

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

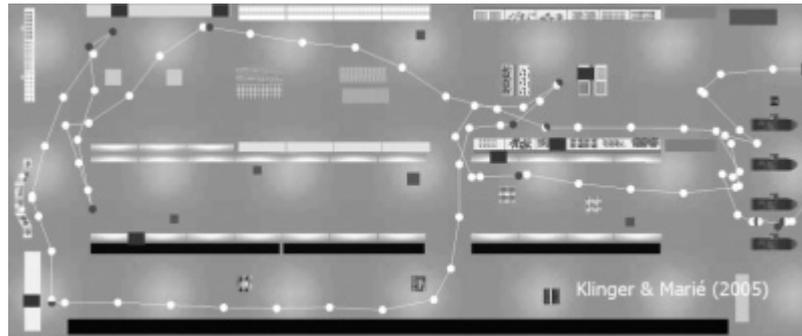
Le VAP-S (Virtual Action Planning Supermarket) (Klinger et al, 2004; Klinger, 2006) a été créé en France sur la base d'un paradigme similaire au « Test des Commissions », épreuve au cours de laquelle le sujet doit effectuer une série d'achats et décider de l'ordre dans lequel les effectuer afin de respecter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

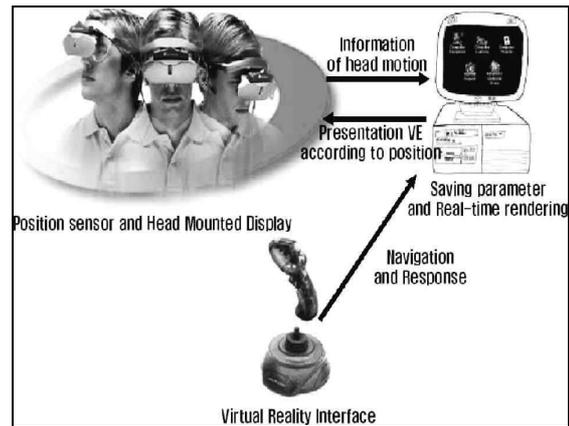


Figure 8 : Equipement du supermarché virtuel, image provenant de (Lee et al, 2003)

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.

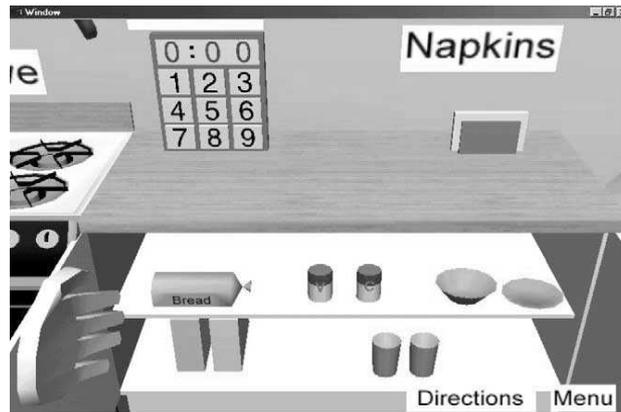


Figure 11 : Un écran de la simulation des ustensiles et des appareils de cuisine, image provenant de (Zhang et al, 2003)

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, persévération, 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.

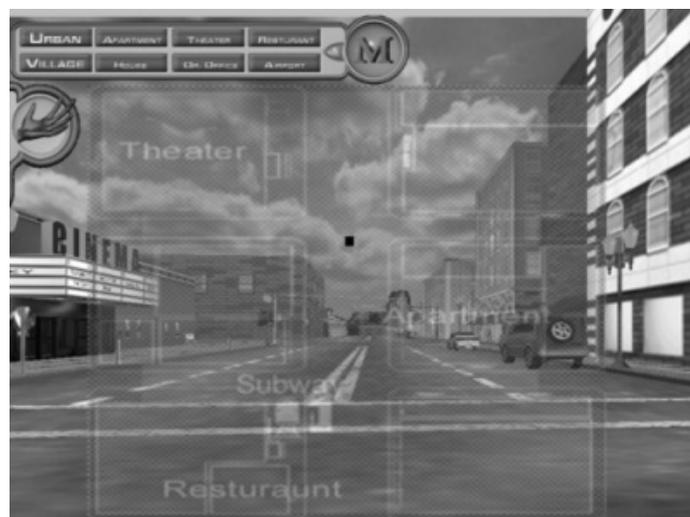


Figure 14 : Une rue de l'urbaine dans VR Worlds 2, images provenant de (Baumann et al, 2003)

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.

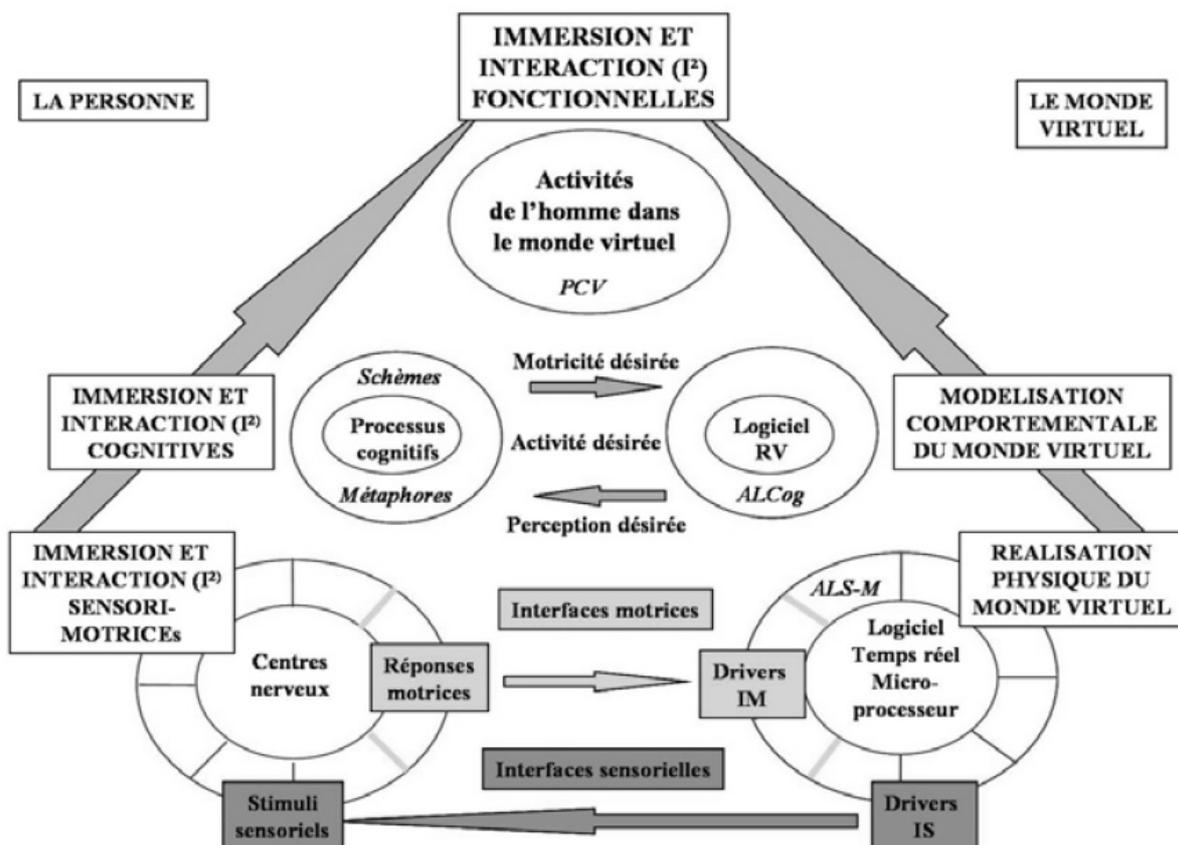


Figure 15 : Le schéma du modèle 3I², image provenant de (Fuchs et al, 2006)

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 (ALCog). 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 ALCog apportent des facilités au sujet lors de la réalisation d'une tâche à accomplir (ex. pour prendre un objet dans un EV, il faut