participants de la tâche dans des perspectives de rééducation cognitive.

Rappelons que nous avons défini un SLA (Stimulus Logiciel Additionnel) par toute information additionnelle délivrée par le système virtuel, dont l'absence de l'environnement virtuel n'interdit pas l'accomplissement de la tâche. Nous avons également défini un SLA contextuel par tout SLA qui est rapport avec la tâche virtuelle. Nous avons vu que plusieurs études ont été menées sur des environnements virtuels qui délivrent des SLA dans l'objectif d'aider les sujets dans la tâche. Nous avons souligné dans la partie « Etat de l'art » le rôle important des SLA sur la performance dans la tâche (e.g., tâches d'orientation spatiale, tâches d'attention et de perception). Nous avons ensuite vu que le rôle aidant des SLA contextuels nécessite d'être renforcé chez les sujets sains avec des études dans des environnements virtuels simulant des activités de vie quotidienne complexes. Il nécessite également d'être démontré chez les patients cérébrolésés dans le même genre de tâches.

2. Méthodologie

A. Hypothèse

Cette étude a pour objectif de tester la validité de notre troisième hypothèse :

« Les SLA contextuels permettent d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne complexe ».

Cette étude concerne la seconde partie de l'écart I_{DPI}^3 (écart entre I_P et I_I).

B. Participants

Douze patients ayant subi un Accident Vasculaire Cérébral (12 hommes, âge moyen 48 ± 12), et vingt-trois sujets sains (11 femmes et 12 hommes, âge moyen 29 ± 6 ans) ont participé aux expérimentations. Tous les sujets étaient droitiers et n'avaient pas d'expérience dans les jeux vidéo.

C. Conditions expérimentales

Pour mettre en œuvre les conditions expérimentales et notamment la taille de l'affichage et le champ visuel physique, nous avons exploité les résultats de notre première étude expérimentale sur le champ visuel. Les conditions expérimentales adoptées sont les mêmes que dans la seconde étude.

D. Procédure

Chaque sujet inclus dans le protocole a passé une séance d'expérimentation d'une heure au maximum qui s'est déroulée en deux phases : une phase de familiarisation et une phase de test.

Dans la phase d'évaluation il était demandé aux participants d'acheter les produits de deux listes (L1 et L2) dans quatre conditions. Les conditions de tests ont été mises en place selon les listes de courses et le stimulus logiciel additionnel contextuel délivré pendant la tâche.

Chacune des deux listes contient quatre produits appartenant aux mêmes catégories et situés dans la même localisation géographique. Les listes des courses L1 et L2 mises en place sont décrites dans Tableau 11.

Catégorie	Liste L1	Liste L2
Fruits et légumes	Un ananas	Des endives
Conserves	De la confiture	Des cornichons
Boulangerie	Une baguette	Un sachet de croissants
Bazar	Un jouet	Des bougies rouges

Tableau 11. Les deux listes de courses L1 et L2 mises en place pour les expérimentations

Les quatre conditions mises en place sont les suivantes :

- la condition (C0) : réaliser l'achat des produits de la liste L1 sans aucun SLA ;
- la condition(C2) : réaliser l'achat des produits de la liste L1 avec la délivrance du SLA auditif contextuel « Alerte sonore » ;
- la condition (C1) : réaliser les quatre courses de la liste L2 sans délivrance de SLA ;
- la condition (C3) : réaliser l'achat des produits de la liste L2 avec la délivrance du SLA visuel contextuel « clignotement des produits ».

Afin d'éviter tout effet d'apprentissage, les participants ont été affectés aux conditions de la même manière que dans la seconde étude.

A la fin de chaque passation, chacun des sujets a répondu à la question suivante : *Quel(s) effet(s) avaient les SLA délivrés sur vous durant la tâche ?*

Les participants ont réalisé la tâche dans les différentes conditions sans avoir été informés du lien sémantique qui existe entre les SLA délivrés et la tâche dans le VAP-S.

Les comparaisons entre la condition C0 et la condition C2 vont nous permettre de déterminer l'effet des SLA auditifs contextuel sur la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans la tâche proposée. L'effet des SLA visuels contextuels sera déterminé grâce aux comparaisons entre la condition C1 et la condition C3.

Nous avons également étudié les trajectoires des participants et nous avons rajouté une variable supplémentaire pour la mesure de la performance « Intersect » qui représente le nombre de points d'intersection dans la courbe représentant la trajectoire du participant dans le supermarché virtuel.

3. Résultats

A. Résultats pour les sujets sains

Les résultats des performances des sujets sains dans les tests sont présentés dans Tableau 12 (comparaisons entre la condition C0 et la condition C2) et Tableau 13 (comparaisons entre la condition C1 et la condition C3) : moyennes, étendue de valeurs et comparaisons entre les quatre conditions présentées.

Les résultats montrent que tous les sujets ont réussi à acheter tous les produits des listes et ont réalisé toutes les bonnes actions nécessaires à accomplir la tâche des courses dans la VAP-S (achat des produits, paiement, sortie du magasin, etc.)

Les résultats montrent aussi que la performance des sujets était significativement meilleure, dans la majorité des variables indicatrices de la performance, dans la condition C2 par rapport à la condition C0 et dans la condition C3 par rapport à la condition C1. Par exemple la valeur de la distance totale parcourue (DP) dans la condition C0 est passée de 149 ± 29 m à 128 ± 18 m dans la condition C2, soit une baisse de 14,1 %. La significativité bilatérale de la différence entre les deux valeurs est de 0.002 qui est largement inférieure à 5%, valeur en dessous de laquelle la différence trouvée est statistiquement significative. Le temps moyen mis dans la tâche a baissé de 18% en passant de 4 ± 0.8 minutes dans la condition C0 à 3.3 ± 0.7 dans la condition C2. La significativité bilatérale de cette différence est inférieure à 0.001.

De même la distance moyenne parcourue par les participants a baissé de 21% en passant de 168 ± 47 mètres dans la condition C1 à 133 ± 33 avec une significativité bilatérale de la différence de 0.002. Le temps moyen mis dans la tâche a baissé de 3.9 ± 1 min dans la condition C1 et à 3.2 ± 0.7 min dans la condition C3, soit une baisse de 18%. La significativité bilatérale de la différence entre les deux valeurs est inférieure à 0.001.

Les résultats montrent aussi que le nombre de pauses (arrêt supérieure à trois secondes) et la durée des pauses ont diminué respectivement de 28.6 % et de 27.3 % en passant de la condition C0 à la condition C2. Les significativités bilatérales des différences marquées sont de 0.050 pour le nombre de pauses et de 0.008 pour la durée des pauses. Ces observations sont également valides en passant de la condition C1 à la condition C3. Le nombre et la durée des pauses ont diminué respectivement de 28.6 % et de 20%. Cependant les différences à ce niveau entre les deux configurations ne sont pas significatives.

	Condition C0		Condition C2		P
	Sujets sains N= 23 (11 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	Sujets sains N= 23 (11 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	
Age	29±6	[23 ; 52]	29±6	[23 ; 52]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	149±29	[115, 226]	128±18	[112, 179]	0.002
T (min)	4±0.8	[2.3, 5.4]	3.3±0.7	[2.3, 4.7]	<0.001
MA	2±3	[0, 9]	2±2	[0, 7]	0.644
NbP	7±3	[2, 12]	5±2	[2, 11]	0.051
TP (min)	1.1±0.5	[0.3, 2.5]	0.8±0.3	[0.3, 1.6]	0.008
Intersect	3±3	[0, 12]	1±1	[0, 5]	0.001

Tableau 12. Comparaisons des performances des sujets sains entre la condition C0 (liste L1 sans SLA) et la condition C2 (liste L2 avec le SLA « Alerte sonore »)

	Condition C1		Condition C3		P
	Sujets sains N= 23 (11 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	Sujets sains N= 23 (11 F, 12 H)	Sujets sains Etendue de valeur	
Age	29±6	[23 ; 52]	29±6	[23 ; 52]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	138±17	[114, 172]	121±12	[111, 170]	<0.001
T (min)	3.9±1	[2.3, 5.5]	3.2±0.7	[1.9, 4.6]	<0.001
MA	2±2	[0, 8]	1±2	[0, 8]	0.332
NbP	7±4	[2, 16]	5±3	[2, 11]	0.097
TP (min)	1±0.6	[0.3, 2.1]	0.9±0.8	[0.3, 4.5]	0.607

Intersect	2±2	[0, 7]	1±1	[0, 5]	0.007
-----------	-----	--------	-----	--------	-------

Tableau 13. Comparaisons des performances des sujets entre la condition C1 (liste L1 sans SLA) et la condition C3 (liste L2 avec le SLA « Clignotement des produits »)

La Figure 47 et la Figure 48 représentent respectivement les comparaisons entre la distance parcourue dans C0 et la distance parcourue dans C2 et les comparaisons entre le temps mis dans la tâche dans C1 et le temps mis dans la tâche dans C3.

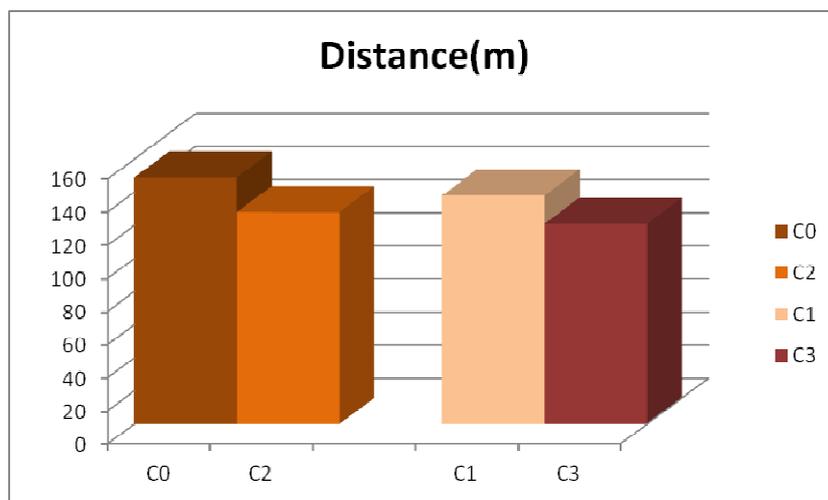


Figure 47. Comparaisons entre les distances parcourues dans les différentes conditions sans et avec SLA contextuel chez les sujets sains

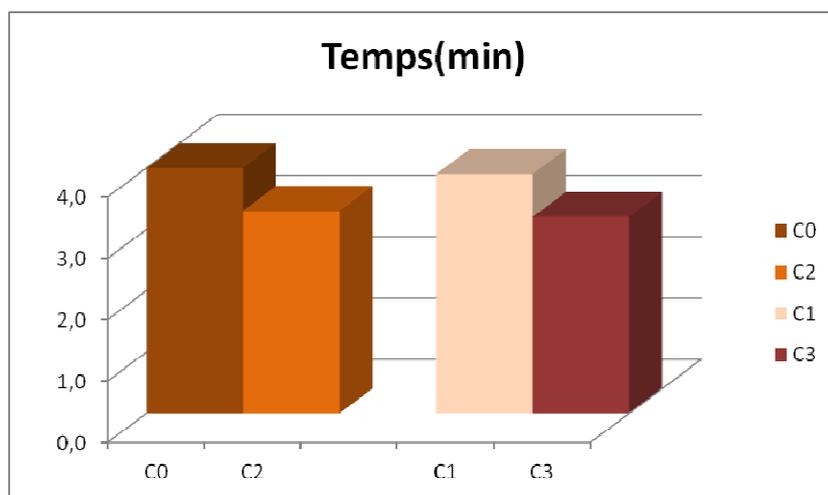


Figure 48. Comparaisons entre les durée des séances dans les différentes conditions sans et avec SLA contextuel chez les sujets sains

Les comparaisons mises en place entre les conditions C0 et C2 et entre les conditions C1 et C3 montrent que la performance des sujets est meilleure lorsqu'ils ont réalisé la tâche assistés par la délivrance de SLA contextuels auditifs et visuels. Dans ces conditions, le temps moyen mis dans la tâche baisse de 18% par rapport aux conditions sans stimuli. De même, la distance moyenne parcourue dans l'environnement virtuel baisse de 14 %, si le SLA délivré est auditif, et de 21% si le SLA délivré est visuel.

Ainsi, les sujets sains parcourent une distance moins longue, réalisent la tâche plus rapidement, s'arrêtent moins souvent et moins longtemps et réalisent des trajectoires plus optimisées, lorsqu'ils réalisent la tâche de courses assistés par des SLA contextuels auditifs et visuels

Ces résultats sont confirmés par le fait que 21 sujets sur un total de 23 considèrent que les SLA contextuels délivrés les ont aidés à trouver plus rapidement les produits des listes des courses. Seulement 2 sujets considèrent que les SLA contextuels délivrés n'ont eu aucun effet sur leur comportement dans la tâche. Par ailleurs, aucun sujet ne considère que les SLA contextuels délivrés aient eu un effet négatif sur son comportement durant la tâche.

En outre, l'étude des courbes représentant les trajectoires des participants dans le supermarché montre que le nombre des points d'intersection dans les courbes a diminué lorsque les sujets ont réalisé la tâche, assistés par les SLA contextuels auditifs ou visuels dans les conditions C2 et C3. Il a significativement diminué de 67% en passant de la condition C0 (3 points) à la condition C2 (1 point) et de 50% en passant de la condition C1 (2 points) à la condition C3 (1 point).

Les résultats de l'étude menée sur les sujets sains montre donc que la délivrance des SLA contextuels visuels ou auditifs a un effet positif sur la performance des sujets dans la tâche virtuelle. En fait, une meilleure performance peut être achevée en assistant les sujets par la délivrance de SLA contextuels.

Par ailleurs, les participants sont capables de réaliser des trajectoires plus adaptées, comme le montre l'étude des courbes représentant leurs trajectoires, lorsqu'ils réalisent la tâche avec l'assistance de SLA contextuels. Ces conclusions sont confirmées par l'appréciation des SLA par les participants (environ 93% des sujets considèrent que les SLA délivrés les ont aidés à accomplir plus facilement la tâche de courses).

Enfin, les résultats de cette partie de l'étude menée sur des sujets sains permettent de valider la première partie de notre troisième hypothèse : la délivrance de SLA contextuels permet d'améliorer la performance des sujets sains dans une tâche de vie quotidienne complexe

simulée, même si les sujets ne sont pas informés du lien sémantique entre les stimuli délivrés et la tâche demandée.

B. Résultats pour les patients cérébrolésés

Les résultats de performances des patients dans les tests sont présentés dans le

Tableau 14 (comparaisons entre la condition C0 et la condition C2) et dans le

Tableau 15 (comparaisons entre la condition C1 et la condition C3): moyennes, étendue des valeurs et comparaisons entre les quatre conditions présentées.

Les résultats montrent que les patients ont eu des performances bien inférieures à celles des sujets sains dans la tâche. Mais, ils ont tous réussi à acheter tous les produits des listes et ont réalisé toutes les bonnes actions nécessaires pour accomplir la tâche des courses dans la VAP-S (achat des produits, paiement, sortie du magasin, etc.).

Les résultats montrent aussi que les sujets étaient plus performants dans la réalisation de la tâche dans les conditions C2 et C3 où ils étaient plus rapides dans l'accomplissement de la tâche et ont parcouru une distance moins longue par rapport aux conditions C0 et C1.

La distance moyenne parcourue dans le supermarché par les patients dans la condition C0 est de 192 ± 65 mètres. Dans la condition C2, lorsque les patients étaient assistés par le SLA contextuel « Alerte sonore », la distance moyenne parcourue dans le VAP-S a diminué de 20% pour descendre à 154 ± 48 mètres. La significativité bilatérale de la différence entre les deux valeurs est de 0.042 et est inférieure à 0.05, taux au-dessous duquel la différence est significative. Le temps moyen mis dans la tâche est de 8.1 ± 3.1 minutes dans la configuration C0. Dans la condition C2, tout comme la distance moyenne parcourue, le temps mis dans la tâche a également baissé de 25% pour atteindre 6.1 ± 2.8 minutes. La significativité bilatérale de la différence entre les deux valeurs est de 0.010.

De la même manière, la distance parcourue et le temps dans la tâche sont respectivement de 168 ± 47 mètres et de 6.3 ± 2.2 minutes dans la condition C1. Dans la condition C3 leurs valeurs ont baissé respectivement de 21% pour la distance, soit 133 ± 33 mètres et de 19% pour le temps, soit 5.1 ± 2.1 minutes. Les significativités bilatérales des différences sont respectivement 0.002 et 0.007.

La Figure 49 et la Figure 50, illustrent les comparaisons entre les différentes conditions avec et sans SLA contextuel.

Patients	Condition C0		Condition C2		P
	N= 12 (12 H)	Etendue valeur de	N= 12 (12 H)	Etendue valeur de	
Age	48±12	[24 ; 63]	48±12	[24 ; 63]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	192±65	[122, 324]	154±48	[102, 238]	0.042
T (min)	8.1±3.1	[4, 12.8]	6.1±2.8	[3.1, 10.2]	0.01
MA	4±4	[0, 14]	2±4	[0, 11]	0.036
NbP	13±6	[7, 26]	13±9	[2, 26]	0.9
TP (min)	2.9±1.6	[1.5, 6.3]	2.8±1.7	[1.1, 5.2]	0.8
Intersect	4±4	[0, 13]	2±2	[0, 6]	0.094

Tableau 14. Comparaison des performances des patients entre la condition C0 (liste L1 sans SLA) et la condition C2 (liste L1 avec le SLA « Alerte sonore »)

Patients	Condition C1		Condition C3		P
	N= 12 (12 H)	Etendue valeur de	N= 12 (12 H)	Etendue valeur de	
Age	48±12	[24 ; 63]	48±12	[24 ; 63]	-
NbA	4	[4, 4]	4	[4, 4]	-
BA	9	[9, 9]	9	[9, 9]	-
DP (m)	168±47	[115, 265]	133±33	[103, 220]	0.002
T (min)	6.3±2.2	[3.1, 9.9]	5.1±2.1	[2.2, 8.1]	0.007
MA	2±4	[0, 11]	3±4	[0, 13]	0.389
NbP	11±4	[7, 19]	9±4	[5, 18]	0.083
TP (min)	2.3±1	[1.1, 4.1]	2±1	[1.1, 5.2]	0.164
Intersect	2±2	[0, 7]	1±1	[0, 4]	0.137

Tableau 15. Comparaison des performances des patients entre la condition C1 (liste L2 sans SLA) et la condition C3 (liste L2 avec le SLA « Clignotement des produits »)

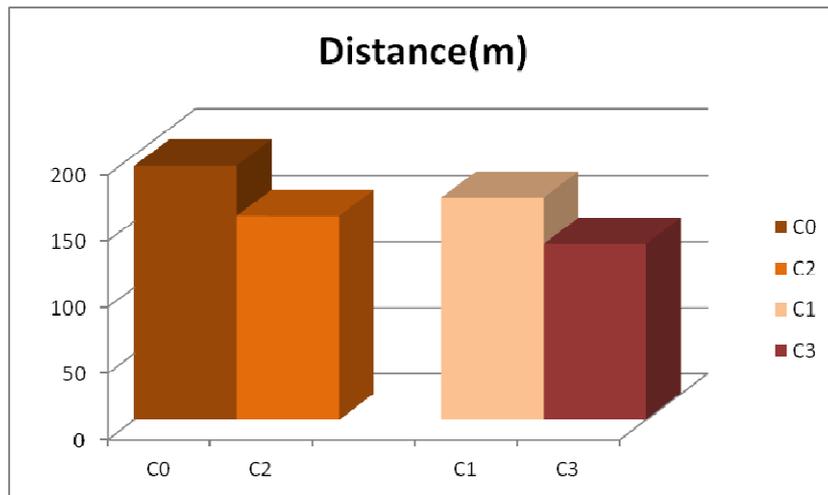


Figure 49. Comparaisons entre les distances parcourues dans les différentes conditions sans et avec SLA contextuel chez les patients cérébrolésés

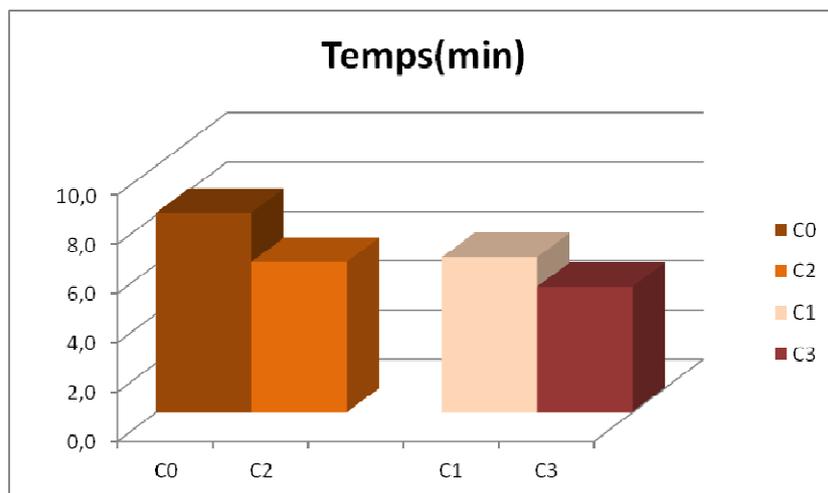


Figure 50. Comparaisons entre les durée des séances dans les différentes conditions sans et avec SLA contextuel chez les patients cérébrolésés

De même que pour la population des sujets sains, l'étude des courbes représentant les trajectoires des patients dans le supermarché montre que le nombre des points d'intersection dans les courbes a diminué considérablement lorsque les sujets ont été assistés par les SLA contextuels auditifs ou visuels dans les conditions C2 et C3. Cependant, cette augmentation n'est pas statistiquement significative.

Ainsi, lorsqu'ils sont assistés par des SLA contextuels visuels et auditifs, les patients cérébrolésés parcourent une distance moins longue et réalisent la tâche plus rapidement. La délivrance de SLA contextuels a induit une baisse d'environ 20% dans la distance moyenne parcourue par les sujets dans l'environnement virtuel. Le temps moyen mis pour accomplir la

tâche a baissé de 25% avec une assistance par un SLA auditif et de 19% avec une assistance par un SLA visuel.

L'augmentation dans la performance des sujets a été confirmée par le fait que 10 patients sur 12, soit plus de 80% des patients considèrent que les SLA délivrés les ont aidés à mieux accomplir la tâche.

4. Conclusion

Cette étude a été mise en place pour tester la validité de notre troisième hypothèse sur les stimuli contextuels et la performance des sujets dans la tâche. Elle concerne la seconde partie de l'écart entre l'information perçue par les organes sensoriels et l'information intégrée par le système cognitif des sujets.

L'objectif du travail réalisé dans cette étude est de vérifier si l'effet aidant, constaté dans la littérature, de la délivrance de stimuli non contextuels, chez des sujets sains dans des tâches virtuelles simples, est aussi valable pour la population des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulée.

Les résultats ont permis de démontrer que les sujets chez les deux populations mettent moins de temps, parcourent moins de distance, s'arrêtent moins souvent et font moins d'erreurs lorsqu'ils réalisent la tâche en présence de stimuli logiciels contextuels. En effet, une meilleure performance dans une tâche de vie quotidienne simulée, chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés, peut être atteinte en délivrant aux participants une assistance sous forme d'SLA contextuels auditifs et visuels.

En fait, lorsqu'il y a délivrance de stimuli auditifs, les patients cérébrolésés parcourent 25 % moins de distance dans l'environnement virtuel et mettent 19 % de temps en moins pour accomplir la tâche. En présence des stimuli visuels, ils parcourent 21 % plus de distance et mettent 18 % de temps en moins pour accomplir la tâche.

Pour la population des sujets sains, l'effet deux types de stimuli était plus homogène. En présence de stimuli auditifs, les sujets sont mis 18 % moins de temps pour accomplir la tâche et ont parcouru une distance 14 % moins longue. Lorsqu'il y avait délivrance de stimuli contextuels visuels, les sujets ont mis 18 % moins de temps pour accomplir la tâche et ont parcouru une distance 21 % moins longue.

En effet une meilleure performance dans une tâche de vie quotidienne simulée, chez des sujets sains et des patients cérébrolésés, peut être obtenue en les assistant par des stimuli logiciels qui apportent de l'information supplémentaire sur la tâche.

On aurait pu éventuellement s'attendre à une dégradation de la performance, chez les patients cérébrolésés, due à une surcharge cognitive induite par le grand nombre d'informations délivrées par le système virtuel (consigne, explications, affichage de l'environnement, etc), mais les patients cérébrolésés, tout comme les sujets sains ont réussi à exploiter l'information supplémentaire apportée par les stimuli durant la tâche.

L'augmentation de la performance, chez les deux populations, s'explique par le fait que les sujets ont réussi à comprendre le lien sémantique qui existe entre les stimuli délivrés et la tâche dans le VAP-S et à exploiter l'information supplémentaire apportée les stimuli. Elle s'explique également par l'augmentation de l'attention des participants à chaque fois qu'il y a délivrance de stimuli. Les participants ont donc été plus rapides et plus efficaces dans le traitement de l'information et ont en conséquence parcouru moins de distance, mis moins de temps pour accomplir la tâche et commis moins d'erreurs.

Ces résultats ont été confirmés par le fait que la majorité des participants (plus de 93 % des sujets sains et plus de 83 % des patients cérébrolésés) considèrent que les SLA contextuels délivrés les ont aidés à mieux accomplir la tâche.

En outre, les sujets au sein des deux populations n'ont pas été informés du lien sémantique qui existe entre les SLA délivrés et la tâche de courses dans le VAP-S. Ceci suggère que si les participants avaient été informés explicitement du rôle sémantique des SLA, leur performance aurait été bien meilleure que celle trouvée dans cette étude.

Ces travaux sont en phase avec d'autres travaux dans la littérature qui ont prouvé que l'information additionnelle liée à l'interaction permet d'améliorer la performance des sujets sains dans une tâche simple dans un environnement virtuel, telles que la navigation ou la manipulation d'objets virtuels (Lécuyer, C. et al. 2002, Costabile, De Angeli et al. 2003, Burigat and Chittaro 2007, Ullah, Richard et al. 2009).

Les résultats de notre étude permettent en plus de démontrer que l'effet positif de la délivrance des SLA contextuels est aussi valable pour les sujets sains mais aussi pour les patients cérébrolésés dans des tâches de vie quotidienne complexes qui sollicitent plusieurs capacités telles que les capacités stratégiques de recherche de cibles virtuelles, les capacités des parcours adaptés et les capacités de planification.

Les expérimentations que nous avons menées dans cette étude ont permis d'apporter des éléments de réponse sur le rôle effectif des SLA contextuels délivrés par le système virtuel aux participants. Les SLA contextuels sont souvent considérés comme étant des aides logicielles sans qu'il y ait suffisamment d'études qui démontrent leur rôle aidant dans la tâche.

Notre étude permet également d'ouvrir de nouvelles pistes de recherche. D'autres études peuvent être menées pour déterminer le seuil des SLA contextuels délivrés au-delà duquel la performance des sujets commence à se dégrader. En fait, les stimuli qui sont source d'information peuvent induire une surcharge cognitive et donc une confusion et un ralentissement s'ils sont délivrés en grandes quantités (Dewar 1988, Green 2000).

Pour conclure, cette étude a permis de valider notre troisième hypothèse :

« Les SLA contextuels permettent d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne ».

D'autres expérimentations, dans les mêmes conditions expérimentales avec d'autres stimuli de même type et avec des sujets de même type sont aussi nécessaires afin de confirmer le rôle aidant des stimuli contextuels dans une tâche de vie quotidienne simulée.

PARTIE 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette thèse s'intègre dans le cadre de la prise en charge du dysfonctionnement cognitif par les technologies de la réalité virtuelle. Depuis une quinzaine d'années, la réalité virtuelle a montré un potentiel dans ce domaine. Lors de leur expérimentation dans l'environnement virtuel, les sujets sont impliqués dans des tâches et doivent gérer des informations variées et multimodales aux finalités diverses : affichage de l'environnement 3D et des objets le constituant, compréhension de la tâche, augmentation de la saillance de certains objets, ou encore délivrance d'instructions liées à l'interaction avec l'environnement. La problématique « Comment augmenter la performance des sujets dans une tâche de vie quotidienne simulée dans le processus de rééducation cognitive ? » nous a amenés nous demander sur l'effet des caractéristiques de l'information virtuelle dans une tâche de recherche de cibles virtuelles.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'amélioration de la performance des sujets dans une tâche de vie quotidienne simulée. Il s'agit d'étudier l'effet des caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel sur la performance des participants dans le processus de rééducation cognitive par les technologies de la réalité virtuelle.

Notre démarche était d'exploiter certains potentiels des caractéristiques de l'information virtuelle notamment les caractéristiques « Modalité d'émission » et « Rapport avec la tâche » (Figure 51).

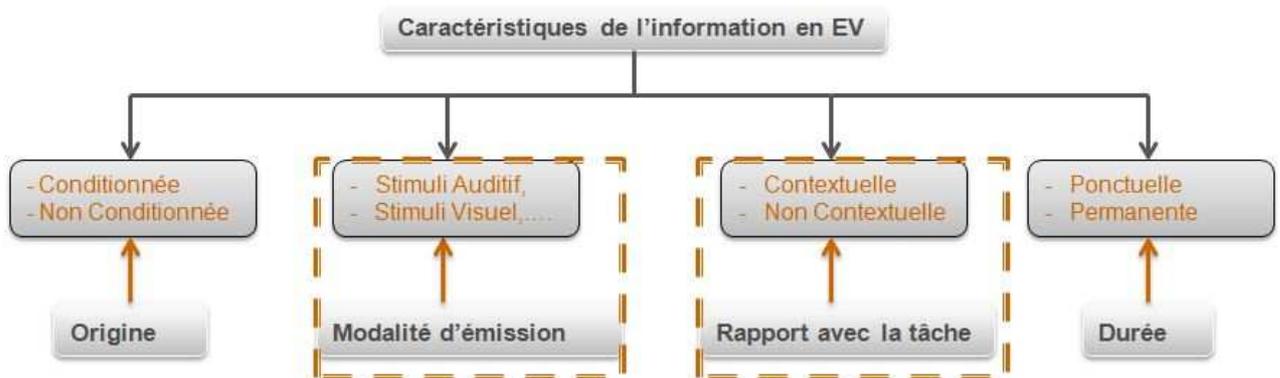


Figure 51. Caractéristiques de l'information exploitées dans nos études

Dans ce travail de recherche nous avons brièvement retracé l'histoire de la RV, afin d'identifier ses objectifs initiaux et de comprendre le contexte et les raisons pour lesquels la réalité virtuelle a été utilisée dans le domaine de la rééducation cognitive. Ensuite nous avons présenté un état de l'art sur l'information dans les environnements virtuels et sur l'exploitation des caractéristiques de l'information dans les environnements virtuel pour l'apprentissage et pour la rééducation. Ces travaux évoquent le rôle important des SLA dans la performance des sujets sains dans une tâche dans des environnements virtuels simples et pauvres en information. Nous avons aussi pu constater que dans le domaine de la rééducation des fonctions exécutives, aucun travail n'avait pour objectif d'établir la relation qui peut exister entre les SLA délivrés aux patients et leurs performances dans la tâche virtuelle. Cette étape nous a permis de bien identifier les connaissances acquises sur notre sujet de recherche de confirmer l'originalité de notre projet de recherche et d'identifier les axes de recherches à développer.

Dans la partie Méthodologie, nous avons proposé trois hypothèses pour répondre à la problématique : « Comment augmenter la performance des sujets dans une tâche de vie quotidienne simulée dans le processus de rééducation cognitive en exploitant les caractéristiques de l'information virtuelle ? » : 1) Hypothèse 1 : « L'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'affichage de l'information visuelle permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne » ; Hypothèse 2 : « Les SLA non contextuels augmentent la difficulté de la tâche de la vie quotidienne simulée chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés » ; 3) Hypothèse 3 : « Les SLA contextuels permettent d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne » .

Ensuite, nous avons présenté des propositions théoriques sur l'échange de l'information entre l'utilisateur et le système virtuel. L'étude des caractéristiques de l'information virtuelle nous a conduits à proposer une taxonomie de l'information dans un environnement virtuel selon ses caractéristiques. Ensuite, une étude théorique sur notre dispositif expérimental le Virtual Action Planning Supermarket (le VAP-S) a été proposée. L'étape suivante était de se baser sur l'étude sur l'information dans le VAP-S et sur la taxonomie de l'information proposée pour effectuer le travail de modélisation et de développement de nouvelles fonctionnalités dans le VAP-S lui permettant de délivrer des SLA contextuels et non contextuels paramétrables. Pour ce faire, nous avons donné une définition plus précise aux « Stimuli Logiciels Ajouté » que nous avons défini par toute information, additionnelle, délivrée par le

système virtuel, qui vient augmenter l'information présente dans l'environnement virtuel et dont l'absence de l'environnement virtuel n'interdit pas l'accomplissement de la tâche. Nous nous sommes intéressés aux SLA visuels et sonores.

Pour répondre à nos hypothèses, nous avons mis en place trois études expérimentales contenant chacune deux parties : une partie sur des sujets sains et une partie sur des patients cérébrolésés. Les expérimentations ont été menées en collaboration étroite entre notre équipe à Laval, le centre de rééducation de Kerpape et le CHU de Bordeaux. Les tests sur les sujets sains se sont déroulés à Laval, tandis que les tests sur les patients cérébrolésés se sont déroulés à Kerpape et à Bordeaux.

Les études expérimentales menées ont conduit à des productions scientifiques dans des conférences internationales et des revues scientifiques :

- Cinq articles :
 - o Pour la revue internationale IJCRT (Cherni, Kadri et al. 2011)
 - o Pour la conférence internationale ICDVRAT 2011 (Cherni, Kadri et al. 2010) ;
 - o Pour la conférence internationale ICDVRAT 2012 (Cherni et al, 2012)
 - o Pour la conférence CONFERE 2010 (Cherni, Kadri et al. 2010)
 - o Pour les journées de l'association française de la réalité virtuelle (Cherni, Kadri et al. 2010)
- Un poster pour les J2A de l'école doctorale (« Impact des caractéristiques de l'information délivrée par un système virtuel sur la performance en rééducation cognitive »).

Apports de la thèse

Les études menées dans cette thèse montrent qu'une meilleure performance chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés, dans une tâche de vie quotidienne simulée, peut être obtenue en exploitant au mieux les caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel.

Les interventions sur les caractéristiques de l'information peuvent se faire à différents niveaux lors du transfert de l'information du système virtuel vers l'utilisateur. Elles visent à réduire l'écart que nous avons appelé « écart I^3_{DPI} » qui peut exister entre l'information délivrée par le

système virtuel I_D , l'information perçue par le sujet I_P et l'information Intégrée par son système cognitif I_I . A travers les deux premières études, qui ont porté sur la première et seconde hypothèse, nous avons cherché à réduire l'écart entre I_D et I_P . La troisième étude avait pour objectif de réduire l'écart entre I_P et I_I .

La Figure 52 rappelle le niveau d'intervention de chacune des études lors du transfert de l'information du système virtuel vers l'utilisateur.

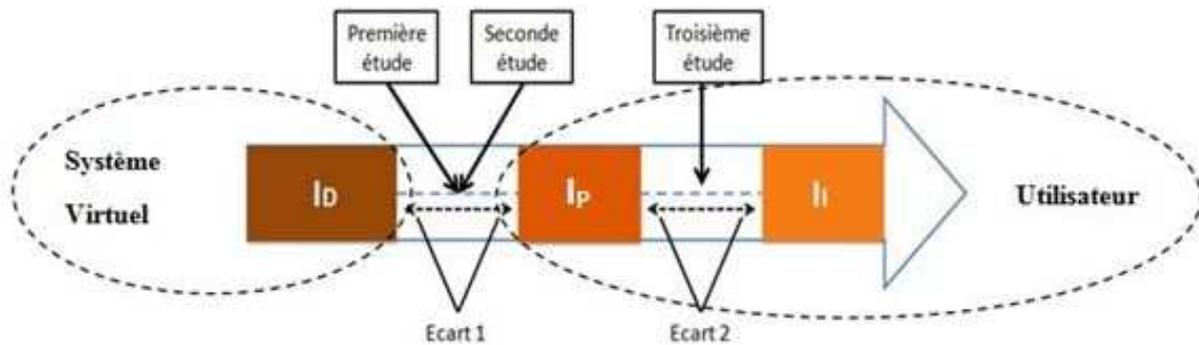


Figure 52. Etudes menées et réduction de l'écart I_{DPI}^3

La première étude concerne l'effet de l'augmentation du champ visuel physique sur la performance. Elle a permis d'étudier la validité de notre première hypothèse : « L'augmentation du champ visuel physique et de la taille de l'affichage de l'information visuelle permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne ». Cette étude a inclus douze patients ayant subi un Accident Vasculaire Cérébral, hémiplésiques hospitalisés en service de rééducation (8 F et 4 H, âge moyen 54.3 ± 14 ans) et vingt-six sujets sains (11 F et 15 H, âge moyen 29 ± 10 ans). Nous n'avons pas réussi à démontrer qu'il y a une influence significative de la variation du champ visuel physique sur la diminution de la distance parcourue ou le temps mis dans la tâche par les participants. En revanche, les résultats de cette étude ont permis de démontrer que chez les sujets sains et chez les sujets cérébrolésés, le nombre d'erreurs de sélection commises est moins grand en utilisant un grand écran et un champ visuel physique large. Cette diminution du nombre d'erreurs favorise le bon accomplissement de la tâche et ce qui augmente la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans la tâche. Cette diminution du nombre d'erreurs de sélection s'explique par le moins grand nombre de stimuli perçus simultanément avec un large champ visuel sur un grand écran. Car les stimuli qui sont source d'information peuvent être source de distraction et de ralentissement s'ils sont délivrés en grande quantité. Cela s'explique également par le fait que les objets virtuels et notamment les produits de la liste des courses sont plus visibles et plus distinguables avec un grand écran et un large champ visuel. Ces résultats sont en harmonie avec d'autres travaux de la littérature

démontrant que l'usage d'un grand écran et d'un champ visuel physique large permet d'augmenter la performance de sujets sains dans certaines tâches virtuelle (Patrick, Cosgrove et al. 2000, Ni, Bowman et al. 2006, Tan, Gergle et al. 2006). Grâce à cette étude nous avons démontré que l'effet positif de l'augmentation du champ visuel physique et de la taille d'affichage de l'information visuelle est aussi valable pour des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulé de recherche de cible.

La seconde étude concerne l'effet des SLA non contextuels sur la performance. Elle a servi à tester la validité de notre seconde hypothèse « Les SLA non contextuels augmentent la difficulté de la tâche de vie quotidienne simulée chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés ». Dix-neuf sujets sains (12 hommes et 7 femmes, âgés entre 22 et 35 ans, âge moyen = 28 ± 3) et cinq patients cérébrolésés (4 hommes et 1 femmes, âgés entre 21 et 72 ans, âge moyen = 51 ± 20) ont participé aux expérimentations de cette étude. Les résultats de cette étude ont permis de démontrer que la performance, dans une tâche de vie quotidienne simulée, chez les sujets sains et chez les patients cérébrolésés, diminue si le système délivre des SLA non contextuels auditifs ou visuels. En effet, les sujets mettent plus de temps, parcourent plus de distance et font plus d'erreurs lorsqu'ils exécutent la tâche en présence de SLA non contextuels. Cette diminution de la performance s'explique par les perturbations causées aux sujets durant la tâche par les stimuli sans apport d'information sur la tâche. Elle s'explique également par le fait que l'attention des sujets chez les deux populations est détournée lorsqu'il y a délivrance d'un stimulus non contextuel. En fait, durant les tests, nous avons remarqué qu'à chaque fois qu'un stimulus non contextuel est délivré, les sujets s'arrêtent et suivent le stimulus avec leur regard jusqu'à ce qu'il disparaisse. Cela explique l'augmentation du temps mis pour accomplir la tâche dans la condition avec SLA non contextuels. Certains sujets essaient d'éviter les stimuli et de les contourner ce qui les oblige à parcourir plus de distance et parfois de réaliser des trajectoires moins optimales. En outre, la délivrance des SLA non contextuels peut coïncider avec le passage du sujet à proximité d'un produit de la liste ce qui l'empêche dans certaines cas de percevoir le produit et rend la tâche de recherche de cible plus difficile. Les résultats de cette étude vont dans le même sens que le travail de Rizzo et al. qui a été mis en place dans le contexte de la prise en charge de troubles attentionnels chez des enfants HADA et qui a permis de démontrer que les SLA non contextuels ont un effet distrayant lors d'une tâche virtuelle (Rizzo, Bowerly et al. 2004) chez cette population de patients. Grâce à notre étude, nous avons démontré que l'effet distrayant des SLA non contextuels est aussi valable pour des sujets sains mais aussi pour des patients cérébrolésés. En corollaire de cette seconde étude, une meilleure performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulée de recherche de cibles peut être obtenue en réduisant au maximum le nombre de SLA non contextuels délivrés pendant la tâche.

La troisième étude concerne la relation entre les SLA contextuels et la performance. Elle avait pour objectif de tester la validité de l'Hypothèse 3 : « Les SLA contextuels permettent d'améliorer la performance des sujets sains et des sujets cérébrolésés dans une tâche virtuelle simulant une activité de vie quotidienne complexe ». Les expérimentations ont inclus douze patients ayant subi un Accident Vasculaire Cérébral (12 hommes, âge moyen 48 ± 12), et vingt-trois sujets sains (11 femmes et 12 hommes, âge moyen 29 ± 6 ans). Les résultats de l'étude ont permis de démontrer que la délivrance de stimuli liés à l'interaction permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans la tâche même s'ils ne sont pas informés du lien sémantique qui existe entre les stimuli délivrés et la tâche. Lorsqu'il y a délivrance de SLA contextuels pendant la tâche, les sujets mettent moins de temps et parcourent moins de distance pour accomplir la tâche. Par ailleurs, le fait que les sujets n'ont pas été informés du rôle des SLA délivrés nous laisse suggérer que les SLA délivrés auraient eu un effet plus important si les participants avaient été informés en amont de leur signification. Les participants chez les deux populations de sujets ont donc réussi à comprendre le sens sémantique des SLA contextuels et d'établir le lien entre les stimuli délivrés et la tâche dans le VAP-S. Ils ont aussi réussi à exploiter l'information supplémentaire apportée par les SLA délivrés sur la tâche demandée. L'augmentation de la performance marquée s'explique également par l'augmentation de l'attention et de la vigilance des sujets à chaque fois qu'il y a délivrance de SLA contextuel. En conséquence, les participants ont été plus rapides dans l'exécution de la tâche et ont parcouru moins de distance dans l'environnement virtuel. Ces travaux vont dans le même sens que d'autres travaux dans la littérature qui ont prouvé que la délivrance de SLA contextuels permet d'améliorer la performance des sujets sains dans une tâche simple dans un environnement virtuel (Lécuyer, C. et al. 2002, Costabile, De Angeli et al. 2003, Burigat and Chittaro 2007, Ullah, Richard et al. 2009). Grâce au travail mené dans cette étude, nous avons pu démontrer que l'effet positif de la délivrance des SLA contextuels est aussi valable dans des tâches de vie quotidienne complexes chez des sujets sains mais aussi chez des patients cérébrolésés.

En ce qui concerne la seconde et la troisième étude, on peut légitimement se demander si les différences de performance entre les conditions sans stimuli et les conditions avec stimuli et la modification du comportement des participants sont vraiment liées à l'écart I^3_{DPI} . On peut aussi se demander si l'introduction des SLA ne modifie pas la tâche dans le VAP-S. En fait, il est vrai que l'écart I^3_{DPI} n'est pas mesurable, mais lors des expérimentations, nous avons fait en sorte que les tests soient les mêmes pour tous les participants (la même tâche, la même consigne, les mêmes conditions expérimentales, les mêmes stimuli, les mêmes fréquences de déclenchement pour les stimuli non contextuels, etc.). En conséquence, même si la tâche a été modifiée par la délivrance de stimuli, elle a été modifiée pour tous les participants qui ont donc tous réalisé la même tâche dans les mêmes conditions. En outre, le fait que la seule variable susceptible de changer soit l'écart que nous avons défini suggère que les différences

de performance trouvées sont liées à cet écart. Il aurait été possible de mesurer cet écart grâce un questionnaire sur la perception des objets virtuels posé au participants après chaque test. Mais cela n'a pas été fait dans les études menées.

Perspectives de la thèse

Nos travaux apportent des éléments de réponse concernant l'exploitation des potentiels des caractéristiques de l'information pour l'amélioration de la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans une tâche de vie quotidienne simulée. Ils ouvrent par la même occasion de nouvelles pistes de recherche.

La première piste de recherche est l'exploration de la question du SFOV. Il serait intéressant d'étudier les combinaisons (PFOV, SFOV) et de trouver celles pour lesquelles la performance serait optimale.

La seconde piste de recherche concerne la détermination du nombre de SLA contextuels qui correspond à un seuil de performance car, comme nous l'avons signalé précédemment, les stimuli qui apportent de l'information sur la tâche peuvent être source de distraction et de ralentissement s'ils sont fournis en grande quantité (Dewar 1988, Green 2000). Il serait donc intéressant de déterminer à partir de quel moment les SLA contextuels commencent à avoir un effet négatif sur la performance des sujets. Il serait également nécessaire de mettre en place des études supplémentaires pour tester les autres stimuli implémentés dans le VAP-S dans le cadre de cette thèse. Ces études permettraient de consolider les résultats trouvés dans cette thèse. Il serait également important, de tester par la suite la combinaison de deux SLA avec deux modalités différentes (SLA auditif et SLA visuel) : par exemple combiner la délivrance du SLA contextuel auditif « Alerte sonore » avec le SLA contextuel visuel « Clignotement du produit ». L'important dans cette combinaison, c'est de voir si les SLA contextuels ont un effet additif, un effet de complémentarité ou un effet négatif induit par une surcharge cognitive. Nous suggérons que la combinaison des SLA contextuels auditifs et visuel aurait un effet de complémentarité car en théorie, les SLA contextuels auditifs permettent d'augmenter la vigilance des sujets et de déclencher chez eux un comportement de recherche alors que les SLA contextuels visuels attirent l'attention du sujet directement vers la cible dans l'environnement virtuel.

La troisième piste de recherche concerne l'effet des SLA sur les stratégies de recherche de cibles dans l'environnement virtuel. En fait les stimuli délivrés peuvent avoir un impact sur la manière dont les sujets cherchent les produits (par catégorie, par localisation géographique, etc.).

La quatrième piste de recherche est la comparaison de l'effet des SLA entre les deux populations et entre les deux types de stimuli (auditif et visuel). Nous avons démontré, grâce aux études menées, que les deux populations de sujets ont bénéficié de la délivrance des SLA contextuels. Mais nous n'avons pas étudié les proportions avec lesquelles les sujets ont bénéficié des SLA contextuels. De même, une comparaison entre les effets des deux types de stimuli nous permettrait d'identifier le type de stimulus le plus adapté pour aider les sujets dans la tâche. Cela nous permettrait également de déterminer le type de stimuli adapté pour chaque population. Nous avons déjà commencé à comparer l'effet des stimuli contextuels entre les deux populations de sujets. La première chose qui nous a marqué est le fait qu'en présence de SLA contextuels, la performance des patients a augmenté avec des proportions plus importantes que celle des sujets sains, c'est-à-dire que les patients ont bénéficié des stimuli délivrés plus que les sujets sains. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les patients ont plus besoin d'assistance dans l'EV que les sujets sains qui arrivent à bien réussir la tâche même sans stimuli.

Le Tableau 16 présente la comparaison de l'effet des SLA contextuels entre les deux populations de sujets.

	Stimuli Auditifs		Stimuli visuels	
	Patients	Sujets sains	Patients	Sujets sains
Distance	- 20%	- 14%	- 19%	- 12%
Temps	- 25%	- 18%	- 19%	- 18%

Tableau 16. Comparaison de l'effet des SLA contextuels entre les deux populations de sujets

La cinquième piste de recherche est la mise en place d'une application sur un smartphone qui aide les patients dans leurs activités de vie quotidienne. Par exemple, dans un supermarché réel, le patient rentre une liste de courses, l'application l'aide à s'orienter dans l'environnement et dès qu'il est à proximité d'un produit de la liste, un stimulus contextuel serait délivré par l'application afin d'attirer son attention vers le produit.

La sixième piste de recherche est la conception d'un système virtuel « intelligent » capable de détecter automatiquement les difficultés rencontrées par le participant dans la tâche et de délivrer en temps réel des SLA contextuels en fonction de ces difficultés. Par exemple, si le sujet n'explore pas le côté droit de l'environnement, le système serait capable de le détecter en fonction des positions du sujet du début de la tâche à un instant t et de délivrer des SLA qui

attirent l'attention de l'utilisateur vers l'hémispace contralésionnel. De même, si le sujet a du mal à trouver les cibles virtuelles, le système serait capable de le détecter, grâce à un délai mis pour trouver une cible, et de rajouter de la saillance sur les cibles. De la même manière, si le système détecte des problèmes d'orientation, il peut délivrer des SLA du style flèches ou radar de position pour le guider dans l'environnement.

Enfin, un travail conséquent reste à mettre en place concernant l'exploitation des potentiels des caractéristiques de l'information virtuelle pour l'amélioration de la performance des sujets dans la tâche.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. ECHANGE D'INFORMATION ENTRE LE SYSTEME VIRTUEL ET L'UTILISATEUR (FUCHS, 1999)	30
FIGURE 2. CARTE DE PONDERATION DU CHAMP VISUEL BINOCULAIRE	34
FIGURE 3. LE CHAMP VISUEL ET SES DIFFERENTES ZONES DANS UN PLAN HORIZONTAL	34
FIGURE 4. DEUX TAILLES D'ECRAN POUR UN CHAMP VISUEL CONSTANT (DISTANCE VARIABLE).....	36
FIGURE 5. LES OBJETS VUS SOUS LE MEME ANGLE VISUEL ONT LA MEME TAILLE SUR LA RETINE	37
FIGURE 6. DEUX TAILLES D'ECRANS POUR UN CHAMP VISUEL VARIABLE	38
FIGURE 7. LE MODE DE CONTROLE ATTENTIONNEL DE NORMAN ET SHALLICE.....	41
FIGURE 8. LE CS WAVE, DIFFERENTES POSITIONS DE L'ECRAN EN FONCTION DE LA TACHE	47
FIGURE 9. LE VIRTUAL ACTION PLANNING SUPERMARKET.....	51
FIGURE 10. REVUE DE LA PERFORMANCE DANS LE VAP-S	51
FIGURE 11. LES REPERES VISUELS DANS LE CS WAVE	56
FIGURE 12. UNE SCENE DU MUSEE VIRTUEL UTILISE DANS LA TACHE.....	57
FIGURE 13. LES TROIS STIMULI UTILISES POUR ASSISTER LES SUJETS DANS L'ENVIRONNEMENT (FLECHE 2D, FLECHE 3D ET RADAR 2D)	58
FIGURE 14. LE SYSTEME MIS EN PLACE PAR LECUYER ET AL. POUR L'ETUDE DES AIDES LOGICIELLES.....	61
FIGURE 15. DEUX SCENES DU VIRTUAL IRAQ UTILISE DANS LA REHABILITATION APRES DES TROUBLES DE STRESS POST-TRAUMATIQUES	62
FIGURE 16. SIMILITUDE ENTRE LA TVK (A GAUCHE) ET LA CUISINE REELLE DE KERPAPE (A DROITE).....	63
FIGURE 17. UNE SCECE DE LA CLASSE VIRTUELLE	65
FIGURE 18. LE PLAN ORIGINAL DU BATIMENT UTILISE (A GAUCHE) ET L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL QUI LE REPRESENTE	67
FIGURE 19. PLAN DU SUPERMARCHE DE LEE ET AL.....	68
FIGURE 20. ECART I_{DPI}^3	78
FIGURE 21. CHEMINEMENT DE L'INFORMATION ENTRE LE SYSTEME VIRTUEL ET L'UTILISATEUR : ARBRE LOGIQUE D'ECHANGE DE L'INFORMATION ENTRE LE SYSTEME VIRTUEL ET L'UTILISATEUR.....	84
FIGURE 22. ECHANGE D'INFORMATION UTILISATEUR-SYSTEME VIRTUEL, ET ECART I_{DPI}^3	85
FIGURE 23. INFORMATION RELATIVE A LA CONSIGNE PRESENTEE SOUS FORME TEXTUELLE AUGMENTEE PAR UN SLA (IMAGE DES CORNICHONS). (LE VAP-S (KLINGER ET AL, 2004))	86
FIGURE 24. INFORMATION RELATIVE A LA CONSIGNE PRESENTEE SOUS FORME TEXTUELLE NON AUGMENTEE PAR UN SLA. LA TVK (KLINGER ET AL, 2009; CAO ET AL, 2010)	86
FIGURE 25. TAXONOMIE DE L'INFORMATION DANS UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL	88

FIGURE 26. LE VIRTUAL ACTION PLANNING SUPERMARKET	92
FIGURE 27. REVUE DE LA PERFORMANCE DANS LE VAP-S	92
FIGURE 28. DESCRIPTION DE LA TACHE DANS LE VAP-S AVANT L'ARRIVEE AUX CAISSES.....	93
FIGURE 29. DESCRIPTION INFORMELLE DE LA TACHE DANS LE VAP-S AVEC SLA	95
FIGURE 30. DIAGRAMME MCD DE LA TACHE DANS LE VAP-S SANS SLA.....	96
FIGURE 31. MODELE CONCEPTUEL DE DONNEES POUR LA TACHE DANS LE VAP-S AVEC SLA.....	96
FIGURE 32. ARCHITECTURE GLOBALE DES SLA IMPLEMENTES DANS LE VAP-S.....	99
FIGURE 33. INTERFACE GRAPHIQUE POUR LE CHOIX DES STIMULI	101
FIGURE 34. NOUVELLE INTERFACE DE PARAMETRAGE	102
FIGURE 35. STRATEGIE DE MISE EN ŒUVRE DES SLA DANS LE VAP-S.....	106
FIGURE 36. COMPTE RENDU DE LA SEANCE MODIFIE	107
FIGURE 37. NIVEAUX D'INTERVENTION DES TROIS ETUDES EXPERIMENTALES MENEES	112
FIGURE 38. LE VIRTUAL ACTION PLANNING SUPERMARKET	113
FIGURE 39. REPARTITION DES PRODUITS DE LA LISTE DE FAMILIARISATION POUR L'ETUDE 1	114
FIGURE 40. COMPARAISONS DU NOMBRE DE MAUVAISES ACTIONS ENTRE LES DEUX CONFIGURATIONS CHEZ LES PATIENTS.	123
FIGURE 41. AFFECTATION DES SUJETS AUX CONDITIONS DES TESTS	130
FIGURE 42. COMPARAISONS ENTRE LES DISTANCES MOYENNES PARCOURUES DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA NON CONTEXTUEL CHEZ LES SUJETS SAINS	133
FIGURE 43. COMPARAISONS ENTRE LES TEMPS MOYENS MIS DANS LA TACHE DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA CONTEXTUEL CHEZ LES SUJETS SAINS	133
FIGURE 44. COMPARAISONS ENTRE LES NOMBRES MOYENS D'ERREURS COMMISES DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA NON CONTEXTUEL CHEZ LES SUJETS SAINS	134
FIGURE 45. DEUX EXEMPLES DE COURBES REPRESENTANT LES TRAJECTOIRES D'UN SUJET DANS LE VAP-S DANS LA CONDITION C0 (A GAUCHE) ET DANS LA CONDITION C2 (A DROITE)..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
FIGURE 46. COMPARAISONS ENTRE LES TEMPS MOYENS MIS DANS LA TACHE DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA CONTEXTUEL CHEZ LES PATIENTS	138
FIGURE 47. COMPARAISONS ENTRE LES DISTANCES MOYENNES PARCOURUES DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA NON CONTEXTUEL CHEZ LES PATIENTS	138
FIGURE 48. COMPARAISONS ENTRE LES DISTANCES PARCOURUES DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA CONTEXTUEL CHEZ LES SUJETS SAINS.....	146
FIGURE 49. COMPARAISONS ENTRE LES DUREE DES SEANCES DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA CONTEXTUEL CHEZ LES SUJETS SAINS	146
FIGURE 50. DEUX EXEMPLES DE COURBES REPRESENTANT LES TRAJECTOIRES D'UN SUJET DANS LE VAP-S DANS LA CONDITION C0 (A GAUCHE) ET DANS LA CONDITION C2 (A DROITE)..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
FIGURE 51. COMPARAISONS ENTRE LES DISTANCES PARCOURUES DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA CONTEXTUEL CHEZ LES PATIENTS CEREBROLESES	150

FIGURE 52. COMPARAISONS ENTRE LES DUREE DES SEANCES DANS LES DIFFERENTES CONDITIONS SANS ET AVEC SLA CONTEXTUEL CHEZ LES PATIENTS CEREBROLESES.....	150
FIGURE 53. CARACTERISTIQUES DE L'INFORMATION EXPLOITEES DANS NOS ETUDES.....	157
FIGURE 54. ETUDES MENEES ET REDUCTION DE L'ECART I3DPI	160
TABLEAU 16. COMPARAISON DE L'EFFET DES SLA CONTEXTUELS ENTRE LES DEUX POPULATIONS DE SUJETS	164

Liste des tableaux

TABLEAU 1. METHODES CLASSIQUES D’EVALUATION DES FONCTIONS EXECUTIVES	42
TABLEAU 2. CLASSIFICATION DES SLA SELON LA TAXONOMIE DE L’INFORMATION PROPOSEE	99
TABLEAU 3. CONDITIONS EXPERIMENTALES MISES EN PLACE : CONFIG P (PETIT ECRAN, CHAMP VISUEL DE 45°) ET CONFIG G (GRAND ECRAN, CHAMP VISUEL DE 70°)	120
TABLEAU 4. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LES CONFIGURATIONS CONFIG G ET CONFIG P CHEZ LES PATIENTS	121
TABLEAU 5. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LES CONFIGURATIONS CONFIG G ET CONFIG P CHEZ LES SUJETS SAINS	121
TABLEAU 6. LES DEUX LISTES DE COURSES L1 ET L2 MISES EN PLACE POUR LES EXPERIMENTATIONS	129
TABLEAU 7. COMPARAISONS DES PERFORMANCES DES SUJETS SAINS ENTRE LA CONDITION C0 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C2 (LISTE L2 AVEC LE SLA « SONS ALEATOIRES PERIODIQUES »)	132
TABLEAU 8. COMPARAISONS DES PERFORMANCES DES SUJETS SAINS ENTRE LA CONDITION C1 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C3 (LISTE L2 AVEC LE SLA « APPARITION D’OBJETS DANS LE CHAMP VISUEL DU SUJET »)	132
TABLEAU 9. COMPARAISONS DES PERFORMANCES DES PATIENTS ENTRE LA CONDITION C0 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C2 (LISTE L2 AVEC LE SLA « SONS ALEATOIRES PERIODIQUES »).....	137
TABLEAU 10. COMPARAISONS DES PERFORMANCES DES PATIENTS ENTRE LA CONDITION C1 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C3 (LISTE L2 AVEC LE SLA « APPARITION D’OBJETS DANS LE CHAMP VISUEL DU SUJET »)	137
TABLEAU 11. LES DEUX LISTES DE COURSES L1 ET L2 MISES EN PLACE POUR LES EXPERIMENTATIONS	143
TABLEAU 12. COMPARAISONS DES PERFORMANCES DES SUJETS SAINS ENTRE LA CONDITION C0 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C2 (LISTE L2 AVEC LE SLA « ALERTE SONORE »)	145
TABLEAU 13. COMPARAISONS DES PERFORMANCES DES SUJETS ENTRE LA CONDITION C1 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C3 (LISTE L2 AVEC LE SLA « CLIGNOTEMENT DES PRODUITS »).....	146
TABLEAU 14. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES PATIENTS ENTRE LA CONDITION C0 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C2 (LISTE L2 AVEC LE SLA « ALERTE SONORE »)	149
TABLEAU 15. COMPARAISON DES PERFORMANCES DES PATIENTS ENTRE LA CONDITION C1 (LISTE L1 SANS SLA) ET LA CONDITION C3 (LISTE L2 AVEC LE SLA « CLIGNOTEMENT DES PRODUITS »).....	149

GLOSSAIRE D'ABREVIATIONS

Abréviation/Sigle	Signification
2 D	2 Dimensions
3 D	3 Dimensions
AVC	Accident Vasculaire Cérébral
AVQ	Activités de Vie Quotidienne
EV	Environnement Virtuel
FE	fonctions exécutives
FOV	Field Of View
FOR	Field Of Regard
I_D	Information délivrée par le système virtuel
I_P	Information perçue par les organes sensoriels du sujet
I_I	Information Intégrée par le système cognitif du sujet
I³_{DPI}	Ecart entre l'Information délivrée, l'Information Perçue et l'information Intégrée
PFOV	Physical Field Of View
SFOV	Software Field Of View
SLA	Stimuli Logiciel Ajouté
RV	Réalité Virtuelle
RVA	Réalité Virtuelle Augmentée
TC	Traumatisme Crânien
VAP-S	Virtual Action Planning Supermarket

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

ACLN

H Cherni, A Kadri, A Taruella, P A Joseph and E Klinger (2011), Virtual information display for cognitive rehabilitation : choice of screen size, *Journal of CyberTherapy & Rehabilitation*, **4**, 1, pp.67-75.

ACT

H CHERNI, P A JOSEPH and E KLINGER (2012), Study of the impact of added contextual stimuli on the performance in a complex virtual task among patients with brain injury , In In 9th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies, Laval, France, 10-12 Sept. 2012 (Finaliste pour le Best Student Paper)

H Cherni, A Kadri, A Taruella, P A Joseph and E Klinger (2010c), Impact of the visual field of view on the performance in a purchasing task in the VAP-S for patients with brain injury, In *8th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies*, Viña del Mar/Valparaiso, Chili, pp.85-91.

H Cherni, A Kadri, A Taruella, P A Joseph and E Klinger (2010b), Impact du champ visuel physique sur la performance dans la réalisation d'une tâche de course dans le VAP-S chez des patients cérébrolésés et des sujets sains, In *Journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV)*, Paris, pp.109-112.

H CHERNI, A KADRI, A TARRUELLA, P A JOSEPH and E KLINGER (2010a), Impact du champ visuel physique sur la performance, dans la réalisation d'une tâche de course dans le VAP-S chez des patients cérébrolésés, In *CONFERE*, Sousse, Tunisie.

RÉFÉRENCES

- Allain, P., G. Aubin and D. Le Gall (2006). L'évaluation des fonctions exécutives : Intérêts et limites des tests papier-crayon. Fonctions exécutives et rééducation. P. A. V. B. P. Pradat-Diel. Paris, Masson: 45-56.
- Amokrane, K. (2010). Suivi de l'apprenant en environnement virtuel pour la formation à la prévention des risques sur des sites Seveso Informatique, Université de technologie de compègne.
- Baram, Y., J. Aharon-Peretz, Y. Simionovici and L. Ron (2002). "Walking on Virtual Tiles." Neural Processing Letters **16**(3): 227-233.
- Bowman, D., E. Kruijff, J. J. LaViola and I. Poupyrev (2004). 3D User Interfaces: Theory and practice. Redwood City, CA, USA, Addison Wesley Longman Publishing Co.
- Bowman, D., E. Sowndararajan, D. Ragan and R. Kopper (2009). Higher Levels of Immersion Improve Procedure Memorization Performance. Joint Virtual Reality Conference of EGVE - ICAT - EuroVR.
- Bowman, D. A. and R. P. McMahan (2007). "Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough?" Computer **40**(7): 36-43.
- Boyd, T. M. and S. Sautter (1993). "Route finding: a mesure of evryday executive functioning in the head injured adult." Applied cognitive psychology **7**: 171-181.
- Brodsky, W. (2001). "The effects of music tempo on simulated driving performance and vehicular control." Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour **4**(4): 219-241.
- Brooks, B. M., J. E. McNeil, F. D. Rose, R. Greenwood, E. A. Attree and A. Leadbetter (1999). "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.
- Bryson, S. (1996). "Virtual reality in scientific visualization." Commun. ACM **39**(5): 62-71.
- Burigat, S. and L. Chittaro (2007). "Navigation in 3D Virtual Environments: Effects of User Experience and Location-pointing Navigation Aids." International Journal of Human-Computers studies **11**: 945-958.
- Burkhardt, J.-M. and D. Lourdeaux (2006). Approche théorique et pragmatique de la réalité virtuelle. Le traité de la réalité virtuelle. E. d. m. d. Paris. Paris, Presse de l'école des mines. **2**.
- Burkhardt, J.-M., D. Lourdeaux and D. Mellet-d'Humart (2006). La réalité virtuelle pour l'apprentissage humain. Le traité de la réalité virtuelle. Paris, Presse de l'école des Mines. **4**: 43-99.
- Burkhardt, J. M., D. Lourdeaux and D. Mellet-d'Huart (2003). La réalité virtuelle pour l'apprentissage humain. Le traité de la réalité virtuelle. Paris, Presse de l'école des mines. **4**: 43-93.
- Cao, X., A.-S. Douguet, P. Fuchs and E. Klinger (2010). Designing an ecological virtual task in the context of executive functions: a preliminary study. Proceedings of the 8th International Conference on Disability, Virtual Reality and associated technologies, Vina del Mar, Chile.
- Castelnuovo, G., C. Lo Priore, D. Liccione and G. Cioffi (2003). "Virtual reality based tools for the rehabilitation of cognitive and executive functions: the V-Store." PsychNology Journal **1**(3): 311-326.
- Cherni, H., A. Kadri, A. Tarruella, P. A. Joseph and E. Klinger (2010). Impact du champ visuel physique sur la performance, dans la réalisation d'une tâche de course dans le VAP-S chez des patients cérébrolésés. CONFERE, Sousse, Tunisie, Arts et Métiers ParisTech.
- Cherni, H., A. Kadri, A. Taruella, P. A. Joseph and E. Klinger (2010). Impact du champ visuel physique sur la performance dans la réalisation d'une tâche de course dans le VAP-S chez des patients cérébrolésés et des sujets sains. Journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle (AFRV), Paris.
- Cherni, H., A. Kadri, A. Taruella, P. A. Joseph and E. Klinger (2010). Impact of the visual field of view on the performance in a purchasing task in the VAP-S for patients with brain

- injury. 8th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies, Viña del Mar/Valparaiso, Chili.
- Cherni, H., A. Kadri, A. Taruella, P. A. Joseph and E. Klinger (2011). "Virtual information display for cognitive rehabilitation : choice of screen size." Journal of CyberTherapy & Rehabilitation **4**(1): 67-75.
- Chevignard, M., B. Pillon, P. Pradat-Diehl, C. Taillefer, S. Rousseau, C. Le Bras and B. Dubois (2000). "An ecological approach to planning dysfunction: script execution." Cortex **36**(5): 649-669.
- Chevignard, M., C. Taillefer, C. Picq, F. Poncet and P. Pradat-Diehl (2006). Évaluation du syndrome dysexécutif en vie quotidienne. Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne, Springer: 47-65.
- Clancy, T. A., J. J. Rucklidge and D. Owen (2006). "Road-crossing safety in virtual reality: a comparison of adolescents with and without ADHD." Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology **35**(2): 203--215.
- Costabile, M. F., A. De Angeli, F. Pittarello and C. Ardito (2003). Can audio help navigating in virtual environments? An experimental evaluation. Proceedings of INTERACT, Zurich, Switzerland.
- Cruz-Neira, C., D. J-Sandin and T. A. DeFanti (1993). Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. Anaheim, CA, ACM.
- DaCosta, R. M. and L. A. DeCarvalho (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.
- Davies, R. C., E. Löfgren, M. Wallergard, A. Linden, K. Boschian, U. Minör, B. Sonesson and G. Johansson (2002). Three Applications of Virtual Reality for Brain Injury Rehabilitation of Daily Tasks. International Conference on Disabilities, Virtual Reality and Associated Technology, Hungary.
- Davies, R. C., E. Löfgren, M. Wallergard, A. Linden, K. Boschian, U. Minör, B. Sonesson and G. Johansson (2002). Three Applications of Virtual Reality for Brain Injury Rehabilitation of Daily Tasks. International Conference on Disabilities, Virtual Reality and Associated Technology. Hungary.
- Dede, C., M. Salzman, R. B. Loftin and K. Ash (1997). Using virtual reality technology to convey abstract scientific concepts. Learning the Sciences of the 21st Century: Research, Design, and Implementing Advanced Technology Learning Environments. M. J. J. a. R. B. K. L. Erlbaum, Lawrence Erlbaum Associates.
- Delorme, A. and M. Flückiger (2003). Les fondements théoriques et méthodologiques. Perception et réalité : une introduction à la psychologie des perceptions. D. Boeck. **1**.
- Dewar, R. (1988). "In-Vehicle information and driver overload." International Journal of Vehicle Design **9**(4/5): 557-564.
- Duprey, M. C., P. Allain and D. Le Gall (2006). Troubles des fonctions exécutives et anosognosie. Fonctions exécutives et rééducation. Masson. Paris.
- El-Kechäï, N. (2007). SUIVI ET ASSISTANCE DES APPRENANTS DANS LES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS DE FORMATION, Université du Maine.
- Foels, A. and J. Jonquieres (1989). "Forensic estimation of handicap: Interest of visual field binocularly study." Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France **89**(4): 513-521.
- Fuchs, P. (1996). "Les interfaces de la réalité virtuelle." Presse de l'école des mines.
- Fuchs, P. (1999). Immersion et interaction naturelles dans un environnement virtuel. Actes de la conférence "Réalité Virtuelle et Cognition", ENST Paris.
- Fuchs, P., M. Hafez, M. Benali-Khoudja, J.-P. Papin, N. Tsingos and O. Warusfel (2003). Les sens de l'homme. Le traité de la réalité virtuelle. P. d. l. E. d. Mines. Paris. **1**: 69-130.

- Fuchs, P., G. Moreau, B. Arnaldi, J. M. Burkhardt, A. Chauffaut, S. Coquillart, S. Donikian, T. Duval, J. Grosjean, F. Harrouet, E. Klinger, D. Lourdeaux, D. Mellet d'Huart, A. Paljic, J. P. Papin, P. Stergiopoulos, J. Tisseau and I. Viaud-Delmon (2003). Le traité de la réalité virtuelle, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, deuxième édition.
- Fuchs, P., G. Moreau, A. Berthoz, J. L. Vercher, M. Auvray, M. Benali Koudja, E. Berton, J. Blouin, S. Bouisset, C. Bourdin, J. M. Burkhardt, E. Gentaz, M. D. Giraudo, M. Hafez, Y. Hatwell, B. Hennion, D. Mestre, J. P. Papin, P. Peruch, N. Tsingos and O. Warusfel (2006). Le traité de la réalité virtuelle, troisième édition, volume 1 : « L'Homme et l'environnement virtuel », 410 pages, Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris.
- Green, P. (2000). Crashes induced by driver information systems and what can be done to reduce them. Convergence 2000, Warrendale, PA, USA, Society of Automotive Engineers.
- Grumbach, A. (2001). Cognition Virtuelle. Paris.
- Hassan, S. E., J. C. Hicks, H. Lei and K. A. Turano (2007). "What is the minimum field of view required for efficient navigation?" Vision Res **47**(16): 2115-2123.
- Jacob, P. (2005). Philosophie et neurosciences : le cas de la vision. La Philosophie cognitive. Ophrys. Paris.
- Josman, N., A. E. Schenirderman, E. Klinger and E. Shevil (2009). "Using virtual reality to evaluate executive functioning among persons with schizophrenia: a validity study." Schizophr Res **115**(2-3): 270-277.
- Kaminsky, T., B. Dudgeon, F. Billingsley, P. Mitchell and S. Weghorst (2007). "Virtual cues and functional mobility of people with Parkinson's disease: A single-subject pilot study." Journal of Rehabilitation Research & Developpement **44**: 437--448.
- Klinger, E. (2006). Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux PhD Thesis, ENST.
- Klinger, E., X. Cao, A. S. Douguet and P. Fuchs (2009). Designing an ecological and adaptable virtual task in the context of executive functions. Studies in Health Technology and Informatics (SHTI) series. B. Wiederhold and G. Riva: 248-252.
- Klinger, E., I. Chemin, S. Lebreton and R. M. Marié (2004). "A Virtual Supermarket to Assess Cognitive Planning." Cyberpsychol Behav **7**(3): 292-293.
- Klinger, E., I. Chemin, S. Lebreton and R. M. Marié (2006). "Virtual Action Planning in Parkinson's Disease: a control study." Cyberpsychol Behav **9**(3): 342-347.
- Klinger, E. and P. A. Joseph (2008). Rééducation des troubles cognitifs par réalité virtuelle. Rééducation instrumentalisée après cérébrolésion vasculaire. J. Froger and J. Pélissier. Paris, Masson: 149-165.
- Lécuyer, A., M. C., J. Burkhardt, T. Lim, S. Coquillart, P. Coiffet and L. Graux (2002). The Effect of Haptic, Visual and Auditory Feedback on an Insertion Task on a 2-Screen Workbench. In Proceedings of the Immersive Projection Technology Symposium, Orlando, US.
- Lee, J. H., J. Ku, W. Cho, W. Y. Hahn, I. Y. Kim, S. M. Lee, Y. Kang, D. Y. Kim, T. Yu, B. K. Wiederhold, M. D. Wiederhold and S. I. Kim (2003). "A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living." Cyberpsychol Behav **6**(4): 383-388.
- Lourdeaux, D., D. Mellet-d'Huart and J. M. burkhatdt (2003). Potentialities of virtual reality for pedagogical assistance. the Virtual concept. France.
- Lumbreras, M. and J. Sanchez (2000). Usability and cognitive impact of the interaction with 3D virtual interactive acoustic environments by blind children. Proceedings of the 3rd ICDVRAT, Reading, UK, University of Reading.
- Marciniak, R. and F. Rowe (2009). Systèmes d'information, dynamique et organisation.

- Marié, R. M., E. Klinger, I. Chemin and M. Josset (2003). Cognitive Planning assessed by Virtual Reality. VRIC 2003, Laval Virtual Conference, Laval, France.
- Martin, R. (1972). Test des commissions (2nde édition). Bruxelles, Editest.
- Mellet-d'Huart, D. (2002). Virtual Environment for training : An art of enhancing reality. Simulation based training, Spain.
- Mellet-d'Huart, D. (2004). De l'intention à l'attention. Contributions à une démarche de conception d'environnements virtuels pour apprendre à partir d'un modèle de l'(én)action, Université du Maine.
- Mellet-d'Huart, D. and Michel G (2006). Réalité virtuelle et apprentissage. Les environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. E. Hermes, GRANDBASTIEN M. & LABAT J.-M.
- Meulemans, T. (2006). Les fonctions exécutives: Approche théorique. Fonctions exécutives et rééducation. Masson. Paris: 1-10.
- Ni, T., D. A. Bowman and J. Chen (2006). Increased display size and resolution improve task performance in Information-Rich Virtual Environments. Proceedings of Graphics Interface 2006, Quebec, Canada, Canadian Information Processing Society.
- Norman, D. A. and T. Shallice (1986). Attention to action: willed and automatic control of behavior. Consciousness and self-regulation: Advances in theory and research. D. S. R. Davidson., G. Schwartz. and D.Sapiro. New York, Academic Press. **4**: 515-549.
- P.Alain, S. A., G.Aubin, C.Belio, T.Benati, L.Bilz, M.Cabaret, M.Chevignard, J.Couillet, B.Degranges, M.C.Dubrey, F.Eustache, O.Godefroy, C.Jokic, P.A.Joseph, F.Joyeux, O.Kozlowski, D.LeGall, B.LeMenégeffard, F.Le Thiec, R.Lévy, J.M.Mazaux, T.Meulemans, F.Muller, P.North, C.Picq, F.Foncet, M.Rousseaux, M.Roussel-Pieronne, A.Routier, A.Saj, C.Taillefer, V.Tourbier, C.Vallat, T.witkowski, Ed. (2008). Fonction exécutives et rééducation.
- Panero, J. and M. Zelnik (1992). Human dimension and interior space. Londre, Whitney Library of Design.
- Patrick, E., D. Cosgrove, A. Slavkovic, J. Rode, T. Verrati and G. Chiselko (2000). Using a large projection screen as an alternative to head-mounted displays for virtual environments. CHI '00: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. New York, ACM: 478--485.
- Pierrel, J.-M. (2005). Centre National de ressources textuelles et lexicales, CNRS.
- Polys, N. F., S. Kim and D. A. Bowman (2007). "Effects of Information Layout, Screen Size, and Field of View on User Performance in Information-Rich Virtual Environments." Computer Animation and Virtual Worlds **18**(1): 19-38.
- Pstotka, J., S. Lewis and D. King (1998). "Effects of Field of View on Judgments of Self-Location: Distortions in Distance Estimations Even When the Image Geometry Exactly Fits the Field of View." Presence **7**(4): 352-369.
- Rabbitt, P. (1997). Introduction: Methodology and models in the study of executive function. Methodology of frontal and executive function. P. Press. Hove: 1-38.
- Rachel, K., J. Naomi, K. Noomi, R. Debbie and L. Patrice (2008). "Virtual reality and the rehabilitation of executive functions: Annotated bibliographie." Journal of occupational Therapy **1è**(2).
- Rand, D., N. Katz and P. L. Weiss (2007). "Evaluation of virtual shopping in the VMall: Comparison of post-stroke participants to healthy control groups." Disabil Rehabil: 1-10.
- Rizzo, A., B. Newman, J. Difede, G. Reger, K. Holloway, G. Gahm, B. Rothbaum, R. McLay, S. Johnston, K. Graap, J. Spitalnick and P. Bordnick (2009). Development and Clinical Results from the Virtual Iraq Exposure Therapy Application for PTSD. Virtual Rehabilitation International Conference, 2009

Rizzo, A. A., T. Bowerly, C. Shahabi, J. G. Buckwalter, D. Klimchuk and R. Mitura (2004). "Diagnosing Attention Disorders in a Virtual Classroom." IEEE Computer **37**(6): 87-89.

Rizzo, A. A., M. T. Schultheis, K. A. Kerns and C. Mateer (2004). "Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology." Neuropsychol Rehab **14**: 207-239.

Robert, W. R. (2003). La vision, Neurosciences & cognition.

Rodieck, R.-W. (2003). la vision.

Sanchez, J., A. Tadres, A. Pascuala-Leone and L. Merabet (2009). Blind Children Navigation through Gaming and Associated Brain Plasticity. Proceedings of the Virtual Rehabilitation International Conference.

Scoffer, N. (2001). "L'information." from <http://www.olats.org/schoffer/definfo.htm>.

Secoli, R., M.-H. Milot, G. Rosati and D.-J. Reinkensmeyer (2011). "Effect of visual distraction and auditory feedback on patient effort during robot-assisted movement training after stroke." Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation **8**.

Seron, X., Y. Rossetti, C. Vallat-Azouvi, P. Pradat-Diehl and P. Azouvi (2008). "[Cognitive rehabilitation]." Rev Neurol (Paris) **164 Suppl 3**: S154-163.

Sillard, B. (1999). Interface homme machine. Le journal du Net. Benchmark Group. Paris, Equinix France SAS.

Sohlberg, M. M. and C. A. Mateer (1989). Introduction to cognitive rehabilitation: Theory and Practice. New York, The Guilford Press.

Sowndararajan, A. (2008). Quantifying the Benefits of Immersion for Procedural Training, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.

Steib, D., D. L. Da Dalto and D. Mellet-d'Huart (2005). Apprendre le geste du soudage avec Cs-Wave : l'expérimentation de l'Afpa. First International VR-Learning Seminar. Laval (France).

Tan, D., D. Gergle, P. Scupelli and R. Pausch (2006). "Physically Large Displays Improve Performance on Spatial Tasks." ACM Transactions on Computer-Human Interaction (ToCHI) **13**(1): 71-99.

Tichon, J. and J. Banks (2006). "Virtual reality exposure therapy: 150-degree screen to desktop PC." Cyberpsychol Behav **9**(4): 480-489.

Ullah, S., P. Richard, S. Otmane and M. Mallem (2009). "Human Performance in Cooperative Virtual Environments : the Effect of Visual Aids and Oral Communication." International Journal of virtual reality **8**(4): 79--86.

Werner, P., S. Rabinowitz, E. Klinger, A. S. Korczyn and N. Josman (2009). "The use of the virtual action planning supermarket for the diagnosis of mild cognitive impairment." Dementia and Geriatric Cognitive Disorders **27**: 301-309.

Witmer, B.-G. and P.-B. Kline (1998). "Judging perceived and traversed distance in virtual environments." Presence **7**(2): 144-167.

Yehuda, P., P. L. Weiss, A. Rizzo, M. weizer, L. Shriki, R. Shalev and V. Gross-Tsur (2009). "Methylphenidate Effect in Children With ADHD Can Be Measured by an Ecologically Valid Continuous Performance Test Embedded in Virtual Reality." Journal of developmental and behavioral pediatrics **30**(1): 2--6.

Zalla, T., C. Plassiart, B. Pillon, J. Grafman and A. Sirigu (2001). "Action planning in a virtual context after prefrontal cortex damage." Neuropsychologia **39**(8): 759-770.

Zanglonhi, X., L. Avital and N. Prigent (2000). "Champ visuel et expertise, champ visuel et aptitude à la conduite." Réflexions phtalmologiques **5**: 32-36.

Zhang, L., B. C. Abreu, G. S. Seale, B. Masel, C. H. Christiansen and K. J. Ottenbacher (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.

Impact des caractéristiques de l'information délivrée par un système virtuel dans une tâche de recherche de cibles – Perspectives en rééducation cognitive

RESUME : Nos travaux s'inscrivent dans le cadre de la prise en charge des dysfonctionnements cognitifs par les technologies de la réalité virtuelle. Les technologies de la réalité virtuelle ont montré leurs potentiels dans la proposition de stratégies d'intervention rééducative innovantes. Elles permettent de simuler des activités de vie quotidienne (AVQ), de les répéter autant que nécessaire, de les graduer, et de contrôler la situation. Les environnements virtuels utilisés permettent de délivrer aux patients des informations variées et multimodales aux finalités diverses : affichage de l'environnement 3D et des objets le constituant, compréhension de la tâche, augmentation de la saillance de certains objets, ou encore délivrance d'instructions liées à l'interaction avec l'environnement. Alors se pose la question de la prise en considération effective par le patient de ces informations délivrées par le système virtuel. Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'amélioration de la performance des sujets dans une tâche de vie quotidienne simulée. Il s'agit d'étudier l'impact des caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel sur la performance des participants dans le processus de rééducation cognitive par les technologies de la réalité virtuelle. Les travaux abordant cette question dans la littérature évoquent l'effet des caractéristiques de l'information virtuelle sur la performance des sujets sains principalement dans des tâches d'orientation spatiale et de navigation dans des environnements virtuels simples et pauvres en information. Pour répondre à cette question nous avons étudié l'échange d'informations entre l'utilisateur et le système virtuel puis nous avons proposé une taxonomie de l'information virtuelle. Ensuite, une étude théorique sur notre dispositif expérimental le Virtual Action Planning Supermarket (le VAP-S) a été proposée. Sur la base des études précédentes, l'étape suivante a été de mettre en place de nouvelles fonctionnalités dans le VAP-S permettant d'augmenter de façon paramétrable l'information présente dans l'environnement avec des stimuli additionnels. Pour ce faire, nous avons défini un « Stimulus Logiciel Ajouté » par toute information, additionnelle, délivrée par le système virtuel, qui vient augmenter l'information présente dans l'environnement virtuel et dont l'absence de l'environnement virtuel n'interdit pas l'accomplissement de la tâche. Nous nous sommes intéressés aux SLA visuels et sonores. Grâce à trois études expérimentales nous avons étudié le lien qui existe entre les caractéristiques de l'information délivrée par le système virtuel et la performance des sujets dans la tâche. La première étude concerne l'effet de l'augmentation du champ visuel physique sur la performance. Elle a permis de montrer que chez les sujets sains et chez les sujets cérébrolésés, une meilleure visibilité des objets virtuels et un moins grand nombre d'erreurs de sélection peuvent être obtenus en utilisant un grand écran et un champ visuel physique large. La seconde étude concerne l'effet des SLA non contextuels sur la performance. Elle a permis de montrer que la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés diminue en présence de SLA non contextuels dans l'environnement. La troisième étude, sur les SLA contextuels, a permis de montrer que la délivrance de stimuli liés à l'interaction permet d'améliorer la performance des sujets sains et des patients cérébrolésés dans la tâche, même s'ils ne sont pas informés du lien sémantique qui existe entre les stimuli délivrés et la tâche. En perspective, il serait souhaitable de pouvoir confirmer les résultats trouvés dans nos études en testant l'effet des autres SLA intégrés dans le VAP-S. Il serait également intéressant de mettre en place des études sur l'effet de la combinaison de SLA (auditif et visuel) sur la performance dans la tâche.

Mots clés : Information, Système virtuel, rééducation cognitive.

Impact of virtual information characteristics in a task of search of targets- Perspectives in cognitive rehabilitation

ABSTRACT: This thesis was led in the context virtual cognitive rehabilitation. After brain injury, cognitive rehabilitation aims to enable the autonomy of the patients in the instrumental Activities of Daily Living (iADL). VR offers to the patient the possibility to experience controlled simulated activities of daily living that can be repeated as often as necessary and gradual with regards to the state of the patient. During the patient session, the VR system provides various kinds of information for different purposes: display of the virtual environment, understanding of the task, but also highlighting functionalities or delivery of instructions. In this thesis, we are interested in improving participants' performance in a virtual iADL. Our objective is to study the effects of the information delivered by the virtual system on participants' performance in the context of virtual rehabilitation. Previous studies already showed that an effect exists on healthy subjects' performance mainly in spatial orientation and navigation tasks in simple virtual environments. In order to answer to this question, we studied the process of exchange of information between the user and the virtual system and we built a taxonomy of the virtual information. Then, we suggested a theoretical study on our experimental tool the Virtual Action Planning Supermarket (VAP-S). On the basis of the previous studies, the following stage was to develop new functionalities in the VAP-S allowing it to deliver additional stimuli that enrich the information presents in the VAP-S. In this purpose, we defined an "Additional Software Stimulus" (ASS) by any additional information, delivered by the virtual system which comes to increase the present information in the virtual environment and whose absence from the virtual environment does not forbid the fulfillment of the task. We were interested in the auditory and visual ASS. Thanks to three experimental studies, we studied the relationship between the characteristics of the virtual information and the performance of the participants in the task. The first study concerns the relationship between the increase of the field of view and the performance. It shows that, among patients with brain injury and healthy subjects, it is possible to improve the perception of the virtual objects and to reduce the number of errors in the task by using a large screen and a large field of view in the experiments. The second study concerns the impact of the non-contextual ASS on the performance. It shows that the performance of patients with brain injury and healthy subjects decreases when non contextual ASS are delivered during the task. The third study concerns the relationship between the contextual ASS and the performance. It shows that the deliverance of ASS related to the interaction improves the performance of patients with brain injury and healthy subjects in the task even they are not informed about the semantic link between the delivered stimuli and the task. To extend this work, it would be interesting to confirm the results found in our experiments by testing the effects of other ASS developed in the VAP-S. It would also be interesting to conduct studies on the effects of combining ASS (auditory and visual) on the performance in the task. **Keywords:** Information, Virtual system, cognitive rehabilitation.