



HAL
open science

Mise en oeuvre d'une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte des fonctions exécutives

Xue Cao

► **To cite this version:**

Xue Cao. Mise en oeuvre d'une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte des fonctions exécutives. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2010. Français. NNT : 2010ENAM0036 . pastel-00577779

HAL Id: pastel-00577779

<https://pastel.hal.science/pastel-00577779>

Submitted on 17 Mar 2011

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

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité “ Biomécanique et ingénierie pour la santé ”

présentée et soutenue publiquement par

Xue CAO

le 15/12/2010

**Mise en œuvre d'une tâche virtuelle, écologique et
paramétrable dans le contexte des fonctions exécutives**

Directeur de thèse : **Philippe FUCHS**
Co-encadrement de thèse : **Evelyne KLINGER**

Jury

M. Bruno ARNALDI, Professeur, INSA de Rennes

M. Pierre-Alain JOSEPH, Professeur, Médecine Physique et de Réadaptation, Univ. Bordeaux Segalen

M. Guillaume MOREAU, Maître de conférences, Ecole Centrale de Nantes

M. Frédéric MERIENNE, Professeur, Arts et Métiers ParisTech

M. Philippe FUCHS, Professeur, Mines ParisTech

Mme Evelyne KLINGER, Ingénieur de recherche, Arts et Métiers ParisTech

Président

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

**T
H
È
S
E**

Remerciements

Le travail relatif à ce mémoire a été réalisé dans le Laboratoire de Arts et Métiers ParisTech d'Angers (LAMPA – EA 1427), l'équipe Présence & Innovation (P&i), et plus particulièrement au sein de l'entité Handicaps et Innovations Technologiques (HIT). Les expérimentations présentées dans ce mémoire ont été menées dans le Centre Mutualiste de Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape en Bretagne.

Je voudrais adresser mes premiers remerciements à tous les membres de mon jury de thèse, notamment pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux :

- Merci à Philippe Fuchs, directeur de ma thèse, professeur à l'école Mines ParisTech, pour m'avoir guidée dans mes travaux de thèse et soutenue dans le domaine de la réalité virtuelle notamment sur la problématique de l'immersion et de l'interaction du sujet dans un environnement virtuel. Les cinq volumes du « Traité de la Réalité Virtuelle » écrits par Philippe Fuchs et al. ont été importants pour m'aider à faire avancer mon travail de thèse dans une approche pluridisciplinaire.
- Un grand merci à Evelyne Klinger, co-directrice de ma thèse, responsable de l'entité HIT, spécialiste des applications de la réalité virtuelle dans le domaine de la Santé et du Handicap, qui m'a ouverte à ce domaine et guidée tout au long de ces années, pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer et sans qui je n'aurais pas réalisé cette thèse. Je dois encore la remercier pour son accueil au sein de l'entité, pour son aide à trouver le financement et son aide précieuse dans la conception de l'outil, dans les travaux de rédaction, ainsi que dans ma formation.
- Merci aux rapporteurs de ma thèse pour leur aide et l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux : Pierre-Alain JOSEPH, professeur à l'Université de Bordeaux ; Guillaume MOREAU, Maître de conférences à l'Ecole Centrale de Nantes.
- Merci aux examinateurs de ma thèse d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse : Frédéric MERIENNE, professeur aux Arts et Métiers ParisTech ; Bruno ARNALDI, professeur à l'INSA de Rennes.

Je remercie tous ceux qui m'ont soutenue et aidée lors du développement des outils nécessaires pour mener à bien cette thèse :

- Merci aux membres de la société EMISSIVE à Paris, pour la modélisation de la cuisine en 3D.
- Merci à Gill van Herzele, directeur de la société ENOZONE à Laval, ainsi qu'à Pierre Martin-Hilbert, stagiaire de l'ENSICAEN, pour leur participation au développement de l'outil TVK.
- Merci à Abdelmajid Kadri, ingénieur de recherche au sein de l'entité HIT, pour ses conseils et son aide au développement de ces outils.
- Merci à Alain Brochen, Ingénieur de la société NAUTILUS à Laval, pour avoir complété mon apprentissage du logiciel Virtools.

Cette thèse n'aurait pu aboutir sans le concours de toutes les personnes qui m'ont secondée dans le déroulement des applications cliniques :

- Merci à Anne-Sophie Douguet, neuropsychologue au Centre de Kerpape, pour m'avoir aidée dans la conception des tâches, le recrutement des patients et les expérimentations à Kerpape.
- Merci aux patients et aux sujets contrôle qui ont participé aux expérimentations.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux membres de l'équipe Presence & innovation de Laval : Emilie Loup-Escande, Frank Hernoux, Olivier Christmann, Elise Martinet, Simon Richir, responsable de l'équipe P&i, pour ses conseils lors des réunions de GTT (Groupe de Travail de Thèse) et des séminaires du laboratoire, et Rose-Lys Thia-Nam, assistante de direction, pour la relecture de ce mémoire de thèse.

Merci à Laval Agglomération et au Conseil Général de la Mayenne pour le financement de cette thèse.

Finalement j'adresse un grand merci à toute ma famille qui a toujours été présente lorsque j'en ai eu besoin : mon mari Wei Chen, mes enfants Christina Yifei Chen et Jianfei Chen, sans oublier mes parents et mes beaux-parents.

Mise en œuvre d'une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte des fonctions exécutives

RESUME :

Malgré la fréquence de l'altération des fonctions exécutives après lésion cérébrale, les approches évaluatives et rééducatives de ces troubles restent limitées. Cette altération est très invalidante car elle perturbe les Activités de Vie Quotidienne (AVQ) (ex. préparation des repas) et empêche le retour des personnes à leur vie sociale et professionnelle. Or il s'avère que les technologies de la réalité virtuelle ont montré leurs potentiels dans la proposition de stratégies d'intervention thérapeutique innovantes. Elles nécessitent la modélisation de tâches virtuelles écologiques (proches des AVQ), le suivi et l'évaluation de l'activité du patient dans ces tâches et enfin l'évaluation des erreurs commises par le patient. La conception de ces tâches repose sur la pratique traditionnelle dans les centres de rééducation comme le centre de Kerpape. Les modalités d'interaction dans ces tâches doivent tenir compte de contraintes liées aux patients, comme leurs capacités résiduelles.

Dans ces contextes, notre travail de thèse nous a permis de concevoir un outil permettant aux thérapeutes de configurer une tâche virtuelle, écologique et paramétrable pour l'évaluation et la rééducation des patients cérébrolésés. Dans la cuisine virtuelle (TVK = Therapeutic Virtual Kitchen) qui est une représentation fidèle de la cuisine thérapeutique de Kerpape, nous avons conçu des tâches écologiques primitives et complexes dont la graduation permet d'une part de s'adapter aux capacités du patient et d'autre part d'évaluer son dysfonctionnement exécutif. Dans l'objectif d'évaluer la performance du patient dans la tâche complexe choisie (Préparation d'un café), nous avons partiellement virtualisé la grille d'évaluation des erreurs d'actions et des erreurs comportementales, utilisée dans la tâche réelle à Kerpape. L'outil TVK permet la sauvegarde en temps réel des données relatives à l'activité du patient ainsi que l'interprétation et l'enregistrement des erreurs. Les expérimentations menées nous ont permis de valider l'usage de l'outil TVK auprès de sujets sains et de patients cérébrolésés et d'apporter de l'objectivité dans l'évaluation de la performance des patients dans une AVQ. Nos travaux mettent en évidence la difficulté d'évaluer simplement les erreurs comportementales.

Nous avons proposé une approche fondée sur la réalité virtuelle pour l'évaluation de l'activité du patient cérébrolésé dans une tâche écologique. Cette approche met en évidence les apports de la réalité virtuelle dans la prise en charge de troubles cognitifs et les perspectives en rééducation cognitive.

Mots clés :

Réalité virtuelle, fonctions exécutives, Activités de Vie Quotidienne (AVQ), tâche écologique, rééducation

Designing a virtual and adaptable ecological task in the context of executive functions

ABSTRACT :

Despite the frequency of the impairment of executive functions after brain injury, assessment and rehabilitation approaches of the dysexecutive syndrome are still limited. This alteration is very disabling because it disrupts Activities of Daily Living (ADL) (e.g. meal preparation), prevents return to social and professional life. The technology of virtual reality has shown its potential to propose innovative therapeutic intervention strategies. They require modeling of ecological virtual tasks (close to ADL), follow-up and assessment of the patient's activity in these tasks and finally assessment of the errors performed by the patient. The design of these tasks is based on the traditional practice at rehabilitation units such as Kerpape Rehabilitation Center. The interaction modalities in these tasks should take into account the constraints related to the patients, like their residual abilities.

In these contexts, during our thesis work we designed a tool that allows therapists to configure an ecological virtual task for assessment and rehabilitation of patients with brain injury. In the therapeutic virtual kitchen (TVK), which is an accurate representation of the therapeutic kitchen of Kerpape, we designed primary and complex ecological tasks that can be graduated in order to be adapted to patient's abilities and to evaluate his/her executive dysfunctioning. With the purpose to assess the patient's performance in the chosen complex task (Preparation of a coffee), we partially computerized the assessment grid of actions errors and behavioral errors, used in the real task at Kerpape Center. The TVK tool can save in real-time data on patient's activity as well as interpret and record errors. The experiments allowed us to validate the usefulness of the TVK tool with healthy subjects and patients with brain injury, and to provide objectivity in the assessment of the patient's performance within an ADL. Our work brings out the difficulty of assessment of behavioral errors.

In the context of brain injury, we proposed a VR-based approach for the assessment of patient's activity while performing an ADL. This approach helps us to highlight some assets of VR in the area of cognitive disorders and some prospects in cognitive rehabilitation.

Keywords :

Virtual reality, executive functions, Activity of Daily Living (ADL), ecological task, rehabilitation

Sommaire

PREAMBULE	10
CHAPITRE I : INTRODUCTION.....	11
CHAPITRE II : CONTEXTE DU TRAVAIL DE THESE.....	13
II.1. Fonctions exécutives	14
II.2. Evaluation des fonctions exécutives en vie réelle	15
II.2.1. Deux exemples de la littérature.....	15
II.2.2. Deux exemples observés à Kerpape	17
II.2.3. Des limites des pratiques traditionnelles.....	19
II.3. Evaluation des fonctions exécutives fondée sur la réalité virtuelle.....	20
II.3.1. Evaluation dans des supermarchés virtuels.....	21
II.3.2. Evaluation dans des cuisines virtuelles	28
II.4. Conception de tâches virtuelles.....	35
II.4.1. Outils de conception	36
II.4.2. Immersion et interaction	38
II.5. Conclusion.....	41
CHAPITRE III : METHODOLOGIE	43
III.1. Problématique et hypothèses.....	44
III.2. Tâche écologique dans le monde réel.....	45
III.2.1. Définitions	45
III.2.2. Modélisation d'une tâche écologique.....	46
III.2.3. Procédure d'évaluation de l'activité réelle du patient.....	49
III.3. Tâche écologique dans le monde virtuel.....	52
III.3.1. Choix de l'environnement et de la tâche	52
III.3.2. Conception des tâches virtuelles et des aides	53
III.3.3. Immersion et Interaction dans l'outil TVK.....	57
III.3.4. Développement de l'outil TVK	60
III.3.5. Evaluation du patient avec l'outil TVK.....	69
III.4. Conclusion.....	72

CHAPITRE IV : EXPERIMENTATIONS.....	75
IV.1. Contexte et objectifs	75
IV.2. Expérimentation I : Test du fonctionnement de l’outil TVK auprès de sujets contrôles	76
IV.2.1. Méthodologie.....	76
IV.2.2. Résultats expérimentaux.....	79
IV.2.3. Discussion et conclusion	83
IV.3. Expérimentation II : Validation de la grille d’évaluation virtuelle de l’outil TVK	85
IV.3.1. Grille d’évaluation	85
IV.3.2. Méthodologie.....	86
IV.3.3. Résultats expérimentaux.....	88
IV.3.4. Discussion et conclusion	89
IV.4. Expérimentation III : Test de l’outil TVK chez auprès de patients cérébrolésés	91
IV.4.1. Méthodologie.....	92
IV.4.2. Résultats expérimentaux.....	96
IV.4.3. Discussion et conclusion	103
CHAPITRE V : CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	107
V.1. Conclusion.....	108
V.2. Perspectives	110
TABLE DES FIGURES.....	115
TABLE DES TABLEAUX	117
ANNEXES.....	119
Annexe 1 : La recette du gâteau au chocolat utilisée à Kerpape	121
Annexe 2 : Les outils d’évaluation de la tâche « Préparation d’un café » utilisés à Kerpape (Jouadé, 2003) 122	122
Annexe 2.1 : La grille d’évaluation.....	122
Annexe 2.2 : La description des différents types d’erreurs	124
Annexe 2.3 : La feuille d’analyse des résultats	126
Annexe 2.4 : La check-list donnée aux familles pour l’évaluation de la tâche	127
Annexe 3 : Modélisation de la tâche « Préparation d’un café », réalisée par A.S Douguet (Kerpape).....	128
Annexe 4 : Les objets préhensibles ou activables dans la cuisine virtuelle	129
Annexe 5 : Les actions initiales et les actions terminales dans chaque étape virtuelle	130
Annexe 6 : L’usage de l’interface pour le participant.....	131
Annexe 7 : Le questionnaire utilisé dans l’expérimentation I	132
Annexe 8 : Les données de participant dans l’expérimentation I.....	135
Annexe 9 : Une grille d’évaluation virtuelle remplie par l’outil TVK dans l’expérimentation II	137
Annexe 10 : La note d’information utilisée dans l’expérimentation III	138

Annexe 11 : Le formulaire écrit à signer par le patient	141
Annexe 12 : Le questionnaire utilisé dans l'expérimentation III	142
Annexe 13 : Les données de patients dans l'expérimentation III lors des tâches primitives	144
Annexe 13.1. Séance de familiarisation.....	144
Annexe 13.2. Rappel de la familiarisation dans la séance d'exécution	146
PUBLICATIONS	147
BIBLIOGRAPHIE	149

Préambule

Nous proposons ci-dessous la définition d'expressions propres à notre domaine de travail :

- **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 comporte diagnostic, évaluation et intervention (souvent appelée rééducation ou réadaptation).
- **Les fonctions exécutives (FE)** sont des processus de contrôle qui nous permettent d'aborder les situations complexes, nouvelles ou non routinières, celles pour lesquelles il n'y a pas de solution toute faite (Godefroy, 2003).
- **Les activités de la vie quotidienne (AVQ)** sont des activités communes à l'ensemble de la population, indispensables à une vie autonome, au domicile ou à l'hôpital (Pradat-Diehl et al, 2006b).
- **L'évaluation écologique** est une évaluation dans les AVQ (Le Thiec et al, 1999).
- **Un environnement écologique** est un environnement dans lequel on réalise des activités de la vie quotidienne, ex. un supermarché.
- **Une tâche écologique** correspond à une mise en situation réelle ou à une simulation d'activités de la vie quotidienne.
- **Une tâche primitive** est une tâche simple qui est composée d'une ou deux étapes.
- **Une tâche complexe** est une tâche décomposable en plusieurs étapes, ex. faire un café.

Chapitre I

INTRODUCTION

Les thérapeutes français découvrent petit à petit les potentialités de la réalité virtuelle (RV) dans la prise en charge des dysfonctionnements de l'individu, potentialités révélées par les études menées depuis une quinzaine d'années au niveau mondial. La RV est ainsi utilisée en neuropsychologie avec des applications concernant les fonctions cognitives (troubles attentionnels ; fonctions exécutives ; mémoire ; capacités visuo-spatiales), ou encore les activités de la vie quotidienne (AVQ) dans des lieux familiers. En évaluation et rééducation fonctionnelle, divers objectifs sont visés : évaluation des capacités résiduelles, entretien des capacités existantes, réapprentissage des capacités fonctionnelles. Les atouts de la RV sont diversement exploités selon les domaines dans lesquels on se situe. En rééducation cognitive, il s'agit de réalisation répétée et graduée de tâches dans des environnements virtuels et écologiques, de mise en place de tâches paramétrables faisant l'objet de mesures régulières et objectives, avec des retours diversifiés sur la performance.

Notre travail de thèse, qui a débuté le 1er décembre 2006, se situe dans le contexte de l'évaluation des FE via les technologies de la RV. L'objectif de ce mémoire est de présenter le processus de conception de l'outil TVK (*Therapeutic Virtual Kitchen*) et de présenter la mise en œuvre d'une tâche écologique (mise en situation réelle) et paramétrable dans un environnement virtuel (EV). L'outil TVK permet au thérapeute de choisir une tâche et de la paramétrer pour créer ses propres configurations d'évaluation. Il se distingue des autres travaux similaires par l'interprétation automatique d'une partie des erreurs effectuées par l'utilisateur et par la sauvegarde automatique de celles-ci dans une grille d'évaluation. Dans un premier temps, l'outil TVK s'adresse à deux pathologies principales : Traumatismes crâniens (TC) et Accidents vasculaires cérébraux (AVC).

Nous présentons notre travail de thèse selon les quatre chapitres suivants :

Chapitre II : Après avoir défini notre contexte thérapeutique, celui des FE nous présentons les séances d'évaluation des FE en vie réelle avec thérapeute puis celles fondées sur la RV et finalement les outils de conception de tâches virtuelles. Notre recherche est basée sur un état de l'art des supermarchés et des cuisines virtuels utilisés à des fins thérapeutiques.

Chapitre III : Nous démarrons le chapitre « Méthodologie » avec notre problématique et trois hypothèses. Nous continuons avec la présentation de la procédure d'évaluation des AVQ d'un patient cérébrolésé dans le monde réel. Puis, nous présentons la transposition de l'évaluation d'une AVQ du monde réel vers le monde virtuel chez les patients cérébrolésés. La conception de l'outil TVK est présentée dans ce chapitre.

Chapitre IV : Dans l'objectif de vérification de trois hypothèses, nous avons monté trois expérimentations : 1) test du fonctionnement de l'outil TVK auprès de sujets contrôles ; 2) validation de la faisabilité de l'enregistrement des erreurs dans la grille d'évaluation virtuelle utilisée dans la tâche réelle ; 3) test de l'outil TVK auprès de patients cérébrolésés.

Chapitre V : Dans le chapitre « Conclusion et perspectives », nous faisons un bilan des travaux. Puis, nous discutons des apports et les limites de notre travail de thèse. Enfin, nous présentons diverses perspectives en direction de la rééducation cognitive et en direction du développement de l'outil TVK.

Chapitre II

CONTEXTE DU TRAVAIL DE THESE

Les troubles cognitifs perturbent les AVQ et empêchent le retour des personnes à leur vie sociale et professionnelle. La rééducation cognitive comporte diagnostic, évaluation et intervention (souvent appelée rééducation ou réadaptation). Les atouts de la RV sont désormais utilisés en évaluation et rééducation cognitive (Klinger, 2006). Ce chapitre est organisé en quatre parties : 1) les FE ; 2) l'évaluation des FE en vie réelle ; 3) l'évaluation des FE fondée sur la RV ; 4) la conception de tâches virtuelles. Nous nous appuyerons sur des exemples pertinents au domaine afin de montrer l'intérêt et l'étendue des travaux menés à ce jour. A la fin du chapitre, la question de l'immersion et de l'interaction dans un système de RV sera simplement évoquée, la thèse ne portant pas sur ce thème.

II.1. Fonctions exécutives

Les fonctions exécutives (FE) sont des processus de contrôle qui nous permettent d'aborder les situations complexes, nouvelles ou non routinières, celles pour lesquelles il n'y a pas de solution toute faite (Godefroy, 2003). Elles sont également définies comme l'ensemble des fonctions cognitives élaborées intervenant dans le comportement intentionnel, organisé, volontaire, dirigé vers un but (Poncet et al, 2009). Ces FE comprennent des capacités d'initiative, de formulation de buts, de planification, d'organisation, de raisonnement, de régulation, de vérification, de pensée abstraite et de conscience de soi. Elles permettent de planifier et d'organiser les étapes d'un plan d'action ; de mettre en œuvre ce plan d'action, puis d'en évaluer les résultats. Elles permettent de résoudre des problèmes, de trouver des stratégies adaptées en cas de situation nouvelle, complexe ou de problème inattendu, de faire des choix ou de modifier le but à atteindre ou la stratégie employée si nécessaire. Elles interviennent aussi pour inhiber des comportements automatiques non adaptés à une situation donnée, et dans la régulation du comportement (Pradat-Diehl, 2004).

Ces fonctions sont atteintes lors de lésions cérébrales issues de TC, d'AVC, de pathologies neurodégénératives ou lors du vieillissement (Dubois et al, 1991; Vataja et al, 2003). Leur altération, appelée syndrome dysexécutif, est très invalidante car elle perturbe les AVQ (préparation des repas, gestion de l'argent, courses) et empêche le retour des personnes à leur vie sociale et professionnelle. Il leur est difficile, au quotidien, de s'adapter sur le plan familial, social et professionnel, et de gérer des situations nouvelles (Baguena et al, 2006). Dans nos travaux nous avons choisi de nous concentrer sur le contexte des TC et des AVC. Les TC et les AVC sont les sources principales de handicap pour la population active (Lambert, 2007). En France plus de 150 000 personnes, le plus souvent des jeunes entre 15 et 25 ans, sont victimes d'un TC tous les ans, principalement lors d'un accident de la route (Pradat-Diehl, 2004) et l'on démontre 130 000 nouveaux cas d'AVC par an en France (Bardet, 2007).

Les thérapeutes évaluent les FE de patients dans des tâches écologiques, c'est à dire des mises en situation réelle dans des activités telles que préparer un repas ou faire des courses (Shallice and Burgess, 1991; Pradat-Diehl et al, 2006a). La prise en charge des patients passe par l'évaluation de leurs troubles cognitifs. Il est nécessaire d'évaluer et de quantifier non

seulement les troubles des FE, mais également leur retentissement sur les AVQ (Chevignard et al, 2000; Fortin et al, 2003). Il s'agit principalement de considérer les activités complexes de la vie quotidienne (*IADL : instrumental activity of daily life*) qui comportent des activités diverses allant des déplacements à l'extérieur par les transports en commun aux activités de loisirs, à la gestion du budget ou encore à la préparation de repas (Chevignard et al, 2006).

II.2. Evaluation des fonctions exécutives en vie réelle

L'évaluation des patients peut être faite dans des simulations de la vie quotidienne, réalisées à l'aide d'épreuves papier-crayon ou de tâches écologiques. Les épreuves papier-crayon les plus utilisées sont la batterie GREFEX (Groupe de Réflexion sur L'Evaluation des Fonctions EXecutives) et la batterie BADS (Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome). La batterie GREFEX (Godefroy et al, 2004) propose une évaluation des FE au moyen de sept épreuves [Test de Stroop, Test des six éléments, TMT (the Trail Making Test), Test de Brixton, Double tâche de Baddeley, Fluences verbales, Modified Card Sorting Test]. La batterie BADS (Wilson et al, 2003) est constituée de six tests (Rule Shift Cards, Action Programme, Key Search, Temporal Judgement, Zoo Map, Modified Six Elements) et de deux questionnaires DEX (Dysexecutive Questionnaire). Les tâches écologiques sont réalisées en situation réelle et concernent par exemple la préparation de repas (Poncet et al, 2009). Afin d'expliquer les composantes de l'évaluation dans des AVQ, nous présentons deux exemples caractéristiques de la littérature (Baguena et al, 2006; Chevignard et al, 2008), puis deux exemples observés dans le centre de rééducation de Kerpape.

II.2.1. Deux exemples de la littérature

Nous allons présenter deux études qui ont été réalisées en 2006 et 2008 dans le domaine de l'évaluation des patients cérébrolésés. Elles permettent de comparer les capacités de génération de plan et les capacités de réalisation d'une AVQ chez des patients. Normalement pour les sujets sains, si on est capable de générer le plan d'une tâche, on est aussi capable de réaliser la tâche. Mais pour le patient cérébrolésé, même s'il est capable de générer le plan d'une tâche, il a souvent des difficultés dans la réalisation de la tâche en situation réelle.

Dans l'objectif d'évaluer des patients cérébrolésés, Baguena et al., ont monté une expérimentation fondée sur une tâche de génération de script et une tâche d'exécution d'une AVQ dans une cuisine (Baguena et al, 2006). La tâche de génération de script consiste à expliquer les étapes nécessaires à la réalisation d'un gâteau au chocolat. La tâche d'exécution consiste à réaliser un gâteau au chocolat dans une cuisine contenant les ingrédients et équipée des ustensiles et appareils nécessaires à la confection du gâteau. Douze sujets cérébrolésés (6 patients après AVC, 6 patients après TC ; 5F et 7H, âge moyen: 31 ± 7 ans) et 12 sujets témoins appariés aux patients en âge, sexe et niveau culturel aux patients ont participé à l'étude. Après avoir suivi un bilan neuropsychologique classique, les participants ont été évalués pendant la réalisation des deux tâches au moyen de deux grilles de cotation. Une grille de cotation quantitative a permis d'évaluer 5 types d'erreurs [omissions, additions, inversions ou substitutions, erreurs d'estimation (trop de chocolat), commentaires]. Une grille de cotation qualitative a permis d'évaluer les 6 domaines observés (de 0 à 3 pour chaque domaine : initiation, organisation, déroulement, séquençage, sécurité et accomplissement de la tâche). Les résultats montrent que les sujets cérébrolésés se distinguent des sujets témoins. Les sujets cérébrolésés ont fait plus d'erreurs au total dans l'analyse quantitative et l'analyse qualitative que les sujets témoins dans la tâche d'exécution. Cette différence n'était pas significative dans la tâche de génération de script. Cette étude a montré le manque de sensibilité des épreuves de génération de script dans le contexte des FE ainsi que l'intérêt d'évaluer les patients cérébrolésés dans des AVQ. La réalisation « écologique » d'une tâche même très simple peut révéler des difficultés des FE telles que la planification ou le séquençage d'actions qui sont sous-évalués dans les tests psychométriques.

Dans l'objectif de décrire les limitations d'AVQ d'un patient après un TC et de montrer la bonne sensibilité d'une évaluation écologique, Chevignard et al. ont réalisé une étude avec un patient de 32 ans après un TC (Chevignard et al, 2008). Trois tâches étaient relatives à une activité de courses dans un supermarché et à deux tâches de cuisine dans la cuisine thérapeutique du service d'ergothérapie (préparation d'un gâteau au chocolat et d'une omelette). L'évaluation écologique s'est déroulée en trois phases : 1) planification écrite des tâches de courses et de cuisine ; 2) exécution réelle de l'activité de courses ; 3) exécution réelle de l'activité de cuisine. Les erreurs du patient effectuées dans les trois phases ont été classées selon 11 types :

- 5 erreurs descriptives : omission, addition, commentaire-question, substitution-inversion, erreur d'estimation ;

- 6 erreurs neuropsychologiques : erreur de vérification, absence de prise en compte du contexte, adhérence à l'environnement, errance-perplexité, demande d'aide, trouble du comportement

Dans une étude précédente (Chevignard et al, 2000), les difficultés du patient ont été massives dans l'exécution de l'activité de cuisine (phase3), avec une augmentation significative du nombre total d'erreurs (105 erreurs) par rapport aux 10 sujets contrôles (2F et 8H, âge moyen: 32 ± 9 ans) (17 ± 8 erreurs). En outre, la durée de réalisation de l'activité de cuisine (120 min) du patient était très augmentée ($51 \text{ min} \pm 10$ chez les 10 sujets contrôles); il n'a pas atteint le but et il a présenté un comportement dangereux. Cette étude permet de conclure que la tâche de cuisine nécessite des capacités de gestion multitâches impliquant particulièrement les FE. Les difficultés les plus sévères surviennent lors de l'interaction avec l'environnement au cours de l'action dirigée vers un but et témoignent d'un trouble du contrôle. Ce type d'évaluation apporte des informations précieuses pour aider les patients à organiser leur réinsertion familiale, sociale ou professionnelle. La tâche d'exécution dans une AVQ est plus sensible que la tâche de script.

II.2.2. Deux exemples observés à Kerpape

Au cours de nos travaux, nous avons pu assister à des séances d'évaluation et de rééducation dans le Centre Mutualiste de Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape, à Ploemeur. Un des objectifs du centre est d'animer le réseau de prise en charge des patients cérébrolésés grâce à ses équipes pluridisciplinaires (médecins, kinésithérapeutes, ergothérapeutes, psychologues, neuropsychologues, orthophonistes, psychomotriciens, éducateurs ...). L'équipe d'ergothérapeutes prend en charge les patients cérébrolésés hospitalisés ou non hospitalisés dans la cuisine de rééducation du centre (Figure 1). Cette cuisine est équipée des ustensiles et de l'électroménager habituel trouvés dans une cuisine.



Figure 1 : Point de vue général de la cuisine de rééducation de Kerpape

Dans l'objectif de réadapter ses capacités de vie quotidienne, une patiente (56 ans, secrétaire, avec un trouble des fonctions cognitives, non hospitalisée) a été invitée à confectionner un gâteau au chocolat dans la cuisine (pour la troisième fois). La consigne a été donnée oralement à la patiente : "Vous refaites un gâteau au chocolat comme chez vous. Les matériels sont mis à leur place habituelle. Avant de commencer, je vous invite à lire la recette." La recette du gâteau au chocolat (Annexe 1) était posée sur la table qui est située au milieu de la cuisine. Les matériels étaient mis à la place habituelle : chocolat, sucre, œufs, farine dans les placards ; beurre dans le réfrigérateur ; casserole, saladier, moule dans les tiroirs. Pendant la séance de rééducation, l'ergothérapeute a donné des aides orales (ex. proposition d'utiliser la plaque électrique pour faire fondre le chocolat) et a corrigé immédiatement les erreurs effectuées par la patiente (ex. éteindre le feu quand on sent l'odeur de brûlé). Si la patiente demandait de l'aide, il expliquait et montrait comment faire (ex. comment utiliser le four et comment mettre la température à 180°C). Au bout de 90 minutes, la patiente a réussi à faire un gâteau mangeable avec l'aide de l'ergothérapeute. A la fin de la séance, l'ergothérapeute a rappelé les erreurs graves et les questions de sécurité à la patiente (ex. oubli d'éteindre le feu, préchauffage du four trop tôt, oubli d'arrêter le four, mauvaise utilisation du micro-onde). L'ergothérapeute a demandé à la patiente de retravailler à la maison les questions de sécurité avec l'aide de la famille. L'ergothérapeute a trouvé que la patiente avait progressé petit à petit.

Dans l'objectif d'évaluer ses capacités de vie quotidienne, un patient (26 ans, pompier, hospitalisé, paralysé à gauche, hémiparésie gauche) a été invité à préparer un café au lait pour 4 personnes dans la cuisine (pour la première fois). Ce patient a eu un accident de moto en 2006. Une ergothérapeute et une neuropsychologue étaient présentes pendant la séance d'évaluation. Au début de séance, une consigne verbale lui a été donnée : "Nous vous demandons de préparer un café au lait pour 4 personnes et de le servir. Nous vous laissons

faire seul, vous faites comme chez vous.’’ La cafetière était derrière de la porte. Les objets nécessaires pour faire un café (filtre, café, lait, tasses, cuillères) et une casserole étaient mis sur la table. La casserole a permis au patient de faire un choix. Chaque thérapeute a pris une grille d’évaluation sur papier pour détecter les erreurs en temps réel (voir cette grille en Annexe 2.1). Pendant la séance, le patient a demandé : ‘‘Où sont les ciseaux ?’’ après avoir cherché dans quelques tiroirs. L’ergothérapeute l’a interrogé tout de suite : ‘‘Avez-vous besoin des ciseaux pour ouvrir le paquet de café ?’’ Il a répondu : ‘‘Oui parce qu’il est nouveau’’. L’ergothérapeute a ouvert le tiroir pour montrer les ciseaux. En attendant que le café passe, le patient a mis la poubelle sur la table pour la nettoyer. Ensuite, il a demandé s’il y avait une serviette pour se sécher les mains. Il a éteint la cafetière avec l’aide de l’ergothérapeute. Au bout de 15 minutes, il a préparé 4 cafés au lait. A la fin de la séance, les thérapeutes ont rappelé deux erreurs effectuées par le patient : 1) on n’a pas besoin de ciseaux pour ouvrir un paquet de café parce que c’est marqué ‘‘Ouvrez ICI’’. 2) il a mis la quantité de 3 cuillères de café au lieu de 4 dans le filtre.

Pour analyser les erreurs, les thérapeutes utilisent une grille d’évaluation qui classe 16 types d’erreurs selon deux catégories : 7 erreurs d’action et 9 erreurs comportementales. Cette méthode a été développée par Anne-Sophie DOUGUET, neuropsychologue de Kerpape, dans son DEA (Diplôme d’Etudes Approfondies) (Jouadé, 2003). Les différents types d’erreurs sont définis et expliqués en Annexe 2.2. Grâce à la grille d’évaluation remplie pendant la séance d’évaluation, les thérapeutes analysent les erreurs et les présentent sur une feuille d’analyse (voir un exemple en Annexe 2.3). Pour certains patients non hospitalisés après la séance d’évaluation, ils répètent la même tâche à la maison avec l’aide de la famille. Une liste d’erreurs est donnée aux familles (Annexe 2.4). La famille doit noter le nombre d’erreurs dans chaque type d’erreurs et le nombre de corrections d’erreurs dans la liste.

II.2.3. Des limites des pratiques traditionnelles

En observant les deux exemples de littérature, nous avons remarqué que l’évaluation des FE dans les AVQ est nécessaire mais difficile. Elle est plus sensible au dysfonctionnement que les tests neuropsychologiques et que les tâches de script. Cela nous permet de penser que la tâche d’exécution dans une AVQ est aussi un bon outil de la mesure des troubles dysexécutifs (Baguena et al, 2006). La mise en œuvre des séances d’entraînement en vie réelle est lourde

car coûteuse en temps et en moyens cliniques. En regardant les travaux au centre de Kerpape, nous avons noté des limites que nous présentons en cinq points : 1) Les patients peuvent montrer des comportements dangereux. Ainsi dans la séance de rééducation la patiente a oublié d'éteindre le feu après avoir fait fondre le chocolat ; 2) La grille d'évaluation utilisée pendant la préparation du café n'est pas universelle. C'est une pratique locale. Il existe d'autres méthodes (Zhang et al, 2001; Baguena et al, 2006; Chevignard et al, 2008) sur le codage des erreurs effectuées par les patients lors de la réalisation d'une AVQ ; 3) Cette méthode de codage des erreurs avec la grille d'évaluation est très subjective. En effet, deux thérapeutes peuvent aboutir à un remplissage différent pendant une même séance d'évaluation avec un patient. Cela traduit la difficulté d'évaluer de façon subjective l'activité et la performance d'un patient lors d'une AVQ ; 4) Pendant la réalisation de la tâche, les thérapeutes n'ont pas beaucoup de temps pour détecter les erreurs et noter toutes les actions exécutées par le patient. Parfois, ils filment la séance et évaluent ultérieurement le patient avec les autres thérapeutes ; 5) Pendant la séance de rééducation, la façon et le moment d'apporter les aides au patient sont aussi subjectifs. Le thérapeute peut interroger et apporter de l'aide pendant ou après la séance. Il peut expliquer ou montrer comment faire.

Afin de proposer de nouvelles stratégies de rééducation, chercheurs et thérapeutes se sont intéressés depuis une quinzaine d'années aux technologies de la RV. Ses atouts dans le domaine de la prise en charge clinique sont désormais reconnus (Rose et al, 2005).

II.3. Evaluation des fonctions exécutives fondée sur la réalité virtuelle

Au fil des études, les atouts de la RV dans le domaine de l'évaluation et de la rééducation sont cités (Rizzo et al, 1998; Rose et al, 2005; Klinger, 2006) : les possibilités de proposer, de façon contrôlée et/ou répétée, des entraînements hiérarchisés dans des tâches qualifiées avec transfert et généralisation des acquis ; les possibilités d'enregistrement des performances et de quantification simultanée de nombreuses réponses, permettant la revisualisation de performances et le suivi de la progression dans le traitement ; ou encore le caractère ludique des applications qui stimule la motivation des personnes à poursuivre les exercices.

Dans le domaine de rééducation, il y a trois aspects principaux : rééducation cognitive, rééducation psychologique et rééducation physique. En rééducation cognitive, les exercices dans l'espace virtuel sont effectués pour aider les personnes à rétablir leurs capacités cognitives après une lésion cérébrale. En rééducation psychologique, il s'agit d'aider les patients à surmonter leur peur, ou diverses phobies. Enfin, l'objectif de la rééducation physique est de permettre aux personnes d'effectuer des exercices moteurs dans un espace virtuel contrôlé. En neuropsychologie, les applications de la RV concernent les fonctions cognitives : troubles attentionnels [dépistage (Rizzo et al, 2004)] ; fonctions exécutives [évaluation de la planification (Klinger et al, 2006)] ; mémoire (Rose et al, 2005); capacités visuo-spatiales. Nous sommes intéressés par les applications de la RV qui concernent les FE (planification des étapes, organisation spatio-temporelle, réalisation des actions). Ces applications concernent également les AVQ dans des lieux familiers, par exemple au supermarché (Klinger et al, 2006; Carelli et al, 2008), dans la cuisine (Davies et al, 1999; Zhang et al, 2001; Baguena et al, 2006), permettant l'entraînement à certaines tâches familières avant le retour au domicile.

II.3.1. Evaluation dans des supermarchés virtuels

Le supermarché est un lieu très familier dans lequel les thérapeutes évaluent souvent les patients présentant un trouble dysexécutif. Le Tableau 1 récapitule des études publiées dans le contexte de la rééducation (évaluation et intervention) de tels patients dans une AVQ (faire ses courses) dans un supermarché virtuel.

Références	(Klinger et al, 2006)	(Carelli et al, 2008)	(Cardoso et al, 2006)	(Lee et al, 2003)
Objectif	Evaluation de la planification des actions chez des personnes âgées	Evaluation et réadaptation des FE chez les sujets sains	Utilisation d'EV pour la réadaptation après AVC	Evaluation et réadaptation pendant des AVQ
Participants	5 patients parkinsoniens, 5 sujets contrôles	23 sujets sains	6 patients après AVC	5 patients après AVC ou TC
Tâche virtuelle	Réaliser une tâche de courses comportant sept items, payer et sortir	Acheter 4 produits présentés dans la liste dans l'ordre	Réaliser 5 listes de course en 3 essais pour chacune	Réaliser une liste de courses
Matériels	Ecran d'ordinateur, souris et clavier.	Ecran d'ordinateur, manette	Ecran d'ordinateur, souris et clavier.	Visiocasque, capteur de position et joystick.
Déplacement d'un objet virtuel	Un clic de souris sur l'objet, il se met dans le caddie.	Un appui de bouton de manette sur l'objet, il s'affiche dans une bande sur l'écran.	Pas de déplacement : un clic de souris sur l'objet ; choix d'un bon prix dans une autre fenêtre.	Un clic de joystick sur l'objet, il se met dans le caddie.
Familiarisation	Oui	Oui	Oui	Oui
Procédure	Une séance de familiarisation et une séance d'exécution de la tâche de courses	Phase 1 : familiarisation avec 3 contrôles Phase 2 : familiarisation et évaluation avec 20 contrôles	Une séance de familiarisation pour connaître les courses en 2D et une séance de traitement avec la tâche de courses dans un supermarché en 3D	Une séance de familiarisation avec un exercice de trajectoire simple et 5 séances d'exécution avec une trajectoire complexe pendant 5 jours
Données enregistrées	Positions, actions, temps, distances, nombre de bonnes et de mauvaises actions, arrêts, temps mis pour payer.	Temps, nombre d'erreurs, nombre de mauvais essais	Pas de mesures en temps réel	Temps, distance, nombre de collisions avec le mur, nombre de sélections des objets, nombre d'appuis de joystick
Résultats	Tous les 5 patients ont réalisé la tâche. Les données enregistrées permettent de distinguer entre patients et contrôles.	85% (17/20) des participants ont réussi à réaliser la tâche en moins de 12 essais en phase2	Le nombre de patients qui ont réalisé toutes les 5 listes de courses a été augmenté sur les 3 essais	Les données clé ont été diminuées (temps, distance, nombre de collisions avec le mur et nombre d'erreurs) dans la 1 ^{ère} et 5 ^{ème} séance d'exécution

Tableau 1 : Bilan d'études publiées sur la rééducation dans un supermarché virtuel

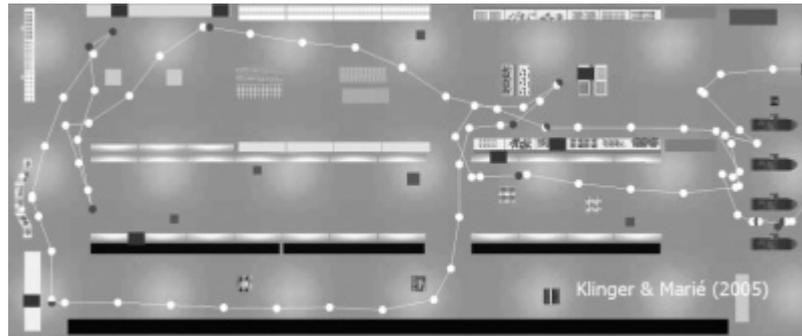
Le VAP-S (Virtual Action Planning Supermarket) (Klinger et al, 2004; Klinger, 2006) a été créé en France sur la base d'un paradigme similaire au « Test des Commissions », épreuve au cours de laquelle le sujet doit effectuer une série d'achats et décider de l'ordre dans lequel les effectuer afin de respecter des contraintes imposées. Il simule un supermarché de taille

moyenne avec de nombreux rayons présentant la plupart des produits pouvant être trouvés dans un supermarché réel (vue générale du VAP-S : Figure 2). La tâche du test consiste à acheter sept produits figurant sur une liste prédéfinie, à se rendre aux caisses, à payer et à sortir. Le participant, assis devant l'écran d'ordinateur, expérimente librement le VAP-S d'un point de vue subjectif, virtuellement placé derrière un caddie dont il peut à tout moment explorer le contenu. Il se déplace avec les flèches du clavier et interagit avec les objets avec la souris. Après une séance d'entraînement dédiée à la familiarisation avec le logiciel et le supermarché, le participant exécute la tâche sans limitation de temps. Douze « bonnes actions » (ex. sélectionner le bon produit) sont nécessaires pour terminer la tâche avec succès. Différentes variables peuvent être calculées à partir des données enregistrées, parmi elles, la distance parcourue par le participant, le temps total mis pour réaliser la tâche, le nombre de bonnes actions, le nombre d'erreurs, ou encore le temps mis pour payer. Ces données enregistrées permettent également une revisualisation de la performance avec le patient (Figure 3).

Plusieurs travaux ont permis non seulement de démontrer l'efficacité du VAP-S comme un outil d'évaluation cognitive auprès de populations variées [ex. pour Parkinson (Klinger et al, 2006), AVC ou TC (Josman et al, 2006; Klinger et al, 2008; Klinger et al, 2009b), Schizophrénie et Déficit cognitif léger ou pré-démence (MCI : Mild Cognitive Impairment) (Josman et al, 2008; Werner et al, 2009)], mais aussi de tracer de nouvelles pistes de développement, notamment vers la rééducation cognitive.



Figure 2 : Le supermarché virtuel VAP-S
Image provenant de (Klinger et al, 2006)



**Figure 3 : La trajectoire d'un sujet sain (âge : 73) dans le VAP-S,
Image provenant de (Klinger et al, 2006)**

En Italie, Carelli et al. (Carelli et al, 2008) ont mené une étude de faisabilité d'une tâche de courses développée avec le logiciel Neuro VR (Riva et al, 2007). La tâche concerne à choisir et acheter les produits d'une liste de courses dans un supermarché virtuel (Figure 4). L'objectif de l'étude était 1) de vérifier l'utilisabilité, la faisabilité du système et la procédure de transfert d'attention ; 2) de tester la navigation et la réalisation de la tâche. Vingt adultes sains (âge : 50-62 ans) ont participé à l'étude. Le participant navigue dans le supermarché avec les flèches d'une manette, observe les produits sur un écran d'ordinateur et choisit le produit en appuyant un bouton de la manette avec une liste de courses. Cette étude a été faite suivant deux phases principales : 1) familiarisation avec 3 sujets pour tester la faisabilité du système ; 2) familiarisation et évaluation avec 20 sujets pour tester la réalisation de la tâche. Dans la phase2, le participant doit sélectionner 4 produits en moins de 10 essais. Le niveau de difficulté est augmenté selon l'ordre et le nombre des produits. Pour évaluer l'attention du participant, le participant doit respecter deux règles principales : 1) acheter 4 produits présentés dans la liste dans l'ordre ; 2) modifier en temps réel la tâche initiale en cas d'une annonce auditive (ex. on n'a plus de lait frais, maintenant acheter une bouteille de lait dans les étagères de produits laitiers). Le système enregistre le temps d'exécution des bonnes actions et des mauvaises actions, le nombre d'essais corrects, le niveau de difficulté atteint par essai, le nombre d'erreurs. Au final, 85% (17/20) des participants ont réussi à la tâche en moins de 12 essais en phase2. Cette étude valide la faisabilité de l'outil chez les sujets sains, ainsi que son potentiel à gérer le transfert d'attention. Grâce à cette nouvelle version Neuro VR 1.5 (Riva et al, 2009), Raspelli et al. ont mené une autre étude d'évaluation des FE dans les AVQ (Raspelli et al, 2009). Quatorze sujets sains, 5 patients parkinsoniens et 4 patients après AVC ont été invités à faire des courses dans le supermarché avec une manette pour naviguer et interagir. Les résultats ont montré qu'ils permettent de distinguer le groupe contrôle et le

groupe de patients sur les paramètres (temps d'exécution, nombre d'erreurs, nombre d'inefficacités, stratégies adoptées et interprétation des erreurs).



Figure 4 : Deux captures de l'écran de Neuro VR, images provenant de (Carelli et al, 2008)

Au Brésil, dans l'objectif de la rééducation des FE et des fonctions cognitives. Cardoso et al. ont développé un supermarché virtuel, ainsi qu'une tâche de courses dans ce supermarché (Cardoso et al, 2006). Six patients ayant subi un AVC d'hémisphère gauche, 8 mois à 2 ans auparavant, ont participé à une expérimentation en 2 phases : 1) chaque patient a passé une séance de familiarisation (de 20 minutes à 1 heure) pour reconnaître les courses avec un logiciel en 2D (Figure 5) ; 2) puis chaque patient a passé une séance de traitement dans le supermarché virtuel (Figure 6). Une souris classique a été utilisée pour la navigation et l'interaction. La consigne verbale donnée expliquait comment naviguer et comment choisir les produits dans le supermarché virtuel. Le patient devait compléter une liste de courses. Chaque fois, que le patient choisissait un produit, une fenêtre apparaissait pour lui demander de choisir le prix qui correspondait au produit pour compléter le prix total. La tâche était graduée en 5 niveaux de difficulté. Au premier niveau, le sujet a reçu une liste de 3 produits les moins chers de ce supermarché. Dans les quatre autres niveaux, chaque fois un produit était ajouté à la liste. À chaque niveau, le patient pouvait effectuer 3 essais. Le nombre de patients qui ont réalisé toutes les 5 listes de courses a été augmenté sur les 3 essais. Dans les trois essais de chaque niveau, le niveau d'intérêt a été passé de négatif à positif et le niveau de difficulté a été diminué. Cette étude nous montre une façon de familiariser les patients dans un environnement de 2D et une façon de graduer de la tâche.



Figure 5 : Connaissance des courses en 2D, image provenant de (Cardoso et al, 2006)



Figure 6 : Le supermarché virtuel, image provenant de (Cardoso et al, 2006)

En Corée du Sud, Lee et al. ont aussi développé un supermarché virtuel en 2003 (Figure 7) pour l'évaluation et la rééducation des FE dans les AVQ (Lee et al, 2003). Ils n'ont pas utilisé les mêmes interfaces que les trois applications présentées ci-dessus. Un visiocasque (Head Mount Display, Eye-tred FMD-250Z), un capteur de position en 3D (Intertrax2) et un Joystick (Airstik 2000) ont été utilisés pour l'observation, la navigation et l'interaction dans EV (Figure 8). Cinq patients après AVC ou TC ont participé à cette expérimentation. Tout d'abord, les patients ont été invités à se familiariser avec un exercice de trajectoire simple (6 tours dans le supermarché virtuel). Ensuite, ils ont dû réaliser une tâche complexe (ouvrir la porte du supermarché, chercher et mettre les produits dans le caddie) dans le supermarché virtuel avec une trajectoire complexe (10 tours dans le supermarché virtuel). Chaque patient a effectué 5 fois la tâche complexe pendant 5 jours après la phase de familiarisation. Le système a enregistré des paramètres : temps, distance, nombre de collisions avec le mur, nombre de sélections des objets, nombre d'appuis sur le joystick. Selon les mesures dans la tâche complexe, le taux d'erreurs (le nombre de clics de souris inutiles sur tous les clics de souris) a été calculé. Dans la dernière séance d'exécution, le nombre de sélections des objets et le nombre d'appuis sur le joystick ont été augmentés par rapport la première séance. Le temps, la distance, le nombre de collisions avec le mur et le taux d'erreurs ont été diminués dans la dernière séance. Cette étude nous permet de confirmer un des avantages de la RV dans le domaine thérapeutique: mise en évidence de la performance du patient. Des nouvelles interfaces de la RV (ex. Joystick) peuvent être utilisées par les patients après un temps d'adaptation.



Figure 7 : Environnements virtuels, images provenant de (Lee et al, 2003)

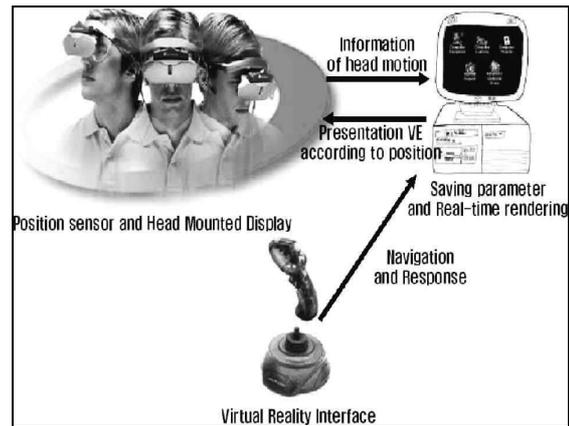


Figure 8 : Equipement du supermarché virtuel, image provenant de (Lee et al, 2003)

Les quatre supermarchés virtuels présentés nous permettent de valider les apports de la RV dans l'évaluation des FE : discrimination entre patients et sujets sains, mise en évidence et caractérisation des déficits, discrimination entre pathologies, quantification revisualisation de la performance. Deux méthodes de conception d'un EV ont été utilisées dans les quatre systèmes de RV : 1) choix d'un ER et d'une tâche dans le monde réel, et ensuite développement d'un outil virtuel avec des logiciels spécifiques en domaine de la RV. Par exemple, le supermarché VAP-S de Klinger et al. a été développé avec le logiciel 3DVIA Virtools (www.3ds.com/products/3dvia/3dvia-virtools). Il permet le suivi de la performance, le rejeu de données enregistrées, ainsi que l'extraction d'indicateurs de l'activité; 2) choix d'un EV dans un outil de conception et développement de l'enregistrement des données. Par exemple, Carelli et al. ont fait une étude basée sur le supermarché de NeuroVR (www.neurovr.org). Nous avons constaté que le changement du niveau de difficulté dans la tâche "faire les courses" est intéressant pour les trois premières études. En principe, deux méthodes ont été utilisées pour changer le niveau de difficulté : 1) modification des produits dans la liste de courses : ajouts, variation dans l'organisation de la liste, comme dans le VAP-S de Klinger et al. et le supermarché de Cardoso et al. ; 2) modification auditive de la liste en temps réel comme dans l'étude de Carelli. Dans les quatre études, une séance de familiarisation est faite avant la séance d'évaluation soit en se familiarisant avec une tâche simple dans le même environnement, soit en se familiarisant avec une autre tâche qui servira la réalisation de la tâche complexe (ex. avec les images 2D pour connaître les objets). Toutes les idées de conception, les expériences et les résultats obtenus dans les quatre exemples nous permettront de concevoir notre outil thérapeutique.

II.3.2. Evaluation dans des cuisines virtuelles

La cuisine est un autre lieu familier de la vie quotidienne. Les thérapeutes traitent souvent les patients avec un trouble des FE dans les tâches écologiques comme faire une soupe (Zhang et al, 2001) ou un café (Davies et al, 1999). Le Tableau 2 récapitule les études publiées sur la rééducation dans des cuisines virtuelles.

Références	(Davies et al, 1999)	(Zhang et al, 2001)	(Edmans et al, 2006)	(Fidopiastis et al, 2006)
Objectif	Mis en évidence du potentiel du système de la RV dans le domaine d'évaluation	Evaluation des FE dans un EV	Comparaison de deux évaluations dans un ER et un EV chez des patients après AVC	Entraînement dans un environnement mixant réel et virtuel pour faciliter le transfert des apprentissages
Participants	9 thérapeutes et 1 patient après TC	30 patients après TC et 30 sujets contrôles	50 patients après AVC	1 patient après AVC
Tâche virtuelle	Préparation d'un café	Préparation d'une soupe	Préparation d'une boisson chaude	Préparation d'un petit-déjeuner
Matériels	Ecran d'ordinateur, souris 3D	Souris, Ecran tactile, lunettes stéréoscopiques	Ordinateur portable avec écran tactile et un stylet	Caméra, visiocasque, écouteurs, capteur de mouvement, gants de données
Déplacement d'un objet virtuel	Un clic de souris 3D sur l'objet avec un changement automatique de point de vue	Un clic de souris sur l'objet	Un clic de stylet pour sélectionner l'objet, un deuxième clic de stylet pour activer une animation	Interaction avec les objets réels avec les gants de données
Familiarisation	Non	Non	Oui	Non
Procédure	Chaque participant réalise 1 à 5 fois la tâche	Deux évaluations ont été faites pour chaque participant sur 7-10 jours	1 évaluation dans une cuisine réelle ; 1 évaluation dans une cuisine virtuelle	1 évaluation au lab. ; 5 entraînements chez patient ; 1 évaluation au lab.
Données enregistrées	Le temps de réalisation de la tâche, le nombre de clics	Le temps et le score de chaque étape, le nombre de bonnes actions	Les erreurs et le score selon le niveau d'indépendance	Le temps de réalisation de chaque étape, les erreurs, la trajectoire
Résultats	La RV est un nouvel outil de rééducation surtout dans les situations difficiles ou dangereuses	Une différence significative a été trouvée entre mes deux groupes sur le nombre de clics faits	Le nombre total d'erreurs était différent dans les deux évaluations	Le temps de réalisation de la tâche et la distance parcourue ont été diminués dans la dernière évaluation. Cela montre la possibilité de transférer les acquis vu dans la cuisine mixant R et V à la cuisine habituelle

Tableau 2 : Bilan des études publiées sur la rééducation dans une cuisine virtuelle

Pour prendre en charge les troubles cognitifs, Davies et al. ont conçu une tâche écologique (Préparation d'un café) et l'ont développée avec le logiciel Superscape® en Suède (Davies et al, 1999). Un pré-test de validation du système a été mené auprès de 9 thérapeutes (6 femmes, 3 hommes, âge : 31-49) et 1 patient après TC (homme, 19 ans). Chaque participant a dû réaliser la tâche avec 1 à 5 tests. Les 10 participants ont donc passé 28 tests. Une cuisine virtuelle équipée des éléments simples pour faire un café a été utilisée (Figure 9). Le participant a navigué avec un écran d'ordinateur et il a interagi les objets virtuels avec une souris 3D. Dans le système de RV, toutes les interactions peuvent être réalisées par un seul clic de souris 3D. La performance dans la tâche a été évaluée en fonction du nombre de clics (de 1 à 5 clics). Le temps de réalisation de la tâche et le nombre de clics ont été enregistrés. La vingtaine d'activités de la tâche a été catégorisée en 2 composantes : composante physique (ex. marcher) et composante cognitive (ex. faire un choix). Dans les résultats des 28 tests, le temps de réalisation de la tâche était variable de 1.17 min à 20 min. Grâce à ce pré-test, les concepteurs ont trouvé des améliorations à faire au niveau de graphique (ex. agrandir les étiquettes sur les objets), des animations (ex. il manque l'animation d'ouverture du paquet de café) et des vitesses (ex. le bruit de remplissage du pot verseur de la cafetière est très court). Les concepteurs ont aussi exprimé le mauvais choix sur l'interface d'interaction (souris 3D). Après cette première expérience, les auteurs continuent leur recherche sur les aspects plus précis de l'EV, de la tâche virtuelle, des interfaces d'interaction et de navigation, des informations auditives.



Figure 9 : Préparation d'un café virtuel, image provenant de (Davies et al, 1999)

En 2002, Davies et al. ont développé un autre EV de cuisine (Figure 10) avec le logiciel WordUp® pour l'objectif final de la rééducation des TC (Davies et al, 2002). Dans cette cuisine, deux groupes de participants (groupe de patients après TC et groupe d'ergothérapeutes) issus du même centre de rééducations, ont participé à cette étude. Le participant a navigué dans la cuisine virtuelle avec un clavier ou une manette ou un Joystick. Il a interagi avec une souris ou l'écran tactile. Le participant a été invité à préparer un café ; à cuire un œuf ; et à faire un toast. Les résultats obtenus ont montré que la navigation avec le clavier convient à la plupart des participants mais les experts préfèrent le joystick ; un clic de souris est la meilleure solution pour interagir avec les objets virtuels. Leur intention était de comparer dans le futur l'interaction avec la souris et celle avec l'écran tactile.



Figure 10 : Cuisine virtuelle et cuisine réelle, images provenant de (Davies et al, 2002)

Aux Etats-Unis, Zhang et al. (Zhang et al, 2001) ont fait une étude d'évaluation des fonctions cognitives chez les patients après TC dans un EV de SOFTHAVEN (un logiciel de RV développé pour l'évaluation de fonctions cognitives) (Christiansen et al, 1996). Cet EV simule une cuisine avec des objets standard et des appareils. 30 patients après TC (7 femmes, 23 hommes, âge moyen: 31 ± 8) et 30 sujets sains (7 femmes, 23 hommes, âge moyen: 33 ± 8) ont participé à une expérimentation. Chaque participant a été invité à préparer une soupe dans la cuisine. Ils ont observé l'EV avec un visiocasque ou des lunettes stéréoscopiques. Ils ont navigué et interagi avec les objets virtuels avec une souris ou un curseur de l'écran tactile. Pour déplacer un objet virtuel, il fallait faire deux clics : un clic pour sélectionner l'objet et un deuxième clic sur un endroit pour le poser. Deux évaluations ont été faites sur 7-10 jours pour chaque participant en présence d'un thérapeute. Pendant la séance d'évaluation, chaque personne devait réaliser 30 étapes pour compléter la tâche complexe. Les 30 étapes sont classées en 2 catégories : 5 étapes importantes (ex. allumer le feu) et 25 étapes moins

importantes (ex. identifier la date au début de la tâche). Un score (1-6) qui correspond au nombre de clics faits sur l'objet par le participant (6 : 1 clic, 1 : pas réalisé après 5 clics) a été donné après la réalisation de chaque étape. Si le score était de 1, le système passait à l'étape suivante. Le système a enregistré le temps de réalisation de chaque étape, le score global d'évaluation et le nombre de bonnes actions. Pendant la séance, des aides (mise en relief d'objet, message verbal et flèche) pouvaient être envoyées par le système selon le nombre de clics sur l'objet. Concernant les résultats, une différence significative entre les deux groupes a été trouvée sur les scores globaux d'évaluation dans les deux séances d'évaluation. Au niveau du temps de réalisation de la tâche pour le groupe de contrôle, aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux évaluations. Pour le groupe de patient, le temps de réalisation dans la deuxième évaluation était beaucoup plus rapide que dans la première évaluation. Cette étude montre le potentiel de la RV dans l'évaluation des fonctions cognitives après un TC : possibilité de simuler les AVQ, mesures objectives, sécurité, possibilité de concevoir une tâche écologique.

En 2003, l'équipe de Zhang a réalisé une autre étude sur la validation de l'utilisation de la RV pour l'évaluation des compétences dans les AVQ (Zhang et al, 2003). Ils ont utilisé la même cuisine virtuelle de SOFTHAVEN (Figure 11). Des interfaces classiques (écran d'ordinateur, souris et clavier) ont été utilisées dans l'expérimentation. 54 patients après TC (16 femmes, 38 hommes, âge moyen: 32 ± 13) ont participé à cette expérimentation. Deux évaluations ont été faites pour chaque patient pendant 3 semaines dans une cuisine virtuelle et une cuisine réelle. Il a été demandé à chaque participant de réaliser deux tâches écologiques (préparation d'une soupe et préparation d'un sandwich) dans la cuisine virtuelle et dans une cuisine réelle. Les deux tâches indépendantes sont composées de 81 étapes. Le même codage des actions (Zhang et al, 2001) a été utilisé lors de cette étude : un score de 1 à 6 selon le nombre de clics. Après une analyse des données de deux évaluations, ils ont validé l'utilisabilité de la RV pour l'évaluation des compétences dans les AVQ. Dans cette étude, ils se sont focalisés sur le développement des tâches et sur le protocole expérimental. Les interfaces de la RV (ex. visiocasque) n'ont pas été utilisées cette fois-ci.

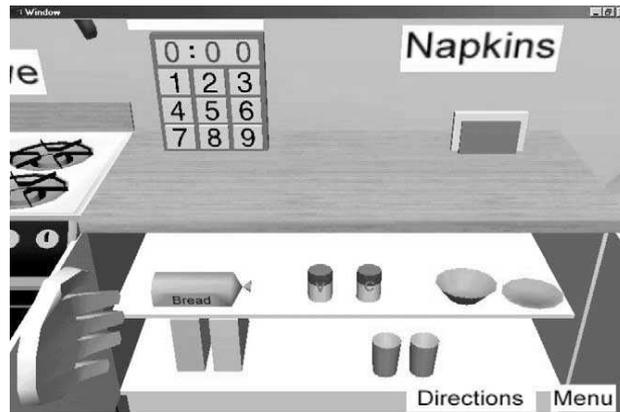


Figure 11 : Un écran de la simulation des ustensiles et des appareils de cuisine, image provenant de (Zhang et al, 2003)

Au Royaume-Uni, Edmans et al. (Edmans et al, 2006) ont développé un environnement avec quelques objets nécessaires pour préparer une boisson chaude (Figure 12) dont l'objectif était la rééducation des personnes après AVC. 50 patients (24 femmes, 26 hommes, âge moyen: 69 ans) après AVC ont expérimenté la tâche « Préparation d'une boisson chaude » dans cet environnement virtuel (EV) et un environnement réel (ER). La tâche est composée 27 étapes : 12 étapes nécessaires et 15 étapes optionnelles. La tâche virtuelle devait être réalisée en utilisant les objets situés à l'écran. Un ordinateur portable avec écran tactile et un stylet ont été utilisés pour l'observation et pour l'interaction avec les objets virtuels. Pour apprendre à se servir des interfaces, le participant s'est familiarisé sur une autre tâche virtuelle « Mettre une lettre dans une enveloppe ». Pendant la réalisation de la tâche « Préparation d'une boisson chaude », un feedback vocal a été donné après chaque action et un score a été donné après la réalisation de chaque étape. Les erreurs effectuées par le participant étaient classées selon 12 types : initiation, attention, addition, omission, négligence, persévérance, sélection, utilisation d'objet, problème de résolution, dextérité, quantité, spécial. Des aides peuvent être envoyées au participant selon sa performance (message vocal : Que voulez-vous faire ? proposition vocale, ex : versez de l'eau chaude dans la théière ; et démonstration sur l'écran). Les scores et les erreurs effectuées ont été comparés dans les deux environnements réel et virtuel. Les scores dans le monde réel et virtuel ne sont pas fortement associés. Les participants ont fait des erreurs différentes dans le monde réel et dans le monde virtuel. D'après les auteurs, la différence entre performances « réelles » et « virtuelles » peut s'expliquer par des problèmes techniques d'une part et par la difficulté de prise en main des interfaces utilisées. Cette dernière hypothèse peut se justifier par le fait que certains participants n'avaient pas d'expérience informatique.



Figure 12 : Environnement virtuel, image provenant de (Edmans et al, 2006)

Aux Etats-Unis, Fidopiastis et al. ont développé un environnement en réalité mixte pour aider un patient après AVC (1 homme de 48 ans) à réadapter sa capacité de préparer son petit-déjeuner (Fidopiastis et al, 2006). Les vrais objets (cafetière, bols, placards, etc.) de la cuisine du laboratoire et les objets virtuels (lave-vaisselle, le micro-onde, etc.) de la cuisine du patient (Figure 13) ont été mélangés. Le patient se trouvait dans la cuisine du laboratoire avec un visiocasque et un capteur de mouvement sur sa tête. Il pouvait interagir avec les objets virtuels avec les gants de donnée. Cette étude s'est déroulée en trois étapes : 1) première évaluation au laboratoire dans la cuisine mixte ; 2) 5 entraînements sur 5 jours consécutifs à la maison du patient : il lui a été demandé de préparer un petit-déjeuner, à l'heure de son petit-déjeuner habituel dans sa cuisine réelle en présence d'un thérapeute assistant ; 3) deuxième évaluation au laboratoire dans la cuisine mixte. Chaque fois, le patient devait décrire toutes les étapes et les moyens nécessaires à la tâche avant l'exécution de celle-ci. Après une analyse des données des deux évaluations au laboratoire dans la cuisine mixte, le temps d'exécution de la tâche, la trajectoire et les erreurs effectuées ont été comparés. Le temps d'exécution de la tâche a été bien diminué entre les deux évaluations. Une grande différence sur la distance parcourue a été trouvée entre les deux évaluations avant et après 5 jours d'entraînement. En conclusion, grâce à un environnement mixant réel et virtuel il est possible d'examiner l'apprentissage d'une tâche écologique virtuelle et la transférer entre le monde virtuel et réel chez les patients après AVC.



Figure 13 : La cuisine réelle du patient et la cuisine du laboratoire, images provenant de (Fidopiastis et al, 2006)

Les études présentées montrent l'intérêt des cuisines virtuelles pour la rééducation des FE dans des tâches écologiques et variées, comme p. ex. la préparation d'un café, d'une soupe ou d'une boisson chaude.

Chaque tâche peut être découpée en étapes et actions ; la réalisation de chacune de ces unités peut se voir attribuer un score d'évaluation. Celui-ci correspond le plus souvent au nombre de clics de souris pour le contrôle du choix des objets. Ce découpage permet en outre de pouvoir identifier les erreurs effectuées par l'utilisateur dans la tâche virtuelle, pour chaque unité. Dans chaque étude, les erreurs du patient ont été classées selon une certaine méthode, comme la méthode des 12 types d'erreurs, présentée dans l'étude d'Edmans et al. (Edmans et al, 2006). Selon la performance de l'utilisateur, le logiciel peut apporter une aide, comme la mise en relief d'un objet, l'affichage d'un message à l'écran, une proposition verbale, l'affichage d'une indication visuelle (p. ex. une flèche).

Chaque expérimentation visant à réaliser une tâche dans un EV implique une phase de familiarisation. Il existe deux méthodes :

1. Réaliser certaines étapes de la tâche complexe envisagée pour l'évaluation
2. Se familiariser avec une tâche différente de la tâche d'entraînement

Pour mieux se familiariser, il y a deux facteurs importants : la modélisation de l'EV et le choix des interfaces.

On ne peut jamais simuler complètement un ER (Edmans et al, 2009). Mais le réalisme de l'EV simulé influe sur la performance du patient. Le choix des interfaces dans les applications thérapeutiques et virtuelles est un sujet de recherche actuel. Il y a deux critères de choix des

interfaces : 1) Simplicité de prise en main ; 2) Simplicité d'utilisation. Il ne faut pas que le choix des interfaces engendre des difficultés pour l'utilisateur. P. ex. Davies et al. ont estimé que, dans leur première étude (1999), la souris 3D n'était pas très simple d'utilisation. Dans une seconde étude (2002), ils ont constaté qu'une interaction via clics de la souris est la meilleure solution. Par contre, les personnes qui ont une expérience informatique préfèrent le joystick à la souris ou à la souris 3D. Zhang et al. ont aussi confirmé ce résultat : la souris reste pour l'instant la plus simple à utiliser.

Pour évaluer la performance du patient, chaque système est capable d'enregistrer des données « clés » (temps, distance, actions réalisées, nombre de clics, erreurs effectuées, etc.). Grâce à ces données enregistrées, une évaluation de la performance peut être extraite après les expérimentations.

Dans notre travail de thèse, nous allons créer un outil d'évaluation qui aura toutes ces caractéristiques : découpage en tâches, enregistrement de données « clés », ajout d'aides, choix des périphériques d'interaction, degré de réalisme de l'EV, familiarisation avec les tâches simples dans le même EV. Nous allons virtualiser une méthode d'évaluation utilisée pour une tâche réelle par les thérapeutes du centre de Kerpape. Les erreurs effectuées par le patient seront enregistrées et classées dans une grille d'évaluation informatisée. Après chaque expérimentation, le thérapeute pourra visualiser ou imprimer immédiatement la grille d'évaluation et les données expérimentales.

II.4. Conception de tâches virtuelles

Les systèmes de RV utilisés en thérapie sont le plus souvent dédiés à un objectif thérapeutique unique. Toute autre utilisation demande de nouveaux développements logiciels qui ne peuvent pas être réalisés par le thérapeute. Pour réduire les coûts de développement, des chercheurs ont commencé à développer des systèmes de RV, adaptables et plus génériques, utilisables pour différents désordres pathologiques. Leur démarche est soutenue par des thérapeutes motivés par l'utilisation de systèmes de RV et par la recherche d'outils efficaces et pertinents. Nous avons déjà précisé que : le supermarché virtuel de Neuro VR a été utilisé dans l'étude de Carelli et al. (Carelli et al, 2008); la cuisine virtuelle de SOFTHAVEN a été utilisée dans l'étude de Zhang et al. (Zhang et al, 2001). Nous continuons

avec la présentation de trois systèmes développés dans ces objectifs : Neuro VR 1.5, VR Worlds 2 et Cyber Care Clinique.

II.4.1. Outils de conception

Neuro VR 1.5¹ est un logiciel de RV basé sur logiciels Open-Source qui permet à des personnes non expertes en informatique de créer des EVs. Cet outil a été développé par ATN-P Lab (Applied Technology for Neuro-Psychology laboratory) à Milan en Italie (Riva et al, 2007). Neuro VR 1.5 est composé d'un éditeur (Neuro VR Editor) et d'un Player (NeuroVR Player) (Riva et al, 2009). Neuro VR Editor est basé sur Blender² et il permet de construire un EV à partir de banques d'objets 2D et 3D, et de vidéos. Neuro VR Player a été développé avec deux logiciels Open-Source (Delta3D³ et OpenSceneGraph⁴) et il permet à l'utilisateur de naviguer et jouer dans les scènes virtuelles avec un HMD (Head-Mounted Display) ou un écran d'ordinateur. Il supporte diverses interfaces : tracking de la tête, manettes, claviers et souris. Le système met à disposition de l'utilisateur 14 lieux virtuels différents tels que : un appartement, un amphithéâtre, une salle de gymnastique, une salle de classe, un supermarché, un bureau, un parc public, etc.

Neuro VR 1.5 est un logiciel simple et basique qui ne permet pas de paramétrer et de graduer la tâche. On ne peut seulement qu'ajouter les objets 2D/3D, les personnes virtuelles, les sons et les vidéos dans un EV existant. Les possibilités de mesure de l'activité du participant sont très limitées. Nous citons quelques études réalisées avec Neuro VR : (Carelli et al, 2009; Raspelli et al, 2009; Riva et al, 2009).

VR Worlds 2⁵ est un système de RV, logiciel et matériel, permettant de créer des situations proches de la vie réelle, pour des études neurocomportementales en laboratoire et dans des scanners d'IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle). Ce système de RV a été développé par l'entreprise Psychology Software Tools (PST) pour premier objectif l'exploration et la rééducation des fonctions cognitives dans des AVQ (Baumann et al, 2003).

¹ Neuro VR 1.5 : ATN-Lab, Milan, Italie - www.neurovr.org. Date de consultation : juin 2010.

² Blender - www.blender.org

³ Delta3D : www.delta3d.org

⁴ OpenSceneGraph : www.openscenegraph.org

⁵ VR Worlds 2: Psychological Software Tools, Inc, USA - www.pstnet.com/software.cfm?ID=94. Date de consultation : juin 2010.

Il a été développé avec le logiciel 3D Game Studio. L'interface drag&drop permet de choisir l'EV dans 15 EVs proposés: une zone urbaine (Figure 14), un appartement dans un immeuble, un restaurant avec un bar, une banque, un casino, un immeuble de cinéma, un métro avec trois stations, un aéroport, un village de banlieue, une maison, un cabinet médical et un mini centre commercial avec une épicerie. Ces EVs sont peuplés de plus de 50 agents virtuels, la plupart d'entre eux animés et capables d'interagir avec le participant. Le système fonctionne sur un PC doté d'une bonne carte graphique. Tous les EVs sont interconnectés permettant ainsi aux sujets de les explorer librement par région d'intérêt, navigant avec un joystick ou un gant de données, activant les objets interactifs avec une manette. VR Worlds 2 intègre un système de tracking-des yeux (Tobii Eye Trackers) dès le début de l'expérience ou à tout moment grâce à un déclencheur. VR Worlds 2 a été utilisé comme outil thérapeutique dans divers travaux de recherche : Phobie (Bowman and McMahan, 2007), usage de drogues, alcoolisme.

Le système VR Worlds 2 est fondé culturellement sur la langue anglaise. passage à une autre langue ou tout ajout de nouveaux composants (EVs ou personnages virtuels) hors de leur base de données nécessite de nouveaux développements. L'adaptation du système aux performances ou à l'activité du participant n'est pas prévue à notre connaissance et à ce moment de notre état de l'art.



Figure 14 : Une rue de l'urbaine dans VR Worlds 2, images provenant de (Baumann et al, 2003)

Le système Cyber Care Clinique⁶ (CCC) est un système de RV hongrois. Il a été construit autour d'un noyau technologique développé par la société Digital Elite (Takacs, 2005). L'architecture du système permet de configurer facilement et librement des applications

⁶ Cyber Care Clinique : www.virmed.net/ Date de consultation : Juin 2010.

répondant à différents objectifs thérapeutiques. Il est ainsi possible d'interagir avec des humains virtuels très réalistes, de personnaliser l'expérimentation par l'utilisation de vidéos spécifiques à l'environnement de l'utilisateur ou encore de gérer une boucle de feedback physiologique entre l'EV et l'utilisateur. Par ailleurs ce système a été construit pour fonctionner sur des équipements graphiques bas niveau, avec des interfaces de navigation et d'interaction bas coût. Le système CCC s'adresse aux trois aspects principaux de la rééducation (Takacs, 2007) : rééducation cognitive, rééducation psychologique et rééducation physique.

Les outils Neuro VR 1.5 et VR Worlds 2 permettent de concevoir une application thérapeutique et virtuelle, mais ils ont des faiblesses dans la mesure des activités du participant. Le système CCC est plus intéressant en raison de la mesure des activités et de son plus haut degré d'adaptabilité avec différents objectifs thérapeutiques. Les trois outils présentés permettent la conception d'une application thérapeutique avec des tâches préprogrammées dans les différents EVs. Il est néanmoins difficile ou impossible de graduer la tâche choisie, c'est-à-dire changer le niveau de difficulté de la tâche pour adapter au mieux le traitement du patient. Dans cette thèse, nous voulons développer un outil qui permettra au thérapeute de choisir une tâche, de la configurer ou de la graduer. Dans notre outil, nous inclurons la mesure des activités du participant et le codage des erreurs.

II.4.2. Immersion et interaction

L'immersion et l'interaction (I^2) sont deux concepts importants dans une application virtuelle. L'immersion peut être décrite comme « La sensation d'être présent, qui est assurée par certains EVs. L'utilisateur sent que le monde virtuel qui l'entoure a remplacé le monde physique avec un certain degré. » (Bowman, 1999). Un système de RV peut avoir un plus haut niveau d'immersion qu'un autre. La présence dans un monde virtuel est un autre facteur qui joue un rôle important pour une meilleure sensation d'immersion. Dans un EV, l'utilisateur doit avoir un sentiment de présence des objets virtuels mais aussi de présence de soi même (Bowman and McMahan, 2007).

L'interaction 3D permet à l'utilisateur d'observer, de sélectionner une cible dans l'EV, de manipuler un objet, de naviguer dans cet environnement ou de communiquer (Fuchs et al,

2006). Afin que l'utilisateur puisse interagir avec le système virtuel, il dispose d'interfaces motrices lui permettant d'agir sur l'EV (ex. souris, joysticks, gants de données, tapis roulants) et d'interfaces sensorielles lui permettant de percevoir l'EV (ex. écrans, visiocasques, murs immersifs, haut-parleurs, diffuseurs d'odeur). La technologie offre une très grande variété d'interfaces motrices et sensorielles (voir sur ce sujet le volume 2 « L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en environnement virtuel » du « Traité de la Réalité Virtuelle »). A titre d'exemples, nous classons quelques interfaces dans le Tableau 3.

Interfaces	Fonction	Exemple
Interfaces manuelles motrices	Il s'agit par exemple de manipuler un objet dans un EV ou de diriger un curseur dans un EV.	 <p>Gant de données : SDT Data Glove</p>
Interfaces sensori-motrices	Elles transmettent des réponses motrices et, en réaction, des stimuli sensoriels sont renvoyés par l'ordinateur (les interfaces à retour d'effort).	 <p>Bras à retour d'effort : PHANTOM Omni</p>
Interfaces sensorielles	Différents types d'interfaces sensorielles permettent de percevoir le monde virtuel : P. ex. interfaces tactiles, interfaces visuelles.	 <p>Visiocasque : Visette 45 SXGA</p>

Tableau 3 : Trois types d'interfaces d'immersion et d'interaction, d'après (Fuchs et al, 2006)

L'immersion et l'interaction sont importantes dans un système de RV. Le degré d'immersion et d'interaction sont dépendants des interfaces utilisées. Elles sont variables selon les applications (Stanney et al, 1998) et elles se traitent à trois niveaux sensori-moteur, cognitif et fonctionnel dans un EV selon un modèle 3I² proposé par Fuchs et al. (Fuchs et al, 2000) (Figure 15) :

- Le niveau sensori-moteur correspond à la connexion physique de l'utilisateur avec le système de RV grâce aux interfaces sensori-motrices.
- Le niveau cognitif correspond aux processus cognitifs mis en œuvre par l'utilisateur pour réaliser l'activité. Il s'appuie sur les modèles mentaux utilisés (schèmes, métaphores).
- Le niveau fonctionnel concerne les activités pour lesquelles ou souhaite immerger la personne dans l'EV et lui donner des moyens d'interagir.

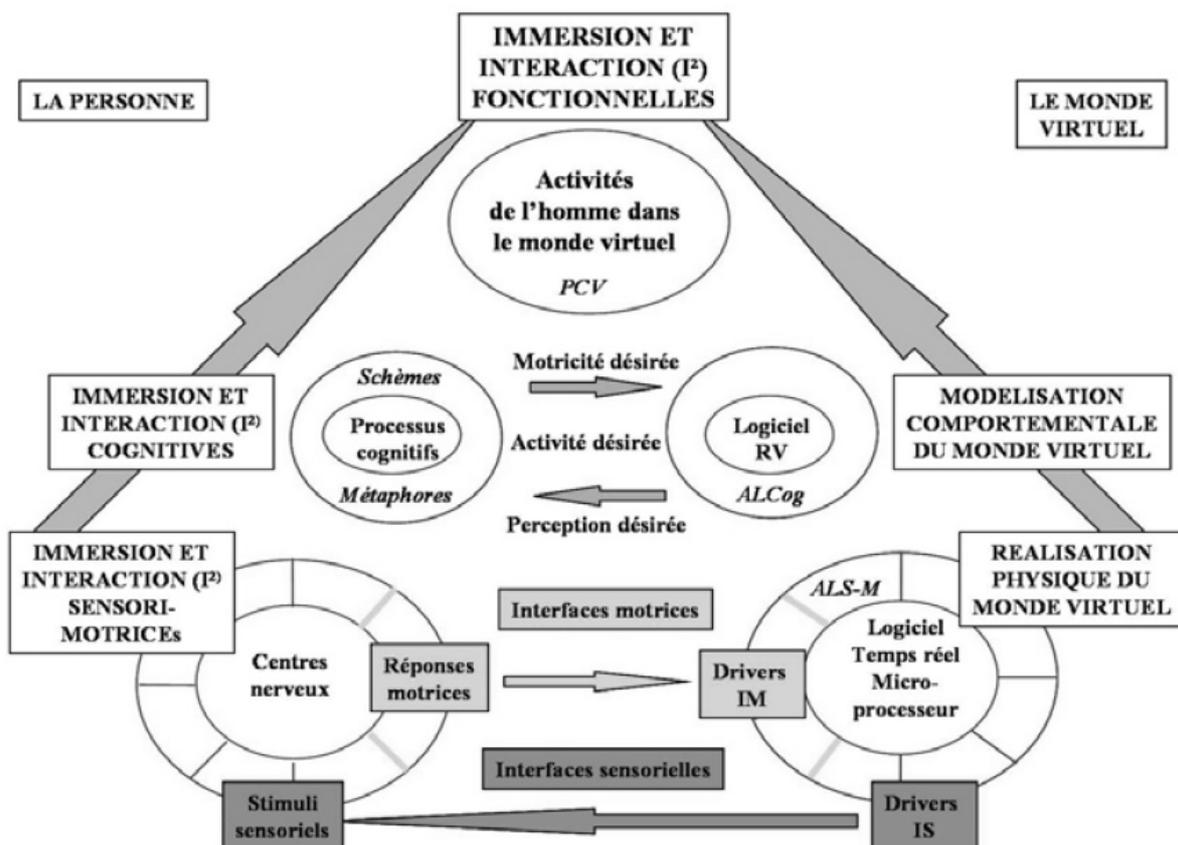


Figure 15 : Le schéma du modèle 3I², image provenant de (Fuchs et al, 2006)

Parallèlement au fonctionnement humain, ce modèle décrit le fonctionnement du monde virtuel. Pendant l'activité, le système peut fournir les aides logicielles comportementales (ALC) à l'utilisateur pour faciliter les I² cognitives de la personne. Les ALC peuvent être exploitées en ALC sensori-motrices (ALS-M) et ALC cognitives (ALC_{Cog}). Les ALS-M permettent d'améliorer les réponses de l'utilisateur lors de l'usage des interfaces (ex. le filtrage des mesures d'un capteur de localisation). Les ALC_{Cog} apportent des facilités au sujet lors de la réalisation d'une tâche à accomplir (ex. pour prendre un objet dans un EV, il faut

faire un clic de souris sur cet objet). Les activités demandées se décomposent en activités élémentaires appelées « Primitives Comportementales Virtuelles » (PCV) que l'on regroupe en quatre catégories : observation, navigation, interaction et communication. Dans tout système de RV, il est nécessaire de fournir à l'utilisateur ces 4 PCV pour qu'il y réalise des activités. Nous reviendrons sur ce point lors de la description de nos travaux (cf. § III.3.1).

Dans les applications thérapeutiques, les patients peuvent rencontrer des problèmes dans l'utilisation des interfaces de RV en raison d'éventuelles incapacités. Par exemple le patient peut être stressé de porter un visiocasque, difficile d'utiliser un gant de données ou une souris 3D (Davies et al, 1999). Notre travail de thèse n'étudie pas la problématique de l'interfaçage sensori-moteur, notamment du fait que nous souhaitons définir un système accessible à tous, au moins financièrement. Pour éviter ces difficultés, nous avons choisi des interfaces classiques : souris/clavier pour la navigation et l'interaction, l'écran d'ordinateur pour l'immersion.

II.5. Conclusion

Notre état de l'art a permis d'explorer les études en cours relatives à l'usage de la RV dans l'évaluation et la rééducation des FE. Il nous a permis tout d'abord de comprendre la procédure d'évaluation en vie réelle. Cependant, la mise en œuvre de ces séances écologiques est lourde car coûteuse en temps et en moyens cliniques ; elle est limitée pour des sujets non indépendants physiquement. Pour ces raisons, nous nous sommes intéressés à l'usage actuel de la RV et nous avons décrit des études pertinentes au domaine relatif à des AVQ dans des supermarchés virtuels et dans des cuisines virtuelles. Les travaux étudiés montrent l'importance de l'enregistrement de la performance et de l'analyse de l'activité. Nous avons exploré des outils existants permettant de créer des scénarios d'évaluation et de rééducation. Nous avons enfin étudié les moyens existants d'immerger un individu dans un EV et de lui permettre d'interagir.

Sur la base de cet état de l'art, nous pouvons conclure qu'il n'y pas de travaux de ce genre publiés en France dans des cuisines virtuelles ; il existe une demande des thérapeutes, en particulier dans un centre de rééducation fonctionnelle ; les thérapeutes ont besoin d'un outil d'évaluation ou de rééducation objective.

Chapitre III

METHODOLOGIE

Le chapitre de méthodologie est rédigé en quatre parties. Dans la première partie, nous présentons la problématique et nos hypothèses de travail. La seconde partie est consacrée à la modélisation et à l'évaluation d'une tâche écologique. La troisième partie rapporte notre travail de conception d'une tâche écologique virtuelle et de son évaluation. La quatrième partie permettra de conclure sur ce chapitre.

III.1. Problématique et hypothèses

Dans le Chapitre II, nous avons présenté l'évaluation traditionnelle des FE dans les AVQ et les travaux existants utilisant la RV dans des tâches déroulant dans des supermarchés virtuels et des cuisines virtuelles. Dans le contexte de notre collaboration avec le centre de Kerpape, nous avons présenté leur procédure d'évaluation des patients cérébrolésés (cf. § II.2.2) : 1) les thérapeutes choisissent une tâche écologique (ex. préparation d'un café) ; 2) ils évaluent leurs patients dans la cuisine du centre de rééducation. Une grille d'évaluation (Annexe 2.1) est utilisée pour détecter les erreurs du patient pendant la réalisation de la tâche. Dans cette pratique, les thérapeutes ont deux difficultés : 1) difficulté de l'évaluation en situation réelle (coûteuse en temps, variabilité de l'évaluation selon les thérapeutes) ; 2) pas assez de mises en situation pour les patients. Les thérapeutes ont besoin d'un nouvel outil d'évaluation pour éviter les deux difficultés. L'objectif de notre travail est donc la mise en œuvre d'une tâche de vie quotidienne (Préparation d'un café) et d'une méthode d'évaluation (Grille d'évaluation utilisée dans la tâche réelle) dans une cuisine virtuelle. L'évaluation dans la vie réelle s'appuie sur l'identification des erreurs d'actions et d'erreurs comportementales. Si les erreurs d'actions (ex. omission et addition d'actions) peuvent être interprétées aisément par le système, l'identification d'erreurs comportementales (ex. prise de décision difficile) est plus compliquée. Elle est du ressort du thérapeute et s'appuie sur une observation fine du comportement du patient. Dans notre travail de thèse, nous allons explorer les erreurs comportementales avec l'aide du thérapeute.

Les concepts de la tâche écologique virtuelle et de l'évaluation de la performance dans un EV sont centraux dans notre travail de thèse. Ils soulèvent notre problématique suivante :

Dans le contexte de la rééducation cognitive, comment virtualiser une tâche écologique et évaluer la performance d'un patient cérébrolésé dans la tâche virtuelle ?

Nous en avons déduit trois hypothèses que nous allons explorer grâce à trois expérimentations :

Hypothèse I - Il est possible de virtualiser une tâche écologique.

Hypothèse II - Il est possible de virtualiser la grille d'évaluation utilisée dans la tâche réelle correspondante.

Hypothèse III - Les patients cérébrolésés sont aptes à réaliser la tâche écologique virtuelle développée.

III.2. Tâche écologique dans le monde réel

Nous démarrons ce sous-chapitre avec un ensemble de définitions propres au domaine des tâches et de l'activité humaine. Puis nous focaliserons sur le domaine de la rééducation en présentant des méthodes de modélisation et la procédure d'évaluation.

III.2.1. Définitions

De façon générale, *une tâche* peut être définie comme la description statique du processus d'atteinte d'un but, en respectant un ensemble de contraintes cognitives, motrices et environnementales (Boy, 2003). *L'activité* de l'utilisateur est la réalisation de la tâche. Leplat et J.M. Hoc (Leplat and Hoc, 1983) ont parlé de la distinction entre tâche et activité. « *La tâche indique ce qui est à faire, l'activité, ce qui se fait. La notion de tâche véhicule avec elle l'idée de prescription, sinon d'obligation. La notion d'activité renvoie, elle, à ce qui est mis en jeu par le sujet pour exécuter ces prescriptions, pour remplir ces obligations* » (p.51).

Une tâche écologique correspond à une mise en situation réelle ou à une simulation d'AVQ. *Les activités de la vie quotidienne* sont des activités communes à l'ensemble de la population, indispensables à une vie autonome, au domicile ou à l'hôpital (ex. les activités de toilette, habillage, prise des repas, etc.). *Les activités complexes de la vie quotidienne* sont plus riches dans leur conception de la vie humaine et ne sont pas communes à tous. Elles comportent des activités diverses (ex. déplacement au domicile et à l'extérieur, activités de loisirs, gestion du budget, intégration scolaire ou professionnelle, etc.) (Pradat-Diehl et al, 2006b).

L'objectif d'une tâche est d'atteindre un but qui est spécifié dans la consigne donnée au participant. Selon son niveau de complexité, une tâche est décomposable en étapes qui pourront être parallèles (Figure 16), séquentielles (Figure 17), alternatives ou encore obligatoires. *Une étape* peut être définie comme la description statique du processus d'atteinte

d'un sous-but. Elle est un ensemble d'actions qui sont indispensables. Une action est un geste ou une opération élémentaire permettant la réalisation des étapes. Elle est généralement focalisée sur un ou des objets. La réalisation de la tâche nécessitera donc la planification puis la réalisation adaptée de l'ensemble des étapes et des actions prévues. Le démarrage d'une étape doit être identifié par une « action initiale » et sa fin par une « action finale ». Nous adopterons également dans notre thèse la notion de *tâche complexe* pour une tâche décomposable en plusieurs étapes (ex. faire un café) et celle de *tâche primitive* pour une tâche simple décomposée en une ou deux étapes (ex. remplir le pot verseur de la cafetière d'eau). Les notions de tâche complexe et de tâche primitive sont relatives. Dans le contexte du travail de thèse, la tâche « préparation d'un café » est une tâche complexe. Dans un autre contexte, elle peut être une tâche primitive.

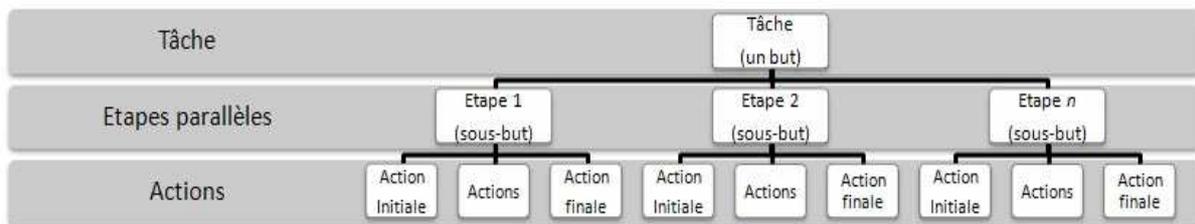


Figure 16 : Présentation hiérarchique d'une tâche en étapes parallèles

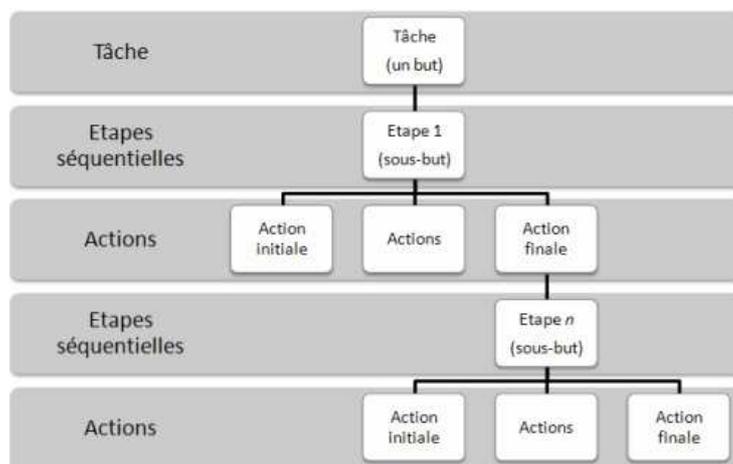


Figure 17 : Présentation hiérarchique d'une tâche en étapes séquentielles

III.2.2. Modélisation d'une tâche écologique

Le travail que nous menons dans cette thèse se situe dans le contexte de la rééducation des patients cérébrolésés et de notre collaboration avec le centre de rééducation de kerpape (cf. §

II.2.2). Il concerne plus spécifiquement la tâche de préparation d'une café, utilisée dans ce centre.

Quatre objets d'étude apparaissent dans la modélisation d'une tâche écologique thérapeutique (Figure 18) : le patient, la tâche écologique que le patient réalise, l'activité mise en œuvre pour réaliser la tâche et l'environnement de vie quotidienne dans lequel le patient réalise sa tâche.

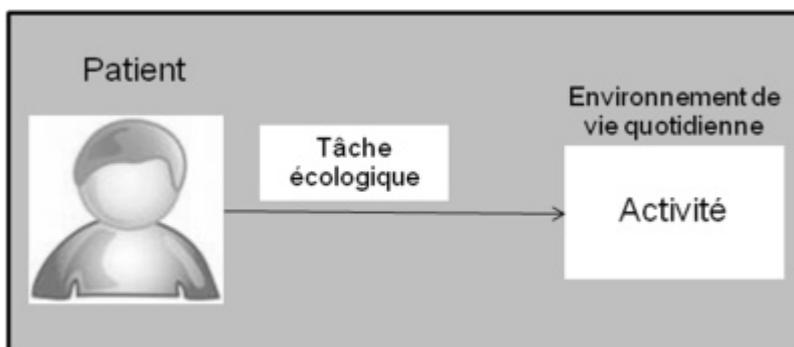


Figure 18 : Quatre objets d'étude de la modélisation d'une tâche écologique thérapeutique

Dans le cas de l'exemple de la rééducation dans une tâche de préparation d'un café au centre de Kerpape, les quatre objets d'étude, l'état initial et l'état final et les matériels sont identifiés comme ci-dessus (Tableau 4) :

Patient	Patients cérébrolésés au centre de Kerpape
Tâche	Préparation d'un café pour 4 personnes
Environnement	La cuisine de rééducation de Kerpape
Activité	Le patient se déplace, manipule des objets, les transporte pour finalement servir le café dans des tasses
Etat initial	Pas de café sur la table
Etat final	Quatre cafés chauds sur la table ; une grille d'évaluation remplie
Matériel mis à disposition avec distracteurs (matériel non nécessaire à la tâche.)	Cafetière non branchée et bouilloire à leur place habituelle. Sur la table : café ouvert, paquet de thé rouge, 1 cuillère à soupe, 1 fourchette, des filtres, du sucre en morceaux, 5 tasses, 5 soucoupes, 5 petites cuillères, 5 assiettes creuses

Tableau 4 : Préparation des éléments de la tâche de préparation de café

Dans son travail de DEA à l'Université d'Angers (Jouadé, 2003), la neuropsychologue Anne-Sophie DOUGUET a proposé trois graphes de la tâche de préparation de café en fonction de

la position des objets : P1) les objets se situent sur la table (Annexe 3) ; P2) café et filtres sont près de la cafetière (Annexe 3); P3) les produits sont à chercher (Figure 19). Elle s'est appuyée sur les travaux menés par Philippe ALLAIN dans sa thèse (Allain, 2000). La tâche de préparation de café est décomposée en 16 étapes parallèles ou séquentielles.

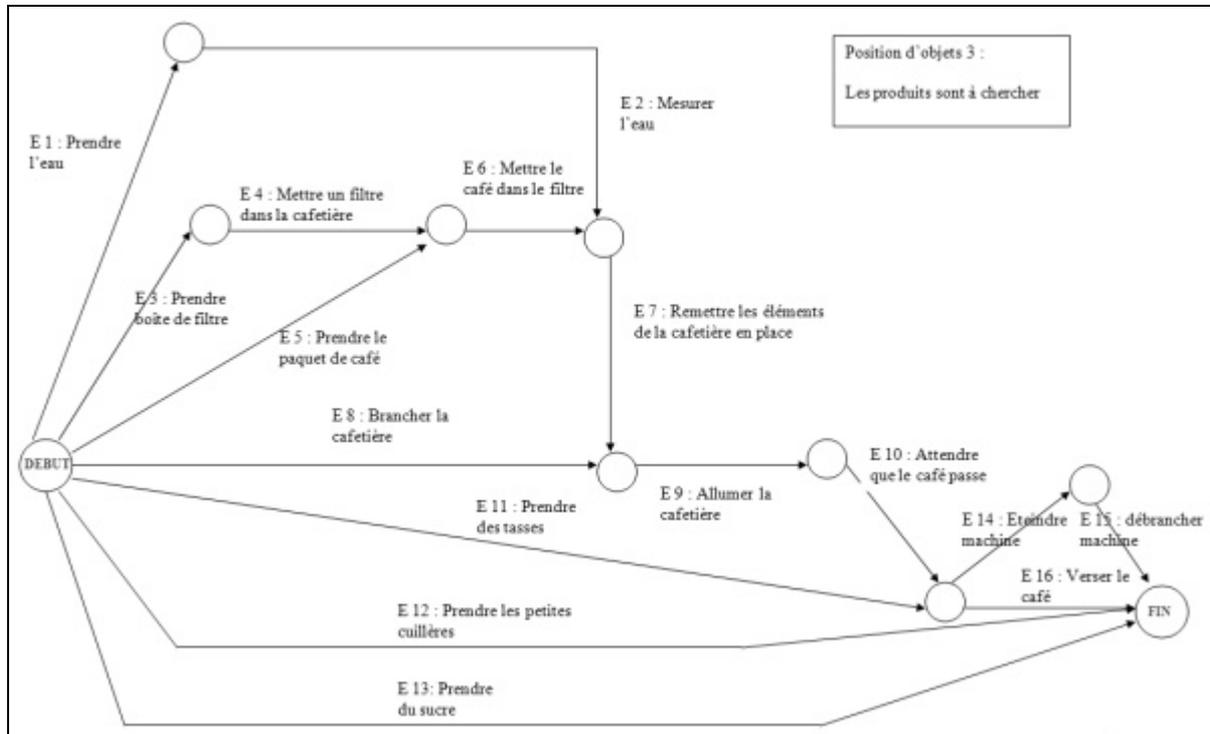


Figure 19 : Modélisation de la tâche « Préparation d'un café », réalisée par A.S DOUGUET (Kerpape), condition initiale : les produits sont à trouver dans la cuisine

La Figure 19 illustre le cas où le patient doit rechercher les produits et ustensiles nécessaires à la tâche. Ainsi décrite, cette tâche comporte 16 étapes qui peuvent être menées en parallèles comme E5 (Prendre le paquet de café) ou E11 (Prendre des tasses) ou qui doivent respecter une chronologie comme E4 (Mettre un filtre dans la cafetière) et E6 (Mettre le café dans le filtre). Certaines étapes peuvent être nécessaires ou non selon les conditions initiales. Par exemple, si la position initiale des produits est "sur la table", les étapes E11, E12 et E13 disparaissent, si la position initiale des produits est "café et filtre près de la cafetière", les étapes E3 et E5 disparaissent en plus (voir en Annexe 3).

L'organisation séquentielle ou parallèle des tâches peut être modélisée grâce à des constructeurs (Tableau 5).

Constructeur	Signification
Séquentiel	Les sous-tâches sont exécutées dans l'ordre. La tâche est finie lorsque toutes les sous-tâches sont finies ou ignorées (sous-tâches facultatives)
Parallèle	Les sous-tâches sont exécutées dans n'importe quel ordre et elles ne partagent pas leurs données. La tâche est finie lorsque toutes les sous-tâches sont finies ou ignorées (sous-tâches facultatives)
Et	Les sous-tâches sont exécutées dans n'importe quel ordre et elles partagent leurs données. La tâche est finie lorsque toutes les sous-tâches sont finies ou ignorées (sous-tâches facultatives)
Ou	Les sous-tâches sont exécutées dans n'importe quel ordre. La tâche est finie lorsqu'au moins une des sous-tâches obligatoires a été réalisée
Alternative	Une seule des sous-tâches est exécutée
Elémentaire	Signale qu'une tâche ne possède pas de sous-tâche
Inconnu	Utilisé lorsqu'on ne sait pas quel constructeur choisir

Tableau 5 : Description des constructeurs utilisés pour ordonnancer les étapes d'une tâche, tableau cité (Burkhardt et al, 2009).

Dans l'objectif d'évaluation d'une activité du patient, le thérapeute doit tout d'abord définir les quatre objets d'étude de la modélisation (patient, tâche écologique, activité et environnement de vie quotidienne). Ensuite un schéma de la modélisation de la tâche choisie est réalisé. Une fois la modélisation de la tâche est faite, Le thérapeute peut ensuite produire plusieurs consignes selon des différents paramètres (ex. position des objets essentiels à la tâche) pour les différents patients.

III.2.3. Procédure d'évaluation de l'activité réelle du patient

Grâce à des exemples de la littérature dans le domaine thérapeutique et aux séances observées à Kerpape, nous pouvons exprimer la procédure d'évaluation de l'activité réelle du patient. Elle se déroule en 4 étapes (Figure 20) qui concernent le thérapeute et le patient :

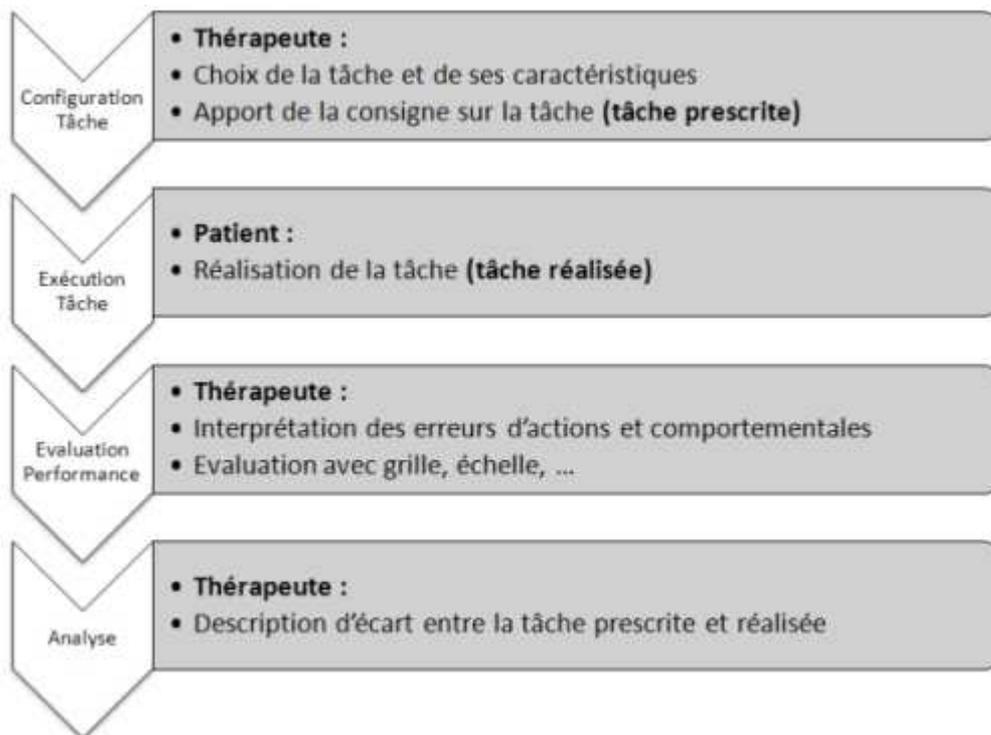


Figure 20 : Procédure d'évaluation de l'activité réelle du patient

- Etape 1 : Configuration de la tâche (Thérapeute)

Suite à la modélisation des tâches écologiques, le thérapeute commence par faire le choix d'une tâche écologique (faire un café, préparer un gâteau au chocolat) et de ses caractéristiques pour configurer une tâche prescrite selon l'objectif médical. Une consigne est prête à être donnée au patient par écrit ou oralement. La consigne comporte normalement des informations sur ce que le patient doit réaliser pour la tâche prescrite, l'environnement où le patient doit la réaliser et les objets qu'il peut utiliser pour la réaliser.

- Etape 2 : Exécution de la tâche (Patient)

Une fois qu'il a reçu la consigne, le patient réalise la tâche selon le processus présenté dans la Figure 21. Le patient a un but à atteindre. En fonction de la consigne, il s'organise spatio-temporellement et planifie ses actions. Ensuite, il effectue la tâche dans l'environnement quotidien en utilisant les objets essentiels. Enfin, il vérifie si le but est atteint selon la consigne qui lui a été donnée.

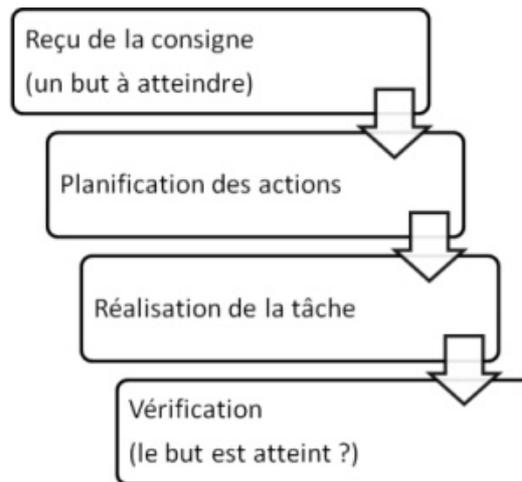


Figure 21 : Processus de réalisation d'une tâche par un patient

- Etape 3 : Evaluation de la performance du patient (Thérapeute)

Pendant la réalisation de la tâche, le thérapeute observe l'activité et le comportement du patient. Il interprète les erreurs effectuées par le patient et remplit une grille d'évaluation ou une échelle d'évaluation. La classification d'erreurs et les outils d'évaluation (grille, échelle, etc.) sont parfois normalisés, parfois utilisés localement (ex. la grille d'évaluation de Kerpape dans le cadre de la tâche de café en Annexe 2.1).

- Etape 4 : Analyse (Thérapeute)

Grâce aux informations sur les erreurs codées dans la grille ou dans l'échelle d'évaluation, le thérapeute fait une synthèse médicale sur l'écart entre la tâche prescrite et la tâche réalisée. A cause d'une contrainte du temps, le thérapeute n'a souvent pas le temps de bien remplir la grille, surtout quand le patient fait beaucoup d'erreurs. Parfois, le thérapeute filme la séance d'évaluation ou de rééducation. Cette vidéo sert au thérapeute après la séance pour remplir la grille ou pour faire une réunion entre des thérapeutes ou avec la famille de patient.

Nous avons présenté des méthodes de modélisation des tâches écologiques et de la procédure d'évaluation de l'activité réelle du patient. en se basant sur ces travaux thérapeutiques dans le monde réel, nous voulons virtualiser une tâche utilisée dans la cuisine du centre de Kerpape (Préparation d'un café) et créer un outil d'évaluation en RV.

III.3. Tâche écologique dans le monde virtuel

L'analyse de l'existant, les limites identifiées nous ont amenés à concevoir une application proposant la réalisation d'une tâche écologique en monde virtuel. Il s'agit de la cuisine virtuelle thérapeutique TVK (Therapeutic Virtual Kitchen). Nous présentons ici la conception et la création de l'outil TVK, ainsi que l'évaluation de patient dans le monde virtuel avec cet outil. Nous démarrons cette partie avec la présentation du choix de l'environnement et de la tâche et la conception des tâches (tâches primitives et tâche complexe), puis la question de l'apport d'aides. Ensuite, nos propositions d'immersion dans le TVK et d'interaction avec les objets virtuels sont présentées. Puisque, nous traitons la modélisation de l'environnement en 3D et la virtualisation de la tâche choisie. Enfin nous expliquons comment nous avons virtualisé partiellement la grille d'évaluation utilisée dans la tâche réelle, ainsi que la présentation sur la procédure d'évaluation de l'activité virtuelle du patient.

III.3.1. Choix de l'environnement et de la tâche

Pour développer une évaluation des AVQ en situation virtuelle, le premier travail consiste à choisir un environnement virtuel et des tâches écologiques qui peuvent être réalisées dans cet environnement. Nous avons choisi la cuisine de rééducation de Kerpape (cf. § II.2.2) car la cuisine est un environnement de la vie quotidienne et les thérapeutes évaluent et rééduquent souvent les patients dans une cuisine avec différentes tâches telles que la préparation d'un café avec la cafetière, la réalisation d'un gâteau avec le four ou la réalisation d'un repas avec les plaques électriques. La cuisine de Kerpape est bien équipée. Le patient peut trouver tout ce qu'il faut dans cette cuisine pour faire les tâches de cuisine. Elle permet au patient de connaître l'électroménager classique et les objets retrouvés dans sa cuisine personnelle. Elle permet des réapprentissages en vue du transfert des acquis de la cuisine de rééducation à la propre cuisine du patient. Au niveau du choix de la tâche, nous avons décidé, dans un premier temps, de virtualiser la tâche de « préparation d'un café avec la cafetière » qui fait appel à différentes composantes des FE :

- *Résolution de problèmes* : Il faut s'adapter aux conditions expérimentales, chercher au besoin les objets et produits dans les placards.
- *Planification des étapes préparatoires* : La tâche pouvant se dérouler en 16 étapes parallèles ou séquentielles (le nombre d'étape dépend de la position des objets

essentiels à la tâche), il faut planifier adroitement les étapes pour réaliser correctement la tâche.

- *Gestion du temps* : Pendant que le café passe, le patient peut partir faire d'autres choses, ex. chercher les tasses dans le tiroir. Quand le café est prêt, il faut revenir le chercher et le servir sur la table.
- *Vérification des résultats* : A différents moments de la tâche, il faut compter en fonction du nombre de convives. Avant de terminer la tâche, il faut vérifier que la cafetière est éteinte.

III.3.2. Conception des tâches virtuelles et des aides

Les technologies de la RV offrent la possibilité d'évaluer et de réadapter les patients cérébrolésés. Mais elles sont encore toutes nouvelles pour le thérapeute et pour le patient. Une séance d'apprentissage est donc, nécessaire et très utile pour le patient. Dans un premier temps, trois tâches primitives pour faire l'apprentissage et une tâche complexe pour entraîner le patient ont été développées dans la même cuisine virtuelle. Toutes les tâches se déroulent en 3 étapes : 1) préparation au lancement de la tâche ; 2) déroulement de la tâche ; 3) gestion de la fin de la séance

Tâches primitives

Pour rappel, *une tâche primitive* est une tâche simple composée d'une ou deux étapes. Trois tâches primitives « prendre » « prendre et poser » « prendre et remplir » sont utilisées pour divers objectifs : familiarisation à l'EV ; apprentissage de l'usage des interfaces ; apprentissage des procédures d'interaction. Le thérapeute choisit une tâche primitive et la paramètre dans un menu déroulant sur l'écran (Tableau 6). Par exemple il choisit la tâche primitive « Prendre du sucre (Figure 22) et le Poser sur la table (Figure 23) ». Dans les trois tâches primitives, les actions séquentielles doivent être exécutées dans l'ordre. La tâche primitive est finie lors que toutes les actions sont finies (voir les actions nécessaires pour chaque tâche en Tableau 7). Dans le futur, nous voulons développer quelques tâches primitives hors de la tâche « Faire un café » dans la même cuisine virtuelle, ex. prendre un gâteau dans le frigo et le chauffer dans le micro-onde.

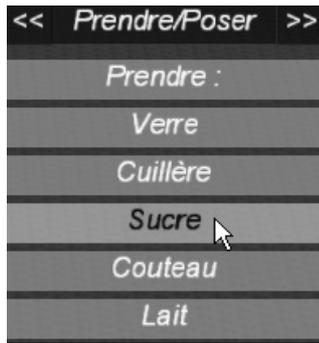


Figure 22 : Menu déroulant « Prendre »



Figure 23 : Menu déroulant « Poser »

Tâches Primitives	Prendre	Prendre en Poser		Prendre et Remplir	
		Prendre	Poser	Prendre	Remplir
Paramètres	Couteau Cuillère Verre Sucre Lait Tasse	Couteau Cuillère Verre Sucre Lait	Table Plan de travail	Verre Pot de cafetière Bouilloire	De l'eau Du lait
Nombre d'actions	1-3	2-3		5-8	

Tableau 6 : Paramètres des tâches primitives et nombre d'actions à réaliser

N°	Tâche primitive	Description des actions
1	Prendre	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'objet n'est pas mis sous les yeux, il faut le chercher : cliquer sur la porte de placard ou le tiroir • Prendre : cliquer sur l'objet quand le curseur se transforme en main dynamique (il va être attaché avec la souris) • Si vous ne reposez pas l'objet, il va se mettre sur la place initiale
2	Prendre et Poser	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'objet n'est pas mis sous les yeux, il faut le chercher : cliquer sur la porte de placard ou le tiroir • Prendre : cliquer sur l'objet quand le curseur se transforme en main dynamique (il va être attaché avec la souris) • Poser : cliquer à l'endroit où vous voulez le poser dans la cuisine
3	Prendre et Remplir	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'objet n'est pas mis sous les yeux, il faut le chercher : cliquer sur la porte de placard ou le tiroir • Prendre : cliquer sur l'objet quand le curseur se transforme en main dynamique (il va être attaché avec la souris) • Poser l'objet dans l'évier : cliquer sur le fond de l'évier • Ouvrir le couvercle si c'est le pot verseur : cliquer sur le couvercle • Ouvrir le robinet : cliquer sur le robinet • Mesurer l'eau grâce à un niveau • Terminer mesurer : cliquer sur le bouton STOP sur l'écran • Fermer le couvercle si c'est le pot verseur : cliquer sur le couvercle

Tableau 7 : Actions nécessaires pour réaliser les trois tâches primitives

Tâche complexe

Pour rappel, *une tâche complexe* est une tâche décomposable en plusieurs étapes. Pendant la phase de conception de la tâche complexe, nous avons commencé par recueillir les besoins et les difficultés du thérapeute. Souvent dans la séance de rééducation, les thérapeutes souhaitent configurer différentes tâches en fonction de certains paramètres pour augmenter ou diminuer le niveau de difficulté de la tâche, ex. changer la place des filtres. Mais ils rencontrent deux grandes difficultés : 1) il est parfois difficile de préparer les mêmes tâches avec les mêmes conditions pour les différentes séances ; 2) Après la séance de rééducation, il est parfois long et difficile d'analyser et comparer les données pour connaître la performance du patient. Dans l'objectif de concevoir une tâche paramétrable, nous avons choisi cinq paramètres (Tableau 8) : nature du café, nombre de personnes, position d'objets, temps limite et type d'aides. Avec ces paramètres, le thérapeute peut créer les différentes consignes dans la même tâche sous la forme suivante (les parties soulignées dépendent de la configuration) :

Vous avez 20 minutes pour faire un café noir pour 2 personne(s) dans la cuisine. A la fin, vous servirez le café à table et cliquez sur Fin. Dès que vous êtes prêt(e), cliquez sur Démarrer.

N°	Paramètres	Valeurs possibles
1	Nature du café	Un café noir ; un café au lait ; un café sucré; Tâches primitives
2	Nombre de personnes	1 à 6
3	Position d'objets	Objets près de la cafetière Objets sur la table Objets à trouver
4	Temps limite (en minutes)	Une valeur entière
5	Type d'aides	Aides manuelles Aides automatiques Aucune aide

Tableau 8 : Paramètres d'une nouvelle configuration dans la tâche de café

Selon les différentes positions des objets initiaux, le nombre d'étapes à réaliser est différent ([Tableau 9](#)). Par exemple pour faire un café noir, si les objets sont près de la cafetière sur le plan de travail, le participant doit réaliser 11 étapes pour finir son café. Il n'a pas besoin de chercher la boîte de filtres et le paquet de café dans les placards. La tâche est finie lorsque toutes les étapes séquentielles ou parallèles sont finies (voir l'exécution schématique dans la Figure 19 et les étapes et actions nécessaires dans le Tableau 10).

Mis en f

(Italie)

Mis en f

(Italie),

l'orthogr

grammaire

Supprim

Tâche complexe	Position d'objets	Nombre d'étapes
Café noir	1: sur la table	13
Café noir	2: près de la cafetière	11
Café noir	3: à chercher	15

Tableau 9 : Nombre d'étapes à réaliser pour faire un café selon la position d'objets

N°_E	Etapes	Description des actions
E01	Prendre l'eau au robinet	<ul style="list-style-type: none"> • Se placer devant la cafetière • Prendre le pot verseur de la cafetière et le poser dans l'évier • Ouvrir le pot verseur : cliquer sur le couvercle du pot verseur • Ouvrir le robinet : cliquer sur le robinet • Fermer le robinet : quand on ne veut plus l'eau, cliquer sur le robinet • Fermer le pot verseur : cliquer sur le couvercle du pot verseur
E02	Mesurer l'eau dans la réserve de la cafetière	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre le pot verseur rempli et/ou le poser sur le plan de travail • Remplir la cafetière : cliquer sur la réserve de la cafetière • Mesurer l'eau : grâce à un niveau • Quand le niveau est atteint, cliquer sur le bouton STOP sur l'écran • Reposer le pot verseur sur son socle de la cafetière
E03	Prendre la boîte de filtres	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre la boîte de filtres • Poser la boîte de filtres sur le plan de travail près de la cafetière
E04	Mettre le filtre dans la cafetière	<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir la boîte de filtres : cliquer sur le couvercle de la boîte de filtres • Sortir automatiquement un filtre : cliquer sur le corps de la boîte
E05	Prendre le paquet de café	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre le paquet de café • Poser le paquet de café près de la cafetière
E06	Mettre du café dans le filtre	<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir le paquet de café : cliquer sur le paquet de café • Mettre du café dans le filtre : cliquer N fois sur la dosette
E07	Remettre les éléments de la cafetière en place	<ul style="list-style-type: none"> • Poser le pot verseur sur le socle de la cafetière • Fermer la cafetière : cliquer sur le couvercle de la cafetière
E08	Brancher la cafetière	<ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur le fil d'alimentation de la cafetière
E09	Allumer la cafetière	<ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur le bouton de la cafetière
E10	Attendre que le café passe	<ul style="list-style-type: none"> • Pendant 30 secondes, on ne peut pas toucher à la cafetière
E11	Prendre des tasses	<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir le tiroir qui contient les tasses : cliquer sur le tiroir • Prendre les tasses dans le tiroir • Les poser sur la table • Fermer le tiroir qui contient les tasses : cliquer sur le tiroir
E12	Prendre des petites cuillères	<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrir le tiroir qui contient les petites cuillères : cliquer sur le tiroir • Prendre les petites cuillères dans le tiroir • Les poser sur la table • Fermer le tiroir qui contient les petites cuillères : cliquer sur le tiroir
E13	Prendre du sucre	<i>NON REALISE</i>
E14	Eteindre la cafetière	<ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur le bouton de la cafetière
E15	Débrancher la cafetière	<ul style="list-style-type: none"> • Cliquer sur le fil d'alimentation de la cafetière
E16	Verser le café dans la tasse	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre le pot verseur avec le café sur la cafetière • Déposer le pot verseur avec le café sur la table • Verser le café dans la tasse : cliquer sur l'intérieur de la tasse pour que le café soit versé automatiquement • Remplir le bon nombre de tasses • Déposer le pot verseur sur la table

Tableau 10 : Etapes et actions nécessaires pour préparer un café

Aides logicielles

Dans la séance d'évaluation réelle, le thérapeute n'apporte pas d'aide. Mais dans la séance de rééducation, un des rôles du thérapeute est d'apporter des aides au patient quand le patient demande, ou s'il où il fait une erreur. Notre outil TVK peut apporter trois types d'aides :

- aides vocales : les messages vocaux sont enregistrés auparavant
- aides textuelles : un message affiché sur l'écran ([Figure 24](#))
- aides iconiques : une grosse flèche qui indique l'objet avec lequel il faut interagir ([Figure 25](#))

Pendant la configuration de la tâche, le thérapeute peut paramétrer le moyen d'apporter ces aides :

- aides automatiques : les aides logicielles seront apportées dans l'ordre (aides vocales, messages sur l'écran et la grosse flèche rouge) en fonction du temps passé.
- aides manuelles : le thérapeute appuie une touche du clavier (F1, F2, ou F3) pour apporter de l'aide.

De plus, au cours de la séance le patient peut appuyer sur la touche ESPACE du clavier pour un rappel de l'usage des touches pour la navigation et de consigne sur l'écran. Cette action sera enregistrée comme une erreur de « Dépendance ».



Figure 24 : Une aide textuelle dans l'outil TVK



Figure 25 : Une aide iconique dans l'outil TVK

III.3.3. Immersion et Interaction dans l'outil TVK

Afin d'immerger le patient dans l'EV et de lui permettre d'interagir avec des objets 3D, nous avons dû réfléchir aux moyens d'interaction, d'observation et de navigation dans l'outil TVK. Dans l'objectif de simplifier l'utilisation des interfaces pour les patients, d'éviter les risques

de stress et dans celui d'un usage futur à domicile, nous avons décidé d'utiliser des interfaces classiques : l'écran d'ordinateur (ou écran mural) pour l'immersion visuelle, les 4 flèches du clavier pour la navigation et le clic gauche de la souris pour l'interaction. La vitesse de navigation a été choisie après des essais avec les sujets sains. L'interaction dans les tâches primitives et complexe se réalise à travers les actions suivantes : déplacer un objet et interagir avec un objet (brancher, verser, ouvrir, fermer, allumer, éteindre, etc.). Pour faciliter la compréhension des actions potentielles sur les objets, des aides visuelles ont été développées : les icônes de curseur sont adaptées en fonction des actions évoquées (voir les 4 changements de curseur en Figure 26).

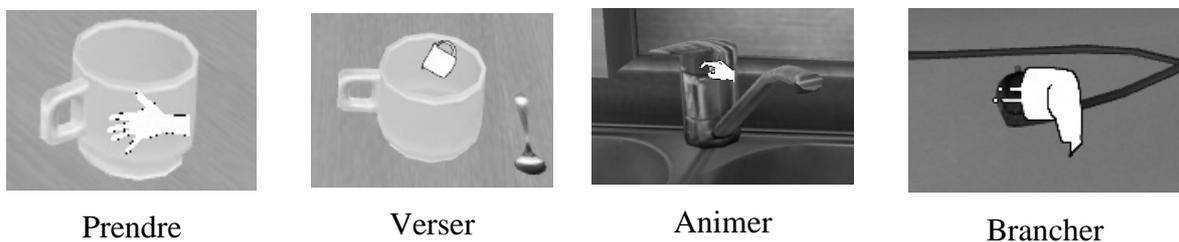


Figure 26 : Changements d'icône du curseur dans l'outil TVK

De point de vue méthodologique, il nous a fallu valider la façon de transporter un objet dans la TVK. En effet, une expérience des jeux vidéo et celle d'autres systèmes (ex. Neuro VR 1.5) suggèrent l'usage d'un inventaire ou encore du Drag & Drop. Nous avons par conséquent développé quatre méthodes d'interaction (Drag & Drop, Inventaire avec 1 objet, Inventaire avec 2 objets, Attache-souris) qui ont été testées par les thérapeutes du centre de Kerpape. Pour déplacer un objet, trois actions sont nécessaires (le prendre, le transporter et le poser) que nous décrivons dans le Tableau 11.

Méthodes	Prendre	Transporter	Poser
Drag & Drop	Cliquer sur le bouton gauche de la souris quand l'icône du curseur se transforme en une petite main	Se déplacer en maintenant le clic	Lâcher le bouton de la souris, l'objet est décollé de la souris et se pose à l'endroit choisi
Attache-souris	Cliquer sur le bouton gauche de la souris quand l'icône du curseur se transforme en une petite main	L'objet suit le curseur de souris et accompagne la personne dans son déplacement	Cliquer sur l'endroit souhaité, l'objet est décollé de la souris et se pose à l'endroit choisi
Inventaire avec 1 objet	Cliquer sur le bouton gauche de la souris quand l'icône du curseur se transforme en une petite main, l'objet se met dans l'inventaire	Se déplacer	Cliquer sur l'endroit souhaité, l'objet part de l'inventaire et se pose à l'endroit choisi
Inventaire avec 2 objets	Cliquer sur le bouton gauche de la souris quand l'icône du curseur se transforme en une petite main, l'objet se met dans l'inventaire, il est possible de prendre un deuxième objet	Se déplacer	Choisir un objet dans l'inventaire, cliquer sur l'endroit souhaité, l'objet part de l'inventaire et se pose à l'endroit choisi

Tableau 11 : Description des quatre propositions de déplacement d'un objet virtuel

Certain thérapeutes ont préféré la méthode « Inventaire avec 2 objets » car elle permet au patient de faire un choix dans les deux objets placés dans l'inventaire. Mais finalement, les thérapeutes ont choisi la méthode appelée « Attache-souris ».

Dans l'EV, il n'est possible de prendre ou d'interagir avec un objet que si l'on est suffisamment près, comme dans la réalité. Enfin pour effectuer une animation (ex. ouvrir le robinet), une seule action est suffisante : quand le curseur de la souris se transforme en petite main, il suffit d'effectuer un clic gauche de la souris sur l'objet avec lequel on veut interagir (robinet).

Nous avons ajouté des bruits de cuisine (l'eau qui coule du robinet, le café qui passe dans la cafetière) pour augmenter la présence du participant dans la cuisine. Nous avons fait des choix d'interfaces bas coût, disponibles en tout lieu. Nous en connaissons les limites au niveau de l'immersion et de l'interaction. Par ailleurs, nous avons choisi d'augmenter la compréhension des actions potentielles par l'usage d'icône (voir Figure 26). Il faudra vérifier leur bon usage par les patients dans les expérimentations.

III.3.4. Développement de l'outil TVK

III.3.4.1. Logiciels de création et modélisation de la cuisine 3D

Trois logiciels principaux ont été utilisés pour créer notre outil TVK⁷ : 1) La plate-forme *Java*⁸ pour la création d'une interface de configuration ; 2) *3D Studio Max*⁹ pour la modélisation de la cuisine en 3D ; 3) *3DVIA Virtools*¹⁰ pour la création du scénario dans la cuisine virtuelle. Le programme TVK se déroule en 3 phases principales :

- Phase 1 : Configuration de la tâche (avec l'interface de configuration)
- Phase 2 : Entrée des données du patient, ex. son nom, sa date de naissance, la date de la séance, etc. (avec l'interface de configuration)
- Phase 3 : Exécution de la tâche virtuelle dans la cuisine (avec 3DVIA Player¹¹)

La cuisine virtuelle modélisée est fidèle visuellement à la cuisine réelle (respect des dimensions, de l'aménagement, des objets présents, des vues extérieures). Vous avez les objets préhensibles dans la cuisine pour réaliser la tâche (filtre, café, tasses ...) et les objets supplémentaires (savon liquide, bols, verres ...) hors de la tâche en Annexe 4. L'étiquetage des produits sur les portes ou les tiroirs est réalisé comme dans la réalité. La cuisine est fonctionnelle dans le sens où l'on peut interagir

⁷ Ont contribué aux travaux de développement : Pierre MARTIN-HILBERT (stagiaire de l'école ENSICAEN), Société EMISSIVE et Gill VAN HERZELE (Société ENOZONE).

⁸ Java est un langage de programmation qui peut fonctionner sur la plupart des plates-formes et des systèmes d'exploitation. <http://java.com/fr/>

⁹ 3D Studio Max (ou 3dsmax) est un logiciel de modélisation et d'animation en 3D, développé par la société Autodesk. www.autodesk.fr/adsk/servlet/index?siteID=458335&id=12341533

¹⁰ 3DVIA Virtools est un logiciel de création d'applications 3D en temps réel. www.3ds.com/products/3dvia/3dvia-virtools/

¹¹ 3DVIA Player est un Web Player de Virtools. <http://player.virtools.com/downloads/player/install.asp>

avec les portes, les tiroirs, les ustensiles de cuisine ou encore les appareils électroménagers. Des sons réels, en rapport avec les actions de l'utilisateur ou avec les objets activés, permettent d'augmenter la présence du participant dans la cuisine virtuelle. Nous vous montrons quatre images de la cuisine réelle et de la cuisine virtuelle (Figure 27).

CUISINE REELLE



CUISINE VIRTUELLE



Figure 27 : Comparaison de la cuisine réelle (gauche) et la cuisine virtuelle (droite)

III.3.4.2. Virtualisation de la tâche sous Virtools

Le programme, développé avec Virtools, qui gère la séance se déroule en 3 phases principales (Figure 28) :

- Etape 1 : Préparation au lancement de la tâche ①
- Etape 2 : Déroulement de la tâche ②③④
- Etape 3 : Gestion de la fin de la séance ⑤

Les distinctions sont à apporter selon qu'il s'agit de tâches primitives (cf. § III.3.4.2.1) ou de tâches complexes (cf. § III.3.4.2.2).

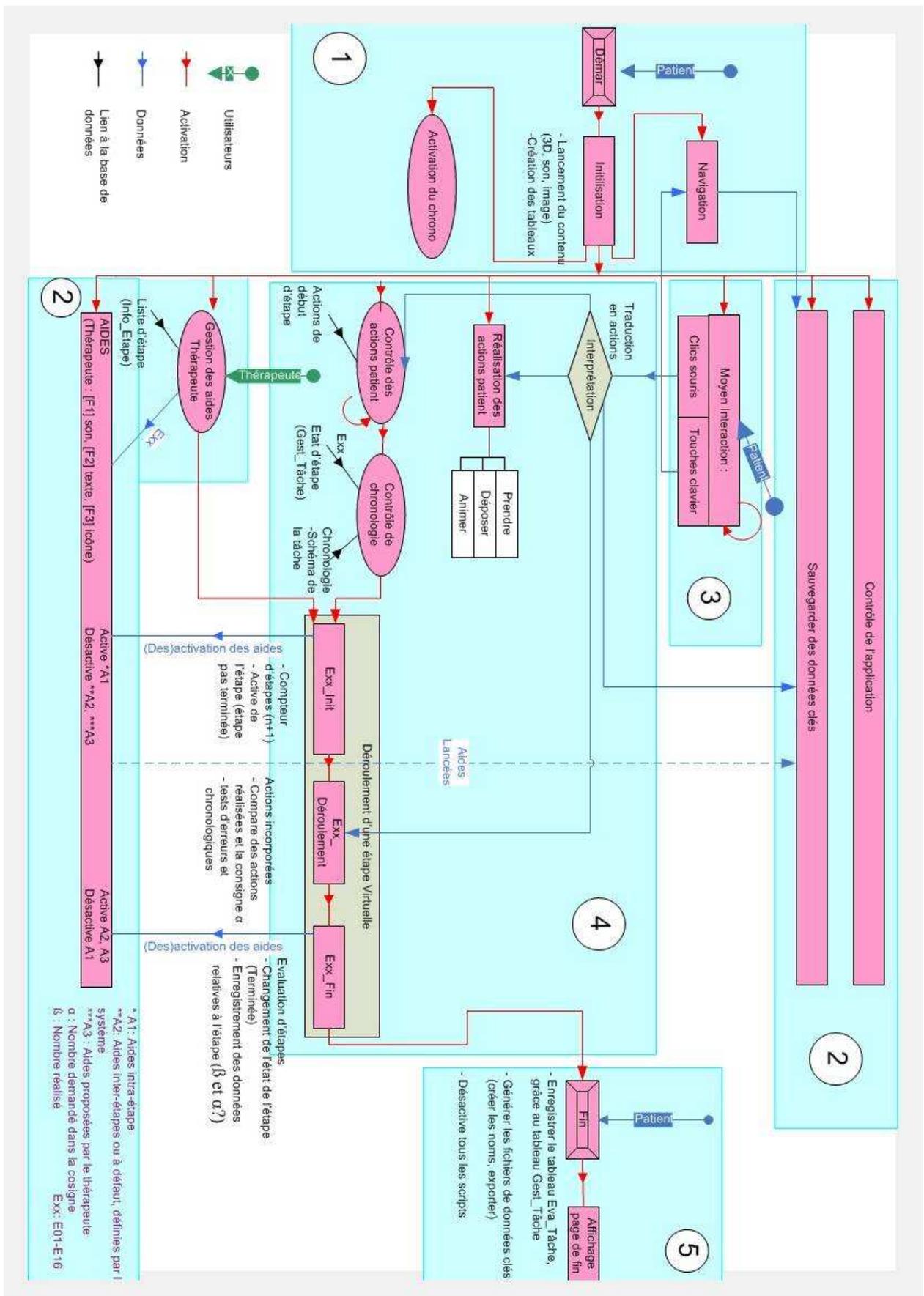


Figure 28 : Déroulement de la tâche virtuelle sous Virtools

III.3.4.2.1. Le cas des tâches primitives

Pour rappel, une tâche primitive est une tâche simple composée d'une ou deux étapes. Trois tâches primitives « Prendre un objet » « Prendre un objet et le poser sur un endroit » « Prendre un objet et le remplir d'eau au robinet » ont été créées pour divers objectifs : familiarisation à l'EV ; apprentissage de l'usage des interfaces ; apprentissage des procédures d'interaction. Les tâches primitives se déroulent en 3 phases (Figure 29) :

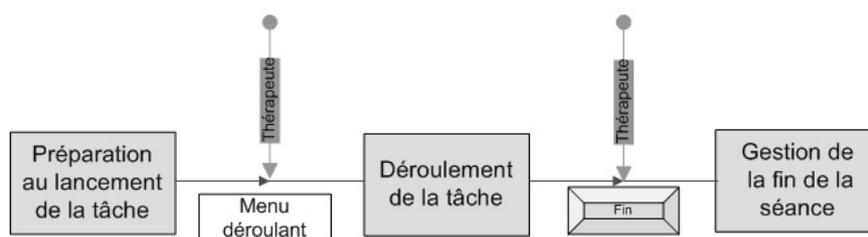


Figure 29 : Schéma général des tâches primitives

- Phase 1 : Préparation au lancement de la tâche

Une fois l'outil TVK lancé avec le Virtools Web Player (3DVIA Player), un menu déroulant sur l'écran permet au thérapeute de choisir des tâches primitives en cliquant sur les textes du menu. Une consigne est ainsi créée.

- Phase 2 : Déroulement de la tâche

Lors de la réalisation de la tâche, le participant peut rappeler la consigne en appuyant sur la barre Espace à tout moment. Après la réalisation de chaque tâche primitive, un score qui correspond au nombre d'essais est affiché sur l'écran ($\text{score} = 20 - \text{le nombre d'essais}$). Après la réalisation de chaque mauvaise action, un message d'erreur (mauvais objet ou mauvais endroit) est affiché sur l'écran. La tâche prescrite doit être réalisée correctement pour passer à une autre tâche primitive. En parallèle, le système enregistre des informations (ordre de réalisation des actions, temps, erreurs).

- Phase 3 : Gestion de la fin de la séance

Dès que la dernière tâche primitive est terminée, le thérapeute clique sur le bouton Fin sur l'écran pour sortir de la séance de familiarisation. Le système va afficher la page de fin pour

indiquer le temps passé par le participant. Simultanément, les données clé sont enregistrées dans des fichiers participants et les scripts sont désactivés.

III.3.4.2.2. Le cas des tâches complexes

Pour rappel, une tâche complexe est une tâche décomposable en plusieurs étapes. La tâche complexe « Préparation d'un café » a été virtualisée dans l'objectif de l'évaluation et de la rééducation des patients cérébrolésés. Elle se décompose en 16 étapes (cf. § III.3.1) et elle se déroule en trois phases (Figure 30):

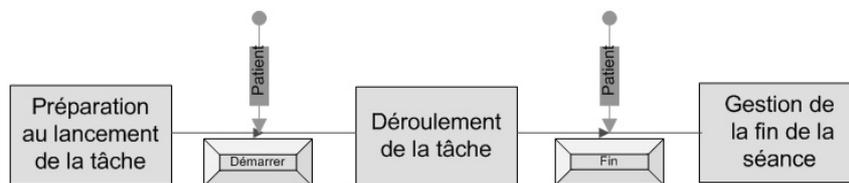


Figure 30 : Schéma général des tâches complexes

- Phase 1 : Préparation au lancement de la tâche

Cette phase sous Virtools est précédée d'une phase de configuration sous Java pendant laquelle le thérapeute configure la tâche prescrite et entre les données du participant. Au lancement de l'outil TVK sous Virtools, une consigne s'affiche sur l'écran du participant lui expliquant ce qui lui est demandé de faire. Le programme démarre dès que le participant se sent prêt (clic sur le bouton Démarrer). Il y a alors initialisation des tableaux servant à l'enregistrement et à la gestion des données puis activation de la navigation.

- Phase 2 : Déroulement de la tâche

Lors de la réalisation de la tâche, diverses fonctionnalités sont proposées dans le programme du TVK : 1) arrêt de la session ; 2) sauvegarde des données clé ; 3) aides logicielles ; 4) moyen d'interaction ; 5) interprétation des actions.

1) Arrêt de la session

Dès que le participant appuie sur le bouton Fin ou que le temps limite est dépassé, la session s'arrête et une page de fin est affichée.

2) Sauvegarde des données clé

Au cours d'une session, des données clé sur la navigation (temps, position, distance), l'historique (étapes réalisées, actions exécutées, coordonnées du clic, messages vus sur l'écran), et les aides lancées pour le participant (son, texte, icône, appel de la consigne) sont enregistrés dans les différents tableaux.

3) Aides logicielles

En choisissant « aides manuelles », si le patient reste inactif ou s'il manifeste un besoin d'être aidé lors du déroulement de la tâche, le thérapeute appuie une touche du clavier (F1 : Aide vocale, F2 : Aide textuelle, F3 : Aide iconique) pour apporter une aide (cf. § III.3.2). Les aides peuvent avoir trois origines (A1, A2 et A3) dans le programme de TVK sous Virtools :

- Aides intra-étape (A1) : elles viennent de l'intérieur du programme de chaque étape et sont activées dès que le participant commence une étape. Elles correspondent aux actions à réaliser pendant l'étape.
- Aides inter-étapes (A2) : elles viennent de l'extérieur du programme de chaque étape et sont proposées par le système. Elles correspondent aux étapes à réaliser pendant la tâche. Par exemple, si le participant reste sans rien faire, le système va proposer la première étape non réalisée.
- Aides proposées par le thérapeute (A3) : elles viennent aussi de l'extérieur du programme de chaque étape et sont proposées par le thérapeute. Parfois il est difficile de déterminer l'aide à apporter lorsque plusieurs étapes de la tâche complexe sont envisageables. Il faut donc que le thérapeute participe à la décision de l'aide à apporter. Il le fera grâce à une combinaison de touches, ex. E01. Dans ce cas-là, le participant doit réaliser cette étape proposée par le thérapeute. Le non suivi de cette aide constitue une erreur de « Non prise en compte de l'aide ». Cette intervention peut être nécessaire à deux moments de la tâche complexe (Figure 19) : au démarrage et à l'étape 10 (Attendre que le café passe) :

Au démarrage, les étapes suivantes dépendent de la position des objets :

Position d'objets 1 : Les produits se situent sur la table

- E01 : Prendre l'eau au robinet
- E03 : Prendre la boîte de filtres
- E05 : Prendre le paquet de café
- E08 : Brancher la cafetière

Position d'objets **2** : Café et filtres près de la cafetière

- E01 : Prendre l'eau au robinet
- E04 : Mettre le filtre dans la cafetière
- E08 : Brancher la cafetière

Position d'objets **3** : Les produits sont à chercher

- E01 : Prendre l'eau au robinet
- E03 : Prendre la boîte de filtres
- E05 : Prendre le paquet de café
- E08 : Brancher la cafetière
- E11 : Prendre des tasses
- E12 : Prendre des petites cuillères
- E13 : Prendre du sucre

Suite de l'étape 10 (Attendre que le café passe) :

- E14 : Eteindre la cafetière
- E16 : Verser le café dans la tasse

Les trois types d'aides peuvent venir de trois origines. Mais il s'agit toujours des mêmes aides (aides vocales, aides textuelles et aides iconiques). Donc, il n'est pas possible d'activer A1 et A2, A3 en même temps. Dès que le participant commence une étape, le système active A1 et désactive A2 et A3. Quand cette étape est terminée, le système active A2 et A3 et désactive A1.

4) Moyen d'interaction

Le participant interagit avec l'application à travers des clics de souris uniquement ; il se déplace grâce aux flèches du clavier.

5) Interprétation des actions

Le système est capable de traduire les clics de souris du participant en 3 actions : prendre, déposer ou animer (animation préprogrammée). Les actions sont enregistrées au cours de la session. Le résultat de l'interprétation des clics de souris en actions, est envoyé pour 1) le contrôle des actions du participant et le contrôle de chronologie ; 2) le déroulement d'étape virtuelle ; 3) la réalisation des actions.

- Le contrôle des actions du participant et le contrôle de chronologie

Chaque étape est activée par une action initiale et désactivée par une action terminale. Le système vérifie comment se positionne l'action en cours grâce à un schéma (Figure 19).

- Déroulement d'une étape virtuelle

D'après l'interprétation des actions, le système compare les actions exécutées et la consigne pour décider si l'étape est arrivée à sa fin. Toutes les étapes de la tâche virtuelle fonctionnent selon une structure générique sous Virtools en trois phases (Figure 31) :

- **Initialisation de l'étape** : activation de l'étape dès que l'action initiale a été réalisée ; statut de l'étape mis à « Pas terminée » ; identification grâce à un compteur du nombre d'essais pour réaliser l'étape
- **Déroulement de l'étape** : traduction et réalisation des actions exécutées ; comparaison des actions exécutées et des actions attendues dans la consigne ; comparaison de la quantité avec le paramétrage de la consigne ; identification et interprétation des erreurs (ex. répétition) ainsi que de la chronologie (étape parallèle ou séquentielle).
- **Finalisation de l'étape** : enregistrement des données relative à l'étape (temps de réalisation de l'étape, distance parcouru pendant l'étape, actions exécutées, erreurs effectuées, positions de clics, ordre de réalisation, etc.) ; désactivation de l'étape dès que l'action terminale a été réalisée ; passage de son statut à « Terminée ».

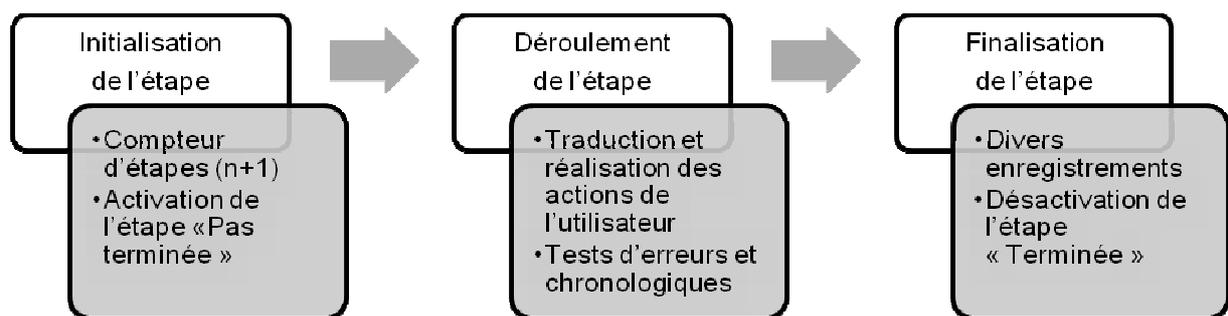


Figure 31 : Structure générique pour une étape virtuelle

Pour que le système connaisse le début et la fin de chaque étape, nous définissons les actions initiales (premières actions de l'étape) et les actions terminales (dernières actions de l'étape) sur chaque étape virtuelle (Annexe 5). Au niveau de la réalisation informatique, toutes les actions des trois tâches primitives sont écrites en Tableau 7 et toutes les étapes et actions de la

tâche « Faire un café » sont décrites en Tableau 10. Quatre images sur les étapes importantes de la tâche sont présentées : chercher l'eau au robinet (Figure 32), mesurer l'eau avec une jauge (Figure 33), chercher la tasse dans le tiroir (Figure 34), verser le café dans la tasse (Figure 35).



Figure 32 : Cherche de l'eau au robinet

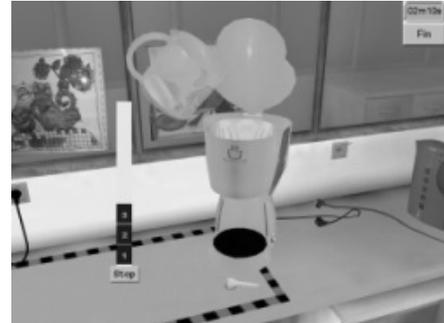


Figure 33 : Mesure de l'eau avec une jauge



Figure 34 : Recherche de la tasse



Figure 35 : Remplissage de la tasse de café

- Réalisation des actions

Le système effectue les actions (Prendre, déposer, animer) qui font suite aux clics souris du participant.

- Phase 3 : Gestion de la fin de la séance

Dès que la tâche est jugée « terminée » par le participant, il clique sur le bouton Fin sur l'écran pour sortir de la séance. Si le temps est dépassé, le système arrête la séance automatiquement même si la tâche n'est pas terminée. Ensuite, le système va afficher la page de fin pour indiquer le temps passé par le participant. Simultanément, les données expérimentales sont enregistrées dans des fichiers participants et les scripts sont désactivés.

III.3.4.2.3. Installation et enregistrement des données

Dans l'objectif de simplifier l'utilisation par le thérapeute, nous avons créé un programme d'installation « Kitchen Setup.exe ». Il permet d'installer l'outil TVK automatiquement. Une fois l'outil TVK est installé, toutes les données expérimentales seront sauvegardées dans quatre fichiers .txt. Le thérapeute peut sortir une liste historique (les actions exécutées par le patient), une grille d'évaluation (les erreurs du patient) et une liste d'étapes (l'ordre de réalisation des étapes et les aides reçues). Ces données serviront à faire un bilan par le thérapeute.

III.3.5. Evaluation du patient avec l'outil TVK

III.3.5.1. Virtualisation partielle de la grille d'évaluation

Pendant la phase de développement de la virtualisation de la grille d'évaluation (Annexe 2.1), nous avons rencontré des difficultés pour détecter certaines erreurs comportementales. Par exemple en cas d'inactivité, il est impossible de connaître les intentions de la personne. Nous avons décidé de virtualiser les erreurs selon trois cas :

- Cas 1 : détecter automatiquement 6 erreurs d'actions par le système (Omission d'actions, Actions non terminées, Persévérations, Erreurs de séquences, Addition d'actions, Erreur de contrôle)
- Cas 2 : détecter 4 erreurs comportementales avec l'aide du thérapeute (Repérage des erreurs, Prise de décision difficile, Dépendance, Non prise en compte de l'aide)
- Cas 3 : impossible de détecter 6 erreurs comportementales (apragmatisme, défaut d'initiative, distractibilité, adhérence, comportements dangereux, comportements non adaptés)

Les méthodes d'enregistrement des erreurs dans le cas 1 et le cas 2 sont décrites dans le Tableau 12. Nous n'avons pas encore virtualisé les 6 erreurs comportementales du cas 3, parce qu'elles ne sont pas très facilement identifiables (ex. Apragmatisme) ou parce qu'elles ne sont pas souvent notées dans la séance réelle.

N°	Erreurs	Définitions d'erreurs	Méthodes d'enregistrement
1	Omission d'actions	Oubli de faire une action	Automatique
2	Étapes non terminées	Commence une étape mais ne la finit pas	Automatique
3	Persévérations	Fait plusieurs fois la même action alors qu'une seule fois suffit	Automatique
4	Erreurs de séquences	Inverse l'ordre de réalisation des différentes actions	Automatique
5	Addition d'actions	Réalise des actions inutiles ou inappropriées	Automatique
6	Repérage des erreurs	Repère ses erreurs oralement	Thérapeute appuie "6"
7	Erreur de contrôle	Ne contrôle pas ses actions sur mesure	Automatique
8	Prise de décision difficile	Epreuve des difficultés pour prendre une décision	Thérapeute appuie "8"
9	Dépendance	Demande l'aide oralement au thérapeute	Thérapeute appuie "9"
9 bis	Dépendance	A eu l'aide (texte, son, icône et consigne)	Automatique
10	Non prise en compte de l'aide	Ne tient pas compte de l'aide apportée orale par le thérapeute	Thérapeute appuie "0"
10 bis	Non prise en compte de l'aide	Ne tient pas compte de l'aide apportée par le système	Automatique

Tableau 12 : Définitions des erreurs d'évaluation et méthodes d'enregistrement

III.3.5.2. Procédure d'évaluation dans l'outil TVK

Dans la tâche réelle, la procédure d'évaluation de l'activité du patient se déroule en 4 étapes (Figure 20). Dans la tâche virtuelle, la procédure d'évaluation respecte approximativement la procédure réelle. Elle se déroule en 4 étapes (Figure 36):

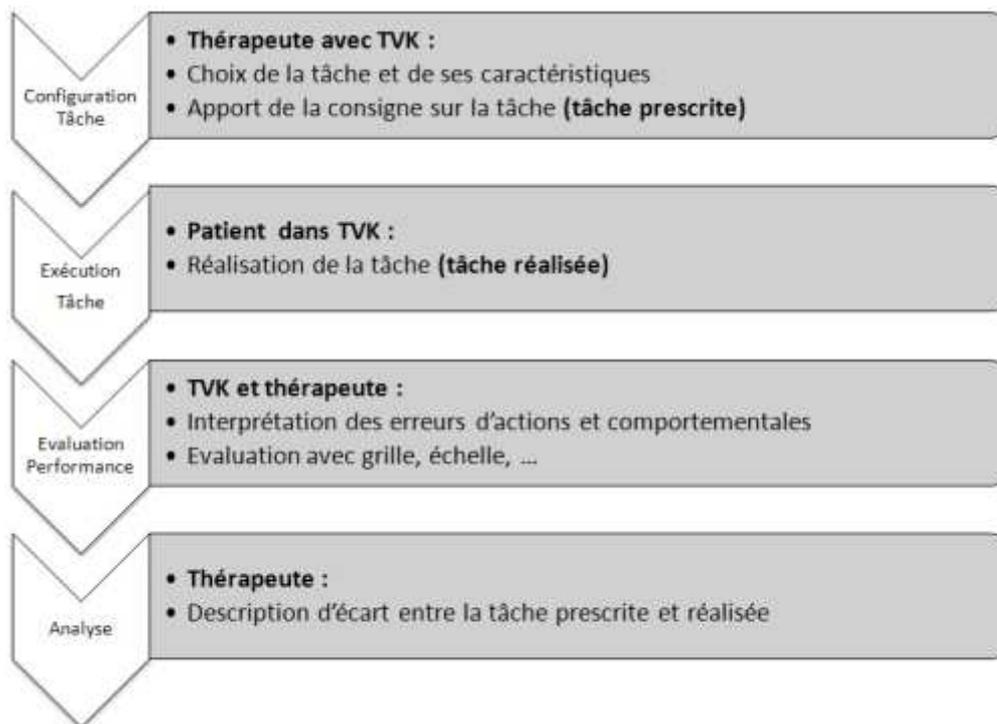


Figure 36 : Procédure d'évaluation de l'activité virtuelle du patient

- Etape 1 : Configuration de la tâche (Thérapeute avec TVK)

Le thérapeute commence par la création de la configuration de la tâche et l'entrée des données du patient avec l'interface de configuration. Il charge une configuration qui apparaît dans une liste ou choisi les différents paramètres pour créer une nouvelle configuration. Il est possible de sauvegarder les nouvelles configurations après chaque création. La consigne sera affichée sur l'écran au début de la séance pour le patient.

- Etape 2 : Exécution de la tâche (Patient)

Après que le patient a reçu la consigne visuelle sur l'écran, il exécute la tâche écologique dans l'EV selon le même processus que dans l'ER (Figure 21)

- Etape 3 : Evaluation de la performance du patient (TVK)

Pendant la réalisation de la tâche virtuelle par le patient, le système détecte les étapes de la tâche, détecte les erreurs effectuées par le patient et enregistre toutes les données. Actuellement, notre système ne peut pas détecter toutes les erreurs automatiquement. Le thérapeute doit appuyer sur des touches du clavier pour enregistrer quatre erreurs comportementales (Tableau 12).

- Etape 4 : Analyse (Thérapeute)

Grâce à la grille d'évaluation enregistrée avec les erreurs cotées et les données enregistrées sur la réalisation de la tâche, le thérapeute fait une synthèse sur la description d'écart entre la tâche virtuelle prescrite et réalisée.

III.4. Conclusion

Nous avons modélisé la cuisine de rééducation du centre de Kerpape et virtualisé une tâche écologique et thérapeutique « Préparation d'un café ». Dans le but de l'évaluation de la performance du patient, nous avons aussi virtualisé partiellement une grille d'évaluation utilisée dans la tâche réelle. Avant de virtualiser la tâche virtuelle, nous avons bien étudié le schéma sur la modélisation de la tâche (Figure 19) et l'ordre d'exécution (Tableau 5). Nous constatons que la tâche « préparation d'un café » est simple à réaliser pour les sujets sains. Mais elle est compliquée à modéliser et virtualiser parce qu'elle fait appel à différentes composantes des FE (résolution de problèmes, planification des étapes préparatoires, gestion du temps, vérification des résultats). Une centaine d'actions peuvent être exécutées en parallèle ou séquentiel.

Pour créer l'outil TVK, nous avons procédé comme suit :

- Choix d'un environnement de la vie quotidienne et des tâches écologiques
- Modélisation de l'environnement choisi
- Conception des tâches virtuelles au niveau de l'interaction, l'immersion et l'interfaçage.
- Virtualisation des tâches et des outils d'évaluation
- Enregistrement et analyse des données

Nous pouvons résumer quelques points relatifs à la conception et à la création de l'outil TVK.

1) Une méthode d'interaction dans un EV a été choisie « Attache-Souris » après un test de 4 propositions (Tableau 11). Les thérapeutes croient que cette méthode est plus facile et plus adaptable pour leurs patients cérébrolésés ; 2) Les petites icônes de curseur (Figure 26) ont été utilisées pour distinguer les différentes actions pour l'utilisateur (ex. ouvrir le robinet) ; 3) La structure générique pour une étape de la tâche virtuelle a été créée (Figure 31). Elle est utilisable pour la tâche de café. Elle pourra servir pour toutes d'autres tâches. Cependant, il faut bien définir les actions initiales et les actions terminales pour chaque étape. Dans la tâche

réelle, le thérapeute n'a pas besoin de définir les actions initiales et les actions terminales pour chaque étape. C'est donc un travail supplémentaire dans les applications virtuelles. Actuellement, nous pouvons dire que l'outil TVK fonctionne semi-automatiquement parce qu'il ne peut pas encore interpréter les erreurs comportementales du patient.

Dans le chapitre suivant, nous allons montrer trois expérimentations pour valider nos trois hypothèses. Nous n'aurons pas d'expérimentations pour valider les aides du système (aides manuelles et aides automatiques) parce qu'on n'envoie pas d'aides dans la séance d'évaluation.

Chapitre IV

EXPERIMENTATIONS

IV.1. Contexte et objectifs

Nos expérimentations ont été réalisées au sein du Centre Mutualiste de Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape en Bretagne (cf. § II.2.2). L'organisation et la réalisation des expérimentations ont été le fruit de notre collaboration étroite avec les thérapeutes du centre de Kerpape, et principalement la neuropsychologue Anne-Sophie Douguet.

Nos expérimentations avaient trois objectifs : 1) tester le fonctionnement de l'outil TVK auprès de sujets contrôles ; 2) valider la faisabilité de l'enregistrement des erreurs dans la grille d'évaluation virtuelle issue de celle utilisée à Kerpape ; 3) et tester l'outil TVK auprès de patients cérébrolésés. Trois expérimentations ont été construites pour tester la validité de

nos trois hypothèses : (H1) Il est possible de virtualiser une tâche de vie quotidienne ; (H2) Il est possible de virtualiser la grille d'évaluation utilisée dans la tâche réelle ; (H3) Les patients cérébrolésés sont aptes à réaliser une tâche de vie quotidienne et virtuelle.

IV.2. Expérimentation I : Test du fonctionnement de l'outil TVK auprès de sujets contrôles

L'objectif de notre première expérimentation est de tester le fonctionnement de l'outil TVK et la faisabilité des tâches primitives et de la tâche complexe « Préparation d'un café » auprès de sujets contrôles. Les aspects à évaluer après la séance d'expérimentation sont :

- L'intérêt du paramétrage de la tâche complexe par le thérapeute ;
- La facilité d'utilisation des matériels par les sujets contrôles ;
- La compréhension des tâches primitives et de la tâche complexe par les sujets contrôles.

IV.2.1. Méthodologie

IV.2.1.1. Participants

Notre échantillon est constitué de 13 sujets contrôles du Centre de rééducation de Kerpape (11 Femmes, 2 Hommes ; âge moyen : 39 ± 6 ans) (2 neuropsychologues, 3 ergothérapeutes, 1 médecins, 1 ergo-pédiatre, 2 kinésithérapeutes, 1 orthoptiste, 3 employés du centre), recrutés parmi le personnel du centre.

IV.2.1.2. Procédure expérimentale

Les 13 participants ont passé le test en deux séances : une séance de familiarisation et une séance d'expérimentation. De plus, trois thérapeutes ont testé l'interface de paramétrage de la tâche pour créer deux nouvelles configurations, une pour la séance de familiarisation, une pour la séance d'expérimentation. Les participants ont expérimenté l'outil TVK avec un clavier et une souris devant un écran d'ordinateur (Figure 37). Les touches inutiles du clavier

étaient cachées. Les participants ont été informés de l'usage des interfaces et la procédure de rappel de la consigne oralement et par écrit (Annexe 6).



Figure 37 : Environnement expérimental de l'outil TVK

Pendant la séance de familiarisation, chaque participant a expérimenté deux tâches primitives : « Prendre et Poser » et « Prendre et Remplir ». Dans la première tâche primitive, les objets à prendre (verre, couteau, cuillère, sucre) devaient être posés sur l'endroit choisi (table ou plan de travail). Dans la deuxième tâche primitive, il s'agissait de remplir d'eau un objet (verre, pot de cafetière, bouilloire). Le point de démarrage de la première tâche primitive, était la porte de la cuisine. Le point de fin de la première tâche primitive correspondait au point de démarrage de la deuxième tâche primitive (Figure 38).

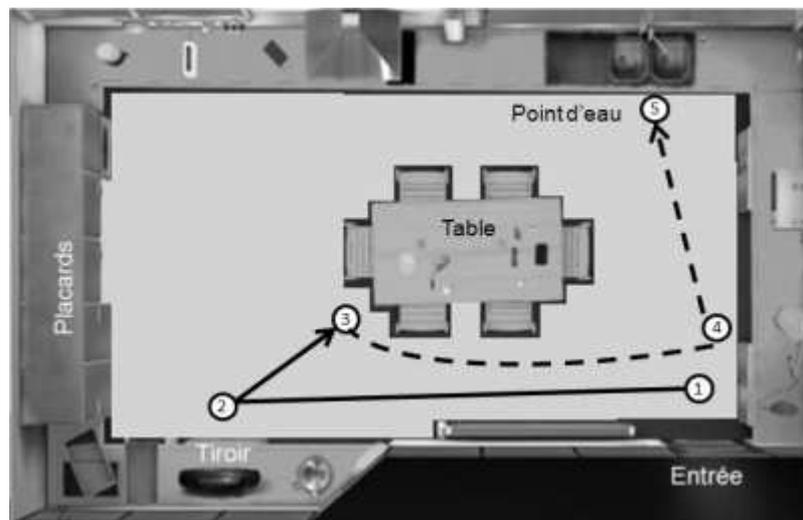


Figure 38 : Un exemple de trajectoire pour les deux tâches primitives

Tâche 1 « prendre une cuillère dans le tiroir et la poser sur la table »

(1 : point de démarrage ; 2 : point d'arrêt pour prendre une cuillère ; 3 : point de fin pour poser la cuillère sur la table)

Tâche 2 « prendre le pot de cafetière et le remplir d'eau »

(3 : point de démarrage ; 4 : point d'arrêt pour prendre le pot de la cafetière ; 5 : point de fin pour remplir d'eau au robinet)

Après la séance de familiarisation, tous les participants ont été soumis à la séance d'expérimentation pendant laquelle ils devaient réaliser une tâche complexe « Faire un café noir pendant 20 minutes ». La séance démarrait par la lecture de la consigne sur l'écran. Neuf configurations d'expérimentation ont été testées selon le nombre de cafés à préparer et la position initiale des objets essentiels à la tâche.

IV.2.1.3. Mesures

Les mesures effectuées proviennent 1) de l'enregistrement des actions effectuées par le participant pendant les tâches virtuelles ; 2) des questionnaires remplis par chaque participant après la réalisation des tâches.

L'outil TVK sauvegarde toutes les actions exécutées par le participant, le temps réalisé pour chaque action et chaque tâche, la position de tous les clics, l'ordre des étapes réalisées et les erreurs effectuées. Nous pourrions ainsi vérifier comment le participant a réalisé la tâche. Un questionnaire (Annexe 7) interroge les participants grâce à une échelle cotée de 1 à 5 (1 est le plus faible, 5 est le plus fort) sur :

- l'intérêt du paramétrage de la tâche complexe pour les thérapeutes (Q1 et Q2) ;
- les données insérées de patient (Q3) ;
- la facilité d'utilisation des matériels par les sujets contrôles (Q4) ;
- la compréhension des tâches primitives et de la tâche complexe par les sujets contrôles (Q5) ;
- la compréhension des petites icônes curseurs (prendre, verser, brancher, etc.) et du rappel de la consigne par les sujets contrôles (Q6) ;
- la facilité des moyens d'interaction (prendre, poser, animer) dans l'EV (Q7).

En fin du questionnaire, une question ouverte nous a permis de collecter d'éventuels remarques, questions ou conseils.

IV.2.1.4. Analyse des données

Nous proposons une analyse descriptive des données du fait que les 13 participants ont été répartis sur 8 configurations différentes afin de tester les différents paramètres de la tâche.

IV.2.2. Résultats expérimentaux

Les résultats concernant les 13 participants à l'expérimentation sont présentés en trois parties :
1) Résultats de la séance de familiarisation ; 2) Résultats de la séance d'expérimentation ; 3) Résultats relatifs au questionnaire.

IV.2.2.1. Résultats de la séance de familiarisation

Après une analyse des données, nous montrons les résultats en fonction de la tâche dans le Tableau 13. Les données de chaque participant sont détaillées dans le Tableau 26 situé en Annexe 8.

	Tâches primitives	Nombre de Participants	Âge moyen	Temps moyen (Minutes)	Valeurs extrêmes
Tâche primitive 1	Prendre un verre et le poser sur le plan de travail	3F	37 ± 10	1'04"±28"	[31" ; 1'21"]
	Prendre un couteau et le poser sur le plan de travail	1F	39	51"	
	Prendre une cuillère et la poser sur la table	3F, 2H	37 ± 5	1'42"±59"	[38" ; 2'47"]
	Prendre la boîte de sucre et la poser sur la table	4F	42 ± 6	1'43"±42"	[54" ; 2'19"]
Tâche primitive 2	Prendre un verre et le remplir d'eau	6F	39 ± 8	1'44"±1'06"	[40" ; 3'40"]
	Prendre la cafetière et la remplir d'eau	4F	40 ± 4	1'49"±24"	[1'13" ; 2'05"]
	Prendre la bouilloire et la remplir d'eau	1F, 2H	36 ± 6	1'22"±24"	[1'05" ; 1'50"]

Tableau 13 : Résultats relatifs aux tâches primitives dans l'expérimentation I

Les 13 participants ont réussi à réaliser les deux tâches primitives. Les résultats nous permettent d'estimer le temps moyen pour réaliser les tâches primitives auprès des sujets sains. Le temps utilisé pour réaliser la tâche primitive 1 « Prendre et Poser » est compris entre 31 secondes (participant N°3) et 2 minute 47 secondes (participant N°8), pour réaliser la tâche primitive 2 « Prendre et Remplir » le temps est compris entre 40 secondes (participant N°3) et 3 minutes 40 secondes (participant N°2). Après une observation des données (Tableau 26, situé en Annexe 8), nous avons trouvé que les lents dans la tâche primitive 1 sont les lents dans la tâche primitive 2, par exemple le participant N°8. Nous avons ainsi noté que les rapides dans les deux tâches primitives sont les mêmes, par exemple le participant N°3.

Dans la tâche primitive 2 «Prendre et Remplir», l'utilisateur est parti du point de fin de la tâche «Prendre et Poser», c'est-à-dire que l'utilisateur ne revient pas à la position initiale (porte de la cuisine) après la fin de chaque tâche primitive.

IV.2.2.2. Résultats de la séance d'expérimentation

Les 13 sujets contrôles ont tous réussi à effectuer la tâche complexe qui consistait à « Faire un café noir pendant 20 minutes ». Les configurations et les données expérimentales pour chaque participant sont présentées dans le Tableau 27 en Annexe 8. Parmi les 13 participants, 9 personnes ont omis l'étape 15 (débrancher la cafetière). Cela signifie que débrancher la cafetière n'est pas une action nécessaire selon l'habitude du patient comme en vie réelle. Par exemple au centre de Kerpape, il ne débranche jamais la cafetière. Éteindre la cafetière suffit.

Les sujets contrôles ont utilisé 8 configurations différentes. Nous avons effectué une analyse en fonction de la configuration. Les résultats sont présentés dans le Tableau 14. Par exemple pour la configuration 1 (2 tasses, 1 boîte de filtres et 1 paquet de café étaient mis sur la table), il a été demandé à deux participants de faire deux cafés noirs pendant 20 minutes. Ils devaient réaliser 13 étapes pour terminer la tâche complexe. Le temps moyen de réalisation de la tâche complexe est de 6 minutes 6 secondes. Un des deux participants n'a pas débranché la cafetière. Pour la configuration 2 (2 tasses étaient mises sur la table ; filtre et café étaient mis près de la cafetière), il a été demandé à deux participants de faire deux cafés noirs pendant 20 minutes. Ils devaient réaliser 11 étapes pour terminer la tâche complexe. Le temps moyen de réalisation de la tâche complexe est de 5 minutes 30 secondes. Les deux participants n'ont pas débranché la cafetière. Pour la configuration 3 (les objets étaient à chercher), il a été demandé à deux participants de faire deux cafés noirs pendant 20 minutes. Ils devaient réaliser 15 étapes pour terminer la tâche complexe. Le temps moyen de réalisation de la tâche complexe est de 10 minutes 41 secondes. Une personne n'a pas débranché la cafetière. Pour les configurations de 4 à 8, nous avons augmenté le niveau de difficulté en fonction du nombre de cafés (4 ou 6 cafés). Les paramètres restent les mêmes que dans les configurations de 1 à 3.

Config	Nombre de cafés	Position des objets	Nombre de participants	Temps (Minute)	Nombre d'étapes	Omission d'étapes
--------	-----------------	---------------------	------------------------	----------------	-----------------	-------------------

1	2	près de la cafetière	2F	5'30"	11	2 E15
2	2	sur la table	2F	6'06"	13	1 E15
3	2	à chercher	1F, 1H	10'41"	15	1 E15
4	4	sur la table	3F	8'35"	13	2 E15
5	4	à chercher	1F	9'46"	15	E12 et E15
6	6	près de la cafetière	1H	6'01"	11	E15
7	6	sur la table	1F	7'50"	13	E15
8	6	à chercher	1F	17'36"	15	-

**Tableau 14 : Les résultats sur la tâche complexe dans l'expérimentation I
en fonction de configuration**

En observant du temps dans le Tableau 14, nous avons bien vu que le changement du paramétrage permet de changer le niveau de difficulté. Par exemple :

- pour les configurations 1, 2 et 3 (préparer un café noir pour 2 personnes pendant 20 minutes), selon le changement de la position des objets (près de la cafetière, sur la table, à chercher) le temps est augmenté.
- Pour les configurations 2 et 4 (les objets essentiels pour faire un café sont situés sur la table), selon l'augmentation du nombre de café (de 2 à 4) le temps est augmenté.

IV.2.2.3. Résultats relatifs aux questionnaires

Après la séance de familiarisation et la séance d'expérimentation, les participants ont rempli un petit questionnaire (voir ce questionnaire en [Annexe 7](#)). Seuls les trois thérapeutes (participant N°1, N°2 et N°10) qui ont testé l'interface de création d'application ont pu répondre aux questions concernant l'intérêt du paramétrage de la tâche complexe (première partie du questionnaire). Les 13 participants ont répondu aux questions concernant la facilité d'utilisation des matériels et la compréhension des tâches (deuxième et troisième parties du questionnaire). Les réponses du questionnaire sont montrées dans le [Tableau 15](#).

Par.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
1	1	5	3	3		4	3

2		5	4	4	4	5	2
3				3	4	4	2
4				3	5	5	2
5				3	4	4	2
6				3	4	4	2
7				3	5	4	2
8				4	5	4	3
9				4	4	4	2
10	1	5	3	2	4	5	2
11				3	4	5	2
12				3	4	4	3
13				4	3	4	2
Moyenne	1	5	3,33±0,58	3,23±0,60	4,17±0,58	4,31±0,48	2,23±0,44
Médiane	1	5	3	3	4	4	2
Résultat	Pas difficile	Très utile	Moyennement suffisantes	Moyennement difficile	Compréhensibles	Compréhensibles	Peu difficiles

Tableau 15 : Réponses au questionnaire dans l'expérimentation I

Q1 : D'après vous, est-ce qu'il est difficile de créer une configuration avec l'interface actuelle ? (réponse de 1 : Pas difficile à 5 : Très difficile)

Q2 : D'après vous, est-ce que le paramétrage de la configuration est utile ? (réponse de 1 : Inutile à 5 : Très utile)

Q3 : D'après vous, est-ce que les données entrées pour le patient sont suffisantes ? (réponse de 1 : Insuffisante à 5 : Très suffisante)

Q4 : D'après vous, est-ce que l'utilisation des matériels est difficile ? (réponse de 1 : Pas difficile à 5 : Très difficile)

Q5 : D'après vous, est-ce que les tâches primitives et la tâche virtuelle « Faire un café » sont compréhensibles ? (réponse de 1 : Incompréhensibles à 5 : Très compréhensibles)

Q6 : D'après vous, est-ce que les petites icônes curseurs et le rappel de la consigne sont compréhensibles ? (réponse de 1 : Incompréhensibles à 5 : Très compréhensibles)

Q7 : D'après vous, est-ce que les moyens d'interaction (prendre, poser, animer) sont difficiles ? (réponse de 1 : Pas difficile à 5 : Très difficile)

Les résultats des réponses signifient que :

Q1 = 1 : Il n'est pas difficile de créer une configuration avec l'interface de configuration.

Q2 = 5 : le paramétrage de la configuration (choix de tâche, nombre de café, position d'objets, nature de café, temps imposé) est très utile.

Q3 = 3 : Les données entrées pour le patient sont moyennement suffisantes.

Q4 = 3 : L'utilisation des matériels est moyennement difficile.

Q5 = 4 : Les tâches primitives « Prendre » « Prendre et Poser » « Prendre et Remplir » et la tâche « Préparation d'un café » sont compréhensibles.

Q6 = 4 : Les petites icônes de curseur et le rappel de la consigne (appuyer Espace du clavier pour afficher la consigne et l'usage du clavier) sont compréhensibles.

Q7 = 2 : Les moyens d'interaction (déplacer, animer) sont un peu difficiles.

Certains participants ont émis des remarques intéressantes pour faciliter la compréhension des lieux et de l'immersion dans la tâche. Par exemple, deux personnes ont suggéré d'écrire en gros caractères sur les étiquettes des portes de placard et de tiroir. Une personne a noté l'absence d'odeur du café.

IV.2.3. Discussion et conclusion

IV.2.3.1. Discussion

Notre objectif lors de cette expérimentation était de tester le fonctionnement de l'outil TVK et la faisabilité des tâches primitives et de la tâche complexe « Préparation d'un café » auprès de sujets contrôles. Les résultats obtenus nous permettent d'évaluer les trois aspects que nous avons retenus : 1) L'intérêt du paramétrage de la tâche complexe par le thérapeute ; 2) La facilité d'utilisation des matériels par les sujets contrôles ; 3) La compréhension des tâches primitives et de la tâche complexe par les sujets contrôles.

- Sur l'intérêt du paramétrage de la tâche complexe pour le thérapeute

Les trois thérapeutes ont jugé facile la création d'une configuration avec l'interface actuelle. Nous pouvons conclure que ce n'est pas difficile de créer une application thérapeutique virtuelle avec l'interface de paramétrage. Le paramétrage de la configuration (tâche, position d'objets, nombre de café à faire, temps imposé) est utile et intéressant. Par contre, nous avons également observé une déficience : les données du patient dans l'interface de configuration ne sont pas assez suffisantes. Des thérapeutes ont proposé d'ajouter trois paramètres : délai post-traumatisme, habitude ou pas à utiliser l'ordinateur, habitude ou pas à faire un café.

- Sur la facilité d'utilisation des matériels pour les sujets contrôles

Les sujets contrôles ont eu plus ou moins de difficultés à agir sur les objets et à se déplacer. Nous pouvons remarquer que les interfaces classiques (clavier + souris) ne sont pas idéales même pour les sujets sains parce qu'elles représentent trop d'éléments à gérer. La recherche

des interfaces pour les applications virtuelles thérapeutiques ne concerne pas dans le cadre de cette thèse.

- Sur la compréhension des tâches primitives et de la tâche complexe pour les sujets contrôles

Il est possible de concevoir une tâche virtuelle écologique réalisable par des sujets sains parce que tous les participants ont réalisé les tâches demandées. Les petites icônes de curseurs et le rappel de la consigne permettent d'adapter la tâche virtuelle aux sujets contrôles. Certains thérapeutes ont répondu que la séance de familiarisation avec des tâches primitives est très importante. Elle sera utile pour leurs patients cérébrolésés. Nous sommes encouragés à continuer à développer d'autres tâches primitives, ex. mesurer le lait avec un verre, peser le farine avec un pèse-aliments, etc. Le thérapeute pourra traiter les patients gravement atteints avec ces tâches primitives. Elles permettront à ces patients de se réadapter aux tâches simples. Pour la tâche «Faire un café» l'étape 15 n'est pas nécessaire parce que 9 personnes sur 13 n'ont pas débranché la cafetière.

- Sur la difficulté des moyens d'interaction pour les sujets contrôles

Les moyens d'interaction (prendre, poser, animer) sont un peu difficiles pour les sujets contrôles. Cela suppose un apprentissage au préalable. Par exemple, participants ont estimé que pouvoir effectuer deux actions sur un objet est perturbant. En effet, deux icônes s'affichent : prendre la tasse dans le tiroir ou verser le café dans cette tasse. La solution consisterait à réaliser une seule action à un seul moment : soit prendre soit verser. Cela rend la tâche moins écologique car elle est faite virtuellement avec des interactions qui ne sont pas intuitives pour les patients non familiarisés avec l'informatique ordinaire.

Après l'expérimentation I, nous avons découvert des points d'amélioration. Dans la séance de familiarisation, il faut initialiser le système après avoir terminé chaque tâche primitive : l'utilisateur revient au point de démarrage (devant la porte d'entrée) ; il faut remettre les objets à la position initiale. Dans la séance d'expérimentation, la façon de sortir de la séance n'était pas bonne. Deux propositions étaient faites : 1) fin du temps imparti (p.ex. au bout de 20 minutes) ou fin de l'exécution de la dernière étape de la tâche par le participant. 2)

termination par le patient en appuyant sur le bouton FIN sur l'écran ou par le thérapeute en appuyant sur la composante Ctrl+Entrée.

IV.2.3.2. Conclusion

D'après les résultats expérimentaux et les réponses du questionnaire, nous pouvons valider l'utilisabilité et le fonctionnement de l'outil TVK auprès de sujets contrôles. Cette expérimentation a également mis en évidence des points à améliorer sur le fonctionnement de l'outil, la conception de la tâche, l'enregistrement des erreurs, etc.

IV.3. Expérimentation II : Validation de la grille d'évaluation virtuelle de l'outil TVK

L'objectif de cette deuxième expérimentation est de valider notre deuxième hypothèse dans laquelle nous postulons qu'il est possible de virtualiser la grille d'évaluation utilisée dans la tâche réelle au centre de Kerpape. Cette validation est réalisée dans la tâche virtuelle « Préparation d'un café ».

IV.3.1. Grille d'évaluation

Au centre de Kerpape, les thérapeutes utilisent une tâche écologique « Préparation d'un café » avec une grille pour évaluer et rééduquer des patients dans une cuisine. Cette grille d'évaluation (voir en Annexe 2.1) a été créée et proposée par Anne-Sophie DOUGUET (une neuropsychologue à Kerpape). Elle a validée cette grille dans son master recherche à l'université d'Angers (Jouadé, 2003). Actuellement cette grille d'évaluation est utilisée seulement au centre de Kerpape.

Nous avons virtualisé les dix premières erreurs de la grille réelle (cf. § III.3.5.1) : 6 erreurs d'actions (Omission d'actions, Etape non terminée, Persévération, Erreurs de séquences, Additions d'actions, Erreur de contrôle,) et 4 erreurs comportementales [Dépendance (appel de la consigne dans cette expérimentation), Repérage des erreurs, Prise de décision difficile, Non prise en compte de l'aide]. Les 7 erreurs d'actions peuvent être détectées et enregistrées

automatiquement dans une grille virtuelle. Les 3 erreurs comportement peuvent être détectées avec l'aide de thérapeute. C'est-à-dire que le thérapeute détecte une erreur et appuie sur une touche du clavier pour l'enregistrer.

IV.3.2. Méthodologie

IV.3.2.1. Participants

Notre échantillon est constitué de 3 personnes du laboratoire : deux « novices » qui ne connaissaient pas l'outil TVK, et une « experte », qui la connaît parfaitement.

IV.3.2.2. Procédure expérimentale

Les novices ont passé le test en deux séances : une séance de familiarisation et une séance d'expérimentation. L'experte n'a passé que la séance d'expérimentation. Les participants ont expérimenté l'outil TVK avec un clavier et une souris devant un écran d'ordinateur. Les participants ont été informés de l'usage des interfaces et de la façon de rappeler la consigne oralement et par écrit (voir Annexe 6).

Dans la séance de familiarisation, chaque participant a expérimenté quelques tâches primitives « Prendre et Poser » et « Prendre et Remplir » pour connaître l'outil TVK. Dès que le participant s'est senti prêt, nous avons démarré la séance d'expérimentation.

Dans la séance d'expérimentation, chaque participant a expérimenté plusieurs fois la même tâche « Préparer un café noir pour 4 personnes en 20 minutes », les objets de la tâche se situant sur la table. Avant chaque démarrage, les participants étaient avertis des erreurs qu'ils devraient commettre.

Nous avons ainsi planifié 21 tests, soit en fonction de différentes erreurs [Omission d'actions (4 tests), Etape non terminée (2 tests), Persévérance (2 tests), Erreur de séquence (3 tests), Addition d'actions (3 tests), Erreur de contrôle (2 tests), Dépendance (2 tests)], soit en fonction de différents ordres dans les étapes (3 tests).

Pour chaque test, nous avons donc préparé une grille prévisionnelle avec les erreurs prévues. Après l'expérimentation, nous avons comparé cette grille prévisionnelle avec la grille d'évaluation virtuelle enregistrée par le système. Dans cette expérimentation, nous n'avons pas testé les erreurs comportementales parce qu'elles sont détectées par le thérapeute.

IV.3.2.3. Mesures

Dans chaque test, les erreurs effectuées par le participant sont enregistrées dans la grille d'évaluation virtuelle qui indique, en fonction des catégories d'erreurs, le nombre d'erreurs commises et l'étape concernée (voir exemplaire en Annexe 9). Rappelons que l'outil TVK sauvegarde aussi toutes les actions exécutées, le temps passé, la position de clics et l'ordre des étapes réalisées.

IV.3.2.4. Analyse des données

Une analyse comparative des résultats est proposée pour visualiser les erreurs enregistrées et pour identifier les mauvais enregistrements dans la grille virtuelle. Nous avons ainsi accès aux paramètres suivants : nombre d'erreurs prévues, nombre d'erreurs enregistrées, et nombre d'erreurs mal positionnées. Un exemple de cette analyse comparative est présenté dans la Figure 39 .

Grille prévisionnelle		Grille virtualisée	
	Etapes (1-16)		Etapes (1-16)
Erreurs	Er1	Er1	
			Er2
		Er3	Er3
		Er4	

Figure 39 : Comparaison de la grille prévisionnelle et de la grille virtualisée

Nous avons planifié 4 erreurs dans la grille prévisionnelle. Le système a enregistré 3 erreurs dans la grille virtuelle. Le nombre d'erreurs mal enregistrées est 2. Une fois cette analyse des données réalisée, nous avons besoin de comprendre pourquoi l'erreur 3 est mal positionnée et pourquoi l'erreur 4 n'est pas enregistrée. Les résultats de cette analyse nous permettront de corriger et valider la grille d'évaluation virtuelle.

IV.3.3. Résultats expérimentaux

Le Tableau 16 rassemble les résultats enregistrés dans les 21 grilles d'évaluation virtuelle. Dans ce tableau, nous listons le nombre d'erreurs prévues (P) et le nombre d'erreurs enregistrées (E) en fonction du type d'erreur et de l'étape. Nous allons maintenant examiner ces résultats en fonction du type d'erreur considéré et du cumul des erreurs sur les 21 tests.

N°	Etape	Omission d'actions		Etapas non terminées		Persévération		Erreurs de séquence		Additions d'actions		Erreurs de contrôle		Dépendance	
		P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E
E1	Prendre de l'eau			1	1	2	3			3	5			1	1
E2	Mesurer l'eau dans la réserve de la cafetière	1	1			1	1			2	2	3	3		
E3	Chercher la boîte de filtres	4	6							3	4				
E4	Mettre le filtre dans la cafetière	4	4					0	2			4	4		
E5	Prendre le paquet de café	5	5												
E6	Mettre du café dans le filtre	5	5					2	2			2	2	1	1
E7	Remettre les éléments de la cafetière en place	2	2			6	6								
E8	Brancher la cafetière	3	3			2	2								
E9	Allumer la cafetière	3	3			3	3	7	9	1	1				
E10	Attendre que le café passe	3	3	2	2	3	3								
E11	Prendre des tasses														
E12	Prendre des petites cuillères														
E13	Prendre du sucre														
E14	Eteindre la cafetière	13	13												
E15	Débrancher la cafetière	17	17			2	2	3	3						
E16	Verser le café dans la tasse	12	12	1	1							2	2		
	Nombre d'erreurs	72	74	4	4	19	20	12	16	9	12	11	11	2	2
	Nombre de mauvais enregistrement		2				1		4		3				

Tableau 16 : Comparaison des erreurs prévues (P) et des erreurs enregistrées (E) dans la grille virtuelle

Nous avons planifié 129 erreurs décrites dans le Tableau 16 en 7 catégories d'erreurs et réparties sur les 21 tests. Le système a coté 139 erreurs. Il a mal enregistré plus de 10 erreurs.

Grâce à ces résultats, nous pouvons valider 3 erreurs dans la grille virtuelle : Etapes non terminées, Erreurs de contrôles et Dépendances. Il reste encore 4 erreurs (Omission d'actions, Persévération, Erreurs de séquences et Additions d'actions) à corriger selon les résultats.

Sur les erreurs « Etapes non terminées, Erreurs de contrôle, Dépendance »

Le nombre d'erreurs prévues égale bien le nombre d'erreurs enregistrées. Ceci valide notre procédure de détection et d'enregistrement de ce type d'erreurs.

Sur les erreurs « Omission d'actions, Persévération, Erreurs de séquences, Additions d'actions »

Le système a enregistré 10 erreurs en plus : 2 omissions d'actions, 1 persévération, 4 erreurs de séquence et 3 additions d'actions. Après une comparaison, nous avons trouvé deux raisons sur les mauvais enregistrements :

- les erreurs sont reliées à la consigne. Par exemple, un participant a pris la boîte de filtres dans le placard au lieu de prendre celle déposée sur la table. A cause de cette action, le système a enregistré une omission d'actions sur l'étape (mettre le filtre), une « Addition d'actions » et 2 « Erreurs de séquences ».
- Ouvrir et fermer la porte de micro-ondes, de four, de réfrigérateur (les objets non nécessaires) ou brancher et débrancher la bouilloire sont détectés comme une erreur « addition d'actions ». En ce moment là, le système a enregistré deux « additions d'actions ».

IV.3.4. Discussion et conclusion

IV.3.4.1. Discussion

Il est à noter que notre grille virtuelle repose sur la grille réelle utilisée par les thérapeutes du Centre de rééducation de Kerpape. Elle a été construite lors du master recherche de A.S Douguet. Elle est une pratique locale, qui peut être critiquée par d'autres thérapeutes. Dans le domaine de l'évaluation cognitive, il existe d'autres méthodes (Zhang et al, 2001; Baguena et al, 2006) sur le codage des erreurs lors de la réalisation d'une tâche écologique. Cette méthode de codage des erreurs avec la grille est aussi subjective. En effet, deux thérapeutes peuvent aboutir à un remplissage différent pendant une même séance d'évaluation avec un

patient. On a une difficulté d'évaluer de façon objective l'activité et la performance d'un patient lors d'une AVQ. Par exemple de cette difficulté d'évaluation en situation réelle, prenons le cas d'un patient auquel il est demandé de préparer un café pour 4 personnes mais qui finalement met 2 cuillères de café au lieu de 4. Différentes approches de cotation de cette erreur peuvent être envisagées : « Erreur de contrôle », ou « Etape non terminée », ou même les deux. Actuellement, dans l'outil TVK, si le patient a bien allumé la cafetière après, nous détectons une « Erreur de contrôle ». S'il ne veut pas allumer la cafetière, s'il reste sans rien faire, nous détectons une « Erreur de contrôle » et une « Etape non terminée ». Dans la grille d'évaluation réelle, il manque une précision des informations. En informatique, on est obligé d'entrer dans le détail des successions d'action, ce qui ne se fait pas avec la grille réelle. Pour identifier le même codage dans l'outil TVK, nous avons défini les actions initiales et les actions terminales dans chaque étape virtuelle (Annexe 5).

Pendant une séance d'évaluation ou de rééducation réelle, le thérapeute peut interroger ou apporter une aide pendant ou après la séance. Par exemple : dans une séance d'évaluation réelle, un patient est demandé de préparer un café pour 4 personnes. S'il oublie de mettre le filtre dans la cafetière, certains ergothérapeutes interrogent tout de suite le patient : "Avez-vous oublié de faire quelque chose avant mettre le café ? ". La neuropsychologue qui travaille avec nous n'intervient pas. Elle laisse le patient continuer jusqu'au bout. Pour donner toute la possibilité sur les aides, nous avons ajouté un paramètre sur les aides dans l'outil TVK. Il permet au thérapeute de choisir quand et comment apporter des aides (manuellement ou automatiquement).

Notre travail consistait à virtualiser partiellement la grille d'évaluation utilisée au centre de Kerpape. C'est une pratique locale. Il y a une diversité des usages de la grille en fonction des thérapeutes. Tout le monde ne procède pas de façon identique. Nous respectons l'interprétation des erreurs de la plupart de thérapeutes du centre de Kerpape. Finalement, nous avons réussi à virtualiser partiellement la grille d'évaluation. En perspective, nous travaillerons sur la capture de l'activité comportementale.

IV.3.4.2. Conclusion

Le système a enregistré 100% d'erreurs prévues (129 erreurs dans 21 tests). Cela nous permet de valider le fonctionnement de la grille d'évaluation virtuelle. Grâce à cette expérimentation, nous avons découvert les problèmes ou contraintes du système. Cela nous permet aussi d'améliorer la grille virtuelle dans l'outil TVK. Après avoir retravaillé sur la grille virtuelle, nous avons validé cette grille d'évaluation virtuelle.

IV.4. Expérimentation III : Test de l'outil TVK chez auprès de patients cérébrolésés

Après la validation du fonctionnement de l'outil thérapeutique TVK dans la première expérimentation et de la grille d'évaluation avec une tâche écologique virtuelle dans la deuxième expérimentation, nous voudrions tester notre outil auprès des patients. Dans cette expérimentation, nous validerons notre troisième hypothèse : Les patients cérébrolésés sont aptes à réaliser une tâche de vie quotidienne et virtuelle. L'objectif de l'expérimentation est de tester l'outil thérapeutique TVK dans une tâche virtuelle écologique « Préparation d'un café » chez des patients cérébrolésés. Il s'agit de comprendre si l'outil TVK est adapté et si la tâche écologique est compréhensible et réalisable pour les patients cérébrolésés. Les aspects à évaluer après la séance d'expérimentation sont :

- La facilité d'utilisation des matériels par les patients cérébrolésés
- La compréhension et la réalisation des tâches primitives et de la tâche virtuelle par patients cérébrolésés
- La faisabilité de la grille d'évaluation avec la tâche écologique dans l'outil TVK

IV.4.1. Méthodologie

IV.4.1.1. Participants

Les participants à notre étude sont sept patients du centre de Kerpape, ayant subi un TC ou un AVC (3 Femmes, 4 Hommes ; âge moyen : 34 ± 17 ans). Quatre patients sur 7 ont une bonne expérience des jeux vidéo. Les patients ont été sélectionnés en fonction des critères d'inclusion et d'exclusion présentés dans le Tableau 17.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
<ul style="list-style-type: none">- sujets victimes d'AVC ou de TC- âgés de plus de 18 ans- francophones- ayant une maîtrise de la langue suffisante pour lire et comprendre des consignes de quelques mots- vus au-delà du premier mois suivant l'installation du déficit cérébral- inclus dans un délai maximum de 24 mois suivant l'atteinte cérébrale- présentant une altération des FE objectivée par au moins deux performances déficitaires aux sept indices de la batterie GREFEX (Groupe de Réflexion sur l'Evaluation des FE) (Godefroy et al, 2004)- en l'absence de troubles perceptifs visuels interdisant l'utilisation du support TVK (Batterie de Décision Visuelle d'Objets BDVO = score global à la BDVO > 67/76)- avec une compréhension résiduelle et des capacités cognitives permettant le consentement et les tests d'évaluation.	<ul style="list-style-type: none">- trouble de la vigilance- état démentiel- analphabétisme- antécédents psychiatriques ayant nécessité une hospitalisation en milieu spécialisé de plus de deux mois- troubles perceptifs, agnosie visuelle ne permettant pas d'utiliser le support d'images- critères d'épilepsie clinique dans les 6 mois précédant l'inclusion- utilisation préalable à l'inclusion d'un support de rééducation cognitive utilisant la RV- grossesse, allaitement- inclusion simultanée dans un autre protocole thérapeutique- patients ayant réalisé la tâche du café en situation réelle dans la cuisine thérapeutique avant l'inclusion dans le protocole de TVK

Tableau 17 : Critères d'inclusion et d'exclusion des patients

IV.4.1.2. Procédure expérimentale

La préparation des configurations par le thérapeute

Avant de commencer le test avec les patients, une configuration de la séance de familiarisation et une configuration de la séance d'expérimentation ont été réalisées en collaboration avec tous les thérapeutes de Kerpape qui sont intervenus. Chaque patient expérimente pendant 2 séances, l'une de familiarisation (avec les tâches primitives) et l'autre d'expérimentation (avec la tâche complexe). Le délai entre les deux séances a été variables (de nul à 6 jours). Les 7 patients ont expérimenté les mêmes tâches.

La procédure expérimentale

Les 7 patients passent le test en trois phases : séance de familiarisation, séance d'expérimentation et remplissage d'un questionnaire. Les patients se situent dans le même environnement et utilisent le même matériel que l'expérimentation I (Figure 37) : ils réalisent les tâches choisies dans l'outil TVK avec un clavier et une souris devant un écran d'ordinateur ; les touches inutilisables du clavier sont cachées. Les patients sont informés de l'usage des interfaces et de la façon de rappeler la consigne oralement et par écrit (Annexe 6).

Séance de familiarisation

- Le thérapeute lit la « Note d'information au patient pour un test de tâches dans la cuisine virtuelle TVK » (Annexe 10) pour le patient.
- Le patient signe le « Formulaire écrit du consentement de participation pour un test de tâches dans la cuisine virtuelle TVK » (Annexe 11).
- Le thérapeute télécharge la configuration créée avec l'interface de configuration.
- Le patient réalise neuf tâches primitives choisies par le thérapeute (3 tâches : Prendre un objet ; 3 tâches : Prendre un objet et le poser sur un endroit ; 3 tâches : Prendre un objet et le remplir d'eau). Le point de démarrage est devant la porte d'entrée. Chaque fois le patient revient au point de démarrage (Figure 40).

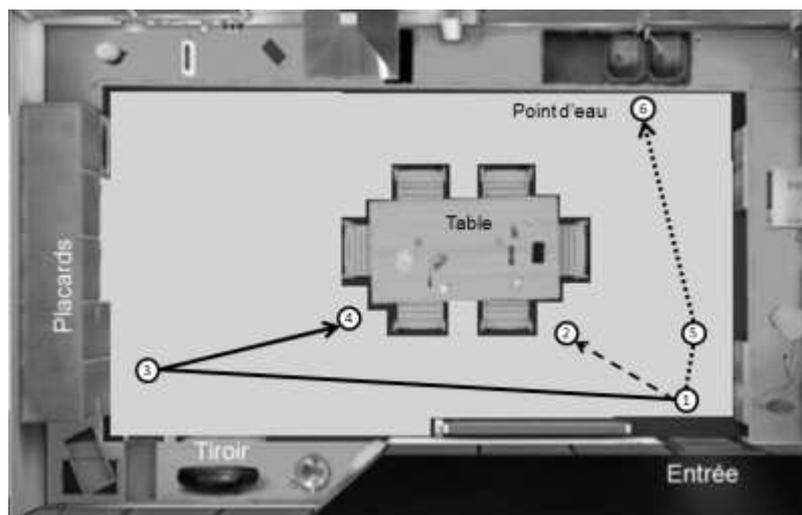


Figure 40 : Un exemple de la trajectoire de trois tâches primitives

Tâche P1 « Prendre un couteau sur la table »

(1 : point de démarrage 2 : point de fin pour prendre le couteau)

Tâche PP1 « Prendre la bouteille de lait dans le placard et la poser sur la table » (1 : point de démarrage 3 : point d'arrêt pour prendre le lait dans le placard 4 : point de fin pour la poser sur la table)

Tâche PR1 « Prendre le pot verseur de la cafetière sur le plan de travail et le remplir d'eau »

(1 : point de démarrage 5 : point d'arrêt pour prendre le pot 6 : point de fin pour remplir d'eau)

La durée estimée est de 50 minutes : 10 minutes d'explication par le thérapeute, 40 minutes prévues pour la réalisation des tâches primitives. La pause entre chaque tâche primitive est facultative.

Séance d'expérimentation :

La séance d'expérimentation se déroule en deux phases : Rappel de familiarisation et Expérimentation de la tâche complexe

- Rappel de familiarisation :
 - o Le thérapeute télécharge la configuration créée avec l'interface de configuration.
 - o Le patient réalise trois tâches primitives choisies par le thérapeute (Prendre une tasse, Prendre la bouteille du lait et la poser sur la table, Prendre le pot verseur de cafetière et le remplir d'eau).
- Expérimentation de la tâche complexe
 - o Le thérapeute télécharge la configuration créée avec l'interface de configuration.
 - o Le patient expérimente la tâche complexe dans l'outil TVK. La consigne de la tâche complexe est affichée sur l'écran d'ordinateur «*Vous avez 20 minutes*

pour préparer un café noir pour 3 personnes dans la cuisine. A la fin, vous servez le café sur la table et cliquez sur FIN». En même temps, le thérapeute remplit une grille d'évaluation sur papier.

La durée estimée est de 50 minutes : 15 minutes pour le rappel de familiarisation, 20 minutes prévues pour la réalisation de la tâche complexe, 15 minutes pour le remplissage du questionnaire. La pause est toujours facultative.

Remplissage d'un questionnaire :

Après la séance de familiarisation et la séance d'expérimentation, les patients remplissent un petit questionnaire de 7 questions par écrit ou oralement (voir ce questionnaire en Annexe 12).

IV.4.1.3. Mesures

Les mesures effectuées proviennent 1) de l'enregistrement des actions exécutées et des erreurs effectuées par le patient pendant les tâches en EV ; 2) des questionnaires remplis par chaque patient après la réalisation des tâches. Nous faisons les mêmes enregistrements et mesures que l'expérimentation I (cf. § IV.2.1.3) : actions exécutées, le temps d'exécution pour chaque action et chaque étape, la position de clics, l'ordre des étapes réalisées et les erreurs.

Le questionnaire (Annexe 12) interroge les patients grâce à une échelle cotée de 1 à 5 (1 est le plus faible, 5 est le plus fort) sur :

- la satisfaction de l'outil TVK pour les patients cérébrolésés (Q1)
- la facilité d'utilisation des matériels et des moyens d'interaction (prendre, poser, animer) dans l'EV pour les patients cérébrolésés (Q2)
- la nécessité de la séance de familiarisation pour les patients cérébrolésés (Q3)
- l'utilisabilité de la tâche écologique « Préparation d'un café » en vie quotidienne (Q4)
- la compréhension des petites icônes curseurs pour les patients cérébrolésés (Q5)
- la connaissance des jeux vidéo (Q6)
- la possibilité de continuer à participer à des études suivantes (Q7)

IV.4.1.4. Analyse des données

Les patients devaient réaliser les mêmes tâches (12 tâches primitives et une tâche complexe). Cela nous a permis de faire une analyse descriptive des données expérimentales. Dans la phase “Rappel de familiarisation” de la séance d’expérimentation, nous avons demandé aux patients de refaire une fois trois tâches primitives (Prendre une tasse, Prendre la bouteille de lait et la poser sur la table, Prendre le pot verseur et le remplir d’eau). Nous calculons la performance du patient avec une répétition de ces trois tâches primitives en fonction du temps et du nombre d’erreurs effectuées.

IV.4.2. Résultats expérimentaux

Nous avons récupéré les données expérimentales enregistrées et fait une analyse statistique. Les résultats seront présentés en trois parties : 1) Résultats relatifs aux tâches primitives dans la séance de familiarisation et du rappel de la familiarisation ; 2) Résultats relatifs aux tâches complexes dans la séance d’expérimentation ; 3) Résultats relatifs aux questionnaires.

IV.4.2.1. Résultats relatifs aux tâches primitives

Les sept patients ont expérimenté avec quatre thérapeutes différents au centre de rééducation Kerpape durant l’année 2009. Nos résultats de la séance de familiarisation et du rappel de la familiarisation concernent 12 tâches primitives qui sont montrés en Annexe 13 (voir le protocole dans le Tableau 18). Les thérapeutes ont demandé aux patients de réaliser des tâches primitives (de 8 à 12 selon les patients). Six patients ont réalisé entièrement les tâches demandées par le thérapeute. Un patient a réalisé 9 tâches primitives sur 12.

N°	Âge	Sexe	Pathologie	Séance de familiarisation									Rappel de la familiarisation			Nombre de tâches	Taux de réalisation (%)	
				Prendre			Prendre et Poser			Prendre et Remplir			3 tâches primitives					
				P1	P2	P3	PP1	PP2	PP3	PR1	PR2	PR3	P2	PP1	PR1			
1	20	F	TC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100
2	19	H	TC	1	1	1	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	9	100
3	48	F	méningo-encéphalite	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100
4	23	F	AVC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100
5	55	H	TC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100
6	21	H	TC	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	8	100
7	54	H	AVC	1	1	1	1	Pas	Pas	1	Pas	1	1	1	1	1	12	75

Tableau 18 : Réalisation des tâches primitives dans l'expérimentation III

"1" signifie que le patient a réalisé la tâche primitive.

"-" signifie que la tâche primitive n'a pas été demandée par le thérapeute.

"pas" signifie que le patient n'a pas réalisé la tâche primitive demandée par le thérapeute.

P1: Prendre un couteau sur la table

P2 : Prendre une tasse dans le tiroir

P3 : Prendre la boîte de sucre dans le placard

PP1 : Prendre la bouteille de lait dans le placard ou dans le réfrigérateur et la poser sur la table

PP2 : Prendre une cuillère dans le tiroir et la poser sur le plan de travail

PP3 : Prendre un verre dans le tiroir et le poser sur la table

PR1 : Prendre le pot verseur de la cafetière sur le plan de travail et le remplir d'eau

PR2 : Prendre un verre dans le tiroir et le remplir d'eau

PR3 : Prendre la bouilloire sur le plan de travail et la remplir d'eau

Une analyse descriptive a été faite sur le temps d'exécution des tâches. D'abord, nous montrons les résultats en fonctions de la tâche primitive dans la séance de familiarisation (Tableau 19).

- Le temps moyen d'exécution de la tâche primitive « Prendre un objet dans la cuisine virtuelle » est compris entre 54 secondes ($\pm 49''$) et 1 minutes 52 secondes ($\pm 1'38''$) ; le temps moyen pour « Prendre un objet et le poser sur un endroit » est compris entre 1 minute 17 secondes ($\pm 50''$) et 1 minute 34 secondes ($\pm 46''$) ; le temps moyen pour « Prendre un objet et le remplir d'eau au robinet » est compris entre 1 minute 58 secondes ($\pm 1'16''$) et 2 minutes 12 secondes ($\pm 1'27''$).
- Ils ont effectué 1 erreur (pris un mauvais objet) dans les tâches primitives « Prendre » ; 4 erreurs (3 déposé un objet sur un mauvais endroit, 1 rappel de la consigne) dans les tâches primitives « Prendre et Poser » ; 4 erreurs (2 dépose un objet sur un mauvais

endroit, 1 rappel de la consigne, 1 persévération) dans les tâches primitives « Prendre et Remplir ».

Tâches primitives	P1	P2	P3	PP1	PP2	PP3	PR1	PR2	PR3
Temps moyen (minute)	54"±49"	1'52"±1'38"	52"±44"	1'34"±46"	1'17"±50"	1'23"±45"	1'58"±1'16"	2'12"±1'27"	1'32"±36"
Extrême valeurs et identification patient	[P2: 5" ; P7: 2'18"]	[P1: 20" ; P6: 4'26"]	[P6: 14" ; P4: 2'12"]	[P6: 30" ; P7: 2'20"]	[P6 : 19" ; P3: 2']	[P6: 31" ; P3: 2'19"]	[P2: 31" ; P3: 3'55"]	[P2: 45" ; P3: 4'28"]	[P2: 45" ; P3: 2'10"]
Temps Médiane (minute)	38"	1'15"	30"	1'48"	1'42"	1'30"	1'57"	1'57"	1'44"
Nombre de participants	7	7	7	6	5	5	7	6	6
Nombre d'erreurs	0	1	0	1	2	1	1	2	1
Explications d'erreurs		P3 a pris un verre au lieu d'une tasse.		P4 a déposé la bouteille de lait sur le plan de travail au lieu de la table.	- P1 a rappelé une fois de la consigne - P1 a déposé la cuillère sur la table au lieu du plan de travail	P1 a essayé de poser le verre sur le plan de travail au lieu de la table	P1 a rappelé une fois la consigne.	- P3 a essayé de poser le verre sur la - P6 a repris et posé plusieurs fois d'un verre	P5 a essayé de mettre la bouilloire sur le plan de travail au lieu du fond de l'évier.

Tableau 19 : Résultats des tâches primitives de la séance de familiarisation dans l'expérimentation III

Après l'analyse des tâches primitives dans la séance de familiarisation, nous avons analysé les 3 tâches primitives rappelées (P2 : Prendre une tasse ; PP1 : Prendre la bouteille du lait et la poser sur la table ; PR1 : Prendre le pot verseur et le remplir d'eau) dans la séance d'expérimentation avant de réaliser la tâche complexe. Ces résultats nous permettront de connaître les performances du patient avec une répétition des 3 tâches primitives (Tableau 20).

- Au niveau du temps, les patients ont gagné 30 secondes pour « Prendre une tasse » ; 36 secondes pour « Prendre la bouteille du lait et la poser sur la table » ; 2 secondes pour « Prendre le pot verseur et le remplir d'eau au robinet ».
- Au niveau des erreurs, tous les patients ont progressé dans le rappel de familiarisation. Ils n'ont fait aucune erreur comme dans la séance de familiarisation. Seul, un patient a ouvert et fermé une fois la porte du lave-vaisselle pendant la réalisation de la tâche.

Séance	Familiarisation			Rappel Familiarisation		
Tâches primitives	P2	PP1	PR1	P2	PP1	PR1
Temps moyen (minute)	1'52"±1'38"	1'34"±46"	1'58"±1'16"	1'32"±57"↓	58"±41"↓	1'56"±1'2↓
Extrême valeurs et identification patient	[P1: 20" ; P6: 4'26"]	[P6: 30" ; P7: 2'20"]	[P2: 31" ; P3: 3'55"]	[P1: 17" ; P3: 2'16"]	[P2: 14" ; P5: 2']	[P2 : 28" ; P7: 4'10"]
Nombre de patients	7	6	7	6	6	6
Nombre d'erreurs	1	1	1	0	1	0
Explications d'erreurs	P3 a pris un verre au lieu d'une tasse.	P4 a déposé la bouteille de lait sur le plan de travail au lieu de la table.	P1 a rappelé une fois la consigne.		P5 a ajouté une action (ouvert et fermé le lave-vaisselle)	

* P2 : Prendre une tasse ; PP1 : Prendre la bouteille du lait et la poser sur la table ; PR1 : Prendre le pot verseur et le remplir d'eau

Tableau 20 : Les résultats du patient dans les trois tâches primitives

IV.4.2.2. Résultats relatifs aux tâches complexes dans la séance d'expérimentation

Nous avons récupéré les données de sept patients au centre de Kerpape. Cinq patients (3F, 2H ; âge moyen : 33 ± 17 ans) sur sept ont réalisé la tâche « Préparation d'un café ». Cela signifie qu'il est possible pour des patients cérébrolésés de réaliser une tâche écologique dans le monde virtuel. Le patient N°6 n'a pas pu verser le café dans les tasses car il est sorti trop tôt de la séance. A cause d'une contrainte de temps, le patient N°7 n'a pas pu terminer la tâche au bout de 20 minutes. Mais, nous ne pouvons pas dire qu'il ne pouvait pas réaliser la tâche.

Les données de sept patients ont été indiquées dans le Tableau 21. Pour faire une analyse descriptive, nous avons retiré les données des deux patients qui n'ont pas réalisé la tâche. Les résultats obtenus sont :

- Le temps moyen de réalisation de la tâche écologique est de 11 minutes 43 secondes ($\pm 7'37''$).
- Sur 13 étapes nécessaires pour réaliser la tâche, les patients ont bien réalisé 9 (± 2) étapes sans erreurs. Ils ont fait 8 (± 8) erreurs pendant 3 (± 2) étapes sur 13.
- Tout les patients n'ont pas fait l'étape 15 « Débrancher la cafetière ».

N°	Âge	Sexe	Connaissance jeux vidéo	Réalisation de la tâche	Temps (Minute)	Nombre d'erreurs	Nombre d'étapes réalisées		Omission d'étapes
							Sans erreur	Avec erreurs	
1	20	F	TB	Oui	4'33"	2	11	1	E15
2	19	H	TB	Oui	2'45"	2	11	1	E15
3	48	F	Moyen	Oui	15'01"	9	9	3	E15
4	23	F	TB	Oui	20"	21	8	4	E15
5	55	H	Non	Oui	16'15"	6	8	4	E15
			Moyenne		11'43"±7'37"	8±8	9±2	3±2	1±0
			Extrême valeurs et identification patient		[P2: 2'45" ; P4: 20']	[P1: 2 ; P4: 21]	[P7: 5 ; P1: 11]	[1 ; 4]	
			Médiane		15'01"	6	8	3	

* Nombre d'étapes (sans erreurs et avec erreurs) + omission d'étapes = 13 (13 étapes nécessaires pour réaliser la tâche)

Tableau 21 : Les données de patients avec la tâche « Préparation d'un café »

Une analyse de 7 grilles d'évaluations virtuelles remplies par le système et 7 grilles d'évaluation remplies par le thérapeute a été faite. Nous mettons les résultats dans le même tableau suivant (Tableau 22). 40 erreurs étaient cotées par le thérapeute dans les 7 grilles réelles (14 omissions d'étapes, 3 erreurs de séquences, 4 additions d'actions, 4 repérages des erreurs, 1 erreur de contrôle, 14 dépendances). 61 erreurs étaient enregistrées par le système TVK dans les 7 grilles virtuelles (13 omissions d'étapes, 2 étapes non terminées, 2 persévérations, 16 erreurs de séquences, 1 addition d'actions, 5 repérages des erreurs, 7 erreurs de contrôle, 15 dépendances). Parmi les 40 erreurs cotées dans la grille réelle et les 61 erreurs enregistrées dans la grille virtuelle, nous avons trouvé 23 erreurs en commun qui étaient bien cotées dans les deux grilles dans les mêmes étapes. Cela signale que la variabilité de l'interprétation entre la grille réelle et virtuelle entre les thérapeutes. La comparaison des deux grilles est très compliquée. On veut quand même comprendre la différence entre les deux grilles. Nous avons trouvé deux possibilités pour expliquer cette différence :

- 1) thérapeute a raté les erreurs effectuées par le patient ;
- 2) il existe une différence d'interprétation entre l'analyse par l'outil TVK et les analyses des thérapeutes.

Pour le cas 1, par exemple, le patient N°4 a fait 3 « Erreurs de contrôle » : mesuré de l'eau pour 8 personnes au lieu de 3 ; mis 6 cuillères de café dans la cafetière ; versé 2 tasses de café. Mais, le thérapeute n'a rien noté dans la grille réelle.

Le cas 2 (différente interprétation) est notre verrou de recherche. Un futur objectif de cette expérimentation est de fournir des informations pour aider les thérapeutes de Kerpape à unifier l'interprétation de la tâche de café. Nous avons trouvé 4 raisons de différenciation :

- Après correction par le patient, le thérapeute interprète encore les erreurs. Par exemple, le patient N°3 a essayé d'allumer la cafetière avant de la remplir d'eau. Finalement, le patient a corrigé son erreur. Le thérapeute a coté 6 omissions de l'étape 1 (prendre de l'eau) à l'étape 6 (mettre du café dans le filtre) et l'omission sur l'étape 15 (débrancher la cafetière). L'outil TVK a enregistré seulement une omission sur l'étape 15.
- Pour interpréter l'erreur « Actions non terminées », il faut définir une action initiale et une action terminale pour chaque étape. Les différences entre les thérapeutes sur la définition des actions initiales et des actions terminales ont été trouvées. Par exemple, l'outil TVK a enregistré une « action non terminée » pour le patient N°7 sur l'étape 1 (prendre l'eau) car il n'a pas fermé le couvercle du pot verseur de la cafetière avant sa mise en place. Mais, le thérapeute n'a pas interprété cela comme une erreur.
- Pour l'outil TVK et des thérapeutes, il existe une différente définition sur l'erreur « Addition d'actions ». En général pendant l'exécution de la tâche, le participant n'a pas le droit de toucher tous les objets sauf les objets essentiels à la tâche. S'il touche un objet inutile, une « addition d'action » doit être notée. Pour l'outil TVK, les objets inutiles ne comprennent pas le mur, la table, les placards et les tiroirs. Par exemple, le patient N°4 a branché une bouilloire au lieu de brancher la cafetière. L'outil TVK a enregistré une « addition d'action » dans la grille d'évaluation virtuelle. Et le thérapeute a coté 3 « addition d'actions » dans la grille d'évaluation réelle.
- Nous avons trouvé une difficulté avec les thérapeutes de Kerpape sur l'erreur « Persévération ». Par exemple, le patient N°4 et le patient N°5 ont essayé d'allumer la cafetière plusieurs fois avant de la brancher car le bouton ne change pas sa couleur en rouge. Actuellement, l'outil TVK a coté une « persévération » car il faut allumer une seule fois. Mais, la plupart de thérapeutes de Kerpape n'est pas d'accord avec nous. C'est une question à décider avec tous les thérapeutes.

N°P	Omissions d'actions		Etapas non terminées		Persévération		Erreurs de séquences		Additions d'actions		Repérage des erreurs		Erreurs de contrôle		Pris de décision difficile		Dépendance		Non prise en compte de l'aide		Total		Erreurs en commun
	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	
1	1	1															1	1			2	2	2
2		1						1													0	2	0
3	7 (1)	1						5			1	1	2								8	9	1
4	2 (1)	1				1	3 (1)	3 (1)	3	1	3	3		3			9	9			20	21	14
5	2	1				1		3			1	1									3	6	1
6		2		1									2					1			0	6	0
7	2 (1)	6 (1)		1				4	1								4	4			7	15	5
Total																					40	61	23

* Les erreurs en commun sont écrites en rouge

Tableau 22 : Le nombre d'erreurs dans la grille d'évaluation réelle et virtuelle

On a trouvé que la patiente N° 4 a effectué plus d'erreurs que les autres. Une séance de rééducation sera utile pour elle. Les quatre différentes interprétations trouvées seront utiles pour aider les thérapeutes de Kerpape à unifier l'interprétation d'erreurs dans la tâche de café.

IV.4.2.3. Questionnaires remplis

Après deux séances, tous les patients ont rempli un questionnaire. Les réponses du questionnaire sont présentées dans le Tableau 23.

N°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
1	4	5	5	5	5	5	Oui
2	5	5	3	3	5	5	Oui
3	4	4	4	4	4	3	Oui
4	4	4	4	5	5	5	Oui
5	3	2	4	1	4	1	Non
6	4	5	4	1	5	5	Oui
7	3	3	4	4	4	1	Non
Moyenne	3,86±0,69	4±1,15	4±0,58	3,29±1,70	4,57±0,53	3,57±1,90	
Médiane	4	4	4	4	5	5	
Résultat	Intéressant	Facile	Nécessaire	Utile	Très Compréhensibles	Oui	

Tableau 23 : Les réponses de patients du questionnaire dans l'expérimentation III

Q1 : Que pensez-vous du logiciel TVK ? (réponse de 1 : pas intéressant à 5 : très intéressant)

Q2 : Comment qualifiez-vous l'utilisation des matériels et des moyens d'interactions (prendre, poser, animer) ? (réponse de 1 : très difficile à 5 : très facile)

Q3 : Comment qualifiez-vous la séance de familiarisation ? (réponse de 1 : inutile à 5 : très nécessaire)

Q4 : La tâche «Faire un café» est-elle utile dans votre vie quotidienne ? (réponse de 1 : inutile à 5 : très utile)

Q5 : Les petites icônes des curseurs sont-elles compréhensibles ? (réponse de 1 : incompréhensibles à 5 : très compréhensibles)

Q6 : Connaissez-vous les jeux vidéo ? (réponse de 1 : non à 5 : oui)

Q7 : Dans l'éventualité d'un autre test sur l'outil TVK à Kerpape, nous souhaiterions savoir si vous êtes prêt à y participer ? (Oui /non)

Remarque : quatre patients sur sept connaissent bien les jeux vidéo. Deux patients (N°5 et N°7) n'ont pas d'expérience des jeux vidéo.

Grâce à ce tableau, nous pouvons conclure que :

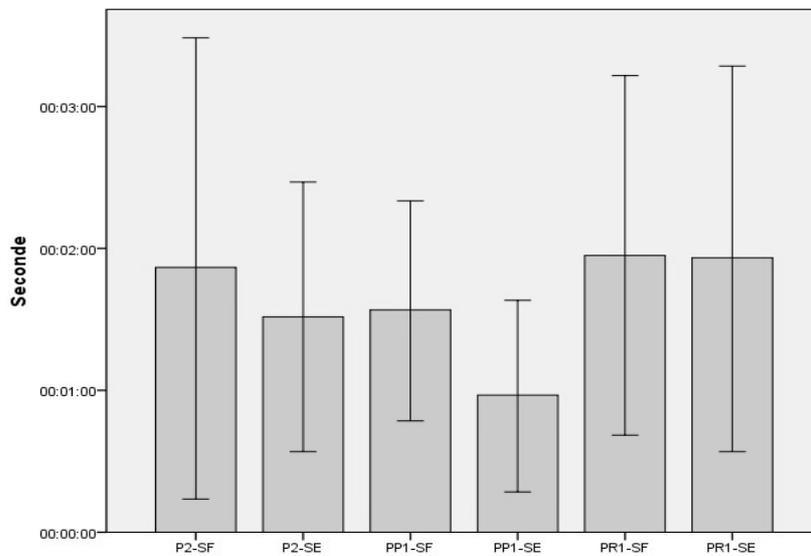
- Le logiciel TVK est intéressant pour les sept patients.
- Les matériels et les moyens d'interactions sont très faciles pour les patients qui ont une expérience des jeux vidéo. C'est moyennement facile pour les patients qui n'ont pas d'expérience des jeux vidéo.
- La séance de familiarisation est nécessaire.
- La tâche « Préparation d'un café » n'est pas utile pour tous les patient dans la vie quotidienne parce que deux patients (N°5 et N°6) n'ont pas l'habitude de boire du café.
- Les petites icônes des curseurs sont très compréhensibles.
- Cinq patients sur sept voulaient continuer de participer à un autre test de l'outil TVK.

IV.4.3. Discussion et conclusion

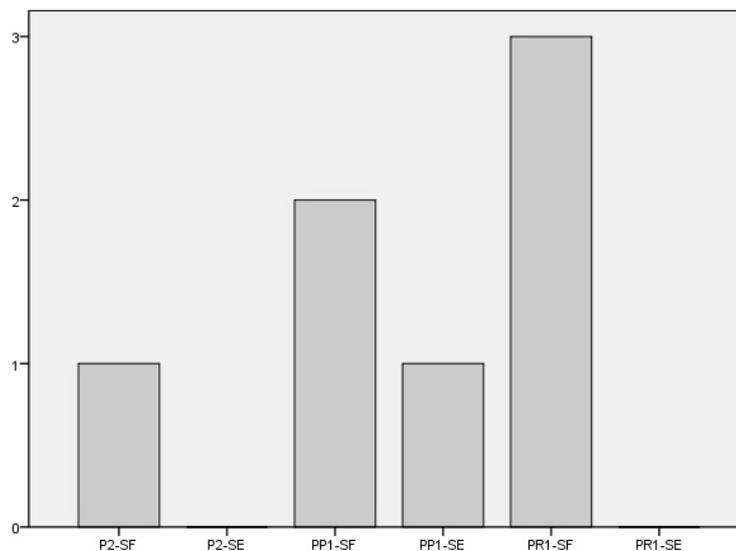
IV.4.3.1. Discussion

Trois tâches primitives (P2: Prendre une tasse ; PP1 : Prendre la bouteille du lait et poser sur la table ; PR1 : Prendre le pot verseur et le remplir d'eau) ont été expérimentées pendant la séance de familiarisation. Avec une répétition de ces trois tâches primitives en début de séance d'évaluation, les patients cérébrolésés ont progressé (Figure 41) au niveau du temps et du nombre d'erreurs. Les capacités à exécuter les tâches primitives sont maintenues, voir améliorées de la séance de familiarisation à la séance d'évaluation.

Temps moyen d'exécution de chaque tâche primitive (TP)



Nombre total d'erreurs effectuées par tous les patients dans chaque TP



SF : Séance de familiarisation SE : Séance d'évaluation
P2: Prendre une tasse ; PP1 : Prendre la bouteille du lait et poser sur la table ;
PR1 : Prendre le pot verseur et le remplir d'eau

Figure 41 : La visualisation de la performance de patients dans les trois tâches primitives

La validation informatique de la grille d'évaluation a été faite dans l'expérimentation II avec 21 tests. Ensuite, nous avons testé cette grille dans une tâche virtuelle écologique dans l'expérimentation III en comparant avec une grille sur papier remplie par le thérapeute. Il est intéressant de comparer les deux grilles d'évaluation (Tableau 22). Nous avons trouvé des interprétations variables entre la grille réelle remplie par le thérapeute et la grille virtuelle

remplie par l'outil TVK. Cela signale que l'interprétation identique entre les thérapeutes est encore à travailler par ceux-ci.

Un outil informatique thérapeutique est plus efficace pour les jeunes car la connaissance des jeux vidéo joue un rôle important dans la séance d'évaluation. Par exemple, le patient N°1 (20 ans) et le patient N°2 (19 ans) ont réalisé les tâches beaucoup plus rapidement que les autres patients. Parfois, ils sont plus rapides que les sujets sains. Au contraire, pour les patients qui n'ont jamais joué à des jeux vidéo, cet outil thérapeutique n'est pas très efficace : le patient N°5 (55 ans) ne connaissait pas l'informatique. Dans la réalité, il ne fait aucune erreur pour préparer un café. Dans la tâche virtuelle, il a oublié de mettre du café dans le filtre mais au final il s'est corrigé.

IV.4.3.2. Conclusion

Nous avons validé notre première hypothèse (Il est possible de virtualiser une tâche de vie quotidienne) chez 13 sujets contrôles dans l'expérimentation I et notre deuxième hypothèse (Il est possible de virtualiser partiellement la grille d'évaluation utilisée dans la tâche réelle) avec 21 tests de planifications dans l'expérimentation II. Dans cette expérimentation III, nous avons vérifié la fonctionnalité de l'outil TVK et de la grille d'évaluation virtuelle dans une tâche écologique auprès des patients cérébrolésés. L'objectif principal de cette expérimentation est de tester si l'outil TVK est adapté et si la tâche écologique est compréhensible et réalisable pour les patients cérébrolésés. Le résultat est que 5 patients cérébrolésés sur 7 ont réalisé la tâche écologique dans le monde virtuel pendant 20 minutes. Avec ce résultat, nous pouvons affirmer qu'un grand nombre de patients cérébrolésés sont aptes à réaliser une tâche de vie quotidienne et virtuelle.

Nous avons proposé une approche fondée sur la RV pour l'évaluation de l'activité du patient cérébrolésé (Figure 36). Malgré un nombre limité de participants, notre troisième expérimentation a permis de mieux comprendre cette procédure. Les données enregistrées (actions exécutées, temps de réalisation de chaque action et de chaque étape, position de clics, ordre de réalisation des étapes, erreurs effectuées, etc.) permettent de préciser la performance des patients. Cependant ces résultats doivent être confirmés sur un plus grand échantillon, au travers de la réalisation de tâches diverses, avec une analyse plus poussée encore des

paramètres enregistrés du patient et des paramètres de la tâche. Cette expérimentation avec des patients cérébrolésés se continuera au centre de Kerpape. Il sera possible de répondre aux questions qui restent posées, concernant l'influence de la mémoire des capacités spatiales, de l'habitude de faire un café, des interfaces de navigation et du niveau de difficulté de la tâche.

Chapitre V

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'évaluation de la performance d'un patient cérébrolésé dans une AVQ. Depuis une quinzaine d'années, la RV a montré du potentiel dans le domaine thérapeutique. Nous nous plaçons dans le cadre de l'évaluation des FE d'un patient cérébrolésé dans une tâche virtuelle. La problématique (Comment virtualiser une tâche de vie quotidienne et évaluer la performance d'un patient cérébrales dans la tâche virtuelle ?) nous a amenés à une hypothèse importante (Les patients cérébrolésés sont aptes à réaliser une tâche de vie quotidienne et virtuelle). Le logiciel TVK que nous avons créé a proposé la possibilité de valider cette hypothèse auprès des patients cérébrolésés (AVC ou TC).

V.1. Conclusion

Bilan des travaux

Un état de l'art sur l'évaluation des FE dans les AVQ réelles nous a permis d'étudier la procédure d'évaluation traditionnelle. Deux exemples de la littérature (une tâche pour faire les courses dans un supermarché et deux tâches pour faire la cuisine) ont mis en évidence deux difficultés : d'une part, il existe un écart d'évaluation entre la tâche description (écrire des étapes de la tâche) et la tâche d'exécution (réalisation de la tâche), d'autre part, la mise en œuvre de ces séances d'entraînement en vie réelle est lourde car coûteuse en temps et en moyens cliniques. Deux exemples observés en clinique (faire un café et faire un gâteau au chocolat dans la cuisine de rééducation du centre de Kerpape) ont mis en évidence des limites traditionnelles : d'une part, leurs outils d'évaluation sont subjectifs (ex. la grille d'évaluation dans la tâche de café), d'autre part, leurs méthodes de travail sont différentes en fonction du thérapeute (par exemple, le moment et la façon d'apporter les aides).. Un autre état de l'art fondé sur l'évaluation des FE en RV a étudié deux environnements écologiques (supermarché virtuel et cuisine virtuelle). Cette focalisation d'études nous a permis de positionner notre travail et de déterminer notre objectif de recherche : mettre en œuvre une tâche écologique et paramétrable dans un outil TVK. Cet outil TVK permet au thérapeute de choisir une tâche et de paramétrer la tâche pour créer ses propres applications thérapeutiques.

Dans le chapitre méthodologique, nous avons proposé trois hypothèses pour répondre à la problématique : *Dans le contexte de la rééducation cognitive, comment virtualiser une tâche de vie quotidienne et évaluer la performance d'un patient cérébrolésé dans la tâche virtuelle ?* Nous avons aussi présenté le processus de conception de l'outil TVK et de mise en œuvre de la tâche choisie (préparation d'un café dans une cuisine virtuelle). A la fin du chapitre, nous avons présenté la procédure d'évaluation des FE dans l'outil TVK en comparant avec la procédure d'évaluation traditionnelle. Le protocole de l'expérimentation III a confirmé qu'on peut transférer une évaluation réelle au virtuelle avec certaines contraintes au niveau de la grille d'évaluation.

Trois expérimentations ont été réalisées avec la collaboration des thérapeutes de Kerpape. Nous avons validé la faisabilité du système dans l'expérimentation I auprès des sujets contrôles. Nous avons validé le fonctionnement de la grille d'évaluation virtuelle dans l'expérimentation II avec 21 tests prévisionnels. Nous avons validé notre troisième

hypothèse (Les patients cérébrolésés sont aptes à réaliser une tâche virtuelle) dans l'expérimentation III. Grâce à ces trois expérimentations, nous avons réalisé :

- deux posters : un pour J2A de l'école doctorale (*Titre : Une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte du syndrome dysexécutif*), un autre pour la conférence *Virtual Rehabilitation 2009* en Israël (Cao et al, 2009)
- trois articles : un pour la conférence nationale *Confère 2008* (Cao et al, 2008) (Cao et al, 2008), un pour la conférence internationale *CyberTherapy 2009* en Italie (Klinger et al, 2009a), un autre pour la conférence internationale *ICDVRAT 2010* au Chili (Cao et al, 2010)

Apports de la thèse

Les travaux présentés dans cette thèse ont amené trois apports principaux :

- Pour le thérapeute, l'outil TVK est un nouvel outil informatique pour évaluer et réadapter les capacités de patients dans les AVQ. Cet outil permet au thérapeute de créer différents niveaux de difficulté d'applications selon les progrès du patient. Un outil informatique peut sauvegarder les diverses données pour virtualiser la performance des patients ultérieurement. La grille d'évaluation virtuelle permet d'unifier le codage des erreurs pendant la séance pour tous les thérapeutes.
- Pour le patient, l'outil TVK est un nouvel outil de traitement. Il motive le patient à continuer des séances.
- Nous avons réussi à transférer la procédure d'évaluation de l'activité du patient du monde réel au monde virtuel. Nous avons montré comment virtualiser une tâche de vie quotidienne et évaluer la performance d'un patient cérébrolésé dans la tâche virtuelle. Nous avons validé nos trois hypothèses dans trois expérimentations auprès des sujets sains et des patients.

Limites

Cette étude de recherche montre deux limites au niveau de la grille d'évaluation et au niveau de l'interfaçage.

- Dans la phase de virtualisation de la grille d'évaluation et de l'expérimentation III, nous avons constaté qu'il existe un écart de codage des erreurs entre les thérapeutes. Il faudra unifier l'interprétation entre les thérapeutes.

- Les interfaces choisies (écran, clavier et souris) sont simples à utiliser. Actuellement, il est difficile de détecter les erreurs comportementales sans capturer l'activité comportementale du patient.

V.2. Perspectives

Plusieurs perspectives de nos travaux peuvent être dégagées. Nous les présentons en direction du développement de l'outil TVK et en direction de la thérapie.

Perspectives en direction du développement de l'outil TVK

Nous avons virtualisé une tâche « préparation d'un café » et une grille d'évaluation dans l'outil TVK. Il faudra enrichir la base de données au niveau des environnements de vie quotidienne et au niveau des tâches écologiques (voir des tâches écologiques dans les environnements proposés dans le Tableau 24). Nous avons développé des aides logicielles (son, message sur l'écran, flèche qui indique l'objet à interagir) en deux types : aides manuelles et aides automatiques. Malgré cela, nous n'avons pas eu l'occasion d'expérimenter ces aides. Après une validation, il faudra aussi les expérimenter pour vérifier leur adaptation et leur utilisabilité chez des patients cérébrolésés.

Environnements	Tâches écologiques
Cuisine	Préparation d'un gâteau au chocolat Préparation d'un repas
Salle de bain	Prendre une touche Se brosser les dents
Chambre	Ranger la chambre Faire le lit
Poste	Envoyer un colis Acheter un carnet de timbres
Banque	Aller prendre un rendez-vous avec un conseiller Aller chercher de l'argent au distributeur
Supermarché	Faire une course
Pharmacie	Aller chercher un médicament avec une ordonnance
Gare ou métro	Acheter un billet de train Organiser un voyage

Tableau 24 : Des tâches écologiques dans les environnements proposés dans TVK

Un travail de recherche concerne l'interfaçage dans un EV. Les nouvelles interfaces d'interaction, comme les capteurs composés d'accéléromètres et de magnétomètres (la Wii par exemple), peuvent être utilisées dans les applications thérapeutiques.

Le produit final pourra proposer au thérapeute une supervision en temps réel puis une analyse objective et pertinente de l'activité cognitive du patient. Avec l'outil TVK final, nous souhaitons voir les caractéristiques essentielles suivantes : l'adaptabilité, le paramétrage, l'écologie et la capitalisation :

- L'adaptabilité peut être comprise selon deux sens : des interfaces adaptables selon les capacités du patient et des activités adaptables au cours de la séance pour le patient.
- Le paramétrage de l'application thérapeutique virtuelle permettant de changer le niveau de difficulté de l'application pour mieux suivre la performance du patient.
- Le thérapeute propose une application thérapeutique au patient avec des AVQ (ex. faire ces courses) dans un environnement écologique (ex. supermarché).
- Les possibilités de capitalisation de l'outil permettront au thérapeute d'utiliser aisément une même configuration d'environnements, de tâches encore de capteurs pour des applications différentes.

Perspectives en direction de la thérapie

Nous avons proposé une nouvelle approche thérapeutique fondée sur la RV. Il reste encore beaucoup de travaux à faire au niveau de la thérapie. Un travail sur l'harmonisation des interprétations entre les thérapeutes et la précision des types d'erreurs dans la grille d'évaluation est en cours au centre de Kerpape, en collaboration avec des thérapeutes du centre. Au niveau de la thérapie, les essais cliniques chez des patients cérébrolésés seront envisagés pour valider l'utilisabilité de l'outil TVK avec un grand échantillon dans les différents centres de rééducation.

Il sera alors possible d'investiguer les questions qui restent posées, la rééducation des FE chez les patients cérébrolésés dans les AVQ virtuelles, l'accessibilité de l'outil TVK dans les diverses conditions de soins (du centre spécialisé au domicile), ainsi que le transfert des acquis des tâches virtuelles aux tâches réelles. Il y aura un décalage entre les réussites des tâches virtuelles et la planification de la vie quotidienne. Il faudra alors trouver de nouvelles méthodes et outils thérapeutiques pour le thérapeute et le patient. Nous proposons un protocole initial qui peut être expérimenté tout d'abord au centre de Kerpape car la cuisine virtuelle est la copie de la cuisine de Kerpape. Ce protocole se déroule en trois étapes :

- Etape 1 : évaluation du patient dans la cuisine réelle. Le thérapeute choisit une tâche écologique de cuisine et apporte une consigne au patient. Pendant la séance d'évaluation, le thérapeute note le temps d'exécution de la tâche et remplit la grille d'évaluation sur papier.
- Etape 2 : rééducation du patient dans la cuisine virtuelle. Le thérapeute configure la même tâche avec différents paramètres. Le patient est entraîné dans des séances de rééducation avec le thérapeute. Dans la séance de rééducation, les aides logicielles doivent être utilisées.
- Etape 3 : réévaluation du patient dans la cuisine réelle. Dès que le thérapeute juge que le patient est capable de réaliser la tâche seul, une séance de réévaluation sera envisagée dans la cuisine réelle. Pendant la séance de réévaluation, le thérapeute note le temps d'exécution de la tâche et remplit la grille d'évaluation sur papier. Ensuite, il compare les deux séances d'évaluation – avant et après l'entraînement dans la cuisine virtuelle – en fonction du temps demandé et du nombre d'erreurs effectuées par le patient.

Les résultats de la séance de réévaluation (étape3) permettent de mettre en évidence les acquis obtenus dans une tâche virtuelle.

Table des figures

Figure 1 : Point de vue général de la cuisine de rééducation de Kerpape.....	18
Figure 2 : Le supermarché virtuel VAP-S.....	23
Figure 3 : La trajectoire d'un sujet sain (âge : 73) dans le VAP-S,	24
Figure 4 : Deux captures de l'écran de Neuro VR, images provenant de (Carelli et al, 2008)	25
Figure 5 : Connaissance des courses en 2D, image provenant de (Cardoso et al, 2006)	26
Figure 6 : Le supermarché virtuel, image provenant de (Cardoso et al, 2006)	26
Figure 7 : Environnements virtuels, images provenant de (Lee et al, 2003).....	27
Figure 8 : Equipement du supermarché virtuel, image provenant de (Lee et al, 2003)	27
Figure 9 : Préparation d'un café virtuel, image provenant de (Davies et al, 1999)	29
Figure 10 : Cuisine virtuelle et cuisine réelle, images provenant de (Davies et al, 2002)	30
Figure 11 : Un écran de la simulation des ustensiles et des appareils de cuisine,.....	32
Figure 12 : Environnement virtuel, image provenant de (Edmans et al, 2006)	33
Figure 13 : La cuisine réelle du patient et la cuisine du laboratoire,.....	34
Figure 14 : Une rue de l'urbaine dans VR Worlds 2,.....	37
Figure 15 : Le schéma du modèle 3I ² , image provenant de (Fuchs et al, 2006)	40
Figure 16 : Présentation hiérarchique d'une tâche en étapes parallèles	46
Figure 17 : Présentation hiérarchique d'une tâche en étapes séquentielles.....	46
Figure 18 : Quatre objets d'étude de la modélisation d'une tâche écologique thérapeutique..	47
Figure 19 : Modélisation de la tâche « Préparation d'un café », réalisée par A.S DOUGUET (Kerpape), condition initiale : les produits sont à trouver dans la cuisine	48
Figure 20 : Procédure d'évaluation de l'activité réelle du patient	50
Figure 21 : Processus de réalisation d'une tâche par un patient.....	51
Figure 22 : Menu déroulant « Prendre »	54
Figure 23 : Menu déroulant « Poser »	54
Figure 24 : Une aide textuelle dans l'outil TVK.....	57
Figure 25 : Une aide iconique dans l'outil TVK.....	57
Figure 26 : Changements d'icône du curseur dans l'outil TVK	58
Figure 27 : Comparaison de la cuisine réelle (gauche) et la cuisine virtuelle (droite).....	61
Figure 28 : Déroulement de la tâche virtuelle sous Virtools.....	62
Figure 29 : Schéma général des tâches primitives	63
Figure 30 : Schéma général des tâches complexes	64
Figure 31 : Structure générique pour une étape virtuelle	67
Figure 32 : Recherche de l'eau au robinet	68
Figure 33 : Mesure de l'eau avec une jauge.....	68
Figure 34 : Recherche de la tasse	68
Figure 35 : Remplissage de la tasse de café	68
Figure 36 : Procédure d'évaluation de l'activité virtuelle du patient.....	71
Figure 37 : Environnement expérimental de l'outil TVK.....	77
Figure 38 : Un exemple de trajectoire pour les deux tâches primitives	77
Figure 39 : Comparaison de la grille prévisionnelle et de la grille virtualisée.....	87
Figure 40 : Un exemple de la trajectoire de trois tâches primitives	94
Figure 41 : La visualisation de la performance de patients dans les trois tâches primitives..	104
Figure 42 : Modélisation de la tâche, condition initiale : les produits se situent sur la table. 128	
Figure 43 : Modélisation de la tâche, condition initiale : café et filtres sont près de la cafetière	128

Supprimé

Supprimé

Table des tableaux

Tableau 1 : Bilan d'études publiées sur la rééducation dans un supermarché virtuel.....	22
Tableau 2 : Bilan des études publiées sur la rééducation dans une cuisine virtuelle	28
Tableau 3 : Trois types d'interfaces d'immersion et d'interaction, d'après (Fuchs et al, 2006)	39
Tableau 4 : Préparation des éléments de la tâche de préparation de café	47
Tableau 5 : Description des constructeurs utilisés pour ordonnancer les étapes d'une tâche, .	49
Tableau 6 : Paramètres des tâches primitives et nombre d'actions à réaliser	54
Tableau 7 : Actions nécessaires pour réaliser les trois tâches primitives.....	54
Tableau 8 : Paramètres d'une nouvelle configuration dans la tâche de café.....	55
Tableau 9 : Nombre d'étapes à réaliser pour faire un café selon la position d'objets	56
Tableau 10 : Etapes et actions nécessaires pour préparer un café.....	56
Tableau 11 : Description des quatre propositions de déplacement d'un objet virtuel	59
Tableau 12 : Définitions des erreurs d'évaluation et méthodes d'enregistrement	70
Tableau 13 : Résultats relatifs aux tâches primitives dans l'expérimentation I.....	79
Tableau 14 : Les résultats sur la tâche complexe dans l'expérimentation I.....	81
Tableau 15 : Réponses au questionnaire dans l'expérimentation I	82
Tableau 16 : Comparaison des erreurs prévues (P) et des erreurs enregistrées (E) dans la grille virtuelle	88
Tableau 17 : Critères d'inclusion et d'exclusion des patients.....	92
Tableau 18 : Réalisation des tâches primitives dans l'expérimentation III.....	97
Tableau 19 : Résultats des tâches primitives de la séance de familiarisation	98
Tableau 20 : Les résultats du patient dans les trois tâches primitives.....	99
Tableau 21 : Les données de patients avec la tâche « Préparation d'un café ».....	100
Tableau 22 : Le nombre d'erreurs dans la grille d'évaluation réelle et virtuelle	102
Tableau 23 : Les réponses de patients du questionnaire dans l'expérimentation III.....	102
Tableau 24 : Des tâches écologiques dans les environnements proposés dans TVK	111
Tableau 25 : Données relatives aux tâches primitives 1 dans la séance de familiarisation ...	135
Tableau 26 : Données relatives aux tâches primitives 2 dans la séance de familiarisation ...	135
Tableau 27 : Configurations et données expérimentales pour chaque participant (Par.).....	136

Annexes

Annexe 1 : La recette du gâteau au chocolat utilisée à Kerpape.....	121
Annexe 2 : Les outils d'évaluation de la tâche « Préparation d'un café » utilisés à Kerpape (Jouadé, 2003)	122
Annexe 3 : Modélisation de la tâche « Préparation d'un café », réalisée par A.S Douguet (Kerpape).....	128
Annexe 4 : Les objets préhensibles ou activables dans la cuisine virtuelle	129
Annexe 5 : Les actions initiales et les actions terminales dans chaque étape virtuelle.....	130
Annexe 6 : L'usage de l'interface pour le participant.....	131
Annexe 7 : Le questionnaire utilisé dans l'expérimentation I.....	132
Annexe 8 : Les données de participant dans l'expérimentation I	135
Annexe 9 : Une grille d'évaluation virtuelle remplie par l'outil TVK dans l'expérimentation II	137
Annexe 10 : La note d'information utilisée dans l'expérimentation III.....	138
Annexe 11 : Le formulaire écrit à signer par le patient.....	141
Annexe 12 : Le questionnaire utilisé dans l'expérimentation III.....	142
Annexe 13 : Les données de patients dans l'expérimentation III lors des tâches primitives.	144

Annexe 1 : La recette du gâteau au chocolat utilisée à Kerpape

Consigne : “Vous refaite un gâteau au chocolat comme chez vous. Les matériels sont mis à la place habituelle. Avant de commencer, je vous invite de lire la recette.”

Position des matériels : chocolat, sucre, œufs, farine, beurre dans les placards ; casserole, saladier, le moule dans les tiroirs

GATEAU AU CHOCOLAT

INGREDIENTS :

125 gr de chocolat
125 gr de sucre en poudre
4 œufs
3 cuillères à soupe rases de farine
100 gr de beurre

- 1- Faire fondre dans une casserole le chocolat cassé en morceaux et le beurre.
- 2- Mélanger les jaunes d'œufs et le sucre.
- 3- Ajouter le chocolat et le beurre fondu, puis la farine. Mélanger.
- 4- Monter les blancs en neige ferme, puis les incorporer délicatement à la préparation précédente.
- 5-Beurrer le moule et y verser la préparation.
- 6-Faire cuire environ 15 minutes au four préalablement chauffé à 200° (Cuissons groupées)

Annexe 2 : Les outils d'évaluation de la tâche « Préparation d'un café » utilisés à Kerpape (Jouadé, 2003)

Annexe 2.1 : La grille d'évaluation

Consignes : " Je vous demande de préparer un café pour 4 et de le servir." Avant de commencer, demander à la personne si elle a l'habitude de sucrer son café.

Matériel à disposition avec distracteurs : cafetière non branchée et bouilloire à leur place habituelle.

Sur la table : café ouvert, paquet de thé rouge, 1 cuillère à soupe, 1 fourchette, des filtres, du sucre en morceaux, 5 tasses, 5 soucoupes, 5 petites cuillères, 5 assiettes creuses.

Indiquez dans chaque case le nombre d'erreurs produites. Si une erreur est corrigée, ne pas la compter.

	Prendre l'eau	Verser l'eau dans la réserve de la cafetière	Mesurer l'eau dans la réserve de la cafetière	Mettre le filtre dans la cafetière	Prendre du café	Mettre du café dans le filtre	Remettre les éléments de la cafetière en place	Brancher la cafetière	Allumer la cafetière	Attendre que le café passe	Prendre des tasses	Prendre des petites cuillères	Prendre du sucre	Eteindre la cafetière	Verser le café dans les tasses	Sucrer le café	Mélanger le tout
1-Omission : oubli de faire une action	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2-Actions non terminées : commence une action mais ne la finit pas																	
3-Persévérations : fait plusieurs fois la même action alors qu'une seule fois suffit																	
4-Erreurs de séquences : inverse l'ordre de réalisation des différentes actions																	
5-Additions d'actions : réalise des actions inutiles ou inappropriées																	
6-Repérage des erreurs : repère ses erreurs																	
7-Erreur de contrôle : ne contrôle pas ses actions																	
8-Prise de décision difficile: éprouve des difficultés pour prendre une décision																	
9-Dépendance : demande de l'aide																	
10-Non prise en compte de l'aide : ne tient pas compte de l'aide apportée																	
11-Apragmatisme : reste sans rien faire	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

		Prendre l'eau																	
		Mesurer l'eau dans la réserve de la cafetière																	
		Verser l'eau dans la réserve de la cafetière																	
		Prendre un filtre																	
		Mettre le filtre dans la cafetière																	
		Prendre du café																	
		Mettre du café dans le filtre																	
		Remettre les éléments de la cafetière en place																	
		Brancher la cafetière																	
		Allumer la cafetière																	
		Attendre que le café passe																	
		Prendre des tasses																	
		Prendre des petites cuillères																	
		Prendre du sucre																	
		Eteindre la cafetière																	
		Verser le café dans les tasses																	
		Sucrer le café																	
		Mélanger le tout																	
12-Défaut d'initiative :	il faut l'aider à débiter ou reprendre l'activité																		
13-Distractibilité :	est facilement distrait																		
14-Adhérence :	utilise tous les objets à sa portée																		
15-Comportements dangereux :	montre des comportements dangereux																		
16-Comportements non adaptés :	montre un comportement non adapté à la situation																		
Temps de réalisation :		<input type="text"/>																	
Observations :		<p>Mr  sort 3 filtres. En prend 1, verse du café directement du paquet dans le filtre et attend. Quand on lui demande s'il a terminé, il répond que oui.</p>																	

Annexe 2.2 : La description des différents types d'erreurs

Description des différents types d'erreurs

1- **Les omissions** : *Il/elle oublie de faire une action*

Elles correspondent aux actions ou groupes d'actions omis mais nécessaires à la réalisation du but du script (par exemple : oublier de mettre un filtre dans la cafetière).

2- **Les actions non terminées** : *Il/elle commence une action mais ne la finit pas*

Les actions étaient débutées mais étaient interrompues alors qu'elle n'était pas réalisée dans son ensemble (par exemple : verser le café dans les tasses alors qu'il n'est pas terminé de passer dans la cafetière)

3- **Les persévérations** : *Il/elle fait plusieurs fois la même action alors qu'une seule fois suffit.*

Elles consistaient en des répétitions d'actions déjà effectuées (par exemple : mettre à plusieurs reprises du sucre dans les tasses).

4- **Les erreurs de séquence** : *Il/elle inverse l'ordre de réalisation des différentes actions.*

Elles correspondent aux déplacements d'actions qui entraînent une rupture dans la progression thématique du script, les actions se déroulant alors à un moment inopportun dans le schéma général d'action. Ainsi, dans l'épreuve de génération, chaque fois que la production d'une action rompait la progression chronologique, on comptabilisait une erreur de séquence. De même, en situation d'arrangements de scripts, des erreurs de séquence étaient notées lorsque la cohérence de l'organisation chronologique était rompue. Pour l'arrangement des étiquettes, il n'existait pas de norme pré-établie. En effet, certaines actions pouvaient se produire à des moments variables dans le déroulement de l'activité (par exemple, l'action "prendre les tasses). Nous avons alors considéré que l'organisation chronologique était satisfaisante lorsqu'elle respectait une progression thématique continue. En situation réelle, les erreurs de séquence correspondaient à des actions qui n'étaient pas réalisées dans un ordre logique, c'est à dire lorsqu'une action est réalisée avant une autre (par exemple : mettre le café dans la cafetière et placer le filtre ensuite).

5- **Les additions d'actions** : *Il/elle réalise des actions inutiles ou inappropriées.*

Nous avons coté comme additions d'actions, tous les ajouts d'actions, non nécessaires à la réalisation du script (par exemple : transvaser le café au lait dans une seconde tasse).

6- **Repérage des erreurs** : *Il/elle repère ses erreurs.*

Nous avons noté en repérage d'erreur, toutes les réflexions des sujets signifiant qu'ils avaient réalisé une action inefficace ou inappropriée ou omis une action.(par exemple : le sujet nous informe qu'il a mis trop de sucre dans son café)

7- **Erreur de contrôle** : *Il/elle ne contrôle pas ses actions*

Elles correspondent à tous les comportements traduisant un déficit du contrôle de l'activité (par exemple : ne pas contrôler la quantité d'eau mise dans la cafetière pour le nombre de tasse de café désiré).

8- **Prise de décision difficile** : *Il/elle éprouve des difficultés pour prendre une décision.*

Elles correspondaient à toutes les difficultés de choix et de décision (par exemple : hésitation dans le nombre de sucre à mettre pour la petite tasse de café)

9- La dépendance : *Il/elle demande de l'aide*

Elle concernait toutes les questions posées à l'examineur, toutes les demandes d'aide formulées (par exemple : demander la quantité de café).

10- Non prise en compte de l'aide : *Il/elle ne tient pas compte de l'aide apportée*

Nous avons noté une non prise en compte de l'aide chaque fois que le sujet bénéficiait d'une aide et qu'il ne s'en servait pas pour atteindre le but (par exemple : lui donner la quantité de café à mettre dans la cafetière et mettre deux fois plus de café)

11- Apragmatisme : *Il/elle reste sans rien faire.*

Cette erreur renvoie à tous les moments où les sujets ne faisaient plus aucune action.

12- Défaut d'initiative : *Il faut l'aider à débiter ou reprendre l'activité*

Nous avons coté comme défaut d'initiative toutes les interventions de l'examineur pour relancer le sujet.

13- La distractibilité : *Il/elle est facilement distrait.*

Elle correspondait à l'exécution d'une séquence comportementale qui entrave la progression vers le but (par exemple, regarder par la fenêtre)

14- L'adhérence : *Il/elle utilise tous les objets à sa portée*

Elle correspondait à une utilisation d'objets non approprié pour l'activité en cours et présent dans l'environnement du sujet (par exemple : utiliser un autre couvert que la petite cuillère pour mélanger le café)

15- Les comportements dangereux : *Il/elle montre un comportement dangereux*

Ils regroupent toutes les actions faites par le sujet et qui le placent en situation dangereuse (par exemple : laisser le gaz allumé après avoir chauffé le lait)

16- Les comportements non adaptés : *Il/elle montre un comportement non adapté à la situation*

Ils regroupent tous les plaisanteries, les critiques faites par le sujet en direction de l'examineur ainsi que les comportements euphorique, les énervements, l'agressivité et l'impulsivité.

Annexe 2.3 : La feuille d'analyse des résultats

ÉVALUATION ECOLOGIQUE EN SITUATION CONCRETE DE CUISINE

Préparation sans recette : Faire un café pour 4 personnes et le servir

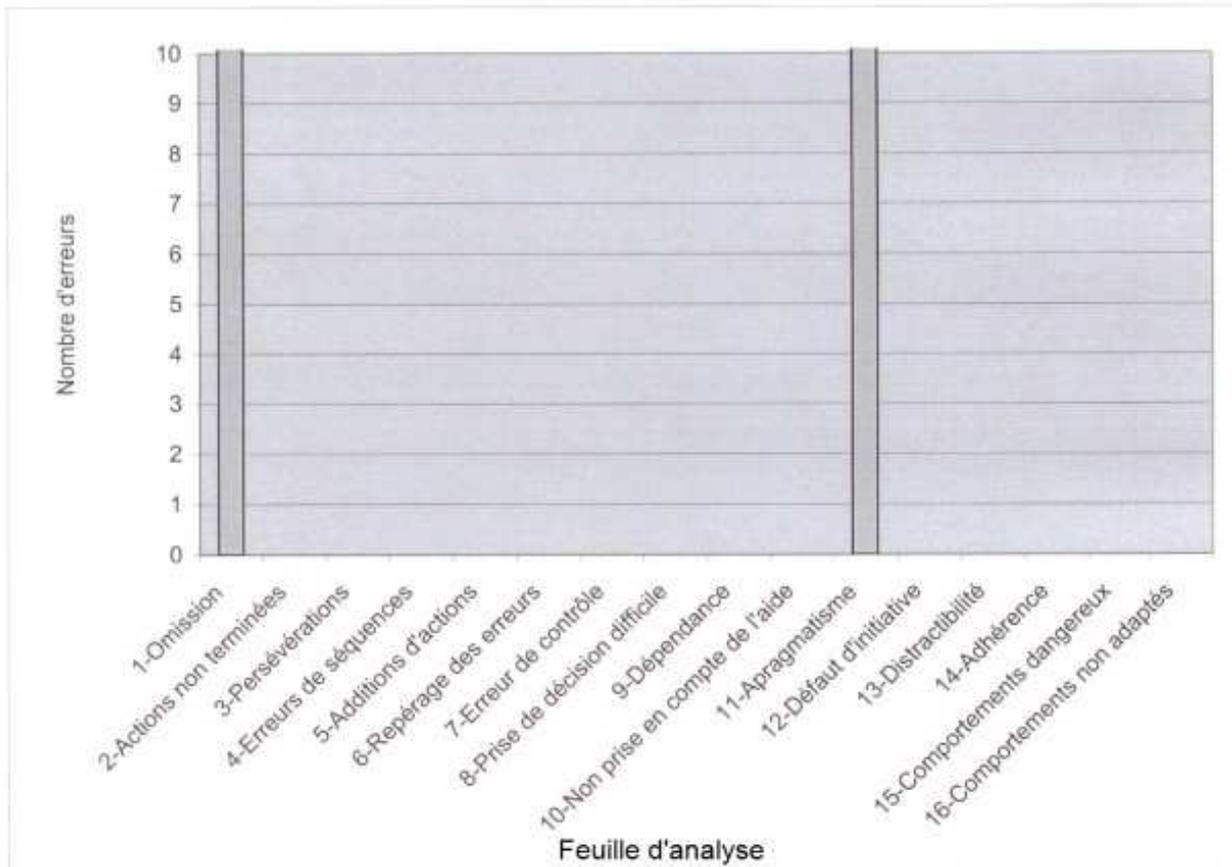
Patient	
Nom :	
Prénom :	
Né(e) le :	

Date : 20/03/2008

Action nouvelle

Ergo :

Action routinière



Annexe 2.4 : La check-list donnée aux familles pour l'évaluation de la tâche

Type de difficultés	Nombre de fois où cette difficulté apparaît	Correction des erreurs
ERREURS d' ACTIONS		
1- Il/elle oublie de faire une action.		
2- Il/elle commence une action mais ne la finit pas.		
3- Il/elle fait plusieurs fois la même action alors qu'une seule fois suffit.		
4- Il/elle inverse l'ordre de réalisation des différentes actions.		
5- Il/elle réalise des actions inutiles ou inappropriées.		
6- Il/elle repère ses erreurs.		
7- Il/elle ne contrôle pas ses actions (ne vérifie pas ce qu'il fait).		
ERREURS COMPORTEMENTALES		
8- Il/elle éprouve des difficultés pour prendre une décision (ex : choix d'un ingrédient d'un objet).		
9- Il/elle demande de l'aide.		
10- Il/elle ne tient pas compte de l'aide apportée.		
11- Il/elle reste sans rien faire (aucune action, aucune demande).		
12- Il faut l'aider à débiter ou reprendre l'activité.		
13- Il/elle est facilement distrait (par des bruits extérieurs la présence d'un tiers par des objets).		
14- Il/elle utilise tous les objets à sa portée.		
15- Il/elle montre un comportement dangereux (ex : laisse le feu allumé).		
16- Il/elle montre un comportement non adapté à la situation (euphorie, énervement, agressivité, impulsivité).		
Nombre total de difficultés		

Annexe 3 : Modélisation de la tâche « Préparation d'un café », réalisée par A.S Douguet (Kerpape)

D'après son travail de DEA à l'Université d'Angers (Jouadé, 2003), la neuropsychologue Anne-Sophie DOUGUET a proposé trois graphes de la tâche de préparation de café en fonction de la position des objets : P1) les objets se situent sur la table ; P2) café et filtres près de la cafetière ; P3) les produits sont à chercher (Figure 19).

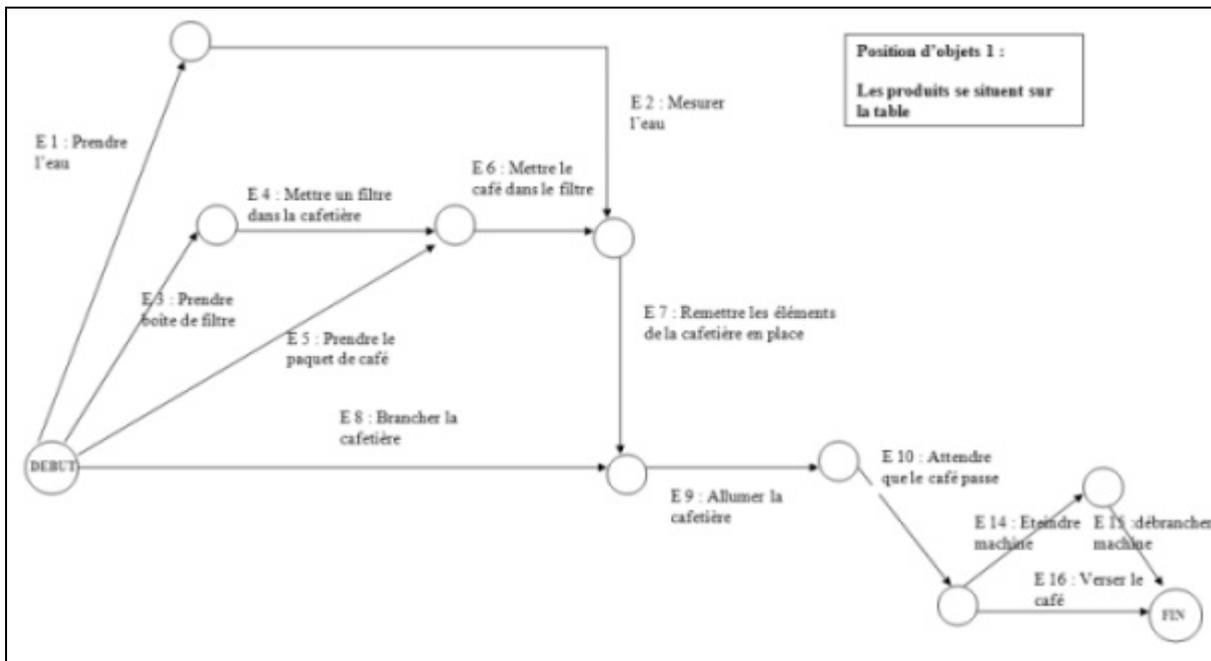


Figure 42 : Modélisation de la tâche, condition initiale : les produits se situent sur la table

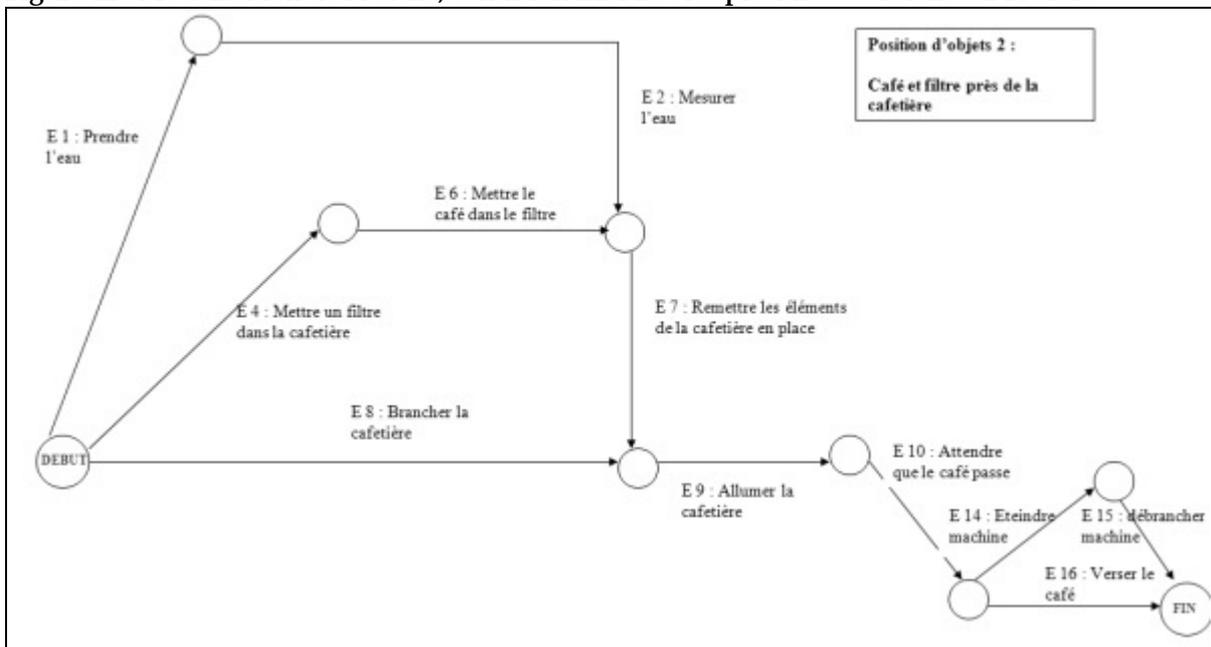


Figure 43 : Modélisation de la tâche, condition initiale : café et filtres sont près de la cafetière

Annexe 4 : Les objets préhensibles ou activables dans la cuisine virtuelle

Objets préhensibles ou activables pour réaliser la tâche

Préhensibles	Activables
Sucre	Tiroirs
Petites cuillères	Fil cafetière
Pot verseur de la cafetière	Bouton ON-OFF
Mug	Couvercle de la cafetière
Tasses	Couvercle de la boîte à filtres
Café	Robinets
	Couvercle du pot verseur de la cafetière
	Dosette pour le café
	Filtre

Objets préhensibles ou activables supplémentaires

Préhensibles	Activables
Bols	Porte Frigo
Poubelle	Porte Lave-vaisselle
Fourchette	Pédale de la poubelle
Lait	Porte Micro-ondes
Verres	Portes Placards
Couteaux	Fil bouilloire
Rouleau à pâtisserie	Minuteur
Saladier	Porte de l'entrée
Essoreuse	Poignée de la porte
Céréale	Radio
Bouilloire	Porte Four
Pichet	Interrupteurs
2 Savons liquide	
Casserole	
2 Produits Lave-vaisselle	
Sachet de thé	
Pain	
1 Plateau	
Confiture	
Verre mesureur dans un placard	

Annexe 5 : Les actions initiales et les actions terminales dans chaque étape virtuelle

N°_E	Etapas	Action initiale	Action terminale
E01	Prendre l'eau au robinet	Prendre le pot verseur	Fermer le couvercle du pot verseur
E02	Mesurer l'eau dans la réserve de la cafetière	Prendre le pot verseur rempli dans l'évier	Cliquer sur le bouton STOP
E03	Prendre la boîte de filtres	Prendre la boîte de filtres	Poser la boîte de filtres sur le plan de travail près de la cafetière
E04	Mettre le filtre dans la cafetière	Ouvrir la boîte de filtres	Sortir automatiquement un filtre en cliquant sur le corps de la boîte de filtres
E05	Prendre le paquet de café	Prendre le paquet de café	Poser le paquet près de la cafetière
E06	Mettre du café dans le filtre	Ouvrir le paquet de café	Mettre automatiquement du café en cliquant sur la dosette
E07	Remettre les éléments de la cafetière en place	Poser le pot verseur en place sur le son socle de la cafetière	Fermer le couvercle de la cafetière
E08	Brancher la cafetière	Cliquer sur le fil d'alimentation de la cafetière	Cliquer sur le fil d'alimentation de la cafetière
E09	Allumer la cafetière	Cliquer sur le bouton de la cafetière	Cliquer sur le bouton de la cafetière
E10	Attendre que le café passe	Le bouton de la cafetière et allumé	Délai de 30 secondes
E11	Prendre des tasses	Ouvrir le tiroir qui contient les tasses	Fermer le tiroir qui contient les tasses
E12	Prendre des petites cuillères	Ouvrir le tiroir qui contient les petites cuillères	Fermer le tiroir qui contient les petites cuillères
E13	Prendre du sucre	NON REALISE	NON REALISE
E14	Eteindre la cafetière	Cliquer sur le bouton de la cafetière	Cliquer sur le bouton de la cafetière
E15	Débrancher la cafetière	Cliquer sur le fil d'alimentation de la cafetière	Cliquer sur le fil d'alimentation de la cafetière
E16	Verser le café dans la tasse	Prendre le pot verseur avec le café sur la cafetière	Déposer le pot verseur sur la table

Annexe 6 : L'usage de l'interface pour le participant

La navigation et l'appel de la consigne

Le participant navigue dans l'environnement au moyen des flèches de direction du clavier. Le participant avance ou recule à l'aide des touches ↑ / ↓, tourne à l'aide des touches ← / →.

L'appui sur la touche **Espace** pendant la séance affiche l'aide suivante qui définit les touches pour la navigation et la consigne.

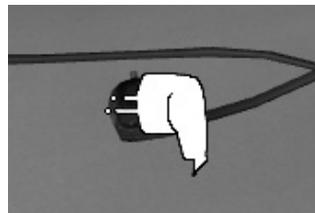
L'interaction

L'interaction avec l'environnement se fait avec **le clic gauche** de la souris.

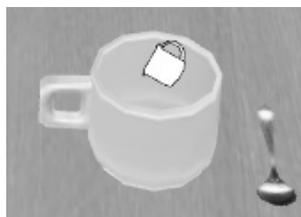
Vous ne pouvez prendre ou interagir avec un objet que si vous êtes suffisamment près de lui. Dans ce cas, lorsque le curseur passe sur l'objet, son icône habituelle se transforme comme expliqué dans le tableau suivant :



Prendre



Brancher



Verser



Animer

Annexe 8 : Les données de participant dans l'expérimentation I

Pendant la séance de familiarisation, 13 sujets sains (11 Femmes, 2 Hommes ; âge moyen : 39 ± 6 ans) ont expérimenté 7 tâches primitives : 4 tâches « Prendre un objet et le poser sur un endroit » et 3 tâches « Prendre un objet et le remplir d'eau ». Voir ses données expérimentales de participants dans le Tableau 25 et le Tableau 26.

Tâche primitive 1 : Prendre et Poser					
Tâche primitive	Par.	Métier	Âge	Sexe	Temps (Minute)
Prendre un verre et le poser sur le plan de travail	1	Ergo-pédiatre	46	F	1'21"
	2	Ergothérapeute	37	F	1'19"
	3	Neuropsychologue	27	F	31"
Prendre un couteau et le poser sur le plan de travail	4	Neuropsychologue	39	F	51"
Prendre une cuillère et la poser sur la table	5	Employé du centre	42	F	57"
	6	Ergothérapeute	30	H	38"
	7	Médecin	35	H	1'26"
	8	Employé du centre	35	F	2'47"
	9	Orthoptiste	42	F	2'40"
	10	Ergothérapeute	33	F	1'22"
Prendre la boîte de sucre et la poser sur la table	11	Kinésithérapeute	44	F	54"
	12	Kinésithérapeute	48	F	2'17"
	13	Employé du centre	44	F	2'19"

Tableau 25 : Données relatives aux tâches primitives 1 dans la séance de familiarisation

Tâche primitive 2 : Prendre et Remplir		
Tâche primitive	Par.	Temps (Minute)
Prendre un verre et le remplir d'eau	1	2'14"
	2	3'40"
	3	40"
	10	1'38"
	11	58"
	12	1'12"
Prendre la cafetière et la remplir d'eau	4	1'55"
	8	1'13"
	9	2'03"
	13	2'05"
Prendre la bouilloire et la remplir d'eau	5	1'50"
	6	1'05"
	7	1'12"

Tableau 26 : Données relatives aux tâches primitives 2 dans la séance de familiarisation

Pendant la séance d'expérimentation, les 13 sujets contrôles ont tous réussi à effectuer la tâche complexe qui consistait à « Faire un café noir pendant 20 minutes ». Les configurations et les données enregistrées pour chaque participant sont présentées en dans le Tableau 27.

Par.	Âge	Sexe	Nombre de cafés	Position des objets	Temps (Minutes)	Omission d'étapes
1	46	F	2	sur la table	6'50"	-
2	37	F	4	à chercher	9'46"	E12 et E15
3	27	F	2	sur la table	5'22"	E15
4	39	F	2	près de la cafetière	5'51"	E15
5	42	F	2	à chercher	12'03"	E15
6	30	H	6	près de la cafetière	6'01"	E15
7	35	H	2	à chercher	9'18"	-
8	35	F	6	sur la table	7'50"	E15
9	42	F	2	près de la cafetière	5'08"	E15
10	33	F	4	sur la table	5'48"	E15
11	44	F	6	à chercher	17'36"	-
12	48	F	4	sur la table	7'04"	E15
13	44	F	4	sur la table	12'52"	-

Tableau 27 : Configurations et données expérimentales pour chaque participant (Par.)

lors de la tâche complexe

Annexe 9 : Une grille d'évaluation virtuelle remplie par l'outil TVK dans l'expérimentation II

N°	Etape	Omission d'actions	Etape non terminée	Persévération	Erreurs de séquences	Additions d'actions	Erreur de contrôle	Dépendance
E1	Prendre l'eau	0	0	1	0	1	0	0
E2	Mesurer l'eau dans la réserve de la cafetière	0	0	0	0	2	0	0
E3	Chercher la boîte de filtres	1	0	0	0	1	0	0
E4	Mettre le filtre dans la cafetière	1	0	0	0	0	0	0
E5	Prendre le paquet de café	1	0	0	0	0	0	0
E6	Mettre du café dans le filtre	1	0	0	0	0	0	0
E7	Remettre les éléments de la cafetière en place	0	0	0	0	0	0	0
E8	Brancher la cafetière	1	0	0	0	0	0	0
E9	Allumer la cafetière	1	0	0	0	0	0	0
E10	Attendre que le café passe	1	0	0	0	0	0	0
E11	Prendre des tasses	0	0	0	0	0	0	0
E12	Prendre des petites cuillères	0	0	0	0	0	0	0
E13	Prendre du sucre	0	0	0	0	0	0	0
E14	Eteindre la cafetière	1	0	0	0	0	0	0
E15	Débrancher la cafetière	1	0	0	0	0	0	0
E16	Verser le café dans la tasse	1	0	0	0	0	0	0

Annexe 10 : La note d'information utilisée dans l'expérimentation III

<p style="text-align: center;">NOTE D'INFORMATION AU PATIENT POUR UN TEST DE TACHES DANS LA CUISINE VIRTUELLE TVK</p>

Investigateur principal : Evelyne KLINGER

Promoteur du test : Entité HIT des Arts et Métiers ParisTech Angers

En collaboration avec le centre de KERPAPE

Madame, Monsieur,

Votre thérapeute vous propose de participer au test de tâches dans la cuisine virtuelle, appelée l'outil TVK. Avant que vous ne décidiez de participer à ce test de recherche, il est important que vous lisiez attentivement ces pages qui vous apporteront les informations nécessaires concernant les différents aspects de ce test. Votre participation à ce test est entièrement volontaire. Si vous désirez ne pas prendre part à ce test ou si vous souhaitez vous en retirer à quelque moment que ce soit, et quel que soit le motif, vous continuerez à bénéficier du suivi médical et cela n'affectera en rien votre surveillance future.

Pourquoi ce test ?

Les lésions cérébrales qui surviennent après un accident vasculaire cérébral (AVC) ou un traumatisme crânien (TC) peuvent être responsables de troubles des fonctions intellectuelles, particulièrement de difficultés à effectuer des activités complexes de la vie de tous les jours. On parle à ce propos de troubles des FE. Le traitement proposé comporte des séances de rééducation (ergothérapie, orthophonie, neuropsychologie) à une fréquence moyenne habituelle d'au moins une séance par jour en phase post-aigüe. Plusieurs recherches suggèrent l'efficacité de cette rééducation. Les techniques sont variées et la part de chaque technique particulière reste incomplètement précisée. Au sein des ces moyens les outils utilisant l'interaction avec les supports informatiques (« réalité virtuelle ») ont été proposés pour aider les personnes à obtenir une meilleure récupération. La cuisine virtuelle thérapeutique TVK a été conçue et développée dans cet objectif.

Il s'agit dans ce test de recherche d'évaluer la faisabilité des tâches présentes dans l'outil TVK auprès de patients qui sont dans votre situation. Il s'agit de comprendre si les

outils proposés sont adaptés et si les tâches sont compréhensibles et réalisables. La cuisine TVK apparaît à l'écran de l'ordinateur. A l'aide du clavier et de la souris vous pouvez faire des actions comme se déplacer, prendre des objets, les déposer, les remplir, c'est-à-dire faire les actes nécessaires pour par exemple préparer un café.

Après une évaluation d'inclusion vous aurez la possibilité d'accéder à ce test.

Objectif de ce test

Le but de ce test est d'étudier la faisabilité d'une tâche habituelle du centre de Kerpape (Préparation d'un café) proposée sur l'écran d'un ordinateur et réalisée au moyen des touches d'un clavier et d'une souris. Le test ne comporte aucune contrainte particulière et notamment pas d'exams sanguins ou radiologiques supplémentaire à ceux qui sont nécessaires à votre suivi médical.

Comment va se dérouler ce test et que vous demandera t'on ?

Le test va se dérouler en deux séances d'environ 50 minutes. Vous serez devant un écran d'ordinateur, et vous aurez à votre disposition un clavier et une souris. A l'aide de touches du clavier, vous pourrez vous « déplacer » dans la cuisine et vous utiliserez la souris pour interagir avec les objets. La première séance sera une séance de familiarisation. Vous apprendrez à utiliser l'outil, à connaître les lieux. Vous réaliserez trois tâches que nous appelons primitives (ex. on vous demandera d'aller chercher un objet et de le poser sur la table). La deuxième séance sera une séance d'expérimentation de la tâche que nous appelons complexe. Il s'agira de préparer un café et de le servir dans des tasses. Après ces séances nous vous inviterons à remplir un petit questionnaire pour recueillir vos impressions.

Quels sont les bénéfices attendus, les contraintes et les risques possibles ?

Bénéfice

Le bénéfice attendu de ce test TVK sur poste informatique est une meilleure compréhension des possibilités d'utilisation de cet outil et d'adaptation des tâches aux besoins de chaque malade en particulier.

Contraintes

Votre participation à ce test implique que vous acceptiez de suivre l'ensemble des 2 séances et de remplir le questionnaire de recueil de vos impressions.

Ce test nécessite le maniement du clavier et de la souris. Si vous sentez fatigué(e), il faut le signaler au thérapeute qui sera à vos côtés. Il vous fera faire une pause ou arrêtera la séance.

Risques

Il n'y a pas de risque particulier au traitement et à l'utilisation de l'ordinateur qui est déjà fréquemment utilisé pour des besoins de santé.

Quels sont vos droits ?

Votre thérapeute doit vous fournir tous les renseignements utiles concernant ce test.

En cours de test si, ex. votre état de santé se dégrade ou si des effets secondaires le justifient, votre thérapeute pourra décider de vous faire arrêter l'essai à tout moment en continuant une surveillance.

Les données recueillies au cours de ce test de recherche resteront strictement confidentielles, vos nom et adresse ne seront connus que de votre thérapeute. Compte tenu des nécessités de la recherche et de son analyse ultérieure, les données recueillies qui vous concernent feront l'objet d'un traitement informatisé et anonyme dans l'entité HIT (Laval) des Arts et Métiers ParisTech Angers. Les informations qui feront l'objet de ce traitement informatisé seront en particulier les suivantes : configuration des tests, résultats des tests, âge, sexe. L'article 40 de la loi " Informatique et Libertés " du 6 janvier 1978 modifiée prévoit votre droit d'accès, d'opposition et de rectification des données enregistrées sur informatique, à tout moment, soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire de votre médecin auprès du Dr (nom et prénom).....

Lorsque ce test sera terminé, vous serez tenu informé personnellement des résultats globaux par votre médecin dès que ceux-ci seront disponibles.

Après avoir lu cette note d'information vous pouvez poser toutes les questions que vous souhaitez.

Si vous acceptez de participer à ce test, il vous suffit de signer le formulaire de consentement de participation. Un exemplaire du document vous sera remis.

Nous vous remercions de votre collaboration à ce test.

Nom du thérapeute ayant remis la note d'information :

Un exemplaire est à remettre au patient, un autre le cas échéant à la personne de confiance qu'il aura désignée.

Annexe 11 : Le formulaire écrit à signer par le patient

FORMULAIRE ECRIT DU CONSENTEMENT DE PARTICIPATION POUR UN TEST DE TACHES DANS LA CUISINE VIRTUELLE TVK

Investigateur principal : Evelyne KLINGER

Promoteur du test : Entité HIT (Laval) des Arts et Métiers ParisTech Angers

En collaboration avec le centre de KERPAPE

Je soussigné(e).....(nom, prénom) certifie avoir lu et compris la note d'information qui m'a été remise.

J'ai eu la possibilité de poser toutes les questions que je souhaitais à(nom, prénom)

qui m'a expliqué la nature, les objectifs, les risques potentiels et les contraintes liés à ma participation à ce test.

Je connais la possibilité qui m'est réservée d'interrompre ma participation à ce test à tout moment sans avoir à justifier ma décision et je ferai mon possible pour en informer le thérapeute qui me suit dans le test. Cela ne remettra naturellement pas en cause la qualité des soins ultérieurs.

J'ai eu l'assurance que les décisions qui s'imposent pour ma santé seront prises à tout moment, conformément à l'état actuel des connaissances médicales.

J'accepte que les thérapeutes ou scientifiques impliqués dans le déroulement de ce test aient accès à l'information dans le respect le plus strict de la confidentialité.

J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de ce test puissent faire l'objet d'un traitement informatisé par le promoteur ou pour son compte.

J'ai bien noté que, conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, je dispose d'un droit d'accès et de rectification. Je dispose également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de ce test et d'être traitées. Ces droits s'exercent auprès du thérapeute qui me suit dans le cadre de ce test et qui connaît mon identité.

Mon consentement ne décharge en rien l'investigateur et le promoteur de l'étude de leurs responsabilités à mon égard. Je conserve tous les droits garantis par la loi.

Les résultats globaux du test me seront communiqués directement, si je le souhaite, conformément à la loi du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé.

Ayant disposé d'un temps de réflexion suffisant avant de prendre ma décision, j'accepte libre et volontairement de participer à ce test.

Je pourrai à tout moment demander des informations complémentaires au thérapeute qui m'a proposé de participer à ce test, en téléphonant au

Fait à :

Fait à :

Le :

Le :

Signature de l'investigateur :

Signature du patient précédée de la mention « lu et approuvé » :

CE FORMULAIRE DOIT ETRE ETABLI EN TROIS EXEMPLAIRES / UN POUR LE PATIENT ET DEUX POUR L'INVESTIGATEUR

Annexe 12 : Le questionnaire utilisé dans l'expérimentation III

Nom : Date de l'évaluation :
Prénom : Votre médecin :

**Questionnaire TVK
à remplir après utilisation de la Cuisine Virtuelle Thérapeutique
(TVK : Therapeutic Virtual Kitchen)**

Tout d'abord, merci d'avoir participé au test de tâches dans l'outil TVK. Nous vous proposons de répondre à diverses questions sur une échelle de 1 à 5.

Q 1. Que pensez-vous du logiciel TVK ?

1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pas intéressant	peu intéressant	moyennement intéressant	intéressant	très intéressant

Q 2. Comment qualifiez-vous l'utilisation des matériels et des moyens d'interactions (prendre, poser, animer) ?

1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>				
Très difficile	difficile	moyennement facile	facile	très facile

Si très difficile ou difficile, merci de préciser pourquoi.

.....
.....
.....

Q 3. Comment qualifiez-vous la séance de familiarisation ?

1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inutile	Peu nécessaire	moyennement nécessaire	nécessaire	très nécessaire

Si inutile, expliquez pourquoi.

.....
.....
.....

Annexe 13 : Les données de patients dans l'expérimentation III lors des tâches primitives

Dans la séance de familiarisation, il a été demandé aux 7 patients de réaliser 9 tâches primitives (3 tâches : prendre un objet ; 3 tâches : prendre un objet et le poser sur un endroit ; 3 tâches : prendre un récipient et le remplir d'eau). Dans la séance d'évaluation, ils ont répété 3 tâches primitives (prendre une tasse dans le tiroir ; prendre la bouteille de lait dans le placard ou dans le réfrigérateur et la poser sur la table ; prendre le pot verseur de la cafetière et le remplir d'eau) avant réaliser la tâche complexe. Les données de 9 tâches primitives de la séance de familiarisation sont présentées en Annexe 13.1. Les données de 3 tâches primitives du rappel de la familiarisation dans la séance d'évaluation sont présentées en Annexe 13.2.

Annexe 13.1. Séance de familiarisation

Tâche primitive : Prendre			
	Pat.	Temps (Minute)	Erreur
P1	1	23"	
	2	5"	
	3	1'12"	
	4	38"	
	5	1'31"	
	6	12"	
	7	2'18"	
P2	1	20"	
	2	28"	
	3	2'40"	Pris un mauvais objet
	4	4'26"	
	5	1'15"	
	6	32"	
	7	3'23"	
P3	1	30"	
	2	15"	
	3	52"	
	4	2'12"	
	5	30"	
	6	14"	
	7	1'30"	

Tâche primitive : Prendre et Poser			
	Pat.	Temps (Minute)	Erreur
PP1	1	48"	
	2	-	Pas demandée
	3	2'11"	
	4	2'07"	Posé sur un mauvais endroit
	5	1'29"	Posé sur un mauvais endroit
	6	30"	
	7	2'20"	
PP2	1	1'42"	Posé sur un mauvais endroit, rappel consigne
	2	-	Pas demandée
	3	2'	
	4	27'	
	5	1'58"	
	6	19"	
	7	*	Pas réussi
PP3	1	45"	Posé sur un mauvais endroit
	2	-	Pas demandée
	3	2'19"	
	4	1'30"	
	5	1'52"	
	6	31"	
	7	*	Pas réussi

Tâche primitive : Prendre et Remplir			
	Pat.	Temps (Minute)	Erreur
PR1	1	1'03"	Rappel consigne
	2	31"	
	3	3'55"	
	4	1'57"	Posé sur un mauvais endroit
	5	3'05"	Posé sur un mauvais endroit
	6	46"	
	7	2'26"	
PR2	1	52"	
	2	45"	
	3	4'28"	Posé sur un mauvais endroit
	4	1'31"	
	5	3'12"	
	6	2'23"	
	7	*	Pas réussi
PR3	1	52"	
	2	45"	
	3	2'10"	
	4	1'31"	
	5	1'57"	Posé sur un mauvais endroit
	6	-	Pas demandée
	7	1'58"	

“-” : La tâche n’a pas été demandé par le thérapeute

“*”: Le patient n’a pas réussi de réaliser la tâche demandée par le thérapeute

“Pat.”: Patient

P1: Prendre un couteau sur la table

P2 : Prendre une tasse dans le tiroir

P3 : Prendre la boîte de sucre dans le placard

PP1 : Prendre la bouteille de lait dans le placard ou dans le réfrigérateur et la poser sur la table

PP2 : Prendre une cuillère dans le tiroir et la poser sur le plan de travail

PP3 : Prendre un verre dans le tiroir et le poser sur la table

PR1 : Prendre le pot verseur de la cafetière sur le plan de travail et le remplir d’eau

PR2 : Prendre un verre dans le tiroir et le remplir d’eau

PR3 : Prendre la bouilloire sur le plan de travail et la remplir d'eau

Annexe 13.2. Rappel de la familiarisation dans la séance d'exécution

Tâche	Patient	Temps (Minute)	Erreur
P2	1	17"	
	2	22"	
	3	2'16"	
	4	1'48"	
	5	2'15"	
	6	-	Pas demandée
	7	2'13"	

Tâche	Patient	Temps (Minute)	Erreur
PP1	1	25"	
	2	14"	
	3	46"	
	4	50"	
	5	2'	ouvre et ferme lave vaisselle
	6	-	Pas demandée
	7	1'33"	

Tâche	Patient	Temps (Minute)	Erreur
PR1	1	37"	
	2	28"	
	3	2'21"	
	4	1'45"	
	5	2'17"	
	6	-	Pas demandée
	7	4'10"	

P2 : Prendre une tasse dans le tiroir

PP1 : Prendre la bouteille de lait dans le placard ou dans le réfrigérateur et la poser sur la table

PR1 : Prendre le pot verseur de la cafetière sur le plan de travail et le remplir d'eau

Publications

- Cao X, Fuchs P, Klinger E (2008a). Une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte du syndrome dysexécutif. In: Journées de 2ème année de l'ED de A.M. ParisTech, Poster. Paris, France.
- Cao X, Klinger E, Fuchs P (2008b). Mise en œuvre d'une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte du syndrome dysexécutif. In: CONFERE 08, p 5. Angers.
- Cao X, Douguet AS, Fuchs P, Klinger E (2009). Issues in the design of a virtual Instrumental Activity of Daily Living (vIADL) for Executive Functions exploration. In: Virtual Rehabilitation 09, Poster. Israel.
- Klinger E, Cao X, Douguet AS, Fuchs P (2009). Designing an ecological and adaptable virtual task in the context of executive functions. In: CyberTherapy 09, pp 5: 1-5. Italy.
- Cao X, Douguet AS, Fuchs P, Klinger E (2010). Designing an ecological virtual task in the context of executive functions: Preliminary study. In: Proc. 8th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies. P M Sharkey, J Sanchez (Eds), pp. 71-77, Viña del Mar/Valparaiso, Chile.

Bibliographie

- Allain P (2000). Pathologie frontale et utilisation des schémas routiniers d'action. Thesis in Université Claude Bernard-Lyon I, Lyon, 290 pages,
- Baguena N, Thomas-Anterion C, Sciessere K, Truche A, Extier C, Guyot E, Paris N (2006). Apport de l'évaluation de la cognition dans une tâche de vie quotidienne chez des patients cérébrolésés : génération et exécution d'un script de cuisine. *Annales de Readaptation et de Médecine Physique*, 49(5):234-241.
- Bardet J (2007). Rapport sur la prise en charge précoce des accidents vasculaires cérébraux. Office parlementaire d'évaluation des politiques de santé, 226 pages.
- Baumann S, Neff C, Fetzick S, Stangl G, Basler L, Verneck R, Schneider W (2003). A virtual reality system for neurobehavioral and functional MRI studies. *Cyberpsychol Behav*, 6(3):259-266.
- Bowman DA (1999). Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments : Design, Evaluation, and Application. Thesis in Georgia Institute of Technology, 142 pages,
- Bowman DA, McMahan RP (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer*, 40(7):36-43.
- Boy G (2003). Ingénierie cognitive. Paris: Hermes Lavoisier, 463 pages.
- Burkhardt JM, Lourdeaux D, Couix S, Rouillé M (2009). Chapitre 3 "La modélisation de l'activité humaine finalisée" du volume 5 "Les humains virtuels". In: *Le traité de la réalité virtuelle* (Fuchs P, Moreau G, Donikian G, auteurs, eds), pp 213-243. Paris: Les presses d'Ecole des Mines de Paris. <http://caor.ensmp.fr/interlivre>.
- Cao X, Klinger E, Fuchs P (2008). Mise en œuvre d'une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte du syndrome dysexécutif. In: CONFERE 08, p 5. Angers.
- Cao X, Douguet AS, Fuchs P, Klinger E (2009). Issues in the design of a virtual Instrumental Activity of Daily Living (vIADL) for Executive Functions exploration. In: *Virtual Rehabilitation 09*, Poster. Israel.
- Cao X, Douguet AS, Fuchs P, Klinger E (2010). Designing an ecological virtual task in the context of executive functions: Preliminary study. In: *Proc. 8th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies*. P M Sharkey, J Sanchez (Eds), pp. 71-77, Viña del Mar/Valparaiso, Chile.
- Cardoso LS, da Costa R, Piovesana A, Costa M, Penna L, Crispin AC, Carvalho J, Ferreira H, Lopes ML, Brandao G, Mouta R (2006). Using virtual environments for stroke rehabilitation. In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation (IWVR)*, pp 1-5. New York City, NY.
- Carelli L, Morganti F, Patrice L, Weiss T, Kizony R, Riva G (2008). A virtual reality paradigm for the assessment and rehabilitation of executive function deficits post stroke: Feasibility study. *IEEE*:6:99-104.
- Carelli L, Morganti F, Poletti B, Corra B, Weiss PL, Kizony R, Silani V, Riva G (2009). A NeuroVR based tool for cognitive assessment and rehabilitation of post-stroke patients: two case studies. *Stud Health Technol Inform*, 144:243-247.
- Chevignard M, Pillon B, Pradat-Diehl P, Taillefer C, Rousseau S, Le Bras C, Dubois B (2000). An ecological approach to planning dysfunction: script execution. *Cortex*, 36(5):649-669.

- Chevignard M, Taillefer C, Picq C, Poncet F, Pradat-Diehl P (2006). Évaluation du syndrome dysexécutif en vie quotidienne. In: *Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne* (Pradat-Diehl P, Peskine A, eds), pp 47-65. Paris: Springer Paris. <http://www.springerlink.com/content/j6r015441h1u36g1/>.
- Chevignard M, Taillefer C, Picq C, Pradat-Diehl P (2008). Ecological assessment of executive functions in a patient with acquired brain injury. *Ann Readapt Med Phys*, 51(2):74-83.
- Christiansen C, Abreu B, Huffman K (1996). Creating a virtual environment for brain injury rehabilitation and research: a preliminary report. *Journal of Medicine & Virtual Reality*, 1:6-9.
- Davies RC, Johansson G, Boschian K, Lindén A, Minör U, Sonesson B (1999). A practical example using VR in the assessment of brain injury. *International Journal of Virtual Reality*, 4(1):3-10.
- Davies RC, Löfgren E, Wallergard M, Linden A, Boschian K, Minör U, Sonesson B, Johansson G (2002). Three Applications of Virtual Reality for Brain Injury Rehabilitation of Daily Tasks. In: *International Conference on Disabilities, Virtual Reality and Associated Technology*, pp 93-100. Hungary.
- Dubois B, Boller F, Pillon B, Agid Y (1991). Cognitive deficits in Parkinson's disease. In: *Handbook of Neuropsychology* (Boller F, Grafman J, eds), pp 195-240. Amsterdam: Elsevier Science Publishes.
- Edmans J, Gladman J, Hilton D, Walker M, Sunderland A, Cobb S, Pridmore T, Thomas S (2009). Clinical evaluation of a non-immersive virtual environment in stroke rehabilitation. *Clin Rehabil*, 23(2):106-116.
- Edmans JA, Gladman JR, Cobb S, Sunderland A, Pridmore T, Hilton D, Walker MF (2006). Validity of a virtual environment for stroke rehabilitation. *Stroke*, 37(11):2770-2775.
- Fidopiastis CM, Stapleton CB, Whiteside JD, Hughes CE, Fiore SM, Martin GA, Rolland JP, Smith EM (2006). Human Experience Modeler: context-driven cognitive retraining to facilitate transfer of learning. *Cyberpsychol Behav*, 9(2):183-187.
- Fortin S, Godbout L, Braun CM (2003). Cognitive structure of executive deficits in frontally lesioned head trauma patients performing activities of daily living. *Cortex*, 39(2):273-291.
- Fuchs P, Nashashibi F, Lourdeaux D (2000). Three levels of Immersion and Interaction in a Approach of the VR Design. *International Journal of design and Innovation Research*, 2:30-42.
- Fuchs P, Moreau G, auteurs (2006). *Le traité de la réalité virtuelle, Volum 2 "L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en environnement virtuel"*. Paris: Les presses d'Ecole des Mines de Paris, 552 pages.
- Godefroy O (2003). Frontal syndrome and disorders of executive functions. *J Neurol*, 250(1):1-6.
- Godefroy O, Aithamon B, Azouvy P, Didic M, le Gall D, Marié RM, Meulemans T, Chryste M, Peres B, Pillon B, Robert P (2004). Groupe de Reflexion sur L'Evaluation des Fonctions EXecutives. Syndromes frontaux et dysexécutifs. *Rev Neurol (Paris)*, 160(10):899-909.
- Josman N, Hof E, Klinger E, Marie RM, Goldenberg K, Weiss PL, Kizony R (2006). Performance within a virtual supermarket and its relationship to executive functions in post-stroke patients. In: *International Workshop on Virtual Rehabilitation*, pp 106-109.
- Josman N, Klinger E, Kizony R (2008). Performance within the virtual action planning supermarket (VAP-S): an executive function profile of three different populations suffering from deficits in the central nervous system. In: *ICDVRAT*, pp 33-38. Maia, Portugal.

- Jouadé AS (2003). Evaluation écologique de l'exécution de routine d'actions chez des patients dysexécutifs. Mémoire de Diplôme d'Etudes Appliquées à l'Université d'Angers, 30 pages.
- Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marié RM (2004). A Virtual Supermarket to Assess Cognitive Planning. *Cyberpsychol Behav*, 7(3):292-293.
- Klinger E (2006). Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux. PhD Thesis in Informatique Thesis in ENST, Paris, 228 pages, <http://pastel.paristech.org/archive/00001645/>.
- Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marie RM (2006). Virtual action planning in Parkinson's disease: a control study. *Cyberpsychol Behav*, 9(3):342-347.
- Klinger E, Marié RM, Lebreton S, Weiss PL, Hof E, Josman N (2008). The VAP-S: A virtual supermarket for the assessment of metacognitive functioning. In: *Proceedings of VRIC'08* (Richir S, Klinger E, eds), pp 169-173. Laval, France.
- Klinger E, Cao X, Douguet AS, Fuchs P (2009a). Designing an ecological and adaptable virtual task in the context of executive functions. In: *CyberTherapy 09*, p 5. Italy.
- Klinger E, Marié RM, Josman N (2009b). Evaluation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle: le VAP-S. In: *Kinésithérapie, La revue*, Proceedings of JFK 2009, Vol 85-86, pp 32-34. Paris: Elsevier-Masson.
- Lambert T (2007). Déficiences et maladies invalidantes. *Tendances. La lettre des études de l'AGEFIPH* 7:1-4.
- Le Thiec F, Jokic C, Enot-Joyeux F, Durand M, Lechvalier B, Eustache F (1999). Évaluation écologique des fonctions exécutives chez les traumatisés crâniens graves : pour une meilleure approche du handicap. *Annales de réadaptation et de médecine physique (Ann réadapt méd phys)*:1-18.
- Lee JH, Ku J, Cho W, Hahn WY, Kim IY, Lee SM, Kang Y, Kim DY, Yu T, Wiederhold BK, Wiederhold MD, Kim SI (2003). A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. *Cyberpsychol Behav*, 6(4):383-388.
- Leplat J, Hoc JM (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3(1):49-63.
- Poncet F, Taillefer C, Chevignard M, Picq C, Pradat-Diehl P (2009). Évaluations écologiques du syndrome dysexécutif : un défi de taille pour l'ergothérapie. *Springer*, 25:88-98.
- Pradat-Diehl P (2004). Dossier : Les troubles cognitifs après traumatismes-crânio-cérébraux sévères. *Neurologies*, 7:65-76.
- Pradat-Diehl P, Azouvi P, Brun V (2006a). *Fonctions exécutives et rééducation*, Elsevier-Masson Edition. Paris: Springer Paris, 122 pages.
- Pradat-Diehl P, Peskine A, Chevignard M (2006b). Avant-propos. Pourquoi évaluer les troubles neuropsychologiques en vie quotidienne. In: *Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne*, pp 1-5: Springer.
- RasPELLI S, Carelli L, Morganti F, Albani G, Pignatti R, Mauro A, Poletti B, Corra B, Silani V, Riva G (2009). A neuro vr-based versIon of the multiple errands test for the Assessment of executive functions: A possible approach. *Cyber Therapy & Rehabilitation*, 2(4):15: 299-313.
- Riva G, Gaggioli A, Villani D, Preziosa A, Morganti F, Corsi R, Faletti G, Vezzadini L (2007). NeuroVR: an open source virtual reality platform for clinical psychology and behavioral neuroscience. *Stud Health Technol Inform*, 125:394-399.
- Riva G, Carelli L, Gaggioli A, Gorini A, Vigna C, Algeri D, Repetto C, RasPELLI S, Corsi R, Faletti G, Vezzadini L (2009). NeuroVR 1.5 in Practice: Actual Clinical Applications of the Open Source VR System. *Stud Health Technol Inform*, 144:57-60.
- Rizzo AA, Wiederhold M, Buckwalter JG (1998). Basic issues in the use of virtual environments for mental health applications. *Stud Health Technol Inform*, 58:21-42.

- Rizzo AA, Bowerly T, Shahabi C, Buckwalter JG, Klimchuk D, Mitura R (2004). Diagnosing Attention Disorders in a Virtual Classroom. *IEEE Computer*, 37(6):87-89.
- Rose FD, Brooks BM, Rizzo AA (2005). Virtual reality in brain damage rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav*, 8(3):241-271.
- Shallice T, Burgess PW (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114:727-741.
- Sohlberg MM, Mateer CA (1989). *Introduction to cognitive rehabilitation: Theory and Practice*. New York: The Guilford Press, 4 pages.
- Stanney KM, Mourant RR, Kennedy RS (1998). Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature. *Presence Teleop Virt*, 7(4):327-351.
- Takacs B (2005). Special education and rehabilitation: teaching and healing with interactive graphics. *IEEE Comput Graph Appl*, 25(5):40-48.
- Takacs B (2007). A Multi-Purpose CyberTherapy Rehabilitation System and its Applications for Clinical Treatment. In: *VRIC 2007, Laval Virtual Conference*, p 10. Laval, France.
- Vataja R, Pohjasvaara T, Mantyla R, Ylikoski R, Leppavuori A, Leskela M, Kalska H, Hietanen M, Aronen HJ, Salonen O, Kaste M, Erkinjuntti T (2003). MRI correlates of executive dysfunction in patients with ischaemic stroke. *Eur J Neurol*, 10(6):625-631.
- Werner P, Rabinowitz S, Klinger E, Korczyn AD, Josman N (2009). Use of the virtual action planning supermarket for the diagnosis of mild cognitive impairment: a preliminary study. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 27(4):301-309.
- Wilson BA, Alderman N, Burgess PW, Emslie H, Evans JJ (2003). Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome (BADS). *Journal of Occupational Psychology, Employment and Disability* 5: 33-37.
- Zhang L, Abreu BC, Masel B, Scheibel RS, Christiansen CH, Huddleston N, Ottenbacher KJ (2001). Virtual reality in the assessment of selected cognitive function after brain injury. *Am J Phys Med Rehabil*, 80(8):597-604.
- Zhang L, Abreu BC, Seale GS, Masel B, Christiansen CH, Ottenbacher KJ (2003). A virtual reality environment for evaluation of a daily living skill in brain injury rehabilitation: reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil*, 84(8):1118-1124.

Mise en œuvre d'une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte des fonctions exécutives

RESUME :

Malgré la fréquence de l'altération des fonctions exécutives après lésion cérébrale, les approches évaluatives et rééducatives de ces troubles restent limitées. Cette altération est très invalidante car elle perturbe les Activités de Vie Quotidienne (AVQ) (ex. préparation des repas) et empêche le retour des personnes à leur vie sociale et professionnelle. Or il s'avère que les technologies de la réalité virtuelle ont montré leurs potentiels dans la proposition de stratégies d'intervention thérapeutique innovantes. Elles nécessitent la modélisation de tâches virtuelles écologiques (proches des AVQ), le suivi et l'évaluation de l'activité du patient dans ces tâches et enfin l'évaluation des erreurs commises par le patient. La conception de ces tâches repose sur la pratique traditionnelle dans les centres de rééducation comme le centre de Kerpape. Les modalités d'interaction dans ces tâches doivent tenir compte de contraintes liées aux patients, comme leurs capacités résiduelles.

Dans ces contextes, notre travail de thèse nous a permis de concevoir un outil permettant aux thérapeutes de configurer une tâche virtuelle, écologique et paramétrable pour l'évaluation et la rééducation des patients cérébrolésés. Dans la cuisine virtuelle (TVK = Therapeutic Virtual Kitchen) qui est une représentation fidèle de la cuisine thérapeutique de Kerpape, nous avons conçu des tâches écologiques primitives et complexes dont la graduation permet d'une part de s'adapter aux capacités du patient et d'autre part d'évaluer son dysfonctionnement exécutif. Dans l'objectif d'évaluer la performance du patient dans la tâche complexe choisie (Préparation d'un café), nous avons partiellement virtualisé la grille d'évaluation des erreurs d'actions et des erreurs comportementales, utilisée dans la tâche réelle à Kerpape. L'outil TVK permet la sauvegarde en temps réel des données relatives à l'activité du patient ainsi que l'interprétation et l'enregistrement des erreurs. Les expérimentations menées nous ont permis de valider l'usage de l'outil TVK auprès de sujets sains et de patients cérébrolésés et d'apporter de l'objectivité dans l'évaluation de la performance des patients dans une AVQ. Nos travaux mettent en évidence la difficulté d'évaluer simplement les erreurs comportementales.

Nous avons proposé une approche fondée sur la réalité virtuelle pour l'évaluation de l'activité du patient cérébrolésé dans une tâche écologique. Cette approche met en évidence les apports de la réalité virtuelle dans la prise en charge de troubles cognitifs et les perspectives en rééducation cognitive.

Mots clés :

Réalité virtuelle, fonctions exécutives, Activités de Vie Quotidienne (AVQ), tâche écologique, rééducation

Designing a virtual and adaptable ecological task in the context of executive functions

ABSTRACT :

Despite the frequency of the impairment of executive functions after brain injury, assessment and rehabilitation approaches of the dysexecutive syndrome are still limited. This alteration is very disabling because it disrupts Activities of Daily Living (ADL) (e.g. meal preparation), prevents return to social and professional life. The technology of virtual reality has shown its potential to propose innovative therapeutic intervention strategies. They require modeling of ecological virtual tasks (close to ADL), follow-up and assessment of the patient's activity in these tasks and finally assessment of the errors performed by the patient. The design of these tasks is based on the traditional practice at rehabilitation units such as Kerpape Rehabilitation Center. The interaction modalities in these tasks should take into account the constraints related to the patients, like their residual abilities.

In these contexts, during our thesis work we designed a tool that allows therapists to configure an ecological virtual task for assessment and rehabilitation of patients with brain injury. In the therapeutic virtual kitchen (TVK), which is an accurate representation of the therapeutic kitchen of Kerpape, we designed primary and complex ecological tasks that can be graduated in order to be adapted to patient's abilities and to evaluate his/her executive dysfunctioning. With the purpose to assess the patient's performance in the chosen complex task (Preparation of a coffee), we partially computerized the assessment grid of actions errors and behavioral errors, used in the real task at Kerpape Center. The TVK tool can save in real-time data on patient's activity as well as interpret and record errors. The experiments allowed us to validate the usefulness of the TVK tool with healthy subjects and patients with brain injury, and to provide objectivity in the assessment of the patient's performance within an ADL. Our work brings out the difficulty of assessment of behavioral errors.

In the context of brain injury, we proposed a VR-based approach for the assessment of patient's activity while performing an ADL. This approach helps us to highlight some assets of VR in the area of cognitive disorders and some prospects in cognitive rehabilitation.

Keywords :

Virtual reality, executive functions, Activity of Daily Living (ADL), ecological task, rehabilitation