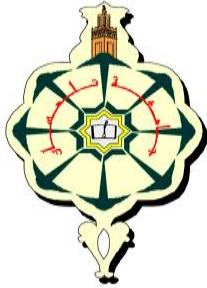


UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAÏD-TLEMCCEN
FACULTE DE TECHNOLOGIE



HABILITATION UNIVERSITAIRE

Mention : Automatique

Abdelhak MOUSSAOUI

PRISE EN CHARGE DE PSYCHOTHERAPIE ET DU
HANDICAP PAR LA REALITE VIRTUELLE.

Soutenue le 30 juin 2012 devant la commission d'examen :

M. BESSAID ABDELHAFID (professeur)	Président.
M. BEREKSI REGUIG FETHI (professeur)	Rapporteur.
M. NOUIBAT WAHID (M.C.A)	Rapporteur.
M. SARI ZAKI (professeur)	Rapporteur.
M. RAHMOUN ABDELLATIF (professeur)	Examineur.
M. CHIKH MOHAMMED AMINE (professeur)	Examineur.
M. CHERKI BRAHIM (M.C.A)	Invité.

Laboratoire d'Automatique de Tlemcen

2011-2012.

Table des matières

<i>CHAPITRE I Introduction</i>	1
<i>CHAPITRE II Psychothérapie par la Réalité Virtuelle</i>	3
II.1. Automatisation du déroulement des séances de thérapie par RV pour la phobie sociale	3
II.1.1. Introduction	3
II.1.2. Travaux antécédents.....	3
II.1.3. Régulation émotionnelle	4
II.2. Etude d'un cas de phobie sociale	5
II.2.1. Méthode	5
II.2.2. Résultats et discussion.....	5
II.2.3. Conclusion.....	6
II.3. Troubles obsessionnelles compulsives.....	6
II.3.1. Thérapie d'exposition pour les TOC.....	7
II.3.2. Etat de l'art	8
II.3.3. Méthodologie	9
II.3.4. Conclusion.....	10
II.4. Induction virtuelle.....	10
II.4.1. Contexte.....	10
II.4.2. Introduction	10
II.4.3. Objectif	11
II.4.4. Démarche et état d'avancement	11
<i>CHAPITRE III Analyse de l'Accessibilité</i>	13
III.1. Contexte.....	13
III.2. Introduction	13
III.3. Méthodologie	13
III.4. Evaluation de l'accessibilité	14
III.4.1. Modélisation de la partie supérieure du corps humain.....	14
III.4.2. Accessibilité à la préhension.....	14
III.4.3. Analyse comparative.....	16
III.4.4. Critères d'évaluation de postures.....	17
III.4.5. Accessibilité de l'action.....	19
III.5. Le simulateur	21
III.6. Conclusion	21
<i>CHAPITRE IV Conclusion et perspectives.</i>	22
<i>ANNEXES</i>	23
<i>Bibliographie</i>	25

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Le présent document constitue une synthèse sur mes travaux de recherche, à travers laquelle je vais m'attacher à exposer et décrire les thèmes de recherche réalisés parmi les plus récents, ayant donné lieu aux résultats significatifs, ainsi que les perspectives de recherche que je compte développer à l'avenir.

Mes travaux de recherche ont été effectués, depuis 2000, au sein du Laboratoire d'Automatique de Tlemcen (LAT). Mon parcours a commencé, sous la direction de M. KARA TERKI Chafik, par mon projet de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur en électronique (communication), dans lequel j'ai proposé un algorithme de planification globale de trajectoires pour les robots mobiles de type véhicule. Ce travail a été accompagné par une réalisation pratique d'une voiture télécommandée par ordinateur et observée par une caméra offrant une vue en plan sur l'environnement de navigation du véhicule. Par la suite, et dans le cadre du projet de magister, j'ai travaillé, sous la direction de M. CHERKI Brahim et M. KARA TERKI Chafik, sur le télé-pilotage de robots mobiles distants. Ce travail m'a permis de satisfaire mes anciens attraits à l'infographie en trois-dimensions, alors, j'ai réalisé un simulateur 3D (C++, OpenGL, DirectX) pour les robots mobiles et les bras manipulateurs. Mon parcours n'aurait pas pu être tracé de cette manière sans la confiance de mes encadreurs qui m'ont accordé une très grande liberté de choix et de décision durant les travaux de recherche.

Après mon magister, que j'ai soutenu en 2003, j'avais la vision très claire sur l'orientation de mes futurs projets, j'ai passé 3 ans à chercher un sujet de doctorat qui devait être compatible avec les thématiques de mon laboratoire LAT, mais aussi avec mes orientations projetées.

En 2006, j'ai eu une proposition, de la part de M. CHERKI Brahim et M. PRUSKI Alain, d'un sujet de thèse sur les thérapies d'exposition par réalité virtuelle (TERV), mené en cotutelle avec l'université de Metz dans le cadre de l'accord-programme TASSILI 04 MDU 624. Je me suis inscrit en thèse de doctorat en 2007/2008, et je l'ai soutenue en novembre 2010. Les travaux de thèse ont donné lieu à plusieurs publications ainsi qu'à deux prix de la meilleure communication.

Durant mes multiples visites au LASC, Metz (Laboratoire d'automatique humaine et Sciences Comportementales), j'ai participé avec M. PRUSKI Alain à plusieurs réunions et journées d'études sur la réalité virtuelle, les émotions et les troubles cognitifs. Mes courts séjours ont été consacrés à mon travail de thèse, mais cela ne m'a pas empêché à contribuer à d'autres travaux de recherche du LASC, en particulier l'utilisation de la RV pour l'évaluation de l'accessibilité d'un environnement d'une personne handicapée ; cela m'a permis de réaliser des encadrements de candidats en master automatique à l'université de Tlemcen. Ce travail a été réalisé en collaboration avec des associations de personnes âgées et/ou handicapées à Metz et avec l'hôpital de Metz.

Lors de mes multiples participations aux congrès et conférences internationales couvrant la thématique des TERV, j'ai eu l'occasion d'échanger des idées avec des chercheurs de renommée internationale qui travaillent sur cette thématique et qui sont issus de domaines de recherche variés. A titre d'exemple : Daniel THALMANE (réalité virtuelle), Evelyne KLINGER (Télécommunication et informatique), Sébastien BOUCHARD (psychologue, psychothérapeute), Jean COTTRAUX (psychiatre), Guy DARCOURT (psychanalyste)...

Comme mon parcours scientifique l'indique, je travaille actuellement sur deux thématiques différentes :

- Les psychothérapies par RV : après la phobie sociale, je m'intéresse en ce moment aux troubles obsessionnels compulsifs et aux troubles post-traumatiques. En effet, ces nouvelles orientations ont été largement influencées par les discussions et conseils lors des rencontres scientifiques. Les travaux expérimentaux sont menés au niveau d'un cabinet de psychiatrie à Tlemcen. Un autre travail sur les enfants autistes a été initié avec l'Association Autisme Tlemcen dans lequel nous développons des applications informatiques et de RV pour améliorer la communication avec ces enfants. En effet, plusieurs études scientifiques attestent de l'efficacité de cette technique. Dans ce cadre, une application nommée VirtualPecs que nous avons montée sur des Pocket PC est en phase de test.
- L'évaluation de l'accessibilité d'un lieu de vie d'une personne handicapée : ce travail nous permet de s'approcher mieux aux thématiques du LAT car, en analyse de l'accessibilité, l'être humain est considéré comme étant une chaîne articulée, ainsi, le problème d'accessibilité peut être formulé comme étant un problème de cinématiques inverse ou d'optimisation soumis à des contraintes, et pour lequel on peut profiter des multiples algorithmes développés en robotique.

Ce document de synthèse est organisé en deux parties, la première sera consacrée aux psychothérapies par la réalité virtuelle, la deuxième partie à l'évaluation de l'accessibilité.

CHAPITRE II

PSYCHOTHERAPIE PAR LA REALITE VIRTUELLE

II.1. Automatisation du déroulement des séances de thérapie par RV pour la phobie sociale

II.1.1. Introduction

L'utilisation de la réalité virtuelle (RV) pour le traitement des phobies et troubles cognitifs a connu ces dernières années de grands succès. L'idée de ce mode de thérapie consiste à faire évoluer le sujet dans un environnement virtuel (EV) dans lequel il affronte, par étapes successives, les situations redoutées en réalité afin de le désensibiliser (Evelyne Klinger et al. 2004) La disponibilité des outils de mesure de l'état du sujet, en particulier le monitoring physiologique, nous a poussés à penser à l'automatisation des séances de TERV. Notre idée est basée sur trois concepts fondamentaux :

- Faire vivre au sujet une expérience proche du monde réel en participant à la réalisation d'une histoire prévue et conçue par le thérapeute ;

- Laisser au sujet la liberté de navigation dans l'EV. Le sujet est guidé par l'évolution des événements de l'histoire contrairement à la thérapie par RV habituelle où il est exposé à une suite ordonnée de situations anxiogènes gérée par le thérapeute (North et al. 2002; Herbelin et al. 2002; S. Roy et al. 2003) ;

- Introduire l'état d'anxiété mesuré du sujet dans le contrôle de l'intensité des stimuli afin de le faire progresser d'une façon lisse et continue.

L'opération d'automatisation des séances permet au thérapeute de gérer des EV variés et plus complexes munis d'un nombre de stimuli plus important. La présence du thérapeute reste indispensable pour le bon déroulement de la thérapie. Le système est constitué du sujet et de l'EV composé lui-même par des entités 3D et des acteurs virtuels représentés par des avatars. A chacun des acteurs virtuels est associé un rôle bien précis dans l'histoire. Notre système doit répondre aux points suivants : Réguler le niveau d'anxiété ; Assurer la cohérence des comportements des acteurs virtuels et l'histoire vécue par le sujet.

II.1.2. Travaux antécédents

Durant les deux dernières décennies, plusieurs travaux de recherche ont tenté d'expérimenter et d'évaluer l'utilisation de RV pour le traitement des troubles cognitifs et en particulier les phobies, mais ce n'est qu'en 1998 que la première étude sur la phobie sociale a vu le jour (North et al. 2002). Cette première étude, proposée par North et al. (North et al. 2002), a été appliquée à la peur de parler en public, elle montre que l'exposition par RV permet de diminuer l'anxiété des sujets face à un public. La deuxième étude similaire a été menée par Harris (Harris et al. 2002), dont les résultats ont montré que le rythme cardiaque (RC) était un bon indicateur de stress durant les séances de thérapie.

D'autres études ont été proposées par Slater et al. Dans (Slater et al. 1999), un EV qui simule une conversation avec un public a été présenté. Les personnes phobiques ont montré une anxiété supérieure dans le cas de la pièce peuplée mais aussi dans les situations relativement neutres. Une remarquable étude a été publiée par Anderson et al. (Anderson et al. 2003) dans laquelle le système développé a été expérimenté sur des phobiques sociaux. Le système a été testé sur deux participantes. Les résultats ont attesté de l'efficacité du traitement. Une autre étude qui a été réalisée par Klinger et al. (Evelyne Klinger et al. 2004; S. Roy et al. 2003) dont l'objectif était de comparer plusieurs protocoles de TERV pour différents aspects d'anxiété sociale. Les résultats ont conclu que la TERV pouvait être une alternative aux méthodes traditionnelles.

II.1.3. Régulation émotionnelle

a. Principe

L'installation de la séance de thérapie peut être vue comme une boucle de régulation du niveau d'anxiété du sujet comme montré sur Figure II.1 (Moussaoui et al. 2007; Moussaoui et al. 2009)[10-11].

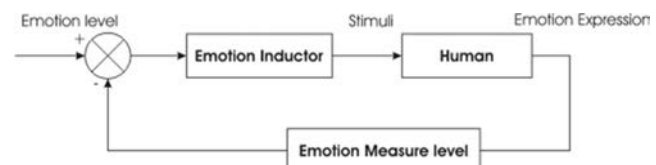


Figure II.1 Boucle de régulation.

Le bloc « mesure » informe le système sur le degré d'anxiété du sujet calculé à partir des mesures physiologiques prélevées. Le bloc « inducteur » est l'élément régulateur du système, il compare le degré d'anxiété mesuré sur le sujet avec un niveau de référence donné par le thérapeute afin de décider de la nature et du degré de stimulation à générer. En sortie de ce bloc, nous avons les stimuli à activer. Il est difficile d'avoir une mesure directe de l'anxiété du sujet, mais plusieurs travaux de recherche ont montré que certains caractères physiologiques sont liés aux émotions (Moussaoui et al. 2009). Le développement du bloc mesure ne fait pas l'objet de la présente étude. Dans l'état actuel du travail, c'est le thérapeute qui estime le degré d'anxiété du sujet.

b. L'inducteur d'anxiété

Notre solution s'appuie sur la théorie des systèmes multi agents (SMA). En effet, une séance de TERV comporte le sujet, des acteurs virtuels et un EV. Un SMA est composé d'agents et d'un environnement. Dans notre cas les agents sont les acteurs virtuels et le sujet représente l'environnement du SMA. Durant une séance de thérapie, le sujet est affecté par les actions des agents. Un agent a deux types d'action : des **actions stimuli** et des **actions de fond**. Les actions de fond sont activées par les agents lorsqu'ils ne sont pas en interaction ni avec le sujet ni avec un autre agent. Les actions de type stimuli sont les actions susceptibles de provoquer un changement du niveau d'anxiété. Un stimulus est caractérisé par son effet, c'est un nombre réel qui exprime le degré et la nature de l'effet sur le sujet. Il est donné par un expert. Une action de type stimulus peut être **Rassurante**, **Neutre** et **Anxiogène**. Rappelons que le sujet est un élément de l'environnement du système multi agent. Afin qu'ils puissent réagir correctement, les agents doivent connaître à tout moment l'état du sujet. Le thérapeute informe le système sur le degré d'anxiété du sujet en introduisant son état au travers du clavier. Ces états sont donnés par deux variables : le niveau d'anxiété mesuré et son sens de variation. Le niveau d'anxiété peut être : **Rassuré**, **Anxieux** ou **Très Anxieux** et le sens de variation peut être **en Descente**, **Stable** ou **en Montée**. Le principe des thérapies d'exposition est de mettre le sujet face aux stimuli anxiogènes, autrement dit, de maintenir le sujet dans l'état Anxieux-Stable. Le modèle de transition du sujet n'est pas déterministe, c'est une distribution de probabilité sur tous les états suivants possibles. L'un des concepts utilisés pour introduire l'incertitude de transition entre états dans la décision des agents est celui de l'utilité espérée (Russell & Norvig 2003). L'utilité d'un état est indiquée par un nombre réel qui exprime son importance vis-à-vis de la réalisation d'un objectif donné.

L'objectif d'un agent est un état de l'environnement. Pour qu'il soit rationnel, un agent doit choisir une action optimale qui maximise l'utilité espérée : $\mathbf{a}^* = \arg \max_a \sum_{s' \in \mathcal{S}} p(s'|s, \mathbf{a})U(s')$

Avec s l'état actuel du sujet, s' l'état suivant, S l'ensemble des états du sujet. $U(s')$ est l'utilité de l'état s' et $p(s'|s, a)$ la distribution de probabilité de passer de s aux états suivants possibles s' si on active l'action a

II.2. Etude d'un cas de phobie sociale

II.2.1. Méthode

Afin d'évaluer notre approche, nous avons réalisé une étude de cas d'un sujet phobique social.

Sujet : Le patient est homme célibataire de 24 ans qui se trouve, depuis 2 ans, en situation de chômage après avoir abandonné son travail à cause de sa phobie. Après une interview structurée, le patient a été diagnostiqué phobique social selon les critères du DSM IV.

Mesures : Afin d'évaluer l'efficacité de notre méthodologie clinique, d'une part, et de suivre l'évolution de l'état d'anxiété du patient durant la thérapie d'autre part, nous avons reporté à différentes phases de la thérapie les échelles et mesures suivantes : l'échelle d'Anxiété Sociale de Liebowitz (LSAS), l'inventaire abrégé de dépression de Beck (BDI-13), le Questionnaire de Présence de iGROUP (IPQ), l'Echelle Subjective d'inconfort (SUDS : Subjective Unit of Discomfort Scale 0-100), le rythme cardiaque (RC).

Méthodologie expérimentale : Le protocole clinique, dirigé par un psychothérapeute, est programmé en deux phases. La première phase comporte une seule séance de 45 minutes pour familiariser le patient avec le dispositif expérimental. L'EV expérimental est une banque. Le patient remplit les auto-questionnaires donnés ci-dessus. La deuxième phase est organisée en huit séances hebdomadaires de 30 à 45 minutes chacune. Le patient expérimente dans chaque séance l'EV de la banque qui est projeté sur un écran large. Des mesures du SUDS sont reportées durant les séances dans des moments choisis par le psychothérapeute qui transmet le niveau d'anxiété du patient au système de gestion automatique des séances par l'intermédiaire du clavier. Le patient remplit les auto-questionnaires donnés précédemment avant le début de la cinquième séance et à la fin de la huitième.

L'environnement virtuel : L'EV est une banque. Les agents présents dans l'EV sont : la secrétaire « Madeline » placée à l'accueil, un client dans le hall « Simon » et l'agent de guichet « Guy ». Le sujet porte un outil de navigation qui lui permet de se déplacer.

II.2.2. Résultats et discussion

a. Analyse des auto-questionnaires

Les résultats collectés au cours de cette étude de cas regroupent des auto-questionnaires, le RC et les différents scénarios expérimentés par le sujet qui sont entièrement définis par ses choix et ses

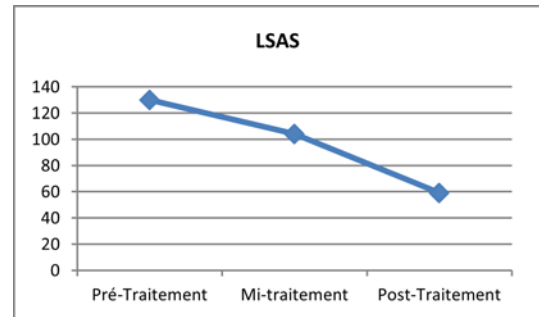


Figure II.2 Graphe des résultats de l'échelle de Liebowitz

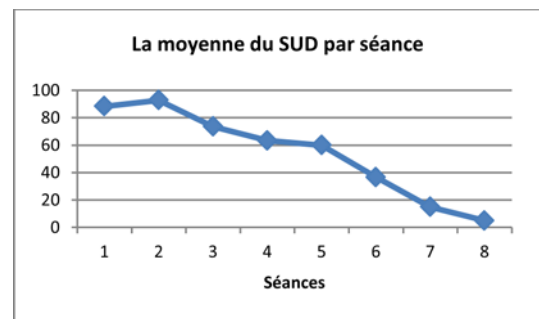


Figure II.3 Graphe des moyennes du SUDS

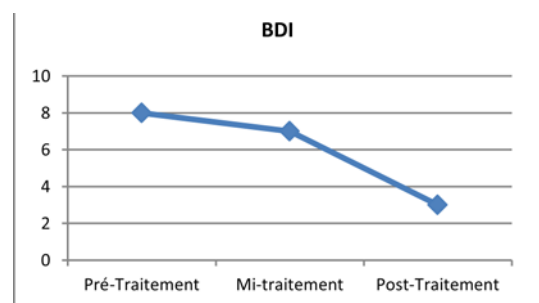


Figure II.4 Graphe des résultats du BDI

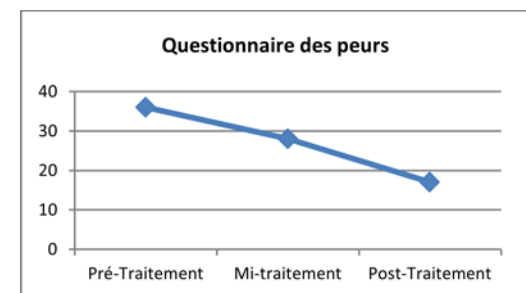


Figure II.5 Graphe des résultats du questionnaire des peurs.

déplacements dans l'EV. À partir de l'analyse des différents résultats, nous avons remarqué une amélioration significative de l'état du sujet et une diminution importante du comportement d'évitement.

Le score de phobie sociale du questionnaire des peurs est passé de 36 avant la thérapie à 28 après 4 séances. Le score enregistré à la fin de la thérapie atteint 17 soit une diminution de 19. L'échelle de Liebowitz a enregistré une amélioration importante, il a chuté de 130 (anxiété=69 et évitement=61) avant la thérapie à 104(anxiété=56 et évitement=48) en mi-traitement puis à 59 (anxiété=34 et évitement=25) à la fin, soit un écart de 71. Les scores montrent que le sujet souffrait initialement d'une phobie sociale sévère et s'est améliorée en phobie sociale modérée à la fin de la thérapie.

L'inventaire de dépression de Beck à 13 items (BDI-13) est passé de 8 avant traitement à 7 après quatre séances, puis il a chuté à quatre à la fin. Le graphe des moyennes du SUDS par séances montre une amélioration considérable de l'anxiété subjective du sujet. Finalement, la Figure II.6 présente la moyenne des scores de l'IPQ reportées. Le profil de présence de l'application est exprimé en quatre composantes : la présence spatiale SP=5.2, l'implication INV=3.75, le réalisme expérimenté REAL=4.75 et la présence générale G1=3(n'est pas représenté sur le graphe).

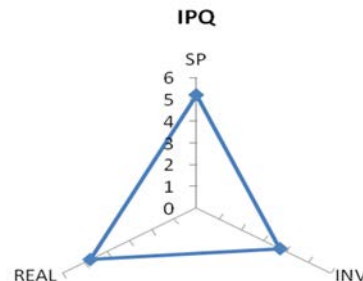


Figure II.6 Graphe radar de la moyenne de l'IPQ

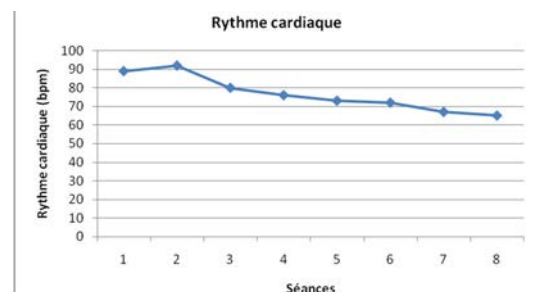


Figure II.7 Graphe des moyennes du RC.

b. Rythme cardiaque (RC)

L'évolution des moyennes du RC par séance ont enregistré une diminution d'environ 24 bpm (Battements par minute), de 89 en première séance à 65 enregistré en dernière séance. Le graphe de la Figure II.7 atteste de la diminution de l'état d'anxiété du sujet et confirme ce qui a été montré par les moyennes du SUDS, la Figure II.3. Nous remarquons aussi la forte corrélation entre le graphe des moyennes du SUDS et les moyennes du RC par séance, ce qui indique que le RC pourrait être utilisé pour évaluer ce type de thérapie.

II.2.3. Conclusion

Nos objectifs étaient la proposition d'un système de gestion automatique des séances de TERV par la régulation des émotions du patient et l'étude de l'efficacité de notre méthodologie sur un phobique social. Le système proposé se base principalement sur un système multi-agent pour gérer l'interactivité. Dans l'objectif d'expérimenter les performances de notre conception, nous avons mené une étude de cas de phobie sociale. Des mesures subjectives et objectives ont été prélevées afin d'évaluer la thérapie et de servir d'entrée au système de régulation proposé. Les résultats reportés (Figure II.5, Figure II.2, Figure II.4, Figure II.3, Figure II.6, Figure II.7) ont montré que la solution composée du système de régulation automatique ainsi que du protocole proposé, peut-être appliquée avec succès en thérapie de la phobie sociale.

II.3. Troubles obsessionnelles compulsives

Lors de du premier congrès sur les thérapies cognitivo-comportementales, j'ai exposé notre approche d'automatisation des séances de thérapie par RV et les résultats de la première étude de cas de phobie sociale. Les professeurs Jean COTTRAUX (psychiatre) et Guy DARCOURT (psychanalyste) m'ont honoré par leurs interventions à travers lesquelles ils ont mis en surbrillance les avantages et points forts de notre approche par rapport aux approches traditionnelles de TERV en se basant sur leurs longues expériences avec les TERV. Par la suite, ils m'ont invité à exploiter notre approche avec les TOC(Trouble obsessionnel-compulsif). La difficulté d'un tel travail réside dans le

fait que sa réussite nécessite un investissement considérable pour une compréhension assez approfondie de ce syndrome.

J'ai commencé à travailler sur les TOC depuis une année, durant laquelle j'ai établi un état de l'art sur les différentes méthodes de traitement traditionnelles, les méthodes informatisées et les méthodes basées sur la RV.

Le Trouble obsessionnel-compulsif (TOC), est un syndrome souvent débilitant caractérisé par la présence d'obsessions et de compulsions (Berríos et al. 1995). Des études épidémiologiques récentes menées aux États-Unis et d'autres parties du monde indiquent que le TOC est un trouble assez fréquent, avec une prévalence de 2% à 2,5% dans le monde (Robins et al. 1984; M M Weissman et al. 1994). En ce qui concerne les pays arabes et en particulier l'Algérie, les études épidémiologiques sont rares. Une étude a été menée par (de Jong et al. 2003) en 2003 en Algérie et autres pays en post-conflit sur les séquelles psychiatriques des conflits et guerres civiles. En Algérie, et avec 653 participants âgés entre 32 et 36 ans, les scores ont enregistré une prévalence à vie de 37.2% sur tous les troubles anxieux à l'exception des troubles post-traumatiques, et de 7.6% sur la comorbidité avec la dépression.

Le diagnostic du TOC nécessite un examen psychiatrique et historique du patient. Le DSM-IV définit le TOC comme la présence soit d'obsessions ou des compulsions (Critère A) qui provoquent une détresse marquée, prolongée dans le temps, ou interfèrent avec le fonctionnement social ou professionnel (Critère C). Les obsessions (des idées intrusives, inappropriées, et inquiétantes, des pensées ou des images) et des compulsions (comportements répétitifs ou ritualisés pour réduire l'anxiété) constituent les principaux symptômes cliniques du TOC.

Les catégories originales des obsessions sont : agressives, sexuelles, religieuses, somatiques, liées à la symétrie, la contamination, la syllogomanie, et divers. Les catégories de compulsions comporte la vérification, l'ordre et rangement, comptage, répétition des rituels, le nettoyage ou le lavage, la syllogomanie et la collecte, et divers.

Les symptômes des TOC sont tout à fait caractéristiques et difficile à rater lorsqu'ils sont présents. Quatre questions simples de dépistage peuvent aider à reconnaître la présence de symptômes de TOC :

1. Lavez-vous les mains à plusieurs reprises ?
2. Avez-vous des choses à vérifier à plusieurs reprises ?
3. Avez-vous des pensées qui causent une détresse que vous ne pouvez pas arrêter d'y penser ?
4. Avez-vous besoin de perfectionner vos tâches à plusieurs reprises jusqu'à ce qu'elles soient correctes ou dans une certaine manière avant que vous passiez à la prochaine tâche ?

Une réponse positive sur l'une de ces questions devrait être suivie par une évaluation plus minutieuse de la présence de TOC (S. Rasmussen et al. 1997).

L'évaluation peut être améliorée en utilisant des outils normalisés tels que l'inventaire de Padoue, la liste de Pensées Obsédantes LPO, les 4 rituels cibles, l'échelle d'évaluation des obsessions, l'interview clinique structurée du DSM-IV (Structured Clinical Interview du DSM-IV, Version clinicien) (First et al. 1996); les questionnaires et échelles d'évaluations de la sévérité du TOC (comme le Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale [YBOCS]) (Goodman, Price, S. A. Rasmussen, Mazure, Fleischmann, et al. 1989; Goodman, Price, S. A. Rasmussen, Mazure, Delgado, et al. 1989) et des échelles pour mesurer la dépression (Beck Depression Inventory [BDI-II]) (Beck 1996), l'anxiété (Inventaire d'anxiété de Beck [BAI]) (Beck 1990), et d'autres symptômes. L'inclusion des évaluations de la gravité clinique et l'impact sociale et professionnel du TOC, tels que le Clinical Global Impression (National Institute of Mental Health (U.S.); Early Clinical Drug Evaluation Program. & Guy 1976) et le Work and Social Adjustment Scale (Mundt et al. 2002), améliore le suivi clinique.

II.3.1. Thérapie d'exposition pour les TOC

La thérapie d'exposition est considérée actuellement comme étant le traitement le plus efficace pour les troubles obsessionnels compulsifs (TOC). Meyer a reporté que lorsqu'un patient souffrant de TOC confronte sa peur obsessionnelle sans réalisation de ses rituels, cela conduit à la réduction de la peur obsessive et le comportement ritualiste. Ces procédures sont connues maintenant sous le nom de "l'exposition avec prévention de la réponse" (ERP). Généralement, les procédures de traitement de

l'ERP impliquent des méthodes d'aide aux patients par (1) confrontation progressive de stimuli qui évoquent la peur obsessionnelle, (2) s'abstenir de rituels compulsifs qui mettent fin à l'exposition thérapeutique, et (3) correction des croyances dysfonctionnelles qui engendrent les pensées obsessionnelles. Dans le cadre d'une exposition situationnelle, il pourrait être demandé au patient souffrant de la peur de contamination de toucher des objets «sals», une poignée de porte, le sol, une poubelle, ou de regarder des images de germes et de maladies dans le cadre d'une exposition imaginaire.

Des études de méta-analyse suggèrent que la plus grande efficacité est obtenue lorsque les séances d'exposition sont guidées par un thérapeute et sont organisées plusieurs fois par semaine, par opposition à une fois par semaine (J. S. Abramowitz 1997). C'est probablement car les courts intervalles inter-séances empêchent le retour à des comportements indésirables, comme l'évitement et les rituels qui maintiennent la peur obsessionnelle (le thérapeute est capable de fournir un retour correctif dans quelques jours). Bien que la présence du thérapeute à l'exposition est importante, le traitement doit également inclure la pratique d'exposition que le patient doit pratiquer chez lui seul (Emmelkamp & Kraanen 1977). La recherche indique également qu'un nombre limité de séances peuvent être nécessaires pour produire une réduction substantielle et durable des symptômes. Il est donc recommandé de limiter le contenu du programme de thérapie entre 15 et 20 séances. Une formule remarquable a produit des effets particulièrement puissants, elle inclut quelques heures pour l'évaluation et la planification du traitement suivi de 15 séances de traitement quotidien, qui dure environ 90 minutes chacune (M E Franklin et al. 2000). Lorsque des considérations pratiques rendent ce régime intensif impraticable, un calendrier de séances bihebdomadaires sur 8 semaines permet une plus grande flexibilité sans compromettre l'efficacité clinique (Jonathan S Abramowitz et al. 2003).

II.3.2. Etat de l'art

a. L'outil informatique pour l'évaluation et le traitement de TOCs

Cela fait plus que deux décennies que le premier travail sur l'informatisation de l'évaluation des TOC est apparu sous le nom de Karaepelin. Ce travail a été suivi par plusieurs autres travaux (Roca-Bennasar et al. 1991). (Rosenfeld & And Others 1992) (L Baer et al. 1993; I M Marks et al. 1998) (Herman & Koran 1998) (Rotge et al. 2008) (L Baer et al. 1987; L Baer et al. 1988) (J H Greist et al. 1998) (Bachofen et al. 1999) (Clark et al. 1998). (John H Greist et al. 2002) qui ont appliqué une variété d'outils d'évaluations et de traitement pour les patients souffrant de TOC et ont montré des résultats fiables en utilisant ces méthodes informatisées. Les chercheurs ont également mis en surbrillance les avantages de l'utilisation des méthodes informatiques pour l'évaluation et le traitement des patients atteints de TOC par rapport aux méthodes comportementales traditionnelles.

b. La réalité virtuelle et les TOC

Malgré le développement et l'utilisation actifs des outils et méthodes informatisées pour l'évaluation et le traitement des TOC, les applications de la RV dans ce contexte sont rares. Cependant, l'application de la RV pour l'évaluation et le traitement des patients atteints de TOC peut être avantageuse pour plusieurs raisons. Premièrement, TERV ont démontré leur efficacité chez les patients ayant d'autres troubles anxieux en réduisant les niveaux d'anxiété des patients. Deuxièmement, la RV permet une mesure précise des performances (Kurtz et al. 2007) tout en offrant un contenu contrôlé et réutilisable. Troisièmement, l'évaluation comportementale objective du TOC dans le milieu naturel est excessivement difficile, et les tâches d'évaluation comportementale utilisées pour évaluer les symptômes de TOC sont généralement limités pour une catégorie restreinte de stimuli généraux qui ne peuvent être ni personnalisées ni adaptées aux patients. Enfin, bien que l'auto-évaluation et l'évaluation structurée des symptômes du TOC aient démontré des propriétés psychométriques solides, (Taylor 1995; Rachman & Hodgson 1980) ces évaluations sont sensibles à de multiples formes de préjugés, ce qui complique l'évaluation des résultats cliniques.

Pour des fins d'évaluations, récemment, (K. Kim et al. 2010) ont développé un outil d'évaluation basé sur l'évaluation comportementale par RV du TOC. Les auteurs ont examiné les performances sur une mesure du comportement chez 30 patients atteints de TOC et 27 témoins sains de contrôle.

Dans l'évaluation par RV, les participants ont navigué dans des EV en utilisant un joystick et visiocasque. Les participants ont été invités à explorer librement l'environnement virtuel comme s'ils étaient dans leur milieu naturel. Les variables primaires dépendantes incluent : la fréquence de vérification, la fixation du regard pendant la vérification, la longueur de la trajectoire, et la durée de vérification. Les résultats indiquent que les patients ont montré une différence significative de la compulsion de vérification avec les groupes de contrôle.

Comme une étape fondamentale à l'exposition par prévention de la réponse (ERP) pour les patients atteints de TOC, un test préliminaire d'un outil de RV anxiogène a également été utilisé sur des participants souffrant du TOC (K. Kim et al. 2008). Les expériences ont été menées sur 33 participants souffrant de TOC et 30 témoins sains. Les résultats ont révélé que les patients souffrant de TOC ont manifesté dans l'EV une anxiété significativement plus élevée que les témoins sains. Ainsi, ces résultats suggèrent également que la technologie de RV a présenté une importance en tant qu'outil de stimulation d'anxiété (anxiogène) ou de traitement pour le TOC. D'autre étude ont montré que le caractère interactif des EV aide considérablement à la mesure de toute une gamme de paramètres associés aux comportements compulsifs de vérification.

II.3.3. Méthodologie

La démarche méthodologique que nous avons adoptée organise les expériences cliniques de validations en trois phases :

Phase 1 : Développement d'un outil d'évaluation et de diagnostic : dans l'état actuel du travail, nous avons mis en route un protocole d'évaluation du TOC programmé en une séance de 45 minutes durant laquelle les sujets expérimentent un EV projeté sur un écran large. Des mesures subjectives et objectives (TOC, rythme cardiaque, dépression, présence, anxiété) sont prélevées avant, pendant et après la séance.

La nature diversifiée des situations obsessionnelles chez les patients rend le choix des EV à développer très ardu. Pour pallier à ce problème, nous avons pensé à développer un seul EV qui représente un quartier complet qu'on l'a nommé « HOUMA », il comporte des dizaines de bâtiments d'habitat et d'équipements : un appartement, des boutiques, une place publique, une cafétéria munie d'une terrasse, des téléphones publics, une mosquée avec une salle d'ablutions, un centre culturel, amphithéâtre, une école etc (Figure II.8).

Les participants vont suivre une exposition structurée à une succession de situations anxiogènes qui couvrent différents types d'obsessions de l'EV « HOUMA », les mesures sont enregistrées pour chaque situation pour permettre un meilleur diagnostic par la suite.

Dans l'état actuel du travail, nous avons enregistré des résultats avec deux patients. Les premiers retours rapides montrent des résultats encourageants, mais pour une meilleure crédibilité de cette expérience, nous souhaitons réaliser l'expérience sur 30 sujets dans deux sites cliniques différents : une clinique privée de psychiatrie et le service de psychiatrie de l'hôpital de Tlemcen. A ce jour, aucun résultat n'a été communiqué ni publié.

Phase 2 : Intégration des fonctionnalités de traitement par EPR : dans cette phase nous envisageons étendre et adapter le protocole d'exposition et diagnostic qu'on a développé en phase une aux besoins de traitements et de thérapie selon la méthode EPR, le traitement sera organisé en plusieurs séances hebdomadaires et programmé en plusieurs séances. Les résultats de cette phase de travail vont nous permettre de mieux comprendre le mécanisme de traitement et d'application de la méthode EPR.

Phase 3 : Automatisation du déroulement des séances de thérapie : cette phase va nous permettre d'explorer les possibilités d'intégration du SMA que nous avons développé pour la phobie sociale afin de rendre l'environnement « HOUMA » plus interactif et plus réaliste, ce qui pourrait augmenter le sens de présence chez les patients, et par conséquent, l'efficacité du traitement. La comparaison des résultats expérimentaux de cette phase avec ceux de la deuxième vont permettre d'évaluer les apports de notre approche.



Figure II.8 Vues sur l'environnement virtuel « HOUMA ».

II.3.4. Conclusion

Dans cette section, nous avons résumé la littérature théorique et empirique sur les thérapies d'exposition cognitive-comportementales pour le TOC, et illustré la mise en œuvre et les résultats de ce traitement en utilisant des descriptions des procédures de traitement, de dialogue et d'interactions patient-thérapeute. Les résultats les plus efficaces ont été obtenus lorsque le traitement implique un thérapeute-superviseur dans des expositions prolongées et répétées (l'exposition aux stimuli les plus redoutés) avec prévention complète de la réponse (EPR). Comme la peur obsessionnelle du TOC est évoquée par les deux types de stimuli concrets (externes) et cognitifs (internes), le traitement doit souvent inclure à la fois l'exposition situationnelle et imaginaire. La thérapie d'exposition pour le TOC, bien que souvent efficace, est un défi à affronter pour les patients.

Malgré le fait que les résultats concernant les applications de RV pour les patients atteints de TOC sont préliminaires, les résultats des études précédentes ont montré des résultats prometteurs sur l'utilisation de la RV pour des fins d'évaluation et de traitement des patients souffrant de TOC. Par ailleurs, un certain nombre de chercheurs ont utilisé une variété d'évaluations basées sur l'outil informatique et des outils de traitement pour les patients TOC, et ont démontré des résultats fiables en utilisant ces méthodes informatisées. Nous croyons que les mesures fondées sur la RV peuvent être en mesure d'améliorer l'évaluation ainsi que le traitement du TOC, mais cela après une étude bien conçue qui enquête sur l'évaluation des symptômes, les corrélations physiologiques et comportementales des symptômes et le traitement adapté et personnalisé.

En ce qui concerne le travail expérimental, nous avons établi une suite d'expériences cliniques programmée en trois phases : Développement d'un outil de diagnostic par RV pour TOC, Développement d'un outil de thérapie par RV, Automatisation de l'outil de thérapie. Nous menons actuellement l'expérience de la première phase, les premiers retours de mesures sont encourageants.

II.4. Induction virtuelle

II.4.1. Contexte

Le travail d'automatisation du déroulement des séances de TERV est centré sur la mesure en temps réel de l'état d'anxiété du patient pour permettre au SMA de décider sur la nature et le degré de stimulation à activer dans l'EV (Figure II.1). Dans l'état actuel du travail, aucune mesure physiologique n'est intégrée dans la boucle de régulation, le retour de l'état d'anxiété est assuré par le psychothérapeute. L'objectif du présent travail sera d'assurer le retour de l'état émotionnel du patient. Le travail présenté dans cette section constitue le sujet de thèse de M^{lle} Wahida HANDOUZI dont j'en assure 25%. Je l'ai encadrée en Master « contrôle de processus », elle est intégrée actuellement au laboratoire LASC-Metz et inscrite en thèse de doctorat à l'université de Metz.

II.4.2. Introduction

La détection et l'évaluation des émotions est un domaine qui suscite un grand intérêt par de nombreuses communautés tant au niveau des sciences humaines que des sciences exactes. La connaissance des émotions est traitée ces dernières années dans le sens de leur reconnaissance mais jamais selon leur amplitude ou leur niveau de présence. Ces travaux sont fréquemment conduits en fonction des applications envisagées. Dans notre cas, nous nous intéressons à une application en thérapie cognitivo-comportementale et plus particulièrement dans le traitement de la phobie sociale.

Cette forme de thérapie se caractérise par une anxiété irrationnelle ressentie par une personne lors de toute forme de relation sociale. Une méthode thérapeutique qui consiste à immerger la personne

dans un environnement virtuel a montré que les progrès réalisés par la personne sont équivalents à ceux d'une immersion en environnement réel. Le principe de base consiste à désensibiliser par acceptation et maîtrise de la situation.

II.4.3. Objectif

Les orientations envisagées dans le présent travail, correspondent à réaliser un retour d'information de l'état émotionnel de la personne sur un environnement virtuel afin d'adapter son contenu pour accompagner la personne dans la maîtrise de ses angoisses. D'autre part, les travaux engagés dans le domaine de la reconnaissance des émotions utilisent fréquemment pour support d'information des données actées qui ne correspondent pas toujours aux situations de l'application envisagée. De même la disparité des réponses par les personnes rend la reconnaissance peu robuste.

II.4.4. Démarche et état d'avancement

Le présent travail se décompose en trois parties :

a. Partie 1

La première correspond à la réalisation de scènes virtuelles de type statique, c'est à dire sans dialogue ou sans interactions directes entre des personnes mais aptes à créer une anxiété pour des personnes phobiques (entrer dans un magasin, monter sur une scène, passer une les tables d'un café etc.). Ces scènes de base vont permettre d'acquérir des données réelles auprès de personnes souffrant de cette pathologie.

Six EV ont été développés dans le cadre de cette partie : participation à une réunion, utiliser le téléphone public, téléphoner en public, assister à une soirée musicale, s'adresser à une personne d'autorité (Figure II.9). Le choix des scènes anxiogènes a été inspiré du questionnaire de Liebowitz (LSAS), c'est l'outil de diagnostic le plus utilisé en mesure d'anxiété.



Figure II.9 Scènes d'induction d'anxiété.

b. Partie 2

Dans un deuxième temps, l'acquisition des informations sera réalisée par deux types de capteurs : physiologiques et comportementaux. Les premiers sont constitués d'un ensemble de capteurs dont il faudra déterminer les plus pertinents.

Pour les secondes, ils concernent l'acquisition d'images du visage durant l'expérience. Des travaux ont déjà été conduits mettant en œuvre les deux types de capteurs. L'objectif et l'innovation demandées par le présent travail concernent l'extraction de paramètres différents des paramètres statistiques utilisés habituellement et dans le seconde cas d'une occultation partielle du visage.

Le travail sur cette partie est en cours, une interface graphique pour l'enregistrement des signaux physiologiques a été ainsi développée (Figure II.10). L'appareil de mesure qu'on a utilisé est l'Inifiniti ProComp (Figure II.10), il est capable d'enregistrer plusieurs signaux à la fois : Rythme cardiaque, la conductance de la peau, sa température, le BVP, la respiration. Une caméra est placée face aux patients permettant d'enregistrer les expressions de visage.



Figure II.10 L'appareil Inifiniti ProComp et l'application d'acquisition.

Le système complet a été ainsi installé, depuis six mois, à la clinique de psychiatrie (Tlemcen), nous venons de collecter les mesures. L'analyse et l'interprétation des résultats est en cours. Ce travail sera publié très bientôt.

c. Partie 3

Dans un troisième temps, il sera demandé de classer les données selon trois catégories : l'anxiété, une émotion positive et autre. Dans chaque cas il sera demandé de quantifier les résultats pour pouvoir les exploiter dans la boucle de régulation.

CHAPITRE III

ANALYSE DE L'ACCESSIBILITE

III.1. Contexte

J'ai commencé à travailler sur l'évaluation de l'accessibilité depuis 2008 à travers deux travaux de recherches : le projet de master de M. ALOUANI Rachid que j'ai coencadré avec M. PRUSKI Alain à l'université de Metz, et la thèse de doctorat de OTHMANI Rafaâ (encadrée par M. PRUSKI Alain) à laquelle j'ai participé par plusieurs contributions. Durant l'année suivante, et sur la même thématique de recherche, j'ai encadré M. BOUALEM Bilal dans le cadre de son projet de master « contrôle de processus » à l'université de Tlemcen, durant ce travail, le candidat a été familiarisé avec la littérature de la simulation des mouvements du corps humain et les algorithmes de cinématique inverse (IK : inverse kinematic). Une application de simulation du corps humain a été ainsi développée en C++. La suite de ce travail fait l'objet du sujet de doctorat de M. BOUALEM. La définition du sujet, ses objectifs ainsi que les éventuelles applications ont été menés sous les précieux conseils et orientations de M. PRUSKI Alain.

III.2. Introduction

Le travail présenté dans ce chapitre concerne la modélisation et la simulation de mouvements humains en vue d'évaluation de l'accessibilité à la préhension pour une personne à mobilité réduite. La perte de la marche est actuellement synonyme d'usage du fauteuil roulant avec des conséquences sur l'environnement proche du sujet tant en terme d'accessibilité de logement que d'accessibilité à l'intérieur de celui-ci. L'Organisation Mondiale de Santé estime que 10% des personnes en situation de handicap ont besoin d'un fauteuil roulant soit environ 65 millions de personnes dans le monde. L'accessibilité d'un logement ne se résume pas à la facilité de circulation dans celui-ci. L'évaluation de chaque point d'accessibilité permet à la fois d'en assurer un meilleur usage et d'en déterminer les points critiques dont les modifications peuvent apporter une viabilité accrue du logement.

Le présent travail a pour objectif d'étudier une méthodologie permettant de caractériser au sens des capacités d'accessibilité de tous les points d'un environnement d'habitation, cette étude prend en compte les capacités résiduelles de la personne qui y vit ainsi que ses moyens de mobilité (fauteuil électrique ou manuel, déambulateur etc). L'accessibilité est une notion qui renferme plusieurs concepts dont nous en traiterons trois : l'accessibilité à la mobilité qui concerne les capacités de mouvement de la personne sur de larges surfaces, l'accessibilité à la préhension et la combinaison des deux, et les actions de manipulations indépendantes ou combinées avec le système d'aide technique à la mobilité.

III.3. Méthodologie

Du point de vue méthodologique, ce travail correspond à évaluer l'existence de la posture d'un système articulé correspondant à la biomécanique humaine dans un cadre cinématique ou statique de la réalisation de tâches quotidiennes. L'aspect dynamique peut aussi être envisagé. Un des points essentiel consiste à définir l'existence d'un mouvement dans la réalisation d'une tâche de manipulation telle que l'ouverture d'une porte. Ce travail est réalisé dans un cadre visuel de RV ce qui permet de concrétiser les résultats obtenus.

D'un point de vue structurel, nous pouvons classer les mouvements de tous les jours d'une personne en trois niveaux :

- Mouvements de préhension : il s'agit de trouver une posture permettant à la personne de ramener sa main vers un point de l'espace, l'objectif sera d'annuler l'erreur de position entre la main et le point cible. Dans la plupart des cas pratiques, la personne cherche à ramener sa main vers un point mais avec une orientation donnée, comme par exemple appuyer sur un bouton, serrer la main ...etc, le problème sera d'annuler l'erreur de position et d'orientation entre le point cible et la main. Un troisième cas pourrait aussi se produire lorsque la personne ne cherche qu'à orienter sa main vers une direction donnée (orienter une télécommande, une lampe de poche, indiquer une direction), dans ce cas, le but recherché sera d'annuler seulement l'erreur d'orientation.
- Mouvements de type action : le problème considéré dans ce cas consiste à générer le mouvement de la partie supérieure du corps de la personne pour déplacer la main d'un point de départ vers un point d'arrivée dans un milieu sans obstacles ou avec obstacles. Le problème sera divisé en deux phases distinctes :
 - La première phase concerne la planification de la trajectoire de la main dans un milieu (sans ou avec obstacles). Le mouvement humain est lisse de nature, pour cela, et pour des raisons de réalisme du mouvement synthétisé, les trajectoires (trajectoire, vitesses, accélérations) qu'on cherche à générer doivent être lisses, par conséquent, le problème de planification de mouvement sera augmenté par des fonctions objectives exprimant ce besoin de réalisme. Dans certains cas, le calcul de la trajectoire n'est pas nécessaire, celle-ci sera dictée par la nature du mouvement ou de la tâche à exécuter. A titre d'exemple, ouvrir une porte génère une trajectoire en forme d'un arc. Tirer un tiroir donne une trajectoire linéaire.
 - La deuxième phase consiste à calculer les trajectoires pour chaque articulation afin de ramener la main à suivre la trajectoire calculée dans la première phase. Deux variantes de cette problématique peuvent être ainsi posées : la génération de mouvement sans contrainte d'orientation (bouger la main vide), et avec contraintes sur l'orientation de la main (par exemple déplacer un verre d'eau). Pour les mêmes raisons de réalisme annoncées ci-dessus, le problème peut être aussi augmenté par l'optimisation de certaines fonctions objectives qui expriment le réalisme du mouvement.
- Mouvements de type tâche : ce type regroupe les tâches complexes quotidiennes réalisées par la main, ces tâches sont considérées comme une suite d'un ou plusieurs mouvements de préhension et/ou de type action définis précédemment.

III.4. Evaluation de l'accessibilité

III.4.1. Modélisation de la partie supérieure du corps humain

Nous considérons que la personne est soit assise sur un fauteuil, les membres inférieurs étant inactifs soit s'aide d'un déambulateur. La littérature dans le domaine de la biomécanique propose plusieurs modèles (Lepoutre 1993; Maurel 1999; Badler et al. 1999; Kayis & Iskander 1994). Nous avons opté pour le modèle à 21 degrés de liberté (ddl) (Farrell et al. 2005) qui nous parait le plus précis pour notre application. Le couple humain-système de mobilité se déplace sur le sol par trois ddl: un degré de rotation et deux de translation. Nous obtenons le modèle à 21+1+2 ddl qui est décrit sur la Figure III.1. Le modèle mathématique est établi à partir de la multiplication des matrices de Denavit-Hartenberg (Denavit & Hartenberg 1955).

III.4.2. Accessibilité à la préhension

a. Position du problème

Le principe de base de notre approche consiste à vérifier l'existence d'une solution de IK de la structure articulée pour atteindre un point cible dans l'espace. Ainsi notre objectif consiste à vérifier l'existence d'une solution à l'IK en considérant :

- 22 ddl pour la structure articulée (humain et orientation du système de mobilité) ;
- Chaque ddl est contraint par des limites liées aux débattements maximum des articulations ;
- Le couple humain-système de mobilité se déplace dans un polygone parallèle au sol (2 ddl) ;

- Dans un premier temps, nous considérons que si une solution existe elle est atteignable par la personne.
- La précision des calculs n'est pas primordiale puisque nous considérons que la compliance du corps humain peut compenser ces erreurs ;
- Le temps de calcul doit être rapide afin de pouvoir tester un maximum de point en un minimum de temps, ou même une évaluation visuelle en temps réel.

b. La cinématique inverse

Le principe général de notre approche consiste à établir l'existence d'une solution de IK de la chaîne articulaire associée au point à cible. Trois types de méthodes sont disponibles actuellement :

- Les méthodes analytiques (Kallmann 2008; Tolani 2000).
- Les méthodes de linéarisation (Baerlocher 2001).
- Les méthodes d'optimisation, qui constituent une troisième catégorie, sont les plus intéressantes et souvent utilisées lorsque le nombre de variables est important et si l'on désire obtenir des solutions respectant certains critères particuliers. Le principe consiste à formuler le problème comme un problème d'optimisation par minimisation d'une fonction de coût (Muller-Cajar & Mukundan 2007; Mukundan 2008) (ABDEL-MALEK et al. 2004). Dans cette catégorie d'algorithmes nous trouvons l'algorithme Cyclique Coordinate Descent (CCD) (Wang & Chen 1991) basé sur un calcul incrémental des variables articulaires. Plusieurs inconvénients sont communément cités dont une adaptation des variables non homogène dans la chaîne articulaire et une lenteur de convergence près de la cible. Lorsqu'aucune limite n'est imposée aux variables alors l'algorithme converge sans minimas locaux. Il est possible d'imposer des limites aux articulations comme nous le ferons dans notre application, dans ce cas des minimas locaux peuvent apparaître.

Nous proposons dans la suite deux algorithmes dont la performance dépend de l'utilisation. Tous ces algorithmes sont de type incrémental avec l'optimisation d'une fonction de coût qui correspond à l'erreur entre le point cible et le point actuel. Ce point est défini par la position de la main et l'orientation des deux vecteurs X et Z (Figure III.2). L'erreur est la somme des différences entre les projections des vecteurs courants X_{21} et Z_{21} et le vecteur désiré dans le repère absolu.

Ainsi nous déterminons :

$$\varepsilon = w_0^*(Current\ Pos - Desired\ Pos) + w_1^*(Current\ Orient - Desired\ Orient) \quad 8$$

$$L'écriture\ générale : \varepsilon = |f([\theta]) - [X]| \quad 9$$

Avec $f([\theta])$ la position instantanée et $[X]$ la position et l'orientation désirées.

c. Approximation incrémentale (AAI)

Le principe de cet algorithme consiste à modifier chaque valeur des variables θ_i de la racine jusqu'à l'effecteur, afin de minimiser la fonction de coût ε . Contrairement à l'algorithme CCD, la valeur de l'incrément appliqué à chaque variable n'est pas calculée, mais imposée.

La valeur calculée de l'articulation sera maintenue si elle est comprise dans la plage autorisée.

L'incrément, noté Inc , est calculée pour chaque articulation i comme suite :

$$Inc(i) = (\max(i) - \min(i)) * IncrementRate \quad 10$$

avec $\max(i)$ et $\min(i)$ sont les limites maximales et minimales de l'articulation i . La valeur de $IncrementRate$ ajuste la vitesse de convergence de l'algorithme. La convergence est rapide au départ et ensuite la variation devient plus faible à proximité de la solution. Nous proposons une modification

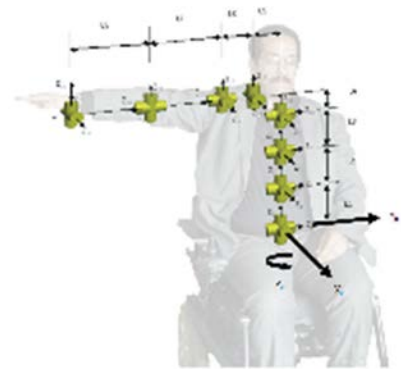


Figure III.1 Modèle du couple humain-système d'aide au déplacement.

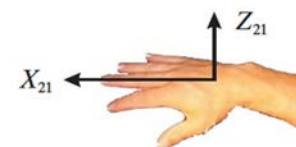


Figure III.2 Définition des vecteurs utilisés dans la définition de l'orientation.

de l'algorithme en ajustant le pas de l'incrément $Inc(i)$ en fonction de l'amplitude de la fonction coûts de façon non linéaire comme dans l'équation (11).

$$if (\Delta\epsilon = 0) \text{ Alors } IncrementRate = IncrementRate / 2 \quad 11$$

d. L'algorithme d'approximation aléatoire (RAA)

Contrairement aux deux algorithmes précédents (CCD et AAI), celui-ci traite toutes les variables simultanément. Dans une plage de valeurs $Inc(i)$ défini par l'équation (10), nous choisissons au hasard les incréments qui seront ajoutés aux valeurs actuelles des variables. Si le choix réduit la fonction coût, alors les valeurs seront maintenues si non, elles seront rejetées.

III.4.3. Analyse comparative

a. Introduction

Les algorithmes présentés dans le cadre de ce travail ont des comportements différents selon le type d'utilisation et les contraintes réelles de l'application. L'étude des performances de chaque algorithme est exécutée sur un PC Pentium 4 à 3,4 GHz. Les conditions d'arrêt se composent de deux éléments : la valeur minimale de l'erreur et le nombre maximum d'itérations qui est limité à 1000.

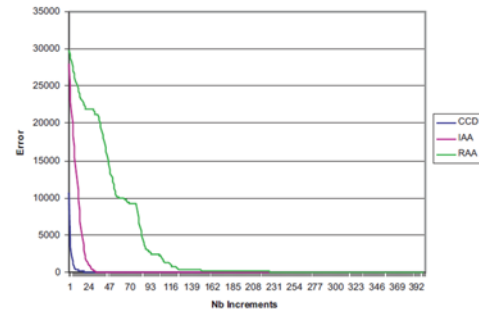


Figure III.3 Le comportement global des algorithmes.

Les algorithmes de RAA et IAA ont besoin d'imposer une valeur de taux de l'IncrementRate (0.015). Cette valeur, définie de façon empirique, conduit aux meilleurs résultats. Elle est liée à la taille de la structure. Dans certains cas, il est possible que les algorithmes ne trouvent pas de solution même si elle existe. Cela est dû au mauvais choix des valeurs des variables articulaires à l'initialisation. Sur la Figure III.3, nous voyons que les algorithmes convergent rapidement pendant les premières itérations et deviennent plus lents après. La comparaison est effectuée sur une étude statistique sur un grand nombre d'essais (10 000).

b. Analyse comparative de la cinématique inverse sans mobilité.

Nous proposons de décomposer l'analyse, comme nous ne considérons pas la mobilité dans un premier temps. Le système dispose de 21 ddl correspondant à une structure humaine articulée. Le choix de la cible est réalisé comme suite : Les valeurs des variables articulaires sont initialisées aléatoirement ce qui permet de déterminer la position et l'orientation associées à la main. Ce sont ces valeurs que nous ciblons à atteindre. Le Tableau III.1 montre les éléments de comparaison entre les algorithmes. Nous notons que l'algorithme CCD est le plus rapide lorsque la position est imposée. Quand on impose à la fois la position et l'orientation, l'algorithme AAI est légèrement plus efficace. Nous rappelons que les résultats sont des moyennes sur 10 000 essais. Nous notons que l'algorithme RAA est le moins rapide. Parfois, les algorithmes trouvent un minimum local, dans ce cas, nous commençons l'algorithme à nouveau avec d'autres valeurs initiales. Pour cette raison, toutes les solutions sont données avec 100% de réussite.

Tableau III.1 Comparaison entre les trois algorithmes.

Algorithmes	CCD		IAA		RAA	
	Nombre d'itérations	Temps de calcul (ms)	Nombre d'itérations	Temps de calcul (ms)	Nombre d'itérations	Temps de calcul (ms)
Position $w_0 = 1$ et $w_1 = 0$	12	2.7	18	7	131	6.9
Position et orientation $w_0 = 1$ et $w_1 = 5000$	221	60.9	146	46	4770	301

c. Analyse comparative de la cinématique inverse avec mobilité

Dans ce cas, il est nécessaire de prendre en compte les ddl supplémentaires et l'encombrement de la base mobile. Nous supposons que la base mobile se déplace le long du plancher, ce qui nous permet

de définir la zone de mobilité par un polygone E que nous appelons, le polygone enveloppe. Certains obstacles créent des zones d'exclusion dans laquelle la base ne peut pas se déplacer. Toutes les positions possibles à l'intérieur du polygone enveloppe est appelée polygone de configuration C . La forme du polygone C est liée à l'orientation Z_0 du mobile. Elle correspond à la différence de Minkowski dont le lecteur trouvera les détails dans (Lozano-Perez 1983). Le polygone de configuration est déterminé par l'analyse du polygone enveloppe pour toute valeur du Z_0 qui dépend de l'orientation du mobile Figure III.4.

Maintenant, le problème est de trouver une solution au problème suivant : $f([\theta]) = [X] - \phi(x, y, z)$

On doit vérifier s'il existe un ensemble de variables θ telles que $f([\theta])$ peut atteindre le point de $[X]$, où $\phi(x, y, z)$ définit l'espace de mobilité. La position à atteindre ne correspond plus à un point mais une surface. Ainsi la fonction de coût devient : $\varepsilon = |f([\theta]) - [X] + \phi(x, y, z)|$

On peut écrire :

$$\varepsilon = w_0^*(Current\ Pos - Desired\ Surface) + w_1^*(Current\ Orient - Desired\ Orient) \quad 14$$

L'algorithme CCD nécessite un point à atteindre et non pas une surface à trouver. Ainsi, cette méthode n'est pas applicable à l'algorithme de CCD. Nous notons que le calcul de IK est nettement plus rapide que pour la base fixe. La raison vient du nombre de solutions potentielles à atteindre qui est plus important.

III.4.4. Critères d'évaluation de postures

Vue le caractère redondant de la chaîne articulée considérée dans la présente étude, les postures générées par les algorithmes développés précédemment ne sont pas forcément réalistes, mais elles sont réalisables par la personne, les algorithmes ne donnent aucune information sur la difficulté de réalisation de la posture. La Figure III.5 montre une posture calculée par l'algorithme CCD. Les différentes variables articulaires sont bien comprises entre les limites articulaires y associées, mais il est évident que la posture est loin d'être réaliste. Nous nous intéressons dans cette section à la présentation de certaines métriques permettant d'évaluer le réalisme ou la difficulté d'une posture donnée. En effet, lors d'un mouvement de préhension, l'être humain cherche toujours à réaliser les postures les moins difficiles et qui demandent le minimum d'effort et le maximum de confort...etc. Pour cette raison, ces mêmes critères d'évaluation du réalisme peuvent servir comme des fonctions objectives à optimiser qui viennent augmenter le problème de IK.



Figure III.5 Posture calculée par CCD.

Une autre manière plus pratique permettant d'introduire l'amélioration du réalisme des postures calculées par IK peut être aussi envisagée, elle consiste à améliorer une posture solution pour la rendre plus réaliste au lieu d'augmenter le problème d'optimisation avec de nouvelles fonctions objectives. Cette nouvelle formulation peut être posée comme suite, la posture optimale peut être obtenue en résolvant le problème d'optimisation suivant :

Trouver $q \in R^{ddl}$

Minimiser l'Inconfort, l'Effort, les Torsions...etc

Sujet à : $[X(q)^{end-effector} - X^{target\ point}]^2 \leq \varepsilon$

Et $q_i^l \leq q_i \leq q_i^u ; i = 1, 2, \dots, ddl.$

Avec $q = [q_1, q_2, \dots, q_{ddl}]$

L'espace faisable de ce type de problème est défini comme étant l'ensemble de points q pour lesquels les contraintes sont satisfaites. Dans la suite de cette section nous listons quelques critères d'évaluation du réalisme de postures.

a. Déplacement articulaire

Ce critère est proportionnel à la déviation par rapport à une posture neutre considérée comme relativement confortable dans une situation donnée. Si on note par q_i^N la valeur articulaire d'une articulation correspondant à la posture neutre, et q^N la configuration articulaire neutre. La déviation par rapport à la posture neutre est donnée par $(q_i - q_i^N)^2$. L'implication des différentes articulations au calcul du déplacement articulaire n'est pas uniforme, pour cela des poids sont associés aux différentes articulations pour exprimer son l'implication. L'expression de cette fonction objective est donnée par : $f_{\text{Déplacement-Articulaire}}(q) = \sum_{i=1}^n w_i (q_i - q_i^N)^2$

b. Inconfort

Dans (Tim Marler 2009), les auteurs ont présenté l'une des mesures les plus utilisée actuellement pour l'évaluation de l'inconfort des postures de chaînes articulées, cette méthode est inspirée de la méthode lexicographique d'optimisation multi-objectives (R. T. Marler & Arora 2004). En effet, le concept derrière cette nouvelle mesure d'inconfort de l'homme est que les groupes d'articulations sont utilisées de manière séquentielle. Si on veut atteindre un point cible particulier, on utilise d'abord son bras, ensuite, si nécessaire, on se penche le torse, enfin, si la cible reste hors de portée, on peut prolonger la clavicule. La méthode lexicographique pour MOO est conçue pour intégrer ce type de concept. Pour des raisons de rapidité de calcul, la méthode lexicographique pour MOO ne peut être appliquée pour des applications temps réel. La méthode des sommes pondérées peut être utilisée pour approximer les résultats de la méthode lexicographie pour MOO, à condition que les poids prennent des valeurs avec des différents d'ordre infinies (Miettinen 1998; Romero 2000).

Dans cette perspective, les travaux présentés par (R. T. Marler et al. 2005) ont proposé la fonction d'inconfort suivante :

$$f_{\text{Inconfort}}(q) = \frac{1}{G} \sum_{i=\&}^n \gamma_i [(\Delta q_i^{\text{norm}})^2 + G \times QU + G \times QL] \text{ avec } \Delta q_i^{\text{norm}} = \frac{\Delta q_i - \Delta q_i^N}{\Delta q_i^U - \Delta q_i^L}$$

n est le nombre d'articulation, QU et QL sont respectivement les limites supérieure et inférieure. $G \times QU$ ($G \times QL$) est un terme de pénalité associé à l'articulation pour pénaliser l'approche à la limite supérieure (limite inférieure).

c. Les couples

L'Effort exercé par une articulation est une fonction de couple imposée qui est dû à l'interaction biomécanique. Une personne génère le couple nécessaire à une articulation donnée pour maintenir une charge en exerçant des forces musculaires, mais le couple est aussi fonction de la position et de l'orientation de l'articulation pendant l'action. L'objectif est de déterminer la relation liant la force appliquée sur la main et les forces (couples) induites appliquées sur les articulations.

Notons par τ un vecteur de dimension ($n \times 1$) des couples associés aux articulations, avec n le nombre d'articulations. F un vecteur (6×1) de la force appliquée sur la main.

Nous pouvons démontrer, en utilisant le principe du travail virtuel, la relation suivante : $\tau = J^T F$

Où $J(q) = \begin{bmatrix} J_x \\ J_w \end{bmatrix}$ la matrice jacobienne avec J_x et J_w sont, respectivement, la matrice jacobienne de position et d'orientation. La fonction du coût des couples est donnée par : $f_{\text{couple}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i |\tau_i|$

Avec λ_i les poids utilisés pour privilégier certaines articulations sur d'autres.

d. L'effort

L'effort est mesuré sur la déviation des articulations par rapport à leurs positions d'origine données par la configuration q^{initial} : $f_{\text{effort}}(q) = \sum_{i=1}^n \alpha_i (q_i - q_i^{\text{initial}})^2$

α_i ce sont des poids associés aux n articulations.

e. La différence d'énergie potentielle

D'après certaines études empiriques, l'être humain tend toujours à minimiser la différence d'énergie potentielle de son corps lors de ses mouvements. Dans cette étude on s'intéresse à la partie droite supérieure du corps humain qu'on peut modéliser par six segments : le torse bas, moyen et haut, le bras, avant-bras et la main (Figure III.6).

Le centre de masse de chaque segment est donné par les points r_i . Lors du déplacement de la partie supérieure du corps humain d'une configuration à une autre, on peut calculer deux énergies potentielles : initiale notée P_i et courante P'_i . La fonction coût associée à la différence d'énergie potentielle est donnée par :

$$f_{\text{Delta-Energie-Potentielle}}(q) = \sum_{i=1}^6 (P_i - P'_i)^2$$

$$f_{\text{Delta-Energie-Potentielle}}(q) = (g)^2 \sum_{i=1}^6 (m_i \Delta h_i)^2$$

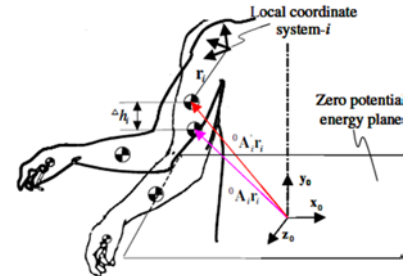


Figure III.6 Différence d'énergie potentielle de la partie supérieure du corps.

III.4.5. Accessibilité de l'action

Comme il a été annoncé plus haut, notre travail porte aussi sur la simulation du mouvement humain élémentaire qu'on a appelé action. L'objectif recherché est de générer un mouvement réaliste de la partie supérieure du corps humain permettant de déplacer la main d'un point dans l'espace à un autre. Le travail est divisé en deux phases : La première phase consiste à trouver la trajectoire de la main du point de départ vers un point cible dans des milieux sans obstacles et avec obstacles. La deuxième phase consiste à calculer les trajectoires pour chaque articulation afin de suivre la trajectoire de la main calculée pendant la première phase. Dans la suite de cette section nous présentons la méthode de planification qu'on a utilisée, en suite nous posons le problème de la deuxième phase, dans l'état actuel de travail nous n'avons pas encore entamé la deuxième phase.

Dans la littérature en robotique, on trouve plusieurs méthodes de planification de trajectoires pour les chaînes articulées prenant en compte différents critères cinématiques et dynamiques comme l'évitement d'obstacles, l'évitement de singularités, minimisation de couples, etc (Kang Shin & McKay 1986; Bobrow 1988; Shiller & Dubowsky 1989; Zhou & Nguyen 1997; Antonelli & Chiaverini 1998; Hirakawa & Kawamura s. d.; Yamamoto & Fukuda 2002). Le modèle du minimum jerk (Flash & Hogan 1985) est l'un des plus utilisés dans le domaine de l'animation d'humain. L'unique trajectoire qui donne les meilleures performances est déterminée par l'utilisation de théorie de l'optimisation dynamique. La fonction objective n'est autre que le carré du jerk (qui est défini comme le taux de changement de l'accélération) intégré le long du mouvement de la main.

a. Planification sans contraintes de la trajectoire de la main

Notons par $q = [q_1, \dots, q_n]^T$ le vecteur des angles articulaires avec n le nombre de ddl. La fonction vecteur $X(q)$ désigne les coordonnées de la main.

La trajectoire qu'on cherche à déterminer est donnée par : $X(t) = [x(t), y(t), z(t)]^T$

Le jerk calculé le long de la trajectoire est donné par : $C = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} \left(\left(\frac{d^3x}{dt^3} \right)^2 + \left(\frac{d^3y}{dt^3} \right)^2 + \left(\frac{d^3z}{dt^3} \right)^2 \right) dt$

Considérons la vitesse et l'accélération nulles aux point de départ $X_0 = [x_0, y_0, z_0]$ à $t = 0$ et cible $X_f = [x_f, y_f, z_f]$ à $t = t_f$, on a :

$$x(t) = x_0 + (x_0 - x_f)(15\tau^4 - 6\tau^5 - 10\tau^3),$$

$$y(t) = y_0 + (y_0 - y_f)(15\tau^4 - 6\tau^5 - 10\tau^3),$$

$$z(t) = z_0 + (z_0 - z_f)(15\tau^4 - 6\tau^5 - 10\tau^3),$$

Avec $\tau = \frac{t}{t_f}$. C'est une équation d'une droite reliant le point de départ au point cible. Un exemple de planification est représenté sur la Figure III.7

b. Planification avec contraintes de la trajectoire de la main

Dans le cas de présence d'obstacles dans l'environnement, on peut facilement, à travers une application d'intelligence artificielle, calculer un point intermédiaire par lequel la main doit passer pour contourner l'obstacle. Cette contrainte est exprimée comme suite : $X(t_1) = X_1$

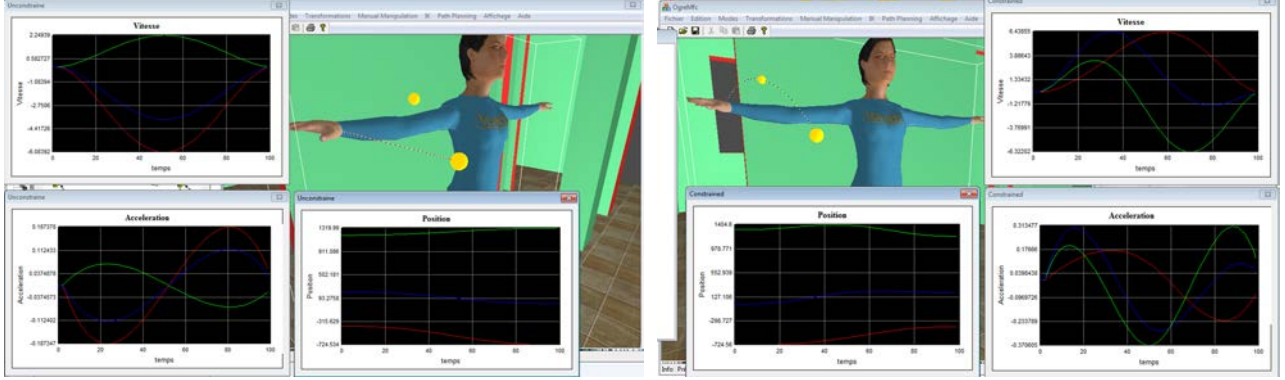


Figure III.7 Planification de l'action avec et sans contraintes.

Où t_1 est le moment de passage de la main par le point X_1 . t_1 n'est pas imposé a priori, il est calculé par l'algorithme d'optimisation.

Un calcul similaire à celui du cas sans obstacles nous donne la trajectoire suivante :

Pour $t \leq t_1$

$$X^-(\tau) = \frac{t_f^5}{720} \left(k(\tau_1^4(15\tau^4 - 30\tau^3) + \tau_1^3(80\tau^3 - 30\tau^4) - 60\tau^3\tau_1^2 + 30\tau^4\tau_1 - 6\tau^5) + c(15\tau^4 - 10\tau^3 - 6\tau^5) \right) + X_0$$

Pour $t \geq t_1$

$$X^+(\tau) = \frac{t_f^5}{720} \left(k(\tau_1^4(15\tau^4 - 30\tau^3 + 30\tau - 15) + \tau_1^3(-30\tau^4 + 80\tau^3 - 60\tau^2 + 10)) + c(-6\tau^5 + 15\tau^4 - 10\tau^3 + 1) \right) + X_f = X^-(\tau) + k \frac{t_f^5 (\tau - \tau_1)^5}{120}$$

Avec $X(t) = [x(t), y(t), z(t)]^T$, $k = [k_1, k_2, k_3]^T$, $c = [c_1, c_2, c_3]^T$

$$k = \frac{1}{t_f^5 \tau_1^5 (1 - \tau_1)^5} \left((X_f - X_0)(120\tau_1^5 - 300\tau_1^4 + 200\tau_1^3) + 20(X_1 - X_0) \right)$$

$$c = \frac{1}{t_f^5 \tau_1^2 (1 - \tau_1)^5} \left((X_f - X_0)(300\tau_1^5 - 1200\tau_1^4 + 1600\tau_1^3) + \tau_1^2(-720X_f + 120X_1 + 600X_0) + (X_0 - X_1)(300\tau_1 - 200) \right)$$

Avec $X_0 = [x_0, y_0, z_0]^T$ à $t = 0$ et cible $X_f = [x_f, y_f, z_f]^T$ à $t = t_f$

Le calcul de τ_1 sera réalisé grâce à l'équation polynomiale suivante :

$$(k^* \cdot k^*)(2\tau_1^3 - 7\tau_1^2 + 8\tau_1 - 3) + (k^* \cdot c^*)(-\tau_1^3 + 2\tau_1^2 - \tau_1) = 0$$

Avec $\tau_1 = t_1 / t_f$

$$k^* = (X_f - X_0)(6\tau_1^5 - 15\tau_1^4 + 10\tau_1^3) - (X_1 - X_0)$$

$$c^* = (X_f - X_0)(15\tau_1^5 - 60\tau_1^4 + 80\tau_1^3) + \tau_1^2(-36X_f + 6X_1 + 30X_0) + (X_0 - X_1)(15\tau_1 - 10)$$

Cette équation admet une solution unique comprise entre 0 et 1. En remplaçant la valeur de τ_1 dans les expressions de \mathbf{k} et \mathbf{c} , on obtient la trajectoire $X(\tau)$.

Un exemple d'exécution est illustré sur la Figure III.7.

III.5. Le simulateur

L'évaluation des algorithmes développés et proposés dans le cadre de ce travail ne peut être réalisée qu'à travers un simulateur capable de tirer profit des capacités de calcul du processeur et du processeur graphique installés sur les ordinateurs. Nous avons étudié toutes les solutions techniques disponibles. Nous cherchions un simulateur qui répond aux exigences suivantes : libre et gratuit, performant, ouvert et extensible, qui réutilise, réutilisable et modulable.

La solution qu'on a adopté est de développer notre propre simulateur en langage C++, en ce qui concerne les rendus graphiques ainsi que l'interface de RV, on a utilisé le moteur de rendu gratuit le plus performant (parmi les solutions libres) Ogre3D. Pour le calcul matriciel et algébrique, on a utilisé la bibliothèque libre Roboop. On a aussi adopté une architecture modulable basée sur l'utilisation de bibliothèques à liens dynamiques (dll) et plugins. Les nouvelles fonctionnalités du simulateur sont développées dans le cadre de projets de Master et peuvent être introduites sous la forme de plugins. Cette méthodologie de travail est très avantageuse car les nouveaux candidats de Master non pas besoin de comprendre le fonctionnement de tout le projet du simulateur (qui contient des centaines de milliers de lignes de code source C++), mais leurs interventions se limitera uniquement à la fonctionnalité demandée, les candidats peuvent même proposer et tester plusieurs variantes à la fois.

Ci-dessous deux imprimées-écran de l'interface du simulateur qu'on a nommé « HandiAcces ».

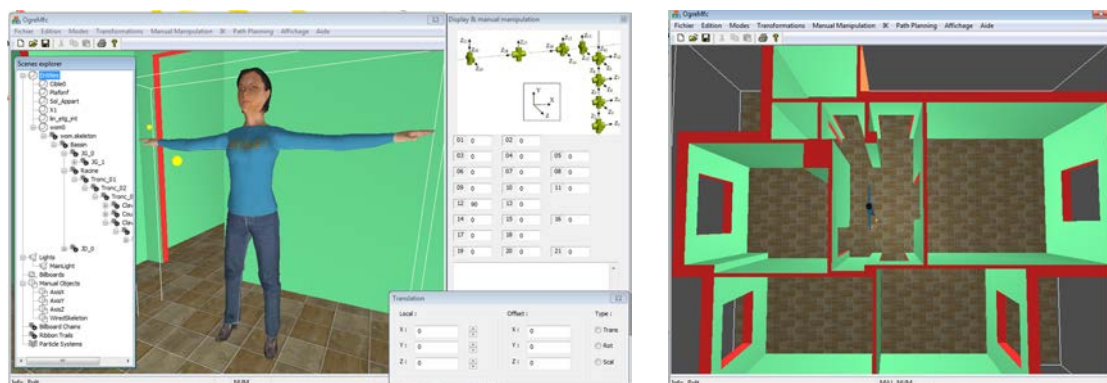


Figure III.8 le simulateur « HandiAcces ».

III.6. Conclusion

L'ensemble des travaux présentés dans cette section sont dans un état avancé et ont fait l'objet de deux publications. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de projet de master « contrôle de processus » et de thèse de doctorat. Pour la suite du travail nous retenons les algorithmes CCD et IAA pour le calcul du IK. En ce qui concerne la génération du mouvement d'une action, le problème de planification de trajectoire avec et sans contraintes a été développé et testé avec succès. Nous travaillons actuellement sur le calcul des trajectoires de chaque articulation permettant d'exécuter la trajectoire de la main qu'on a planifiée. Pour l'année en cours, nous avons proposé, moi-même et M. BOUALEM Bilal, quatre sujets de master sur les idées projetées pour la suite des travaux (Voir annexe Encadrements).

CHAPITRE IV

CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

J'ai tenté de présenter à travers ce document une synthèse sur mes travaux de recherche réalisés hors et après ma thèse de doctorat. Ces travaux sont centrés sur l'utilisation de la RV pour la prise en charge de troubles cognitifs et d'handicape, on les a regroupé en deux groupes : Les thérapies par la RV et l'évaluation de l'accessibilité de milieux de vie pour personnes à mobilité réduite.

En ce qui concerne les TERV pour la phobie sociale, nos objectifs étaient la proposition d'un système de gestion automatique des séances de TERV par la régulation des émotions du patient et l'évaluation de l'efficacité de notre méthodologie sur un sujet phobique social. Le système proposé se base principalement sur un système multi-agent pour gérer l'interactivité. Les résultats reportés d'une étude de cas ont montré que la solution composée du système de régulation automatique ainsi que du protocole proposé, peut-être appliquée avec succès en thérapie de la phobie sociale.

Pour les TOC, nous avons résumé la littérature théorique et empirique sur les thérapies d'exposition cognitive-comportementales pour le TOC, et illustré la mise en œuvre et les résultats de ce traitement en utilisant des descriptions des procédures de traitement, de dialogue et d'interactions patient-thérapeute. Les résultats les plus efficaces ont été obtenus lorsque le traitement implique un thérapeute-superviseur dans des expositions prolongées et répétées (l'exposition aux stimuli les plus redoutés) avec prévention complète de la réponse (EPR). Comme la peur obsessionnelle du TOC est évoquée par les deux types de stimuli concrètes (externes) et cognitifs (internes), le traitement doit souvent inclure à la fois l'exposition situationnelle et imaginaire. La thérapie d'exposition pour le TOC, bien que souvent efficace, est un défi à affronter pour les patients. Une suite d'expériences cliniques est envisagée dans le cadre de cette étude, elle est et programmée en trois phases : Développement d'un outil de diagnostic par RV pour TOC, Développement d'un outil de thérapie par RV pour TOC, Automatisation de l'outil de thérapie. Nous menons actuellement l'expérience de la première phase, les premiers retours des mesures montrent des résultats encourageants. Le travail d'automatisation du déroulement des séances de TERV est centré sur la mesure en temps réel de l'état d'anxiété du patient pour permettre au SMA de décider sur la nature et le degré de stimulation à activer dans l'EV. Dans l'état actuel du travail, aucune mesure physiologique n'est intégrée dans la boucle de régulation, le retour de l'état d'anxiété est assuré par le psychothérapeute. Le travail présenté dans cette section constitue le sujet de thèse de M^{lle} Wahida HANDOUZI, intégrée actuellement au laboratoire LASC-Metz et inscrite en thèse de doctorat à l'université de Metz dont j'assume 25% de son encadrement.

Concernant l'évaluation de l'accessibilité, l'ensemble des travaux présentés dans ce document sont dans un état avancé et ont fait l'objet de deux publications. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de projet de master « contrôle de processus » et de thèse de doctorat. Pour la suite du travail nous retenons les algorithmes CCD et IAA pour le calcul du IK. En ce qui concerne la génération du mouvement d'une action, le problème de planification de trajectoire avec et sans contraintes a été développé et testé avec succès. Nous travaillons actuellement sur le calcul des trajectoires de chaque articulation permettant d'exécuter la trajectoire de la main qu'on a calculé. Pour l'année en cours, nous avons proposé, moi-même et M. BOUALEM Bilal quatre sujets de master sur les idées projetées pour la suite des travaux.

ANNEXES

ENCADREMENTS AVANT LA THESE DE DOCTORAT

- Ingénieur en Automatique 2002/2003 : «Un simulateur 3D de Bras Manipulateurs-Application au ROB3i IR50p», M. BOUAIZEM Hichem.
- Ingénieurs en Automatique 2002/2003, «Réalisation d'un contrôleur à base du PIC 16F84» , M. BENSEHLA Karim.
- DEA Informatique 2002/2003 , « Etude et Programmation d'un moteur 3D avec C++», M. MANSERI Amine.
- DEA Informatique 2003/2004 , « Développement d'un plugin de chargement de fichiers 3D Studio Max pour moteur de rendu Allegro», M. MERZOUK Riad et M^{lle} Kaouoadji Farah.
- Ingénieur en Informatique, 2003/2004, «Détection des points de fuite à partir d'images photographiques», M. HASSAÏNE Abdel Âli.
- Ingénieur en Electronique-Contrôle, 2004-2005, «Etude des moteurs Brushless», M^{lle} SADJELMACI Nadjat Amina et M^{lle} DIB Hanane.
- Ingénieur en Automatique, 2007-2008, « Etude et simulation d'un dispositif de contrôle temps réel des caractéristiques locales d'un écoulement », M. BEREKSI Rabie.

ENCADREMENTS PENDANT ET APRES LA THESE DE DOCTORAT

- Master Automatique 2009/2010 : «Reconnaissance des émotions : expressions faciales et signaux physiologiques», M^{lle} Wahida HANDOUZI
- Master Automatique 2009/2010 : «Evaluation et simulation de l'accessibilité d'un lieu de vie», M. Bilal BOUALEM.
- Master Automatique 2010/2011 : «Planification de mouvements de la partie supérieure du corps humain : Application à l'étude de l'accessibilité», M. Radhwane MAHBOUB et M. Mossa MOSTFFA.
- Master Automatique 2010/2011 : «Simulation de postures réalistes d'un humain», M. Tarik LANTRI et Choukri GHRIB.
- Master Automatique 2010/2011 : »Guidage de robots mobiles, Estimation et correction des décalages des roues directrices d'un véhicule», M. Tahar Med KARAOUZENE et M. Ahmed MANSOURA.

ENCADREMENTS EN COURS

- Thèse de doctorat 100%, 2010/2013 : «Modélisation et simulation de mouvements humains en vue d'évaluation de l'accessibilité à la préhension pour une personne à mobilité réduite», M. Bilal BOUALEM.
- Thèse de doctorat 25%, 2010/2013 : «Acquisition par induction virtuelle, traitement des signaux et quantification émotionnelle», M^{lle} Wahida HANDOUZI, Université Paul Verlain, Metz.
- Master Automatique 2011/2012 : « Evaluation de l'accessibilité de préhension en temps réel » M^{lle} KABIR Meryem et M^{lle} ZIANE Zouleykha
- Master Automatique 2010/2012 : « Contribution à la planification de trajectoires des mouvements réalistes de la partie supérieure du corps humain », M^{lle} KERZABI Fatema Imane et M. KARA SLIMANE Djamel
- Master Automatique 2010/2012 : «Adaptation et évaluation de la méthode de cinématique inverse « FABRIK » pour le problème de préhension chez une personne à mobilité réduite » M. GADIRI Amro.
- Master Automatique 2010/2012 : « Evaluation de l'accessibilité des deux mains d'une personne à mobilité réduite » M. BOUHADI Youcef et M. BOULEKDAME Amine.

PROJETS DE RECHERCHE

- **2003-2006**, Projet **CNEPRU** : membre du projet de recherche « Application de l'interféromètre Mach-Zehnder pour le diagnostic d'une décharge couronne », Faculté des sciences, université de Tlemcen, Chef d'équipe P^f LEMERINE M.
- **2007-2011**, Projet **CNEPRU** : membre du projet de recherche « Développement d'une plateforme de e-maintenance pour les systèmes industriels », Chef d'équipe Prof GHOUALI N. (N°B*02020090012)
- **2005-2009**, **CMEP** : membre du projet « La simulation du robot VAHM » dans le cadre de l'accord – Programme TASSILI 04 MDU 624.
- **2011-2013**, **PNR** : membre du projet « Développement d'un sous système de diagnostique et pronostic pour la maintenance industrielle », Intitulé « Technologie Industrielle 13»
- **2011-2013**, **PNR** : membre du projet « Véhicule Hybride Optimum », intitulé « Transport 19»

Bibliographie

- ABDEL-MALEK, K. et al., 2004. A mathematical method for ergonomic-based design: placement. *International journal of industrial ergonomics*, 34(5), p.375-394.
- Abramowitz, J. S., 1997. Variants of exposure and response prevention in the treatment of obsessive-compulsive disorder : A meta-analysis. *Behavior therapy*, 27(4), p.583-600.
- Abramowitz, Jonathan S, Foa, Edna B & Franklin, Martin E, 2003. Exposure and ritual prevention for obsessive-compulsive disorder: effects of intensive versus twice-weekly sessions. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 71(2), p.394-398.
- Anderson, P., Rothbaum, B.O. & Hodges, L.F., 2003. Virtual reality in the treatment of social anxiety: Two case reports. *Cognitive and Behavioral Practice*, 10(3), p.240–247.
- Antonelli, G. & Chiaverini, S., 1998. Task-priority redundancy resolution for underwatervehicle-manipulator systems. Dans *1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1998. Proceedings*. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1998. Proceedings. IEEE, p. 768-773 vol.1.
- Bachofen, M. et al., 1999. Home self-assessment and self-treatment of obsessive-compulsive disorder using a manual and a computer-conducted telephone interview: replication of a UK-US study. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 60(8), p.545-549.
- Badler, N., Palmer, M. & Bindiganavale, R., 1999. Animation Control for Real-Time Virtual Humans. *Center for Human Modeling and Simulation*. Available at: <http://repository.upenn.edu/hms/111>.
- Baer, L et al., 1993. Computer-assisted telephone administration of a structured interview for obsessive-compulsive disorder. *The American Journal of Psychiatry*, 150(11), p.1737-1738.
- Baer, L, Minichiello, W.E. & Jenike, M.A., 1987. Use of a portable-computer program in behavioral treatment of obsessive-compulsive disorder. *The American Journal of Psychiatry*, 144(8), p.1101.
- Baer, L et al., 1988. Use of a portable computer program to assist behavioral treatment in a case of obsessive compulsive disorder. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 19(3), p.237-240.
- Baerlocher, P., 2001. *Inverse kinematics techniques for the interactive posture control of articulated figures*. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.
- Beck, A.T., 1990. *BAI, Beck anxiety inventory: Manual*, Harcourt Brace Jovanovich.
- Beck, A.T., 1996. *BDI-II, Beck depression inventory: Manual 2^e éd.*, Harcourt Brace.
- Berrios, G., Porter, R. & Eliason, M., 1995. Anxiety disorders. Dans *The History of Clinical Psychiatry: The Origin and History of Psychiatric Diseases*. New York: New York University Press, p. 545–562.
- Bobrow, J., 1988. Optimal Robot Path Planning Using the Minimum-Time Criterion. *IEEE Trans. Robot. & Autom.*, 4(4), p.443-450.
- Clark, A. et al., 1998. A pilot study of computer-aided vicarious exposure for obsessive-compulsive disorder. *The Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 32(2), p.268-275.

Bibliographie

- Denavit, J. & Hartenberg, R., 1955. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. *Trans ASME J. Appl. Mech*, 23, p.215-221.
- Emmelkamp, P.M.G. & Kraanen, J., 1977. Therapist-controlled exposure in vivo versus self-controlled exposure in vivo: A comparison with obsessive-compulsive patients. *Behaviour Research and Therapy*, 15(6), p.491-495.
- Farrell, K., Marler, Timothy & Abdel-Malek, Karim, 2005. *Modeling Dual-Arm Coordination for Posture: An Optimization-Based Approach*, Warrendale, PA: SAE International. Available at: <http://papers.sae.org/2005-01-2686/> [Consulté janvier 9, 2012].
- First, M.B. et al., 1996. *Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders: Clinician Version (SCID-CV): Administration Booklet* abridged edition., American Psychiatric Press Inc.
- Flash, T. & Hogan, N., 1985. The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. *The Journal of Neuroscience*, 5(7), p.1688 -1703.
- Franklin, M E et al., 2000. Effectiveness of exposure and ritual prevention for obsessive-compulsive disorder: randomized compared with nonrandomized samples. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 68(4), p.594-602.
- Goodman, W.K., Price, L.H., Rasmussen, S.A., Mazure, C., Delgado, P., et al., 1989. The Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale. II. Validity. *Archives of General Psychiatry*, 46(11), p.1012-1016.
- Goodman, W.K., Price, L.H., Rasmussen, S.A., Mazure, C., Fleischmann, R.L., et al., 1989. The Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale. I. Development, use, and reliability. *Archives of General Psychiatry*, 46(11), p.1006-1011.
- Greist, J H et al., 1998. Self-treatment for obsessive compulsive disorder using a manual and a computerized telephone interview: a U.S.-U.K. study. *M.D. Computing: Computers in Medical Practice*, 15(3), p.149-157.
- Greist, John H et al., 2002. Behavior therapy for obsessive-compulsive disorder guided by a computer or by a clinician compared with relaxation as a control. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 63(2), p.138-145.
- Harris, S.R., Kemmerling, R.L. & North, M.M., 2002. Brief virtual reality therapy for public speaking anxiety. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 5(6), p.543-550.
- Herbelin, B. et al., 2002. Virtual Reality in Cognitive Behavioral Therapy : a preliminary study on Social Anxiety Disorder. Available at: <http://infoscience.epfl.ch/record/100299>.
- Herman & Koran, L.M., 1998. In vivo measurement of obsessive-compulsive disorder symptoms using palmtop computers. *Computers in Human Behavior*, 14(3), p.449-462.
- Hirakawa, A.R. & Kawamura, A., Trajectory planning of redundant manipulators for minimum energy consumption without matrix inversion. Dans IEEE, p. 2415-2420. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel3%2F4815%2F13470%2F00619323.pdf%3Farnumber%3D619323&authDecision=-203> [Consulté janvier 10, 2012].

Bibliographie

- de Jong, J.T.V.M., Komproe, I.H. & Van Ommeren, M., 2003. Common mental disorders in postconflict settings. *Lancet*, 361(9375), p.2128-2130.
- Kallmann, M., 2008. Analytical inverse kinematics with body posture control. *Comput. Animat. Virtual Worlds*, 19(2), p.79–91.
- Kang Shin & McKay, N., 1986. A dynamic programming approach to trajectory planning of robotic manipulators. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 31(6), p.491- 500.
- Kayis, B. & Iskander, P.A., 1994. A three-dimensional human model for the IBM/CATIA system. *Applied Ergonomics*, 25(6), p.395-397.
- Kim, K. et al., 2008. Anxiety provocation and measurement using virtual reality in patients with obsessive-compulsive disorder. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 11(6), p.637-641.
- Kim, K. et al., 2010. Development of a computer-based behavioral assessment of checking behavior in obsessive-compulsive disorder. *Comprehensive Psychiatry*, 51(1), p.86-93.
- Klinger, Evelyne et al., 2004. Virtual reality exposure in the treatment of social phobia. *Studies in Health Technology and Informatics*, 99, p.91–119.
- Kurtz, M.M. et al., 2007. A virtual reality apartment as a measure of medication management skills in patients with schizophrenia: a pilot study. *Schizophrenia Bulletin*, 33(5), p.1162-1170.
- Lepoutre, F. x., 1993. Human Posture Modelisation as a Problem of Inverse Kinematic of Redundant Robots. *Robotica*, 11(04), p.339-343.
- Lozano-Perez, T., 1983. Spatial Planning: A Configuration Space Approach. *IEEE Transactions on Computers*, C-32(2), p.108-120.
- Marks, I M et al., 1998. Home self-assessment of obsessive-compulsive disorder. Use of a manual and a computer-conducted telephone interview: two UK-US studies. *The British Journal of Psychiatry: The Journal of Mental Science*, 172, p.406-412.
- Marler, R.T. & Arora, J.S., 2004. Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26(6), p.369-395.
- Marler, R.T. et al., 2005. A new discomfort function for optimization-based posture prediction.
- Marler, Tim, 2009. *A Study of Multi-Objective Optimization Methods: for Engineering Applications*, VDM Verlag.
- Maurel, W., 1999. 3D modeling of the human upper limb including the biomechanics of joints, muscles and soft tissues. , 1906(1906), p.206.
- Miettinen, K., 1998. *Nonlinear Multiobjective Optimization* 1^{er} éd., Springer.
- Moussaoui, A., Pruski, A. & Cherki, B., 2007. Emotion regulation for social phobia treatment using virtual reality. Dans *HuMaN07*. Timimoun.
- Moussaoui, A., Pruski, A. & Cherki, B., 2009. Social interaction control in the framework of virtual reality therapy. Dans France. Available at: www.laval-virtual.org.
- Mukundan, R., 2008. A Fast Inverse Kinematics Solution for an n-link joint chain. Available at: <http://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/1555> [Consulté janvier 10, 2012].

Bibliographie

- Muller-Cajar, R. & Mukundan, R., 2007. Triangulation - A New Algorithm for Inverse Kinematics. <http://digital.liby.waikato.ac.nz/conferences/ivcnz07/papers/ivcnz07-paper34.pdf>. Available at: <http://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/743> [Consulté janvier 10, 2012].
- Mundt, J.C. et al., 2002. The Work and Social Adjustment Scale: a simple measure of impairment in functioning. *The British Journal of Psychiatry*, 180(5), p.461 -464.
- National Institute of Mental Health (U.S.);Early Clinical Drug Evaluation Program. & Guy, W., 1976. *ECDEU assessment manual for psychopharmacology* Rev., Rockville Md.: U. S. Dept. of Health Education and Welfare Public Health Service Alcohol Drug Abuse and Mental Health Administration National Institute of Mental Health Psychopharmacology Research Branch.
- North, M.M., Schoeneman, C.M. & Mathis, J.R., 2002. Virtual Reality Therapy: case study of fear of public speaking. *Studies in Health Technology and Informatics*, 85, p.318–320.
- Rachman, S.J. & Hodgson, R.J., 1980. *Obsessions and Compulsions*, Prentice Hall.
- Rasmussen, S. et al., 1997. A 2-year study of sertraline in the treatment of obsessive-compulsive disorder. *International Clinical Psychopharmacology*, 12(6), p.309-316.
- Robins, L.N. et al., 1984. Lifetime Prevalence of Specific Psychiatric Disorders in Three Sites. *Arch Gen Psychiatry*, 41(10), p.949-958.
- Roca-Bennasar, M. et al., 1991. Kraepelin: An expert system for the diagnosis of obsessive-compulsive disorders. *European Psychiatry;European Psychiatry*, 6(4), p.171-175.
- Romero, C., 2000. Bi-criteria utility functions: Analytical considerations and implications in the short-run labour market. *European Journal of Operational Research*, 122(1), p.91-100.
- Rosenfeld, R. & And Others, 1992. A Computer-Administered Version of the Yale-Brown Obsessive-Compulsive Scale. *Psychological Assessment*, 4(3), p.329-32.
- Rotge, J.Y. et al., 2008. A challenging task for assessment of checking behaviors in obsessive-compulsive disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 117(6), p.465-473.
- Roy, S. et al., 2003. Definition of a VR-based protocol to treat social phobia. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 6(4), p.411–420.
- Russell, S.J. & Norvig, 2003. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (Second Edition)*, Prentice Hall.
- Shiller, Z. & Dubowsky, S., 1989. Robot Path Planning with Obstacles, Actuator, Gripper, and Payload Constraints. *The International Journal of Robotics Research*, 8(6), p.3 - 18.
- Slater, M., Pertaub & Steed, A., 1999. Public Speaking in Virtual Reality: Facing an Audience of Avatars. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.17.3687>.
- Taylor, S., 1995. Assessment of obsessions and compulsions: Reliability, validity, and sensitivity to treatment effects. *Clinical Psychology Review*, 15(4), p.261-296.
- Tolani, 2000. Real-Time Inverse Kinematics Techniques for Anthropomorphic Limbs. *Graphical Models*, 62(5), p.353-388.

Bibliographie

- Wang, L.-C. & Chen, C.C., 1991. A combined optimization method for solving the inverse kinematics problems of mechanical manipulators. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(4), p.489-499.
- Weissman, M M et al., 1994. The cross national epidemiology of obsessive compulsive disorder. The Cross National Collaborative Group. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 55 Suppl, p.5-10.
- Yamamoto, Y. & Fukuda, S., 2002. Trajectory planning of multiple mobile manipulators with collision avoidance capability. Dans *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02*. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE, p. 3565- 3570 vol.4.
- Zhou, Z.-L. & Nguyen, C.C., 1997. Globally Optimal Trajectory Planning for Redundant Manipulators using State Space Augmentation Method. *J. Intell. Robotics Syst.*, 19(1), p.105–117.