



HAL
open science

Modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction et à la collaboration en réalité mixte

Samir Otmane

► **To cite this version:**

Samir Otmane. Modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction et à la collaboration en réalité mixte. Interface homme-machine [cs.HC]. Université d'Evry-Val d'Essonne, 2010. tel-00621248

HAL Id: tel-00621248

<https://theses.hal.science/tel-00621248>

Submitted on 9 Sep 2011

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

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

UNIVERSITE D'EVRY-VAL D'ESSONNE
Laboratoire d'Informatique, Biologie Intégrative
et Systèmes Complexes

Mémoire pour l'obtention du titre d'
Habilitation à Diriger des Recherches
Spécialité : INFORMATIQUE

Modèles et techniques logicielles pour
l'assistance à l'interaction et à la
collaboration en réalité mixte

Samir OTMANE

Soutenue le : 08 décembre 2010

JURY

J. Tisseau	: Professeur, ENIB de Brest,	rapporteur
B. David	: Professeur, École Centrale de Lyon,	rapporteur
D. Duhaut	: Professeur, Université de Bretagne Sud,	rapporteur
B. Arnaldi	: Professeur, INSA de Rennes,	examineur
P. Le Parc	: Professeur, Université de Bretagne Occidentale,	examineur
H. Maaref	: Professeur, Université d'Evry,	examineur
M. Mallem	: Professeur, Université d'Evry,	directeur

AVANT PROPOS

Ce document résume près de dix années de travail en qualité d'enseignant-chercheur à l'Université d'Evry Val d'Essonne. Mes activités d'enseignement ont lieu à l'UFR Sciences et Technologies et mes activités de recherche au laboratoire LSC (Laboratoire Systèmes Complexes) qui est devenu IBISC (Informatique, Biologie Intégrative et Systèmes Complexes) depuis 2006.

Durant ces années, j'ai essayé d'exercer une activité équilibrée entre les tâches d'enseignement, de recherche et de responsabilité au sein de l'UFR, du laboratoire et également à l'échelle de l'université.

Pendant ma thèse (1996-2000), j'ai travaillé sur la problématique de l'assistance à la téléopération de robots en réalité augmentée via le réseau Internet au sein de l'équipe Réalité Augmentée (RA de l'ex. LSC) dirigée par le professeur Malik Malle. Depuis mon recrutement en tant qu'enseignant-chercheur en 2001, j'ai étendu mes recherches pour l'assistance au télétravail collaboratif en réalité mixte (virtuelle ou augmentée). Une nouvelle équipe RATC (Réalité Augmentée et Télétravail Collaboratif) est née en 2002. Actuellement l'équipe est structurée en deux thèmes. Le premier thème appelé **Réalité Augmentée** sous la responsabilité du professeur Malik Malle, et le second appelé **Réalité Virtuelle et Travail Collaboratif** dont j'assume actuellement en grande partie l'animation scientifique, la gestion et l'évolution. Ce sont les activités de recherche de ce deuxième thème qui sont essentiellement résumées dans ce mémoire.

Les recherches menées pendant ma thèse ont permis d'initier un projet académique baptisé ARITI¹ (Augmented Reality Interfaces for Teleoperation via the Internet). Ce projet a servi de fil conducteur à la majorité des activités de recherches réalisées. Il est à l'origine du montage de nombreux contrats de recherche (industriel, ANR et européen) et il a également motivé l'acquisition en 2004 de la plateforme de réalité virtuelle et augmentée EVR@² du laboratoire IBISC.

Notre projet scientifique est l'étude et la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'assistance au travail et au télétravail collaboratif. Les recherches se situent au niveau de la modélisation, de la conception et de l'évaluation par des expérimentations en situation réelle de ces méthodes. La finalité des recherches concerne le développement d'interfaces logicielles d'assistance au travail et au télétravail collaboratif en réalité mixte. Les domaines d'applications concernés par le projet sont : la télérobotique, la télémédecine, l'informatique, la biologie moléculaire, et s'étendent également à tous les secteurs concernés par des activités de groupe permettant de concevoir, de prendre des décisions et d'analyser des problèmes complexes.

¹<http://ariti.ibisc.univ-evry.fr/>

²<http://evra.ibisc.univ-evry.fr> : Plateforme pour le travail et le télétravail collaboratif en Environnement Virtuel et de Réalité Augmentée

Remerciements

Je remercie l'ensemble des responsables successifs du Laboratoire, messieurs Florent Chavand, Etienne Colle, Jean-Louis Giavitto et Saïd Mammar, qui, par leur animation, contribuent à maintenir un cadre de recherche performant.

De façon plus particulière, j'adresse mes remerciements à Monsieur Malik Mallem, responsable de l'équipe RATC qui, a accepté de superviser la rédaction de ce mémoire et qui m'a soutenu pour développer le thème de recherche sur la réalité virtuelle et le travail collaboratif.

Je suis très reconnaissant auprès de :

Monsieur Bruno ARNALDI, Professeur à l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes,
Monsieur Bertrand DAVID, Professeur à l'École Centrale de Lyon,
Monsieur Dominique DUHAUT, Professeur à l'Université de Bretagne Sud,
Monsieur Philippe LE PARC, Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale,
Monsieur Hichem MAAREF, Professeur à l'Université d'Evry,
Monsieur Malik MALLEM, Professeur à l'Université d'Evry,
Monsieur Jacques TISSEAU Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs de Brest.

pour l'honneur qu'ils me font en participant à ce jury d'habilitation, et plus particulièrement à messieurs Bertrand DAVID, Dominique DUHAUT et Jacques TISSEAU qui ont accepté la charge de Rapporteur.

J'adresse un grand merci à tous mes collègues du laboratoire que j'ai côtoyés durant ces années. Je remercie également toutes les personnes avec qui j'ai eu plaisir à travailler : F. Davesne (ingénieur de recherche de la plateforme EVR@), l'ensemble des doctorants que j'ai co-encadré et qui sont devenus docteurs (N. Khezami, J.Y. Didier, N. Ouramdane, M. Essabbah, N. Cheaib, C. Domingues et P. Boudoin) et S. Ullah, sans qui ces travaux n'auraient pas vu le jour.

Je tiens à étendre mes remerciements à l'ensemble des personnes que j'ai rencontré suite aux différents contrats et projets de recherche au niveau national, européen et international. Certains sont devenus des amis.

Mes remerciements s'adressent aussi à A. Plaza-Tierno, S. Segala et F. Perciot pour leur gentillesse et leurs services rendus.

Finalement, je tiens à remercier ma femme et mes enfants pour leur soutien durant toute cette période.

Table des matières

AVANT PROPOS	2
Remerciements	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I PRÉSENTATION DU CANDIDAT	7
1 Curriculum Vitæ Étendu	9
1.1 État civil et coordonnées	10
1.2 Formation universitaire	10
1.3 Cursus professionnel	11
1.4 Activités de recherche	11
1.4.1 Encadrement de la recherche	13
1.4.1.1 Stages de niveau Master et de post-doc	13
1.4.1.2 Etudiants en doctorat	14
1.4.2 Projets et contrats de recherche	17
1.4.2.1 Projets avec responsabilité scientifique et administrative	17
1.4.2.2 Projets auxquels j'ai participé	19
1.4.3 Productions scientifiques	20

1.5	Animation scientifique et rayonnement	28
1.5.1	Animation d'un groupe de recherche	28
1.5.2	Rayonnement national	28
1.5.2.1	Membre des GDR, associations et comités d'évaluations scientifiques	28
1.5.2.2	Collaborations nationales	29
1.5.2.3	Invitations aux séminaires et conférences	29
1.5.2.4	Organisation de manifestations et communication dans la presse écrite	30
1.5.3	Rayonnement international	30
1.5.3.1	Co-organisation de conférences internationales	31
1.5.3.2	Membre dans des comités de programme et d'évaluation internationaux	31
1.5.3.3	Collaborations internationales et séjours à l'étranger . . .	31
1.6	Activités d'enseignement	32
1.6.1	Au niveau Licence (UFR ST)	32
1.6.2	Au niveau Masters professionnel et recherche (UFR ST)	34
1.7	Activités d'intérêt collectif	35
II SYNTHÈSE DES TRAVAUX DE RECHERCHE		37
Glossaire		39
2 Cadre de nos travaux de recherche		41
2.1	Domaines de recherche et positionnement	41
2.1.1	Réalité virtuelle/augmentée/mixte (RV/RA/RM)	41
2.1.1.1	Positionnement : Assistance à l'interaction 3D	43
2.1.2	Travail collaboratif / téléopération basée sur internet (TC/TbI) . .	44
2.1.2.1	Positionnement : Assistance au télétravail collaboratif via Internet	45
2.1.3	Environnement virtuel collaboratif : (EVC)	46
2.1.3.1	Positionnement : Assistance à l'interaction 3D collabora- tive dans les EVCs :	46
2.2	Synthèse des résultats de recherche	47
2.2.1	Sur l'assistance à l'interaction 3D	47
2.2.2	Sur l'assistance au télétravail collaboratif	48
2.2.3	Sur l'assistance à l'interaction 3D collaborative	49

3	Modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction 3D	51
3.1	Interaction 3D	51
3.1.1	Bref état de l'art	52
3.1.1.1	La tâche de navigation	52
3.1.1.2	La tâche de sélection	53
3.1.1.3	La tâche de manipulation	54
3.1.1.4	La tâche de contrôle d'application	55
3.1.2	Analyse sur l'interaction 3D	57
3.2	Interaction 3D assistée : Concepts principaux	59
3.2.1	Assistance <i>versus</i> complexité des tâches d'interaction 3D	60
3.2.2	Assistance suivant les modalités sensorielles	62
3.2.3	Les guides virtuels comme outils d'assistance	65
3.2.3.1	Notion de guide virtuel simple/composé, actif/passif	66
3.2.3.2	Intégration des contraintes du domaine d'application	67
3.2.3.3	Formalisme des guides virtuels pour l'assistance à l'interaction 3D	67
3.3	Interaction homme-robot avec précision et sécurité en réalité mixte (projet ARITI)	71
3.3.1	Principe de la technique Follow-Me	71
3.3.2	Formalisme associé à la technique Follow-Me	73
3.3.3	Application à la sélection et à la manipulation d'objet par un robot	74
3.4	Interaction homme-chromosome avec crédibilité en réalité virtuelle (projet In-virtuo)	77
3.4.1	Contexte : la fibre de chromatine	78
3.4.2	Une approche hybride et multimodale pour l'interaction	79
3.4.3	Application à la sélection et à la manipulation d'un segment du chromosome	80
3.5	Bilan	83
4	Modèles et architectures logicielles pour l'assistance au télétravail collaboratif	87
4.1	Quelques concepts : Collecticiel, agent, service web	87
4.1.1	Le trèfle fonctionnel des collecticiels	87
4.1.2	Le concept d'agent et de systèmes multi-agents (SMA)	90
4.1.3	Le concept de service web (WS) et architecture orientée services (SOA)	90
4.2	Bref état de l'art	91
4.2.1	Modèles d'architectures logicielles pour les collecticiels	91
4.2.2	La téléopération basée sur le WEB	93

4.3	Analyse sur la téléopération collaborative	95
4.4	Assister et superviser une activité de téléopération collaborative via Internet : Projet ARITI-C	96
4.4.1	Modélisation d'un système multi-agent pour la collaboration	96
4.4.2	Application au projet ARITI	100
4.5	Assister une activité de collaboration en introduisant de la malléabilité : Projet Digita Ocean	102
4.5.1	Modèles d'architectures logicielles pour la malléabilité	104
4.5.1.1	Modèle d'architecture à base de services web	105
4.5.1.2	Modèle d'architecture à base de services web et d'agents logiciels	106
4.5.2	Application au projet Digital Ocean	108
4.6	Bilan	112
5	Assistance à l'interaction 3D collaborative	115
5.1	Quelques concepts : Présence, awareness, interaction collaborative	115
5.1.1	Présence	115
5.1.2	Awareness	116
5.1.3	Interaction 3D collaborative	117
5.2	Bref état de l'art : Environnements virtuels collaboratifs (EVCs)	117
5.3	Analyse sur les interactions dans les EVCs	120
5.4	Un workflow pour l'assistance à la coordination des interactions 3D collaboratives	122
5.4.1	La composante partagée	125
5.4.2	La composante motrice	127
5.4.2.1	Les sources particulières	127
5.4.2.2	Les fonctions d'assistance	130
5.5	Application à la sélection d'un objet par un utilisateur	134
5.6	Application à la manipulation d'un objet par deux utilisateurs	136
5.7	Bilan	139
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	141
5.8	Bilan	141
5.8.1	Sur l'assistance à l'interaction 3D	142
5.8.2	Sur l'assistance au télétravail collaboratif	143
5.8.3	Sur l'assistance à l'interaction 3D collaborative	143
5.9	Perspectives	144
5.9.1	Deux axes de recherche	144
5.9.1.1	Interaction en réalité mixte	145
5.9.1.2	Collaboration en réalité mixte	146

5.9.2	Axes applicatifs	147
5.9.2.1	Interaction en réalité mixte pour l'exploration des sites de plongée réels	147
5.9.2.2	Interaction en réalité virtuelle pour l'analyse en biologie moléculaire	148
	Bibliographie	150

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les premiers travaux réalisés pendant ma thèse ont permis la mise en place du premier système français d'assistance à la téléopération de robots en réalité augmentée via le réseau Internet. Ce premier système d'assistance au télétravail via le Web (figure 1) s'est vu attribuer le nom du projet (le système ARITI) (Otmane, 2000) et (Otmane et al., 2000b). Il a été développé au LSC (Laboratoire des Systèmes Complexes) en 1998 et il est référencé sur le site WEB de la NASA¹ depuis novembre 1999. Il permet d'assister un utilisateur dans la réalisation des tâches de télémanipulation d'objets réels par un robot distant via un navigateur WEB. Les techniques utilisées ont permis d'apporter à l'opérateur en situation de télétravail une assistance à la perception de l'environnement distant (par la réalité augmentée) et à la commande d'un robot (par des guides virtuels actifs (Otmane et al., 2000a)). Ces assistances ont pour objectif l'amélioration des performances (temps, précision et sécurité) des tâches de télémanipulation.

Dans les premières expériences réalisées ((Otmane et al., 2000a)), les guides virtuels actifs ont permis d'améliorer considérablement les performances des tâches (+70% de gain de temps et +90% d'erreurs de sélection et de manipulation en moins).

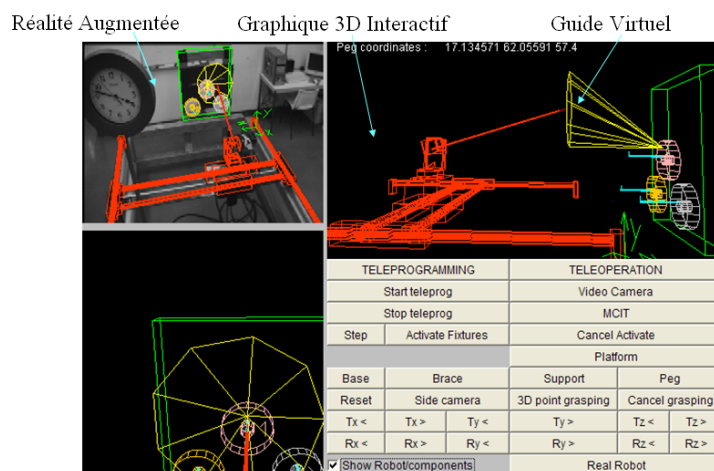


FIG. 1 – Capture d'écran de la première interface pour l'assistance à la téléopération en réalité augmentée via le Web réalisée dans le cadre du projet ARITI.

Ces premiers résultats ont soulevé de nombreuses questions et ont évoqué de nouveaux besoins en termes d'assistance à l'interaction et à la collaboration dans des environnements de réalité mixte (virtuels ou augmentés) utilisant ou simulant des systèmes complexes artificiels ou issus du vivant. C'est dans ce contexte que nous avons poursuivi nos travaux de recherche en nous intéressant à deux problématiques principales : l'interaction 3D et

¹http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/realrobots.html

la collaboration dans ce type d'environnement.

Démarche de la recherche

Notre démarche de recherche a consisté à étudier à la fois deux domaines de recherche qui sont la Réalité Mixte (RM) et le Travail Collaboratif (TC).

Dans le domaine de la RM, les recherches sont focalisées sur l'assistance à *l'interaction 3D* dans des environnements qui peuvent être réels-augmentés ou virtuels, utilisant ou simulant des systèmes complexes. Ces derniers peuvent être artificiels (cas de l'interaction-homme-robot distant en réalité augmentée) ou issus du vivant (cas de l'interaction-homme-molécule en réalité virtuelle).

Dans le domaine du TC, les recherches sont centrées sur l'assistance à la collaboration des utilisateurs. Ces derniers peuvent être soit en situation de télétravail avec des systèmes complexes artificiels (cas de la téléopération de robots en réalité mixte) ou encore en situation de travail dans un environnement virtuel commun (complètement simulé par ordinateur).

Dans le contexte de l'assistance à l'interaction 3D, une réflexion particulière est menée sur la façon dont on peut *aider* l'Homme à *interagir* (*naviguer, sélectionner, manipuler et contrôler l'application*) d'une manière efficace et crédible avec son environnement. Cette réflexion nous a conduit à proposer des modèles et des techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction 3D en réalité mixte.

Dans le contexte de l'assistance à la collaboration, une attention particulière est accordée à la manière dont on peut structurer, organiser, gérer et assister une activité de collaboration. Cela nous a permis de proposer des formalismes et des modèles permettant *d'assister* une activité de collaboration (communication, coordination et production).

Ces recherches menées conjointement dans chacun des deux domaines ont favorisé l'émergence des fondements de *l'interaction collaborative en réalité mixte*. En effet, l'étude des collecticiels (logiciels de collaboration sous l'angle du travail collaboratif) fournit les concepts de base que doit respecter un système de collaboration. Alors que l'étude des interactions en réalité mixte propose quant à elle des métaphores/techniques d'interaction 3D et des interfaces sensorimotrices (auditive, visuelle et haptique) dans le but d'améliorer le sentiment de présence des utilisateurs.

Ce couplage de concepts interdisciplinaires (interaction en RM & collaboration du point de vue du TC) est très intéressant du fait de leurs interdépendances. En effet, pour collaborer, on a besoin d'interagir et pour interagir ensemble on a besoin de collaborer. Notre démarche de recherche propose donc de tirer partie de la manière la plus efficace possible des avancées scientifiques et technologiques issues des deux domaines de recherche (la réalité mixte et le travail collaboratif) afin de proposer des modèles permettant la conception de nouveaux systèmes d'assistance à l'interaction collaborative en réalité mixte.

Pour illustrer notre démarche de recherche, nous définissons un canevas qui se compose de 3 composantes : ” **Interaction** ”, ” **Collaboration** ” et ” **Réalité Mixte** ” (présentées dans la figure 2).

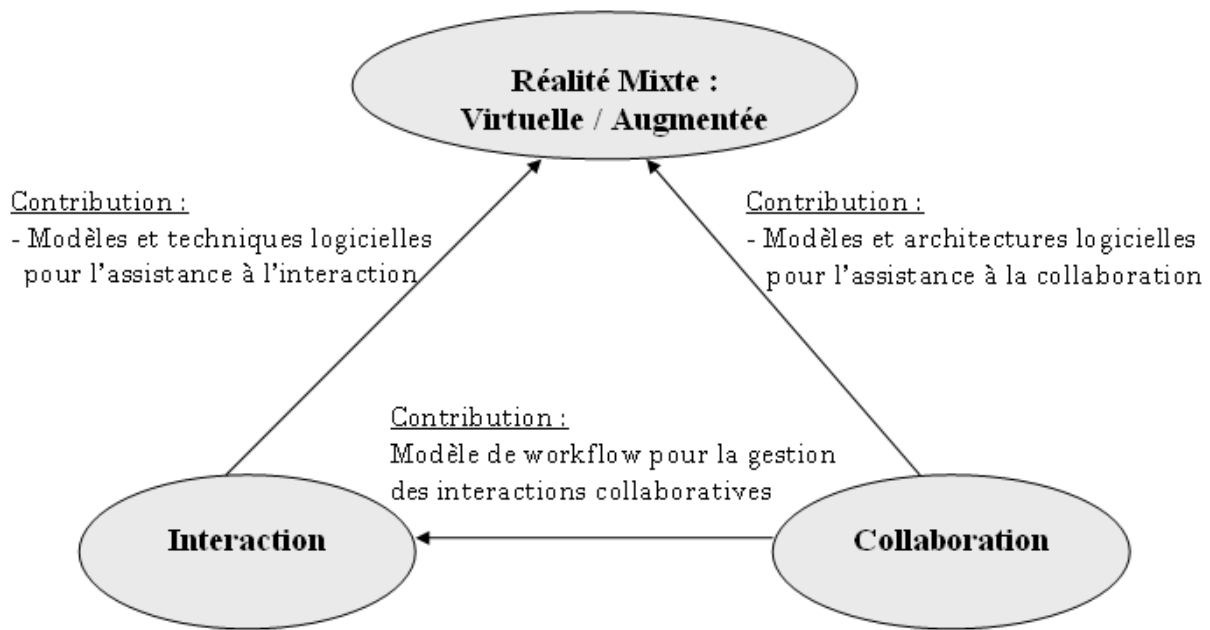


FIG. 2 – Canevas de notre projet de recherche.

Chacune des composantes donne le cadre dans lequel les travaux s'inscrivent. La troisième composante représente finalement le domaine d'application qui bénéficie des résultats obtenus dans les deux premières composantes. Les liens entre les composantes représentent les principales contributions scientifiques que la composante source apporte à la composante destination. La figure 2 illustre l'ensemble de notre démarche de recherche. Les trois liens, représentent finalement les trois chapitres 3, 4 et 5 qui résument mes principaux travaux.

Plan du mémoire

Ce mémoire est organisé en deux parties :

Partie I : Présentation du candidat

Dans cette partie est présenté le premier chapitre qui correspond à mon Curriculum Vitæ. Il résume l'ensemble de mes activités de recherche, d'enseignement et de responsabilité durant toute ma carrière.

Partie II : Synthèse des travaux de recherche

Cette partie est structurée en 4 chapitres suivis d'une conclusion et des perspectives. Elle présente une synthèse de mes travaux de recherche.

☛ Remarque :

Cette partie de synthèse de travaux ne regroupe pas tous les travaux de recherche réalisés durant ma carrière d'enseignant-chercheur, mais elle est organisée de manière à structurer et à développer un projet de recherche sur les thèmes interaction et collaboration en réalité virtuelle et augmentée.

Dans le chapitre 2 "**Cadre de nos travaux de recherche**", nous définissons le cadre de notre projet de recherche. Nous présentons dans un premier temps les domaines de recherche que nous avons abordés ainsi que notre positionnement dans chacun des domaines. Nous donnons à la fin de ce chapitre une synthèse des résultats de recherche. Celle-ci regroupe nos principales contributions qui seront par la suite reprises et développées dans les chapitres suivants.

Dans le chapitre 3 "**Modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction 3D**", nous développons le thème de recherche "**Interaction 3D**". Nous commençons ce chapitre par un bref état de l'art sur les quatre tâches de l'interaction 3D (la navigation, la sélection, la manipulation et le contrôle d'application) ainsi qu'une analyse sur leurs utilisation dans des environnements complexes (exigeants en performance et en crédibilité). Nous développons ensuite le concept d'assistance à l'interaction 3D qui est fondé sur l'intégration des modalités sensorielles (audio, vidéo et haptique) et des guides virtuels comme outils d'assistance à l'interaction 3D. Pour illustrer et montrer l'intérêt de l'assistance à l'interaction 3D, nous présentons deux exemples de nos contributions. Le premier exemple (*interaction homme-robot avec précision et sécurité*), concerne l'assistance à l'interaction 3D dans des environnements utilisant des systèmes complexes artificiels. Il applique le principe d'assistance pour améliorer les performances des tâches d'interaction 3D, et il présente brièvement une technique d'interaction 3D permettant la sélection et la manipulation d'objets d'une manière précise et sécurisée. Le second exemple (*interaction homme-chromosome avec crédibilité*), concerne l'assistance à l'interaction 3D dans des environnements simulant des systèmes complexes issus du vivant. Il applique le principe d'assistance pour fournir de la crédibilité aux tâches d'interaction 3D. Il présente une approche permettant de garantir la cohérence entre les modifications provoquées par la manipulation (d'un modèle 3D simplifié du chromosome) et les contraintes issues des lois de la biologie qui imposent l'ordonnancement spatial du chromosome.

Dans le chapitre 4 "**Modèles et architectures logicielles pour l'assistance au télétravail collaboratif**", nous développons le thème de recherche "**Collaboration**" d'un point de vue communauté IHM (collecticiel). Nous commençons ce chapitre par quelques définitions nécessaires à la compréhension de nos contributions. Nous présentons également un bref état de l'art sur les modèles d'architectures logicielles des collecticiels et sur les systèmes de téléopération basés sur Internet. Nous présentons par la suite, une analyse pour la conception de collecticiels particuliers, destinés à la téléopération collaborative de robots via internet. Dans ce contexte particulier d'assistance au télétravail collaboratif, nous présentons succinctement le formalisme multi-agent pour la collaboration résultant de cette étude ainsi que l'interface homme-machine du collecticiel de téléopération collaborative via internet. Nous présentons ensuite une approche permettant d'introduire de la malléabilité dans les systèmes en général et dans les collecticiels en particulier. Nous

présentons les deux modèles d'architectures logicielles obtenus : le premier est basé sur les mécanismes des services web et le second permet l'intégration des services web et des agents logiciels. Afin d'illustrer l'intérêt d'introduire de la malléabilité dans les systèmes de collaboration, nous présentons un exemple d'application dans le cadre du projet ANR "Digital Ocean".

Dans le chapitre 5 "**Assistance à l'interaction 3D collaborative**", nous développons le thème de recherche "**Collaboration**" qui émerge des deux communautés, réalité virtuelle et IHM (environnement virtuel collaboratif et collectif). Nous commençons par une présentation de quelques concepts et définitions de bases (présence, awareness et interaction collaborative) ainsi qu'un bref état de l'art sur les environnements virtuels collaboratifs (EVCs). Nous présentons par la suite une analyse sur les interactions dans les EVCs. Nous développons ensuite le concept d'assistance à l'interaction 3D collaborative en intégrant le concept d'assistance à l'interaction 3D mono-utilisateur (du chapitre 3) avec un modèle de workflow que nous développons également dans ce chapitre. Ce modèle de workflow permet l'assistance à la coordination des tâches d'interaction 3D collaboratives dans des EVCs.

Enfin, nous terminons cette deuxième partie par une conclusion comportant un bilan des différents points abordés ainsi que les perspectives que nous nous proposons de traiter.

Première partie

PRÉSENTATION DU CANDIDAT

Chapitre 1

Curriculum Vitæ Étendu

BIOGRAPHIE. J'ai obtenu le diplôme d'*ingénieur* en *Informatique* de l'institut d'informatique de Tizi-Ouzou, Algérie, en 1993, le diplôme de *DEA* en *Robotique*, à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) en 1996, le diplôme de *Doctorat* en *robotique* de l'Université d'Evry en 2000. Depuis 2001 j'occupe un poste de Maître de Conférences à l'Université d'Evry Val d'Essonne. Mes activités d'enseignement se déroulent à l'UFR Sciences et Technologie et mes activités de recherche au laboratoire IBISC.

Durant la période de ma thèse (1996-2000), j'ai travaillé sur la problématique de la téléopération de robots via le réseau Internet (mobilité des Interfaces Homme-Machine et assistance en réalité augmentée) au sein de l'équipe Réalité Augmentée du Laboratoire Systèmes Complexes(ex. LSC). De 2000 à 2001 j'ai effectué un Postdoc au LSC pour appliquer mes travaux de thèse sur le projet ARPH (Assistance Robotisée aux Personnes Handicapées). A partir de 2002, j'ai étendu mes recherches pour l'assistance au Télétravail Collaboratif en Réalité Mixte (virtuelle ou augmentée) qui constitue aujourd'hui le thème 2 de l'équipe RATC (Réalité Augmentée et Télétravail Collaboratif), thème que j'anime en collaboration avec le professeur Malik Mallem responsable de l'équipe.

En 2008, j'ai bénéficié d'une *délégation CNRS* d'un an au sein d'IBISC, durant laquelle j'ai effectué un court séjour au Japon (laboratoire de Makoto Sato, Tokyo Institut of Technology) et co-organisé une conférence internationale avec une session sur la Réalité Virtuelle et Augmentée (CISA'09). J'ai également participé depuis mon recrutement à diverses responsabilités pédagogiques, électives et scientifiques et au montage de nombreux projets (Industriels, Nationaux, Européens et Régionaux). Au sein d'IBISC, l'axe de recherche en cours de développement traite de l'assistance à l'interaction et à la collaboration en réalité mixte (virtuelle ou augmentée).

1.1 État civil et coordonnées

Nom et Prénom OTMANE Samir
 Date et lieu de naissance 21 novembre 1970, Algérie
 Situation familiale Marié, 4 enfants
 Adresse professionnelle Laboratoire IBISC,
 40, rue du Pelvoux CE1455 Courcouronnes
 F-91020, Evry Cedex
 Tél. +33 1 69477592 Fax. +33 1 69477599
 Courriel : Samir.Otmane@ibisc.univ-evry.fr

1.2 Formation universitaire

- Décembre 2000. Dipl. de Doctorat en Robotique
 - Université d'Evry Val d'Essonne
 - Laboratoire Systèmes Complexes : LSC CNRS-FRE2494

Sujet : *Télétravail Robotisé et Réalité Augmentée : Application à la Téléopération via Internet*

Mention : Très honorable

Jury :

Philippe Coiffet	Dir. de recherche au CNRS	Rapporteur
Philippe Fuchs	Pr. associé, HDR, ENSMP Paris	Rapporteur
Michel Soto	MCF, HDR Université de Paris VI	Rapporteur
Nazim Agoulmine	Pr. à l'Université d'Evry	Rapporteur
Florent Chavand	Pr. à l'Université d'Evry	Examineur
Abderahman Kheddar	MCF à l'Université d'Evry	Examineur
Philippe Even	MCF à l'Université de Versailles	Examineur
Malik Mallem	Pr. à l'Université d'Evry	Directeur de thèse

- juin 1996. Dipl. de DEA en Robotique
 - Université de Paris VI
 - Équipe Réalité Virtuelle et Robotique (P. Coiffet), Laboratoire de Robotique de Paris

Sujet : *Superposition d'une image graphique sur l'image réelle d'un robot*
- Juin 1993. Dipl. d'Ingénieur en Informatique
 - Institut d'Informatique de Tizi-Ouzou , Algérie

Sujet : *Spécification formelle par la méthode Z : application à la conception d'un éditeur de texte*
- Juin 1988. Baccalauréat scientifique (mathématique)
 - Nouveau lycée de Tizi-Ouzou, Algérie

1.3 Cursus professionnel

- 1996-98. Enseignant vacataire
 - Institut d'Informatique d'Entreprise (IIE, CNAM), Evry, actuellement ENSIIE (École Nationale Supérieure d'Informatique pour l'Industrie et l'Entreprise)
 - Laboratoire Systèmes Complexes, LSC CNRS-FRE 2494.
- 1998-00. Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (mi-temps)
 - Institut d'Informatique d'Entreprise (IIE, CNAM), Evry
 - Laboratoire Systèmes Complexes : LSC CNRS-FRE 2494
- 2000-01. Postdoc sur le projet ARPH (Assistance Robotisée aux Personnes Handicapées) au LSC
- Sept.01. Maître de Conférences classe normale, 61ème section
 - Université d'Evry Val d'Essonne
 - Laboratoire Systèmes Complexes
- 2008-09. Délégation CNRS de un an au sein d'IBISC-CNRS FRE 3190.

1.4 Activités de recherche

Mes activités de recherche se déroulent dans l'équipe Réalité Augmentée et Télétravail Collaboratif (RATC) et plus précisément dans le thème 2 : Réalité Virtuelle et Travail Collaboratif dont j'assure actuellement une grande part d'animation scientifique, de gestion et d'évolution. Mon projet scientifique est l'étude et la mise en œuvre de nouveaux modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction et à la collaboration dans des environnements de réalité mixte (virtuelle/augmentée). Mes activités de recherche se situent au niveau de la modélisation, de la conception et de l'évaluation par des expérimentations en situation réelle (autour des plateformes de réalités virtuelle et augmentée) des modèles et des techniques logicielles proposées. Les domaines de recherche abordés sont :

- La Réalité Mixte (RM : réalité virtuelle et augmentée),
- Le Travail Collaboratif (TC).

L'exploration de ces deux domaines de recherche conjointement (interaction en RM & collaboration du point de vue du TC) est très enrichissant du fait que les questions fondamentales sur la collaboration trouvent leurs réponses dans le domaine scientifique du travail collaboratif et que les questions relatives à l'interactions 3D sont traitées dans le domaine de la réalité virtuelle.

Mots-clés. *Assistance, interaction 3D, collaboration, interaction collaborative, réalité mixte, réalité virtuelle, réalité augmentée, travail collaboratif, téléopération*

Les deux figures 1.1 et 1.2 présentent les principales contributions obtenues en fonction des domaines scientifiques et des domaines d'application.

Domaine scientifique : Positionnement	Quelques publications associées	Contributions scientifiques
Travail Collaboratif : Assistance à la collaboration	[35], [40]	- Formalisme multi-agent pour assister et tracer une activité de collaboration
	[3], [20], [22]	- Intégration et composition de services comme support d'assistance à la collaboration
Réalité Mixte : Assistance à l'interaction	[30]	- Modèle de trèfle fonctionnel pour l'interaction 3D
	[25], [28]	- Modèle d'assistance à l'interaction 3D sous contraintes.
	[10], [12], [13], [32], [33]	- Métaphores et techniques d'interaction 3D assistées
	[21], [53], [58]	- Interaction 3D adaptative
	[11], [45], [46], [27], [55]	- Interaction 3D multimodale
Réalité Mixte & Travail Collaboratif : interaction collaborative en réalité mixte	[31]	- Modèle spatiale de l'interaction collaborative
	[2]	- Modèle de workflow pour gestion des interactions du groupe

FIG. 1.1 – Synthèse des principales contributions obtenues en fonction des domaines de recherche

Quelques domaines d'applications	Quelques publications associées	Résultats applicatifs
Téléopération & Télérobotique	[5], [7], [33], [36]	- Téléopération collaborative en réalité augmentée via Internet (projet ARITI-C)
	[6], [8], [34]	- Téléopération assistée par la Réalité Mixte (projet ARITI-RM)
Audiovisuel & Multimédia	[20], [24], [52]	- Un collecticiel pour la collecte et le partage de données multimédias des fonds marins (projet Digital Ocean : Oceanyd-Groupware).
	[51]	- Un logiciel d'exploration des environnements virtuels des fonds marins (projet Digital Ocean : Oceanyd-Explorer)
Biologie moléculaire	[4], [18], [19]	- Un système d'aide à l'interaction 3D homme-chromosome en réalité virtuelle (AI In-Virtuo).

FIG. 1.2 – Synthèse des principales contributions obtenues en fonction des domaines d'application

1.4.1 Encadrement de la recherche

1.4.1.1 Stages de niveau Master et de post-doc

17 stages de master ou équivalent co-encadrés (2 en postdoc, 9 en M2-R, 3 en M2-P et 3 en fin de mémoire d'ingénieur) :

1. **Madjid MAIDI (co-encadrement à 50%)**, *Conception et évaluation d'une interface en Réalité Mixte pour le téléapprentissage de robots industriels : application au projet industriel TRI*, stage de postdoc d'un an, Université d'Evry val d'Essonne (2009).
2. **Malek REKIK (co-encadrement à 50%)**, *Etude et conception d'un système d'assistance multimodale pour l'interaction 3D sous contraintes biologiques*, stage de M2R RVSI, Université d'Evry val d'Essonne, 2009.
3. **Nahla GUEHRIA (co-encadrement à 50 %)**, *Vers une modélisation de la malléabilité des collecticiels : application au projet DIGITAL OCEAN*, stage M2R COSY, UVSQ, 2009.
4. **Fazia LAOUSSATI (co-encadrement 50 %)**, *Etude et analyse de la Qualité de Service dans des systèmes de Téléopération Collaborative assistés par la Réalité Virtuel et Augmentée*, stage de Master Recherche Réseau, UPMC-Paris 6, 2009.
5. **Madjid MAIDI (co-encadrement à 30%)**, *Design a Mixed Reality system for exploration of underwater virtual environments : Application to the VENUS project*, stage de postdoc d'un an, Université d'Evry val d'Essonne (2008).
6. **Aziz ELMAGGANI (co-encadrement à 60 %)**, *Etude et conception d'une architecture logicielle malléable : Application au projet DIGITAL OCEAN*, stage de Master Pro. GEII , Université d'Evry val d'Essonne, 2008.
7. **Mohamed ALAYA (co-encadrement à 60 %)** *Étude et développement d'un collecticiel Oce@nyd : Contribution au Projet DIGITAL OCEAN*, stage de Master Pro. GEII, Université d'Evry val d'Essonne, 2007.
8. **Christophe DOMINGUES (co-encadrement à 60 %)**, *Etude et conception d'une plateforme logicielle d'aide à l'évaluation des techniques d'interaction 3D : Application à l'évaluation de la technique Follow-Me*, stage de M2R RVSI, Université d'Evry val d'Essonne, 2007.
9. **Pierre BOUDOIN (co-encadrement à 60 %)**, *Proposition et évaluation d'un système d'interaction 3D multimodale et collaboratif*, stage de M2R RVSI, Université d'Evry val d'Essonne, 2007.
10. **Sehat ULLAH (co-encadrement à 60 %)**, *Étude et évaluation de l'interaction à retour d'effort de type SPIDAR*, stage de M2R RVSI, Université d'Evry val d'Essonne, 2007.
11. **Kahina AMOKRANE (encadrement à 100 %)**, *Etude et proposition d'un formalisme pour la gestion dynamique des interactions dans les Environnements Virtuels Collaboratifs*, Université d'Evry val d'Essonne, 2006.
12. **Sébastien FERRON (encadrement à 100 %)**, *La téléopération collaborative d'un robot FANUC via Internet*, mémoire d'ingénieur ENSIIE, 2006.
13. **Massinissa AIT MENGUELLET (co-encadrement à 80 %)**, *Télécalibration de caméras via Internet : contribution au projet ARITI*, stage de mémoire d'ingénieur, UMMTO, Algérie, ce stage c'est déroulé dans le cadre de l'accord de coopération UEVE-UMMTO, 2005.

14. **Nassima OURAMDANE (encadrement à 100 %)**, *Un modèle formel et conceptuel pour structurer et analyser la collaboration dans un système distribué*, stage de DEA RVMSC (actuellement M2 RVSI), Université d'Evry val d'Essonne, 2003.
15. **Yann OFFREDI (co-encadrement à 50 %)**, *Télé-contrôle de la lumière via Internet : contribution au projet ARITI*, stage de Master Pro. GEII, Université d'Evry val d'Essonne, 2004.
16. **David BATISTA (encadrement à 100 %)**, *Etude et conception d'une architecture de collaboration homme-homme-machine : application à la téléopération collaborative*, mémoire d'ingénieur ENSIIE, Université d'Evry val d'Essonne, 2003.
17. **Jean Yves DIDIER (co-encadrement à 30 %)**, *Recalage dynamique dans un système de réalité augmentée en vision directe : application au projet AMRA*, stage de DEA RVMSC (actuellement M2 RVSI), Université d'Evry val d'Essonne, 2002.

1.4.1.2 Etudiants en doctorat

Thèses soutenues :

Les travaux déjà menés concernent essentiellement le co-encadrement de 7 thèses soutenues. Le tableau 1.1 présente le type de financement, les participants à l'encadrement et les pourcentages d'encadrement.

Doctorant	Financement	Directeur (%)	Co-encadrant (%)	Année de soutenance
DOMINGUES	MESR	Mallem (30)	Otmane (50) Davesne (20)	13/10/2010
BOUDOIN	MESR	Mallem (30) Maaref (30)	Otmane (40)	06/10/2010
CHEAIB	ANR-RIAM*	Mallem (20)	Otmane (80)	16/06/2010
ESSABBAH	MESR	Mallem (30)	Otmane (40) Herisson (30)	11/06/2010
OURAMDANE	ATER	Mallem (20)	Otmane (60) Davesne (20)	25/11/2008
KHEZAMI	ATER	Mallem (20)	Otmane (80)	13/12/2005
DIDIER	RNTL-AMRA-	Mallem (50)	Otmane (20) Roussel (30)	12/12/2005

TAB. 1.1 – Récapitulatif sur les thèses co-encadrées. (*) Projet Digital Ocean ANR 2006-2009

– **Jean Yves Didier** : (soutenu le 12 décembre 2005)

Titre de la thèse : *Contributions à la dextérité d'un système de réalité augmentée mobile appliqué à la maintenance industrielle.*

Mention : Très honorable

Qualification : CNU 61

Le manuscrit : http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/33/96/15/PDF/Didier_these.pdf

Jury :

Marie-Odile Berger	Chargé de recherche, HDR, INRIA (LORIA)	Rapporteur
Jean-Marc Lavest	Prof. Univ. Blaise-Pascal (Clermont-Ferrand)	Rapporteur
Nassir Navab	Prof. Technische Universität München	Examineur
Florent Chavand	Prof. Université d'Evry	Examineur
David Roussel	Maître de conférences, IIE-CNAM	Co-encadrant (30%)
Samir Otmane	Maître de conférences, Université d'Evry	Co-encadrant (20%)
Malik Mallem	Professeur, Université d'Evry	Directeur

- **Narjes Khezami** : (soutenue le 13 décembre 2005)
Titre de la thèse : *Vers un collecticiel basé sur un formalisme multi-agent destiné à la téléopération collaborative via Internet.*
Spécialité : Robotique Mention : Très honorable
Qualification : CNU 27 et CNU 61
Le manuscrit : <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/41/88/09/PDF/Khezami05.pdf>
Jury :
- | | | |
|------------------|--|-----------------|
| Bertrand David | Professeur, Ecole Centrale de Lyon | Rapporteur |
| Philippe Le Parc | Maître de conférences HDR, Université de Brest | Rapporteur |
| Philippe Fuchs | Professeur, Ecole des Mines de Paris | Examinateur |
| Samir Otmane | Maître de conférences, Université d'Evry | Encadrant (80%) |
| Malik Mallem | Professeur, Université d'Evry | Directeur |
- **Nassima Ouramdane** : (soutenue le 25 novembre 2008)
Titre de la thèse : *Vers un système d'assistance à l'interaction 3D pour le travail et le télétravail collaboratif dans les environnements de réalité virtuelle et augmentée.*
Spécialité : Informatique Mention : Très honorable
Qualification : CNU 27 et CNU 61
Le manuscrit : http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/37/49/61/PDF/These_ouramdane.pdf
Jury :
- | | | |
|--------------------|--|--------------------|
| Bruno Arnaldi | Professeur, Insa de Rennes | Rapporteur |
| Jacques Tisseau | Professeur, ENIB de Brest, | Rapporteur |
| Dominique Bechmann | Professeur, Université de Strasbourg | Examinateur |
| Paul Richard | Maître de Conférences, Université d'Angers | Examinateur |
| Frédéric Davesne | Docteur, IGR, Université d'Evry | Co-encadrant (20%) |
| Samir Otmane | Maître de conférences, Université d'Evry | Co-encadrant (60%) |
| Malik Mallem | Professeur, Université d'Evry | Directeur |
- **Mouna Essabbah** : (soutenue le 11 juin 2010)
Titre de la thèse : *Assistance à l'interaction Homme-Molécule in virtuo : application au chromosome*
Spécialité : Informatique
Mention : Très honorable
Jury :
- | | | |
|----------------------|--|--------------------|
| Jacques Tisseau | Professeur, ENIB de Brest, | Rapporteur |
| Catherine Etchebest | Professeur, Université Paris-Diderot | Rapporteur |
| Christine Froidevaux | Professeur, Université de Paris-Sud | Examinateur |
| Johane Hérisson | IGR, Université d'Evry | Co-encadrant (30%) |
| Samir Otmane | Maître de conférences, Université d'Evry | Co-encadrant (40%) |
| Malik Mallem | Professeur, Université d'Evry | Directeur |
- **Nader Cheaib** : (soutenu le 16 juin 2010)
Titre de la thèse : *Contribution à la malléabilité des collecticiels : une approche basée sur les services web et les agents logiciels*
Spécialité : Informatique
Mention : Très honorable

Jury :

Bertrand David	Professeur, Ecole Centrale de Lyon,	Rapporteur
Parisa Ghodous	Professeur, Université Claude Bernard Lyon 1	Rapporteur
Philippe Le Parc	Professeur, Université de Bretagne Occidentale	Examineur
Alain Dinis	Coordinateur Projet DigitalOcean, VirtualDive	Invité
Samir Otmane	Maître de conférences, Université d'Evry	Encadrant (80%)
Malik Mallem	Professeur, Université d'Evry	Directeur

- **Pierre Boudoin** : (soutenu le 06 octobre 2010)

Titre de la thèse : *L'interaction 3D adaptative : une approche basée sur les méthodes de traitement de données multi-capteurs*

Spécialité : Informatique

Mention : Très honorable

Jury :

Kurosh Madani	Professeur, Université de Paris 12	Rapporteur
Guillaume Moreau	Maître de Conférence, HDR, Ecole Centrale de Nantes	Rapporteur
Yacine Amirat	Professeur, Université de Paris 12	Examineur
Hichem Maaref	Professeur, Université d'Evry	Directeur
Samir Otmane	Maître de conférences, Université d'Evry	Co-encadrant (40%)
Malik Mallem	Professeur, Université d'Evry	Co-directeur

- **Christophe Domingues** : (soutenue le 13 octobre 2010)

Titre de la thèse : *Interaction 3D Collaborative en Réalité Virtuelle.*

Spécialité : Robotique

Mention : Très honorable

Jury :

Frédéric Merienne	Professeur, ENSAM Institut de Chalon-sur-Saône	Rapporteur
Indira Thouvenin	Maître de Conférences, HDR, UTC Compiègne	Rapporteur
Philippe Fuchs	Professeur, Mines ParisTech	Examineur
Frédéric Davesne	Docteur, IGR, Université d'Evry	Co-encadrant (20%)
Samir Otmane	Maître de conférences, Université d'Evry	Co-encadrant (50%)
Malik Mallem	Professeur, Université d'Evry	Directeur

Thèses en cours :

Les travaux en cours concernent le co-encadrement d'une thèse, celle de Sehat ULLAH en collaboration avec le laboratoire LISA de l'université d'Angers. Le tableau 1.2 résume les personnes impliquées ainsi que les pourcentages d'encadrement.

Doctorant	Financement	Directeur (%)	Co-encadrant (%)	Soutenance
ULLAH	Bourse Pakinstan	Mallem (20)	Otmane (50) Richard (30)	26/01/2011

TAB. 1.2 – Récapitulatif sur les thèses en cours.

- **Sehat ULLAH**, *Multimodal Assistance for Collaborative 3D Interaction : Study and analysis of performance in collaborative work.* la soutenance est prévue pour le 26 janvier 2011.

1.4.2 Projets et contrats de recherche

Depuis mon recrutement en tant que Maître de Conférences à l'Université d'Evry, j'ai participé au montage et à la réalisation de 7 projets et contrats de recherche dont la somme totale des subventions avoisine 1 500 000 euros. Quatre en tant que responsable scientifique et administratif (Projet européen DigitalOcean 2010-2012, Projet Industriel TRI, Projet ANR¹RIAM² Digital Ocean 2006-2009 et une Action Incitative d'IBISC VarSCW). Un autre en tant que co-responsable scientifique (Projet ASTRE³ 2005-2007) et trois autres en tant que participant au montage et aux réalisations des recherches (Projet européen VENUS 2006-2009, Projet ASTRE 2002-2005 et le projet RNTL⁴ AMRA 2001-2004).

Dans ce qui suit, je présente brièvement un descriptif de chaque projet avec les personnes impliquées :

1.4.2.1 Projets avec responsabilité scientifique et administrative

FP7 Digital Ocean - 2010-2012 : (Télé-exploration en réalité mixte des sites de plongée)

Type de projet : Européen FP7 RSME

Partenaires : VIRTUALDIVE (SME, France), MEDIATOUCH (SME, Italie), OCEANS-CAN (SME, Portugal), LUDOCRAFT (SME, Finlande), ANTINEA (Fondation, Suisse), Univ. PORTO FEUP (Portugal), Univ. Jyvask (Finlande), EPITA ASSS. (France) et Univ. EVRY (IBISC).

Budget pour IBISC : 330 000 euros

Responsable scientifique : **Samir Otmane**

Participants IBISC : Malik Mallem, Frédéric Davesne (IGR EVR@).

Objectif : Ce projet européen (FP7 2010-2012 Digital Ocean de N°262160) est la suite du projet ANR Digital Ocean (2006-2009). Il concerne l'ensemble de la chaîne de contenus numériques sur les fonds marins : depuis la création, la production, l'édition, les interfaces et jusqu'à leur diffusion multimodale par des terminaux dédiés ou du marché, mobiles et fixes. Il recouvre l'audiovisuel, l'animation, les jeux vidéo sérieux 'serious game', l'internet et la réalité mixte. Il permettra de géo-localiser et de personnaliser ces contenus grâce à l'introduction de robots sous-marins téléopérés en ligne en réalité mixte. La méthode de "plongée virtuelle en temps réel" concerne la téléopération en réalité mixte et via l'internet de robots sous-marins placés dans les sites de plongée. Elle représente l'axe structurant de ce projet dont IBISC est responsable. Ce projet s'appuie sur un capital de savoirs et de savoir faire de deux projets existants : le projet ARITI pour la téléopération en réalité mixte et le projet ANR Digital Ocean de 2006-2009.

TRI - 2007-2010 : (Téléapprentissage de Robots Industriels)

Type de projet : Industriel

Partenaires : BLM et IBISC/UEVE

Budget pour IBISC : 180 000 euros

Responsable scientifique : **Samir Otmane**

Maîtrise d'oeuvre : Laredj Benchikh

¹Agence National de la Recherche

²Réseau National de la Recherche et d'Innovation en Audiovisuel et Multimédia

³Action de Soutien à la Technologie et la Recherche en Essonne

⁴Réseau National en Technologies Logicielles

Participants IBISC : Malik Mallem, Frédéric Davesne (IGR EVR@⁵) et Majid Maldi (post-doct).

Objectif : L'objectif du projet est d'étudier, concevoir et réaliser une plate-forme expérimentale pour le téléapprentissage de robots industriels en utilisant les techniques de réalité virtuelle et augmentée. Cette plateforme devrait permettre des interactions entre un ou plusieurs robots réels avec un modèle CAO d'un véhicule. Ces travaux nécessitent une corrélation entre le comportement mesuré au moyen des codeurs du robot réel et les courbes issues du modèle virtuel de ce même robot. Cette corrélation s'effectuera grâce aux retours vidéo de la scène réelle et permettra une superposition parfaite et une optimisation du modèle virtuel par rapport au robot réel.

Digital Ocean - 2006-2009

Type de projet : ANR RIAM

Partenaires : SemanticTS⁶ (PME), VirtualDive⁷ (PME, coordinateur), LSIS⁸ et IBISC

Budget pour IBISC : 153 000 euros

Responsable scientifique : **Samir Otmane**

Participants IBISC : Malik Mallem, Frédéric Davesne (IGR EVR@) et Nader Cheaib (doctorant).

Objectif : Ce projet a pour objectif de rendre les fonds marins accessibles au grand public par la simulation et la réalité virtuelle. Le projet vise à créer un nouveau mode de distribution de contenus audiovisuels et multimédia grâce à un simulateur de plongée sans précédent. IBISC a pour rôle l'étude et la conception de la plateforme collaborative permettant d'enrichir les sites de plongée numérisés ainsi que la proposition des techniques d'interaction 3D permettant la navigation dans le site virtuel, la sélection et la manipulation des objets tels que la faune et la flore. (<http://www.digitalocean.fr/>)

VarSCW - 2006-2009 (Virtual and augmented reality Supported Cooperative Work)

Type de projet : Action Incitative IBISC

Budget attribué : 24 000 euros

Responsable scientifique et coordinateur : **Samir Otmane**

Participants IBISC : Malik Mallem, Jean Yves Didier, de l'équipe RATC, Guillaume Hutzler, Hanna Kludel de l'équipe LIS, Paul Richard du laboratoire LISA d'Angers et Frédéric Davesne (IGR plateforme EVR@ d'IBISC).

Objectif : Ce projet a pour objectif l'étude et la conception des architectures logicielles pour les systèmes distribués temps - réels et collaboratifs, en se basant sur des approches multi-agents combinées à l'utilisation des spécifications formelles et des techniques de vérification. Nous travaillons avec le LISA sur les aspects interaction 3D collaboratives multimodales et sur l'évaluation de ces techniques en utilisant les deux plateformes de réalité virtuelle EVR@ d'IBISC et PREWISE du laboratoire LISA.

EVR@Mobile : ASTRE 2005-2007 (Télétravail collaboratif assisté par la réalité virtuelle et augmentée)

Type de projet : Départemental

⁵Plateforme pour le travail et le télétravail en Environnement Virtuel et de Réalité Augmentée : <http://evra.ibisc.univ-evry.fr>

⁶<http://www.semantic-ts.fr/>

⁷<http://www.virtualdive.com/>

⁸<http://www.lsis.org/>

Budget : 145 000 euros (Subvention ASTRE 65 Keuros, CNRS 10 Keuros, MENRT 70 Keuros)

Responsables scientifiques : **Samir Otmane** et Malik Mallem

Participants IBISC : Frédéric Davesne (IGR EVR@).

Objectif : Ce projet vient en soutien du projet ASTRE 2002 en complétant l'équipement de la plate-forme EVR@. L'objectif scientifique est l'étude et le développement de nouvelles techniques d'interaction 3D collaborative adaptées aux nouvelles interfaces homme-machine multisensorielles pour l'assistance au télétravail collaboratif (http://evra.ibisc.univ-evry.fr/index.php/ASTRE_2005-2007).

1.4.2.2 Projets auxquels j'ai participé

VENUS - 2006-2009 (Virtual ExploratiON of Underwater Sites)

Type de projet : Européen FP6-2005-IST-5

Partenaires : LSIS, IST, ISME-UNIGE, UHULL-SIMVIS, LFUI, COMEX, DRASSM, SBAT, UoY-ADS, MC-SG, IBISC

Budget pour IBISC : 237 000 euros

Responsable scientifique : Malik Mallem

Participants IBISC : David Roussel et **Samir Otmane** et Mahmoud Haydar (doctorant).

Objectif : L'objectif du projet est de fournir une exploration virtuelle et éventuellement collaborative des sites archéologiques sous-marins profonds permettant ainsi à des experts d'étudier des sites archéologiques intéressants dans un environnement pédagogique sûr et moins coûteux (<http://piccard.esil.univmed.fr/venus/>).

EVR@ : ASTRE 2002-2005 (Plateforme matérielle pour la simulation en réalité virtuelle et la téléopération en réalité augmentée)

Type de projet : Départementale

Budget : 372 000 euros : (Subvention ASTRE 76 Keuros, MENRT 227 Keuros, CNRS 60 Keuros, RNTL AMRA 9 Keuros)

Responsables scientifiques : Malik Mallem

Participants IBISC : **Samir Otmane**, David Roussel et Jean Yves Didier.

Objectif : Le but de ce projet est l'acquisition d'une plate-forme matérielle permettant d'appliquer les compétences du laboratoire IBISC en Réalité Virtuelle et Augmentée (RV/RA) et de les mettre à la disposition des centres d'enseignement et des industriels du département de l'Essonne désirant pratiquer des tests exploratoires. Cette plate-forme porte le nom d'EVR@ (http://evra.ibisc.univ-evry.fr/index.php/ASTRE_2002-2005).

AMRA - 2001-2004 (Assistance à la Maintenance en Réalité Augmentée)

Type de projet : RNTL

Partenaires : Alstom, CEA-LIST, IBISC (ex LSC), Acti-CM

Budget pour IBISC : 177 000 euros

Responsable scientifique : Malik Mallem

Participants IBISC : David Roussel et **Samir Otmane**, Florent Chavand et Jean Yves Didier (doctorant).

Objectif : L'objectif du projet est d'augmenter la disponibilité de l'information sur le lieu de maintenance en utilisant les techniques de réalité augmentée, et d'apporter aux agents

de maintenance une assistance permettant d'accéder sur leurs postes de travail à des informations pertinentes telles que la documentation de maintenance, les modes opératoires et films de montage (<http://evra.ibisc.univ-evry.fr/index.php/AMRA>).

1.4.3 Productions scientifiques

Le tableau 1.3 donne un aperçu global sur la répartition du nombre de publications par type.

Type de publications	Nombre
Livre (co-édition)	1
Chapitres de livres	7
Articles dans des revues scientifiques à comité de lecture	6
Articles dans des conférences internationales avec Comité de Lecture et Actes de catégorie A(*)	30
Articles dans des conférences internationales avec Comité de Lecture et Actes de catégorie B(**)	26
Acte dans des journées et communications orales et posters	12
Rapports et livrables de contrats de recherche	17
Mémoires	2

TAB. 1.3 – Tableau récapitulatif de la répartition du nombre de publications par type. (*) IEEE, ACM, IFAC, Lecture Notes in Computer Science. (**) Autres catégories : ceux qui ne sont pas de la catégorie A

Livres (co-édition proceedings)

1. L.Beji, **S. Otmane** and A.Abichou, *2nd Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation*, AIP Conference proceedings, Vol. 1107, 370 pages, ISBN 978-0-7354-0642-1, 2009.
<http://www.lavoisier.fr/notice/fr336364.html>

Chapitres de Livres

2. **S. Otmane**, C. Domingues, F. Davesne and M. Malle, *Collaborative 3D interaction in Virtual Environments : a workflow-based approach*, Book Chapter in Virtual Reality, ISBN 978-953-307-518-1, InTech International, in press.
3. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Malle, *Integrating Web services and Software Agents for Tailorable Groupware Design*, Book Chapter in Emergent Web Intelligence : Advanced Semantic Technologies, Springer Verlag, chap. 8, pp. 185-212, 2010.
4. M. Essabbah, **S. Otmane** and M. Malle, *3D Molecular Interactive Modeling*, "Human-Computer Systems Interaction, Advances in Soft Computing", pp 493-504, Volume 60, in Springer-Verlag, 2009.
5. **S. Otmane**, N. Cheaib and M. Malle, *Internet-based collaborative teleoperation : towards tailorable groupware for teleoperation*, Book Chapter in "End-to-End QoS Engineering in Next Generation Heterogenous Networks", edited conjointly by Wiley & sons and ISTE/Hermes editors, pp. 163-196, 2008.
6. **S. Otmane**, N. Ouramdane and M. Malle, *Towards collaborative teleoperation based on human scale networked mixed reality environments*, Book Chapter in "End-to-End QoS Engineering in Next Generation Heterogenous Networks", edited conjointly by Wiley & sons and ISTE/Hermes editors, pp. 382-410, 2008.
7. **S. Otmane**, N. Khezami and M. Malle, *Téléopération collaborative via le réseau Internet*, dans Mécanismes du contrôle de la qualité de service : applications temps réel et multimédia, (Traité IC2, série traitement du signal et de l'image), Chapitre 4, pp 119-155, Lavoisier 2007.

8. **S. Otmane** and M. Mallem, *Télétravail assisté par la réalité virtuelle*, dans Mécanismes du contrôle de la qualité de service : applications temps réel et multimédia, (Traité IC2, série traitement du signal et de l'image), Chapitre 9, pp 263-288, Lavoisier 2007

Articles dans des revues scientifiques à comité de lecture

9. M. Haydar, D. Rousel, M. Maldi, **S. Otmane** and M Mallem, *Virtual and augmented Reality for Cultural Computing and Heritage : a case study of Virtual Exploration of Underwater Archaeological Sites*, Virtual Reality Journal, Special issue "Virtual Reality and Culture Technology", (DOI 10.1007/s10055-010-0176-4), Springer, published online : october 2010.
10. C. Domingues, **S. Otmane** and M. Mallem, *3DUI-EF : Towards a Framework for Easy Empirical Evaluation of 3D User Interfaces and Interaction Techniques*, in International Journal of Virtual Reality (IJVR),9(1) : 73-80,2010.
11. S. Ullah, P. Richard, **S. Otmane** and M. Mallem, *Human Performance in Cooperative Virtual Environments : the Effect of Visual Aids and Oral Communication*, in International Journal of Virtual Reality (IJVR),8(4) :79-86, 2009.
12. S. Ullah, N. Ouramdane, **S. Otmane**, P. Richard, F. Davesne and M. Mallem, *Augmenting 3D Interactions with haptic guide in a Large Scale Virtual Environment* - in International Journal of Virtual Reality (IJVR), 8(2) :25-31, 2009.
13. N. Ouramdane, **S. Otmane** and M. Mallem *Les Techniques d'interaction 3D en Réalité Virtuelle : Etats de l'art*, dans la revue TSI (Techniques et Sciences Informatique), Volume 28, Numéro 8, pages 1017-1049, DOI : 10.3166/TSI.28.1017-1049, Lavoisier, 2009.
14. J.Y. Didier, **S. Otmane** and M. Mallem *Une Architecture logicielle Reconfigurable pour la conception des Applications de Réalité Augmentée*, dans la revue TSI (Techniques et Sciences Informatique), numéro spécial : " innovation en réalités virtuelle et augmentée ". Volume 28, Numéro 6-7, pages 891-919, DOI : 10.3166/TSI.28.891-919, Lavoisier, 2009.

Articles dans des conférences internationales avec Comité de Lecture et Actes : (IEEE, ACM, IFAC, Lecture Notes in Computer Science)

15. S. Ullah, P. Richard, **S. Otmane**, M. Naud, and M mallem, *Haptic guides in cooperative virtual environments : Design and human performance evaluation*, in proceedings of IEEE Haptics Symposium 2010, (DOI : 10.1109/HAPTIC.2010.5444616), pages 457-462, Waltham, Massachusetts, USA, 2010.
16. P. Boudoin, H. Maaref, **S. Otmane** and M. Mallem *SPIDAR Calibration using Support Vector Regression*, in proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IEEE IPTA'10), pages 500-505, (DOI : 10.1109/IPTA.2010.5586748), 2010.
17. C. Domingues, **S. Otmane**, F. Davesne, M. Mallem and L. Benchikh, *A Distributed Architecture for Collaborative Teleoperation using Virtual Reality and Web Platforms*, in the 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (IEEE CCNC), Electronic proceeding (ISBN : 978-1-4244-2308-8), Las Vegas, United-States, 2009.
18. M. Essabbah, **S. Otmane**, J. Hérisson and M. Mallem, *A New Approach to Design an Interactive System for Molecular Analysis*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS 5613), Human-Computer Interaction, (HCI 2009), pages 713-722, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
19. M. Essabbah, J. Hérisson, **S. Otmane** and M. Mallem, *Spatial Organization of DNA : From The Physical Data To The 3D Model*, The 7th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA'09), pages 880-883, Rabat (Marocco), May 10-13, 2009.
20. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Mallem, *Internet-based Multimedia Data Collection for 3D Visualization of Virtual Underwater Sites*, in the 6th IEEE Consumer

- Communications and Networking Conference (IEEE CCNC), Electronic proceeding (ISBN : 978-1-4244-2308-8), Las Vegas, United-States, 2009.
21. P. Boudoin, **S. Otmane**, M. Mallem and H. Maaref, *A framework for designing Adaptive Systems in VR Applications*, in the 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (IEEE CCNC), in special session on Collaboration and Communication in Virtual Worlds (CCVW), Electronic proceeding (ISBN : 978-1-4244-2308-8), Las Vegas, United-States, 2009.
 22. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Mallem, *Combining FIPA Agents and Web Services for the Design of Tailorable Groupware Architecture*, Proc. ACM 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (ACM SIGWEB, iiWAS), pages 702-705, 2008.
 23. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Mallem, *Integrating Internet Technologies in Designing a Tailorable Groupware Architecture*, Proc. 12th International Conference on CSCW in Design (IEEE CSCWD 2008), pages 141-147, Xi'an, China, 2008,
 24. N. Cheaib, **S. Otmane**, M. Mallem, A. Dinis and N. Fies, *Oce@Nyd : A new Tailorable Groupware for Digital Media collection for Underwater Virtual Environments*, Proc. of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts (ACM SIGCHI, DIMEA), pages 256-263. Athens 2008.
 25. M. Essabbah, **S. Otmane** and M. Mallem, *3D molecular modelling : from theory to applications*, IEEE Conference on Human System Interaction (HSI'08), pages 350-355 Kraków (Poland), 2008.
 26. C. Domingues, **S. Otmane** F.Davesne and M. Mallem, *Creating 3D Interaction Technique Empirical Evaluation with the use of a Knowledge Database of Interaction Experiments*, IEEE Conference on Human System Interaction (HSI'08), pages 170-175 Kraków (Poland), 2008.
 27. P. Boudoin, C. Domingues, **S. Otmane** N. Ouramdane and M. Mallem, *Towards Multimodal Human-Robot Interaction in Large Scale Virtual Environment*, in the 3rd ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction (HRI), pages 359-356, 2008.
 28. M. Essabbah, J. Hérisson, **S. Otmane** and M. Mallem, *Towards a biophysical 3D model of the DNA*, In the 1th IEEE International Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications, (IPTA08), Electronic proceeding, ISBN : 978-1-4244-3321-6, (DOI : 10.1109/IPTA.2008.4743734), Sousse, Tunisia, November 2008.
 29. N. Cheaib, **S. Otmane** K. Djemal and M. Mallem, *Groupware Design for Online Diagnosis Support*, In the 1th IEEE International Workshops on Image Processing, Theory, Tools and Applications (IPTA08), Electronic proceeding, ISBN : 978-1-4244-3321-6, (DOI : 10.1109/IPTA.2008.4743774), Sousse, Tunisia, November 2008.
 30. **S. Otmane** N. Ouramdane and M. Mallem, *Towards a Collaborative 3D Interaction Model for Cooperative Design in Virtual Environments*, in the 11th IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (IEEE CSCWD'07), pages 198-203, Melbourne, Australia, April 26-28, 2007.
 31. N. Ouramdane, **S. Otmane** and M. Mallem, *A new model of collaborative 3D interaction in shared virtual environment*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS 4551), Human-Computer Interaction, Part II, HCII 2007, pages 663-672, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
 32. N. Ouramdane, F. Davesne, **S. Otmane** and M. Mallem, *A 3D interaction technique to enhance telemanipulation tasks using virtual environment*, in IEEE/RJS International Conference on Intelligent RObots and Systems (IROS 2006) , pages 5201-5207, Pékin (Chine), 9-15 octobre, 2006.
 33. N. Ouramdane, **S. Otmane**, F. Davesne and M. Mallem, *FOLLOW-ME : a new 3D interaction technique based on virtual guides and granularity of interaction*, in ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications (ACM VRCIA 2006) pages 137-144, Hong Kong (Chine), 14-17 Juin, 2006.
 34. V. Leligeour, **S. Otmane**, P. Richard and M. Mallem, *Distributed Software Architecture for Collaborative Teleoperation based on Networked Mixed Reality Platforms*,

- in 2nd IEEE International Conference on Information & Communication Technologies : From Theory to Applications (IEEE ICTTA 2006) ,pages 3498- 3503 Damascus, (Syria), 24-28 April, 2006.
35. N. Khezami, **S. Otmane** and M. Mallem, *An Approach to Modelling Collaborative Teleoperation*, in 12th IEEE International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2005), pages 788-795, Seattle, Washington, USA, July 18-20, 2005.
 36. N. Khezami, **S. Otmane** and M. Mallem, *A New Interface for Collaborative Teleoperation*, International Federation of Automatic Control (PRAHA IFAC World Congress 2005), PRAHA, Czech Republic, July 3-8, 2005.
 37. J.Y. Didier, D. Roussel, M. Mallem, **S. Otmane**, S. Naudet, Q.-C. Pham, S. Bourgeois, C. Mégard, C. Leroux, and A. Hocquard *AMRA : Augmented reality assistance in train maintenance tasks*, In Workshop on Industrial Augmented Reality (IEEE /ACM ISMAR'05), (DOI : 10.1109/ISMAR.2005.62), pages 17-19, Vienne, Autriche, 2005.
 38. N. Khezami, **S. Otmane** and M. Mallem, *Modelling and Evaluation of a Multi-Agent System for a Collaboration*, International Federation of Automatic Control (PRAHA IFAC World Congress 2005), PRAHA, Czech Republic, July 3-8, 2005.
 39. V. Leligeour, **S. Otmane** and M. Mallem, *Augmented Reality Interface for Free Teleoperation*, International Federation of Automatic Control (PRAHA IFAC World Congress 2005), PRAHA, Czech Republic, July 3-8, 2005.
 40. N. Khezami, **S. Otmane** and M. Mallem, *A new Formal Model of Collaboration by Multi-Agent Systems*, in IEEE International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems (IEEE KIMAS'05), pages 32-37, April 18-21, Waltham, Massachusetts, USA, 2005,
 41. N. Khezami, D. Merad, **S. Otmane** and M. Mallem, *A New 2D/3D Free Form Localization Using Skeletons : Application To Teleoperation*, in 10th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR 2004), pages 893-899, Poland, 30 August - 2 September, 2004.
 42. **S. Otmane** and M. Mallem, *Cooperative remote control using augmented reality system based on the World Wide Web*, in 1st IFAC (International Federation of Automatic Control) Conference on Telematics Applications in Automation and Robotics (TA 2001), Pages 529-534, Weingarten, Germany, July 24 - 26, 2001.
 43. **S. Otmane** M. Mallem, A. Kheddar and F. Chavand, *Active virtual guide as an apparatus for augmented reality based telemanipulation system on the Internet*, in IEEE Computer Society "ANSS 2000", pages 185-191, April 16-20, 2000.

Articles dans des conférences internationales avec Comité de Lecture et Actes : (Autres catégories)

44. P. Boudoin, H. Maaref, **S. Otmane** and M. Mallem *SPIDAR Calibration based on Neural Networks versus Optical Tracking*, in proceedings of the 6th International Workshop on Artificial Neural Networks and Intelligent Information Processing (ANNIIP'10), pages 87-98, 2010.
45. **S. Otmane** and F. Davesne, *Utilization of Human Scale SPIDAR-G in the framework of Assistance to 3D interaction in a semi-immersive AR/VR platform*, Joint Virtual Reality Conference EGVE-ICAT-EURO VR (JVRC 2009), Spidar Anniversary Symposium, pages 129-134, Lyon, France, 7-9 December 2009.
46. S. Ullah, **S. Otmane**, P.Richard and M. Mallem, *The Effect of Hatpic Guides on humane performance in Virtual Environments*, International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 09) Pages : 322-327, Lisbonne Portugal, 2009.
47. S. Ullah, P. Richard, **S. Otmane** and M. Mallem, *Cooperative Teleoperation Task in Virtual Environment : the Influence of Visual Aids and Oral Communication*, in International Conference on Informatics Control, Automation and Robotics (ICINCO 09), pages 374-377 2-5 July, Milan, Italy, 2009.

48. S. Ullah, P. Richard, **S. Otmane** and M. Mallem, *The Effect of Audio and Visual Aids on Task Performance in Distributed Collaborative Virtual Environments*, 2nd Mediterranean Conference on Intelligence Systems and Automation (CISA 09), ISBN 978-0-7354-0642-1, vol. 1107, pages 196-201, (DOI : 10.1063/1.3106473) 23-25 march, Zarzis, Tunisia 2009.
49. C. Domingues, **S. Otmane**, F. Davesne and M. Mallem, *Towards multi-platform software architecture for Collaborative Teleoperation*, 2nd Mediterranean Conference on Intelligence Systems and Automation (CISA 09), ISBN 978-0-7354-0642-1, vol. 1107, pages 347-349, (DOI :10.1063/1.3106500), Zarzis, Tunisia, 2009.
50. S. Ennagr, C. Domingues, L. Benchikh, **S. Otmane** and M. Mallem, *Towards Robot teaching based on Virtual and Augmented Reality Concepts*, 2nd Mediterranean Conference on Intelligence Systems and Automation (CISA 09), ISBN 978-0-7354-0642-1, vol. 1107, pages 337-341, (DOI :10.1063/1.3106497), Zarzis, Tunisia, 2009.
51. N.Cheuib, **S. Otmane**, M.Mallem, A. Nisan and J.M. Boi, *From Internet-based Multimedia Data Collection to 3D Visualization of Virtual Underwater Sites*, Proc. of the 14th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia, Dedicated to Digital Heritage, VSMM'08, ISBN 978-963-8046-99-4, pages 246-253, Limassol Cyprus, October 2008.
52. A. Dinis, N. Fies, N. Cheuib, **S. Otmane**, M.Mallem, A. Nisan and J.M. Boi, *DIGITAL OCEAN : A National Project for the creation and distribution of Multimedia Content for Underwater Sites*, Proc. of the 14th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia, Dedicated to Digital Heritage, VSMM'08, ISBN 978-963-8046-99-4, pages 389-396, Limassol Cyprus, October 2008.
53. P. Boudoin, **S. Otmane**, M. Mallem and H. Maaref, *An easy-to-use Framework to integrate Data Processing and Data Fusion in VR Applications*, 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT'08), pages 129-136, Yokohama, Japan, December 1-3, 2008.
54. C. Domingues, **S. Otmane**, F. Davesne and M. Mallem, *A Distributed Software Architecture for Collaborative Teleoperation based on a VR platform and Web Application Interoperability*, 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT'08), pages 265-268, Yokohama, Japan, December 1-3, 2008.
55. S. Ullah, N. Ouramdane, **S. Otmane**, P. Richard, F. Davesne and M Mallem, *The use of Haptic Guide with 3D Interactions in large Scale Virtual Environment*, 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT'08), pages 327-330, Yokohama, Japan, December 1-3, 2008.
56. M. Essabbah, **S. Otmane** and M Mallem, *3D molecular modelling systems : State of art*, 1st Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation (CISA'08), Vol. 1019, DOI : 10.1063/1.2953031, pages 493-497, Annaba - Algeria, 2008.
57. P. Boudoin, **S. Otmane** and M Mallem, *3Design of a 3D Navigation Technique Supporting VR Interaction*, 1st Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation (CISA'08), Vol. 1019, DOI : 10.1063/1.2953031, pages 149-153, Annaba - Algeria, 2008.
58. P. Boudoin, **S. Otmane** and M. Mallem, *Fly Over, a 3D Interaction Technique for Navigation in Virtual Environments Independent from Tracking Devices*, in Virtual Reality International Conference (VRIC'08), pages 7-13, Laval, France, April 2008.
59. C. Domingues, **S. Otmane**, F. Davesne and M. Mallem, *Software architecture to prototype 3D Interaction Technique Empirical Evaluation*, in Virtual Reality International Conference (VRIC'08), pages 45-55, Laval, France, April 2008.
60. C. Domingues, **S. Otmane**, F. Davesne and M. Mallem, *Empirical Evaluation Assistant Tool for 3D Interaction Techniques*, in 4th International Conference on Enactive Interfaces Grenoble, France, (ENACTIVE'07), pages 89-92, 19-24 November 2007.
61. S. Ullah, **S. Otmane** and P. Richard, *Haptic Feedback in Large-Scale VEs : Evaluation of SPIDAR-G*, in 4th International Conference on Enactive Interfaces Grenoble, France, (ENACTIVE'07), pages 289-292, 19-24 November 2007.
62. N. Ouramdane, F. Davesne, **S. Otmane** and M. Mallem, *Evaluation of the FOLLOW-ME technique for grabbing virtual objects in semi-immersive virtual environment*, in

- Virtual Reality International Conference (VRIC'06), pages 85-94, Laval, France, 26-28 April, 2006.
63. J.Y. Didier, **S. Otmane** and M. Mallem, *A Component Model for Augmented/Mixed Reality Applications with Reconfigurable Data-flow*, in Virtual Reality International Conference (VRIC'06), pages 243-252, Laval, France, 26-28 April, 2006.
 64. D.Merad, N.Khezami, **S. Otmane** and M. Mallem, *A 3D Free Form Object Localization Using Skeletons : Application to teleoperation*, 16th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2004 : short paper), pages 1061-1062, 2004.
 65. N. Khezami, **S. Otmane**, M. Mallem and N. Ouramdane, *A Formal Model for Collaborative Teleoperation*, in International Conference on Computing, Communications and Control Technologies (CCCT 2004), Pages 183-187, August 14-17, 2004.
 66. **S. Otmane** N. Khezami and M. Mallem, *Distributed Predictive Display for Collaborative Teleoperation on the Internet*, in Virtual Reality International Conference (VRIC'02), pages 111-116, Laval, France, 9-21 june 2002.
 67. **S. Otmane** and M. Mallem, *Augmented Reality System enabling cooperative Telework*, in International Symposium on Mixed Reality (ISMR01), (short paper) pages 135-136 , Pacifico Yokohama, Japan, March 14-15, 2001.
 68. **S. Otmane** M. Mallem, A. Kheddar and F. Chavand, *ARITI : an Augmented Reality Interface for Teleoperation on the Internet*, in Advanced Simulation Technologies Conference, High Performance Computing" HPC 2000, pages 254-261, 2000.
 69. **S. Otmane** E. Colle, M. Mallem and P. Hoppenot, *Disabled people assistance by a semiautonomous robotic system - use of virtual reality to enhance human operator performances*, in World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2000) ,Vol 3 - Virtual Engineering and Emergent Computing, pages 684-689, July 23-26, 2000.

Actes dans des journées et communications orales et posters :

70. M. Naud, S. Ullah, P. Richard, **S. Otmane** and M. Mallem, *Effect of Tactile Feedback and Viewpoint on Task Performance in a Collaborative Virtual Environment*, Joint Virtual Reality Conference EGVE-ICAT-EURO VR (JVRC 2009), Poster, page. 19-20, D"ecember 2009.
71. N. Ouramdane, **S. Otmane** and M. Mallem, *Interaction 3D en Réalité Virtuelle : État de l'art*, 3èmes Journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, 30-31 Octobre 2008.
72. N. Ouramdane, **S. Otmane** and M. Mallem, *Un Modèle d'Interaction Collaborative pour les Environnements Virtuels Collaboratifs*, 3èmes Rencontres Jeunes Chercheurs en Interaction Homme-Machine, 12-15 Novembre 2006.
73. V. Leligeour, **S. Otmane**, M. Mallem, Jean-Yves Didier and David Roussel, *new augmented reality interface for free teleoperation*, In Virtual Reality Industrial Applications (VIA 2004) , Compiègne (France), November 4-5, 2004.
74. V. Leligeour, **S. Otmane** and M. Mallem, *Architecture logicielle pour un système d'exploitation des environnements de réalité augmentée complexes*, 18ème Journée des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR'18), Douai, France, Septembre 2004.
75. **S. Otmane**, N. Khezami and M. Mallem, *La Réalité Augmentée via Internet : Méthodes et Architecture Pour La Téléopération Collaborative*, Compression et REprésentation des Signaux Audiovisuels (CORESA '03), Pages 263-268, Lyon (France), 16-17 Janvier 2003.
76. J.Y. Didier, D. Roussel, **S. Otmane** and M. Mallem, *Architecture informatique dédiée à l'estimation et à la prédiction du point de vue d'un opérateur dans un système de réalité augmentée multi-capteurs en vision directe*, journées RA-Temps Réel du Gdr-ISIS, 15 Septembre 2003.

77. J.Y. Didier, **S. Otmane**, D. Roussel and M. Mallem, *Architecture Logicielle Modulaire adaptée au Recalage Dynamique dans un Système de Réalité Augmentée en Vision Directe*, 17ème journée des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR'17), pages 102-106, Versailles, France, 3-4 Avril 2003.
78. N.Khezami, **S. Otmane** and M. Mallem, *Modélisation Multi-Agent d'un système de téléopération collaborative via Internet*, 17ème journée des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR'17), pages 107-112, Versailles, France, 3-4 Avril 2003.
79. **S. Otmane**, M. Mallem, S. Mavel and F. Chavand, *Les guides virtuels actifs pour l'assistance à la téléopération via Internet*, 12ème journée des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR'12), pages 118-124, Bourges, France, 3-4 Février 2000.
80. **S. Otmane**, M. Mallem and F. Chavand, *Un système de réalité augmentée pour des applications télérobotique via Internet*, 11ème journée des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR'11), pages 57-62, EPFL Lausanne, 8 et 9 Avril 1999.
81. **S. Otmane**, S. Femmam and F. Chavand, *Superposition d'une image virtuelle sur une image vidéo appliquée à la téléopération en robotique*, Proceedings of the IEEE International Annual Conference, University of Batna, Algeria, décembre 1997.

Rapports et livrables de contrats de recherche :

82. M. Haydar, D. Roussel, **S. Otmane**, P. Chapman, K. Bale and P. Drap, *Archaeological demonstrators - final state : WP Mixed Reality Modelling/Task : Immersive and non immersive demonstrator integration and evaluation*, Délivrable N° 4.7, Projet VENUS, juillet 2009.
83. M. Haydar, D. Roussel, **S. Otmane**, P. Chapman, K. Bale and P. Drap, *Archaeological demonstrators current state : WP Mixed Reality Modelling/Task : Immersive and non immersive demonstrator integration*, Délivrable N° 4.5, Projet VENUS, Janvier 2009.
84. P. Trouve, G. Bouyer and **S. Otmane**, *Moteur de décision pour l'interaction en environnement virtuel Application au projet Digital Ocean*, Délivrable N° 11, Projet DIGITAL OCEAN, Septembre 2009.
85. B. Chou, N. Cheaib, and **S. Otmane**, *Oceanyd Groupware : Un environnement collaboratif pour la gestion interactive d'une base de donnée de fonds marins : application au projet Digital Ocean*, Délivrable N° 10, Projet DIGITAL OCEAN, Septembre 2009..
86. N. Guehria, N. Cheaib, and **S. Otmane**, *Un formalisme à base des Services Web et de la Qualité de Services pour optimiser la malléabilité des collecticiels*, Délivrable N° 9, Projet DIGITAL OCEAN, Septembre 2009.
87. A. Elmaggani, N. Cheaib and **S. Otmane**, *Etude et Conception d'un collecticiel malléable : Contribution au projet DIGITAL OCEAN*, rapport et démonstrateur du collecticiel, Délivrable N° 8, juillet 2008.
88. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Mallem, *Oce@nyd : un collecticiel pour la collecte de données multimédia*, démonstrateur, Rapport et 2ème démonstrateur, Délivrable N° 7, Projet DIGITAL OCEAN, juin 2008.
89. P. Boudoin and **S. Otmane**, *Navigation dans les environnements virtuel sous marins en utilisant un dispositif à retour d'effort à 6 degrés de libertés : SPIDAR-GH*, rapport et démonstrateur, Délivrable N° 6, Projet DIGITAL OCEAN, mai 2008.
90. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Mallem, *Intégration des concepts de Services Web et d'Agents pour la conception de collecticiels malléables*, Rapport, Délivrable N° 5, Projet DIGITAL OCEAN, novembre 2007.
91. M. Alaya, N. Cheaib and **S. Otmane**, *Étude et développement d'une interface logicielle pour la collaboration via le WEB*, Rapport et 1er démonstrateur du collecticiel, Délivrable N° 4, juillet 2007.

92. P. Boudoin and **S. Otmane**, *Exploration immersive dans les environnements virtuels sous marins : Etude sur la tâche de navigation via un Flystick et une souris*, rapport et démonstrateur, Délivrable N° 3, Projet DIGITAL OCEAN, juin 2007.
93. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Mallem, *Approches pour la réalisation des Collecticiels Malléables : Etat de l'art*, Rapport, Délivrable N° 2, Projet DIGITAL OCEAN, juin 2007.
94. F. Davesne, **S. Otmane** and M. Mallem, *Une plateforme matérielle pour le Télétravail Collaboratif assisté par la Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée*, Rapport d'avancement du projet A.S.T.R.E. 2005-2007, mai 2007.
95. N. Cheaib, **S. Otmane** and M. Mallem, *Etat de l'art sur les architectures logicielles des collecticiels*, Rapport, Délivrable N° 1, Projet DIGITAL OCEAN, mars 2007.
96. M. Mallem, **S. Otmane** and D. Roussel, *Plate forme matérielle pour la simulation en réalité virtuelle et la téléopération en réalité augmentée*, Rapport d'avancement du projet A.S.T.R.E. 2002-2004, mai 2004.
97. J.Y. Didier, M. Mallem, D. Roussel and **S. Otmane**, *Étude préliminaire sur les lunettes de visualisation*, Délivrable N° 1, projet AMRA, mai 2003.
98. J.Y. Didier, M. Mallem, D. Roussel and **S. Otmane**, *Simulation d'une application en réalité augmentée en utilisant des capteurs de localisation*, Délivrable N° 2, projet AMRA, mai 2003.

Mémoires

99. **S. Otmane**, *Télétravail Robotisé en Réalité Augmentée : application à la téléopération via Internet*, Thèse de doctorat en Robotique de l'Université d'Evry Val d'Essonne, 2000.
100. **S. Otmane**, *Superposition d'un modèle virtuel sur une image réelle pour la téléopération de robots*, mémoire de DEA en Robotique, Université P. et M. Curie, Paris VI, 1996.

1.5 Animation scientifique et rayonnement

1.5.1 Animation d'un groupe de recherche

Mon recrutement au sein de l'équipe Réalité Augmentée (RA de l'ex. LSC) dirigée par le professeur Malik Mallem a permis d'étendre mes activités de recherche réalisées pendant ma thèse de doctorat autour d'un nouveau thème qui est le *Télétravail Collaboratif*. Une nouvelle équipe RATC (Réalité Augmentée et Télétravail Collaboratif) est née en 2002. Depuis cette période, avec l'accord et la collaboration du professeur Malik Mallem j'ai eu la charge d'animer ce thème et de le faire évoluer. Les premiers travaux d'animation scientifique sur ce thème ont donc débuté en 2002 avec l'encadrement à 80% de la thèse de Narjes Khezami (1.4.1.2, tableau 1.1). Depuis 2004 et avec l'acquisition de la plateforme EVR@⁹, ce thème a évolué en intégrant les recherches sur *l'interaction 3D* et la *multimodalité (audio, vidéo et haptique)* pour l'assistance au travail et au télétravail collaboratif.

Actuellement l'équipe RATC est structurée en deux thèmes. Le premier thème, appelé *Réalité Augmentée* est sous la responsabilité du professeur Malik Mallem, et le second est appelé *Réalité Virtuelle et Travail Collaboratif* ; j'en assure actuellement une grande part de l'animation scientifique, de la gestion et de l'évolution en collaboration avec le professeur Malik Mallem (responsable de l'équipe RATC). Le tableau 1.4 résume les personnes impliquées dans le groupe de recherche que j'anime.

Nom	Prénom	statut actuel (quotité (%))	Thème(s)	Arrivé	Organisme
BOUYER	Guillaume	MCF (100)	RV	2008	ENSIIE ¹
DAVESNE	Frédéric	IGR sur EVR@ (70)	RV	2006	UEVE ²
ESSABBAH	Mouna	Docteur, ATER. ENSIIE(50)	RV, BIO ³	2006	UEVE
DOMINGUES	Christophe	Docteur, alloc. MESR(100)	RV, TC	2007	UEVE
BOUDOIN	Pierre	Docteur, alloc. MESR(100)	RV, TD ⁴	2007	UEVE
ULLAH	Sehat	Doctorant, alloc. Pakistan(100)	RV, TC	2007	UEVE

TAB. 1.4 – Récapitulatif des personnes impliquées dans le thème Réalité Virtuelle et Travail Collaboratif.

- (1) École Nationale Supérieure d'Informatique pour l'Industrie et l'Entreprise.
- (2) Université d'Evry Val d'Essonne.
- (3) Bio-Informatique (en collaboration avec le Genopole). Cette thèse est en co-encadrement avec Joan Hérisson du programme Epigénomique du Genopole sur la problématique de l'assistance à l'interaction 3D pour l'aide à l'analyse en biologie moléculaire.
- (4) Traitement de Données (un thème de recherche de l'équipe TADIB d'IBISC). Cette thèse est en co-direction avec Hichem Maaref de l'équipe TADIB sur la problématique de fusion de données multicapteurs pour permettre une interaction 3D en continue dans des Environnements Virtuels à taille humaine.

1.5.2 Rayonnement national

1.5.2.1 Membre des GDR, associations et comités d'évaluations scientifiques

- GDR Robotique GT5 : Interactions personnes / systèmes robotique depuis 2007
- GDR I3 : Information - Interaction- Intelligence de 2005 à 2007

⁹plateforme de travail et de télétravail collaboratif en Environnement Virtuel et de Réalité Augmentée

- AFRV : Association Française de Réalité Virtuelle depuis 2007
- AFIHM : Association Française de l'Interface Homme Machine de 2005 à 2007
- AJCR : Association des Jeunes Chercheurs en Robotique de 1997 à 2004
- Revue TSI : Revue Technique et Science Informatiques (relecture d'articles depuis 2006)
- ANR : Expert extérieur sur l'appel à projets « Contenus et Interactions 2010 » de l'ANR

1.5.2.2 Collaborations nationales

- Collaboration avec l'équipe Réalité Virtuelle et Robotique (RV&R) du laboratoire LISA¹⁰ (Université d'Angers), dans le cadre de l'action incitative VarSCW 2006-2009. Les recherches menées avec le doctorant Sehat ULLAH sont en co-encadrement avec Paul Richard de ce laboratoire depuis 2007.
- Collaboration avec l'équipe Images & Modèles (I&M) du laboratoire LSIS¹¹ (Université de la Méditerranée). Cette collaboration a débuté au début du projet ANR Digital Ocean en 2006.
- Collaboration avec le programme Epigénomique (Genopole) sur l'apport de la réalité virtuelle pour l'aide à l'analyse en biologie moléculaire. Une thèse est en co-encadrement avec Joan Hérisson membre de cette équipe.

1.5.2.3 Invitations aux séminaires et conférences

Réalité virtuelle et augmentée pour l'assistance au Télétravail

- Lieu : CERV (Centre Européen de Réalité Virtuelle) à Brest
- Thème : La réalité virtuelle et augmentée pour le E-manufacturing
- Date : 20 Avril 2006
- Lien : http://www.lisyc.univ-brest.fr/evenements/seminaires_recherche.htm

Assistance à l'interaction homme robot distant en réalité virtuelle et augmentée

- Lieu : Jussieu Paris 6, laboratoire ISIR
- Thème : GT-5 Interactions personnes / systèmes robotiques : Réalité virtuelle
- Date : 12 mars 2009
- Lien : http://www.gdr-robotique.fr/documents.php?type=GT5&date=12_03_09

Téléopération de robots assistée par la réalité virtuelle

- Lieu : Université d'Evry
- Thème : Genopole fête la Science 2009 - Nouvelles technologies pour faciliter le travail à distance sur un robot
- Date : 22 novembre 2009
- Lien : <http://www.genopole.fr/Genopole-fete-de-la-Science-2009.html>

Assistance à l'interaction homme systèmes complexes en réalité virtuelle et augmentée

¹⁰Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Automatisés

¹¹Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes, UMR CNRS 6168

- Lieu : Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Brest (ISSTB)
- Thème : Communication Homme Machine
- Date : 4 décembre 2009
- Lien : <http://www.isstb.fr/ssc-fr.html>

1.5.2.4 Organisation de manifestations et communication dans la presse écrite

- **Organisation (General Chair)** de la 14ème édition des Journées des Jeunes chercheurs en Robotique (JJCR14) du 31 mai au 1 juin 2001 (<http://www.ajcr.free.fr/ajcr/histoire.shtml>).
- **Co-organisation** de la journée d'inauguration de la plateforme de réalité virtuelle et augmentée EVR@ du laboratoire LSC en mai 2004.
- **Communication dans la presse écrite** des travaux de recherche effectués autour de la plateforme EVR@ dans des articles de presse :
 - Article paru dans Lumière n°32 OpticsValley, page 18, janvier/février 2007 (http://lsc.univ-evry.fr/~otmane/evra/Opticsvalley_lumiere_32-02_2007.pdf).
 - Newsletter du CRITT n°20, février 2006 (http://lsc.univ-evry.fr/~otmane/evra/Evra_CRITT_newsletter20-02-2006.pdf).
 - Article paru dans Banque des Savoirs, 29 mai 2006 (http://lsc.univ-evry.fr/~otmane/evra/Evra_banque_des_savoirs-29-05-2006.pdf).
 - Article du magazine Sonovision, juin 2006 (http://lsc.univ-evry.fr/~otmane/evra/Evra_sonovision-06-2006.pdf).
 - Article du Républicain, 3 mai 2004 (http://lsc.univ-evry.fr/~otmane/evra/Evra_republicain13_05-2004.pdf).
 - Article du magazine Usine Nouvelle, N°2918, page 44, 19 mai 2004 (http://lsc.univ-evry.fr/~otmane/evra/Evra_usinenouvelle-05-2004.pdf).
 - Article de la presse régionale d'Angers, Janvier 2005 (http://lsc.univ-evry.fr/~otmane/evra/Evra_previsse_01-2005.pdf).

1.5.3 Rayonnement international

La visibilité des mes activités de recherche au niveau international a commencé depuis les premiers résultats de mes travaux de thèse sur la téléopération en réalité augmentée via Internet (Projet ARITI¹²) publiés¹³ et présentés en 2000 lors d'une conférence internationale à Washington (USA). En effet, le projet ARITI avec la première version (via le WEB) du démonstrateur est reconnu comme étant le premier système de téléopération de robot en réalité augmentée via Internet qui depuis 1999 est référencé sur le site de la NASA (http://ranier.hq.nasa.gov/telerobotics_Page/realrobots.html)

¹²Augmented Reality Interface for Teleoperation via the Internet, <http://ariti.ibisc.univ-evry.fr>

¹³<http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/SIMSYM.2000.844915>

1.5.3.1 Co-organisation de conférences internationales

- **IEEE IPTA'10** : Organisation chair and special session chair de la conférence internationale IPTA'10, 7-10 juillet 2010 à Paris. <http://ipta10.ibisc.univ-evry.fr/> et organisation d'une session spéciale **Virtual and Augmented Reality in Molecular Biology**.
- **CISA'09** : Program chair de la conférence internationale CISA'09, Tunisie, 23-25 mars 09 <http://lsc.univ-evry.fr/cisa09/>

1.5.3.2 Membre dans des comités de programme et d'évaluation internationaux

- **GRAPP 2010, GRAPP 2009** : International Conference on Computer Graphics Theory and applications (<http://www.grapp.org/>).
- **TC Telerobotics depuis 2007** : Technical Committee on Telerobotics (<http://tctelerobotics.lsr.ei.tum.de/index.php/Membership>).
- **ACM DIMEA 2008** : 3rd International Conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts (<http://www.dimea2008.org/>).
- **CISA 2008** : 1st Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation (<http://lsc.univ-evry.fr/cisa08/>).
- **IEEE IPTA 2008** : First Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications (<http://ipta08.ibisc.univ-evry.fr>).
- **ACM/SIGCHI ACE 2005-2009** : International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (<http://www.ace2009.org/index.php/committees>).
- **Revue JVLC** : Journal of Visual Languages and Computing, reviewer de deux articles en 2006.

1.5.3.3 Collaborations internationales et séjours à l'étranger

- **Collaboration avec le TIT** : Tokyo Institute of Technology (Japon) depuis 2007 avec le professeur Makoto SATO dans le cadre d'un projet de recherche sur l'interaction multimodale dans des environnements virtuels distribués (*Collaborative and multimodal interaction in networked virtual environments*).
- **Court séjours au TIT** : j'ai été invité pour une période de 15 jours (du 29 novembre au 14 décembre 2008). J'ai effectué deux séminaires et nous avons travaillé sur notre projet de collaboration.
- **Collaboration avec le NII** : National Institute of Informatics (Japon) via le chercheur Asanobu KITAMOTO depuis décembre 2008 suite à mon séjour au Japon.
- **Collaboration avec le UMMTO** : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO-Algérie). Il s'agit d'une collaboration pour la formation et la recherche un accord de coopération entre l'UEVE et l'UMMTO a été signé en 2005 et permet ainsi la sélection et le recrutement d'étudiants en Master 2 Recherche RVSI (Réalité Virtuelle et Systèmes Intelligents) de l'UEVE.

1.6 Activités d'enseignement

Mes activités d'enseignements ont débuté en 1996 par des enseignements en informatique comme vacataire puis en tant qu'ATER de 1998 à 2000. Ce début d'activité pédagogique est récapitulé dans le tableau suivant :

Années	Cours	TD	TP	Total (eq. TD)
1996/1997	15	27	4	52
1997/1998	15	60	3	85
1998/1999	20	58	12	96
1999/2000	20	58	12	96

TAB. 1.5 – Répartition des enseignements en tant que vacataire et $\frac{1}{2}$ ATER à l'Institut d'Informatique d'Entreprise (IIE, CNAM), Evry. Les matières enseignées sont l'algorithme, programmation C et Unix.

Depuis ma nomination en tant que Maître de Conférences en septembre 2001, j'ai rejoint l'UFR Sciences et Technologies (UFR ST) de l'Université d'Evry. Mes enseignements ont été réalisés dans le département de Génie Informatique (GI) de l'UFR ST. Ils sont dispensés aux étudiants de niveaux Licence (L3) et Master (M1 et M2) professionnel (GEII¹⁴ et GSI¹⁵) et recherche (RVSI¹⁶).

Certains de ces enseignements ont fait objet de la réalisation de nouveaux polycopiés de Cours/TD/TP et d'autres ont vu leurs contenus évoluer en collaboration avec les collègues du département GI. Ci-dessous un résumé de quelques enseignements dispensés dans le département GI de l'UFR ST.

Dans ce qui suit, je présente brièvement les objectifs des matières enseignées et le niveau concerné. Chaque enseignement est adapté selon le niveau, la vocation et la charge horaire de chaque formation. Ces cours sont dispensés dans la majorité des cas aux filières GEII et GSI de l'UFR ST à l'exception du cours *Interaction 3D en Réalité Virtuelle et Augmentée* dispensé au niveau du Master recherche RVSI. Le contenu de chaque matière prend en compte le fait que certaines connaissances doivent être acquises afin de suivre dans de bonnes conditions les autres matières plus approfondies. Certains enseignements en L3 tels que les UEL (Unité d'Enseignements libres) Transversales permettent aux étudiants de découvrir certaines spécialités ou options liées aux Masters professionnels ou recherche afin de leur permettre de bien cibler leurs spécialisations l'année suivante.

1.6.1 Au niveau Licence (UFR ST)

Programmation Objet :

Sur 38h de cours, td et tp, ce module s'inscrit dans la suite du module «Informatique et programmation» suivi au début du premier semestre du L3. Ce module permet aux étudiants (qui maîtrisent déjà la programmation en C) d'acquérir les bases de la modélisation et de la programmation orientées objet. Les aspects de base de la

¹⁴Génie Électrique et Informatique Industriel

¹⁵Génie des Systèmes Industriels

¹⁶Réalité Virtuelle et Systèmes Intelligents

conception et programmation sont d'abord introduits : mécanisme et choix d'abstraction, modularité, encapsulation, classification, hiérarchie, héritage, typage, concurrence et persistance. Modèles de COO, introduction à la programmation C++, particularités syntaxiques, classes, instances, etc.

Réseaux :

Sur 20h de cours, td et tp, ce module permet aux étudiants de licence d'acquérir les bases et les connaissances dans le domaine des réseaux informatiques. Les aspects de base sont d'abord introduits : Modèle à sept couches (normalisation ISO), topologie des réseaux (en bus, en maille, en anneau, en étoile), les techniques de contrôle d'accès. Par la suite le détail de chaque couche réseau est présenté et illustré par des exemples. Ce module permet de préparer les étudiants pour l'option réseau du niveau Master.

Système d'exploitation :

Sur 24h de cours, td et tp, ce module s'inscrit dans la suite du module «Architecture des systèmes informatiques» suivi en L2. Il permet aux étudiants de comprendre le rôle essentiel joué par le système d'exploitation à partir de l'exemple du système UNIX et de se familiariser avec les principales commandes d'Unix. Ce module permet également de préparer les étudiants au module d'Unix (programmation système) enseigné au niveau Master.

Informatique programmation :

Proposé également sous forme d'une UEL (Unité d'Enseignement Libre) Transversale, cet enseignement est proposé aux étudiants entrant directement en L3 d'IUP et ayant besoin de se mettre à niveau en programmation en langage C. Il est également dispensé pour les enseignements de mise à niveau en programmation pour les filières L3 GEII et GSI de l'UFR ST dès le début du premier semestre. Sur 18h de Cours/TPs un effort particulier est demandé aux étudiants afin d'intégrer au mieux les connaissances dans la programmation et de pouvoir suivre dans de bonnes conditions les enseignements de *Programmation Orientée Objet* ainsi que ceux du *Temps Réel* de la licence. Cet enseignement a fait l'objet d'une création d'un polycopié de cours.

Téléopération de robots :

Sous forme d'une UEL (Unité d'Enseignement Libre) Transversale, cet enseignement est proposé aux étudiants souhaitant découvrir le monde de la téléopération de robots en général et en particulier celui de la téléopération de robots via le WEB. Sur 18h de cours/TP, les étudiants découvrent les principes de la téléopération, les domaines d'application, Les Technologies d'Information et de la Communication (TIC) au service de la téléopération de robots. En lien avec mes activités de recherche, je fais également découvrir aux étudiants dans une salle de TP le projet ARITI¹⁷ (le premier système en France de téléopération de robots via le WEB référencé par la NASA¹⁸ depuis 1999) résultant de mes travaux de thèse. Les étudiants peuvent ainsi contrôler un robot se trouvant au laboratoire IBISC depuis une salle de TP en utilisant un navigateur Web. Ceci permet aux étudiants de mieux apprécier l'apport de l'informatique dans le domaine de la téléopération. Cet enseignement a fait l'objet d'une création d'un polycopié de cours.

¹⁷ARITI : Augmented Reality Interface for Teleoperation via Internet, <http://ariti.ibisc.univ-evry.fr/>

¹⁸http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/realrobots.html

Réalités Virtuelle et Augmentée :

Sous forme d'une UEL (Unité d'Enseignement Libre) Transversale et en relation avec mes activités de recherche, cet enseignement est proposé aux étudiants souhaitant découvrir le monde de la réalité virtuelle et augmentée. Il est destiné aux étudiants de niveau Licence et également ouvert aux étudiants de Master première année. D'une manière générale, cette UEL s'adresse aux étudiants qui souhaitent découvrir l'univers des réalités virtuelle et augmentée (simulation, interaction 3D multisensorielle, immersion). Sur 18h de cours et Tp, cette UEL permet de découvrir les technologies des réalités virtuelle et augmentée ainsi que les différents domaines d'application qui utilisent ces technologies. Des séances de démonstration dans la salle de réalité virtuelle EVR@¹⁹ du laboratoire IBISC permettent aux étudiant(e)s d'apprécier l'apport de ces nouvelles technologies innovantes et passionnantes. Cet enseignement a fait l'objet d'une création d'un polycopié de cours.

1.6.2 Au niveau Masters professionnel et recherche (UFR ST)**Programmation système :**

Ce module s'inscrit dans la suite du module *Unix-Shell* suivi en L3. Il permet aux étudiants de comprendre le rôle essentiel joué par le système d'exploitation à partir de l'exemple du système UNIX et de se familiariser avec les principales fonctions systèmes du noyau d'Unix permettant la communication et la synchronisation inter processus.

Programmation Orienté Objet et Interface Homme Machine :

Ce module s'inscrit dans la suite du module *Langage C++* suivi en L3. Il permet aux étudiants de comprendre et de pratiquer un véritable langage objet. Le langage Java est pris comme exemple.

Télétravail Collaboratif :

Sous forme de 19h de cours/tp, ce module est proposé aux étudiants de niveau Master première année (M1). Il permet aux étudiants de découvrir le domaine du TCAO (Travail Coopératif Assisté par Ordinateur) : Architecture des systèmes de TCAO, les applications des collecticiels, différentes typologies, classification fonctionnelle (modèle 3C : Communication, Coordination et Coopération/Production), IHM pour les collecticiels et leur architectures logicielles. Deux études de cas sont présentées à la fin du cours, la première traite de la téléopération collaborative via Internet et la seconde de la téléopération collaborative en réalités virtuelle et augmentée. Ces deux études de cas en lien avec mes activités de recherche (projet ARITI) permettent aux étudiants de découvrir le cycle complet de réalisation d'un collecticiel (de la spécification jusqu'à l'implémentation). Afin de permettre aux étudiants d'appliquer les concepts vus en cours, 3 séances de tps sur l'application du modèle 3C pour la conception et la réalisation d'un tableau blanc partagé en langage Java (vu dans le module Programmation Orientée Objet-Interface-Homme-Machine) sont réalisées. Cet enseignement a fait l'objet d'une création d'un polycopié de cours.

Interfaces pour la réalité virtuelle - Partie 2 - Techniques d'interaction 3D en réalité virtuelle et augmentée :

Cet enseignement est proposé aux étudiants de Master 2ème année (M2) Recherche RVSI. La première partie du cours consiste à présenter aux étudiants les connaissances de

¹⁹<http://evra.ibisc.univ-evry.fr> : Plateforme de travail et de télétravail collaboratif en Environnement Virtuel et de Réalité Augmentée

base permettant de bien appréhender le fonctionnement des retours d'informations multi sensorielles dans les interfaces homme-machine. La deuxième partie consiste à présenter les fondements de l'interaction 3D (I3D) en réalités virtuelle et augmentée en partant des 4 tâches de l'I3D (Navigation, sélection, manipulation et contrôle d'application). Une vingtaine de techniques d'interaction 3D dans les environnements de réalités virtuelle et de réalité augmentée sont présentées. En relation avec mes activités de recherche, je fais également découvrir aux étudiants les résultats de recherche obtenus et publiés dans différents projets de recherche passés et en cours. Cet enseignement a fait l'objet d'une création d'un polycopié de cours.

Le tableau 1.6 montrent le nombre d'heures assurées depuis mon recrutement en tant que Maître de Conférences depuis 2001.

Année	Cours	TDs	TPs	Total (eq. TDs)
2001/2002	20	80	150	209
2002/2003	32	70	140	210
2003/2004	39	64	130	208
2004/2005	43	64	123	210
2005/2006	52	63	139	233
2006/2007	32	77	123	206
2007/2008	47	85	95	218
2008/2009*	-	-	-	-
2009/2010	56	35	78	197

TAB. 1.6 – Répartition des enseignements par type et par année universitaire. (*)Une année de délégation CNRS.

1.7 Activités d'intérêt collectif

- Depuis décembre 2007, membre élu au conseil scientifique de l'UEVE.
- Depuis 2007 membre élu au conseil du laboratoire IBISC.
- De 2006 à 2007, membre suppléant au conseil du laboratoire IBISC.
- De 2005 à 2007, membre élu au conseil d'administration de l'UEVE.
- De 2003 à 2007, Membre élu à la CSE 61/63 de l'UEVE.
- Depuis 2003, membre élu au conseil d'UFR Sciences et Technologies
- Depuis 2004, co-responsable scientifique des recherches autour de la plateforme de réalité virtuelle EVR@.
- Depuis 2006, co-responsable scientifique du thème 2 (Réalité Virtuelle et Travail Collaboratif) de l'équipe RATC.
- En 2008, initiateur de l'adhésion de l'UEVE au Pôle de compétitivité régional Cap Digital et correspondant UEVE de ce Pôle.
- De 2001 à 2003, j'ai eu la responsabilité pédagogique des projets de Licence (L3) à l'UFR Sciences et Technologies de l'UEVE. Cette responsabilité a consisté à gérer environ 80 projets, une trentaine d'enseignants chercheurs une centaine d'étudiants en L3 (GEII, GSI et GM).

Deuxième partie

**SYNTHÈSE DES TRAVAUX DE
RECHERCHE**

Glossaire

- ART : Advanced Real-time Tracking
- RV, RA, RM : Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée, Réalité Mixte
- I3D, I3DA : Interaction 3D, Interaction 3D Assistée
- EVC, EAC : Environnement Virtuel Collaboratif, Environnement Augmenté Collaboratif
- EVR@ : Environnement Virtuel et de Réalité Augmentée (Plateforme de RV/RA d'IBISC)
- ARITI : Augmented Reality Interface for Teleoperation via Internet, projet académique initié par Samir Otmane
- SPIDAR : SPace Interface Device for Artificial Reality
- SOAP : Simple Object Access Protocol
- WSDL : Web Service Description Language
- UDDI : Universal Description Discovery and Integration
- JADE : Java Agent Development Framework
- DF : Directory Facilitator dans JADE
- WSIG : Web Service Integration Gateway qui est un plugin de la plateforme JADE
- TCAO : Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur
- TC : Travail Collaboratif
- SOA : Service Oriented Architecture
- U3D : Universal Directory for Description and Discovery
- UDDI4C : Universal Description Discovery and Integration for Collaboration
- NF : Noyau Fonctionnel
- SMA : Système Multi-Agent
- SMA-C : Système Multi-Agent pour la Collaboration

Chapitre 2

Cadre de nos travaux de recherche

Dans ce chapitre nous présentons les domaines de recherche abordés ainsi que notre positionnement dans chaque domaine.

Nous avons classé et regroupé les différents domaines de recherche en trois grandes familles à savoir :

- la réalité virtuelle, augmentée et mixte (RV/RA/RM),
- le travail collaboratif et la téléopération basée sur internet (TC/TbI) et
- les environnements virtuels collaboratifs (EVCs).

Pour chaque famille nous présentons quelques définitions nécessaires à la compréhension de ce mémoire. Nous terminons ce chapitre par une synthèse des résultats de recherche obtenus et qui sont ensuite développés dans les chapitres suivants.

2.1 Domaines de recherche et positionnement

2.1.1 Réalité virtuelle/augmentée/mixte (RV/RA/RM)

Réalité Virtuelle (RV) :

La RV est un domaine de recherche qui se situe à la croisée de plusieurs disciplines telles que l'informatique graphique, la conception assistée par ordinateur, la simulation, la téléopération, l'audiovisuel, le travail collaboratif, etc. Ce domaine de recherche développe et utilise de nombreux périphériques matériels et des techniques logicielles pour chaque domaine applicatif. Aujourd'hui, la RV n'a pas de définition unique. Elle peut être désignée par plusieurs termes que nous trouvons dans la littérature scientifique (et populaire) tels que « Environnement Virtuel », « Espace Virtuel », « Monde Artificiel », « Réalité Synthétique » et bien d'autres encore. Les définitions de chacun de ces termes comportent, d'un domaine à l'autre, des nuances, parfois importantes. Les chercheurs d'un domaine ne donnent pas forcément la même définition que ceux d'un autre domaine pour le même terme. Par exemple, la conception d'un mathématicien ou d'un philosophe de la RV, ne

correspondra pas à celle d'un informaticien. Tout dépend de l'usage du mot en question qui peut changer en fonction du contexte d'application.

Certains auteurs considèrent cette technologie comme une extension des Interfaces Homme-Machine classiques. Les interfaces résultantes dites « avancées » simulent des environnements réalistes et permettent à des participants d'interagir avec ceux-ci :

☛ **Definition 1 : (Ellis, 1994b) :**

VR is an advanced human-computer interface that simulates a realistic environment and allows participants to interact with it.

D'autres encore la définissent comme des mondes simulés par des ordinateurs au sein desquels l'homme est l'acteur principal et peut appréhender le réel à travers ses sens, ses actions et son esprit. Ainsi Jacques Tisseau (Tisseau, 2001) définit la RV comme suit :

☛ **Definition 2 : (Tisseau, 2001) :**

Une réalité virtuelle est un univers de modèles au sein duquel tout se passe comme si les modèles étaient réels parce qu'ils proposent simultanément la triple médiation des sens, de l'action et de l'esprit.

Quelle que soit la définition de cette réalité dite virtuelle, sa finalité reste la même. C'est pour cette raison que Fuchs et associés (Fuchs et al., 2003) la définissent à travers sa finalité :

☛ **Definition 3 : (Fuchs et al., 2003) :**

La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou plusieurs) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel.

Réalité augmentée/mixte (RA/RM) :

La RA a vu le jour avec les travaux de Sutherland (Sutherland, 1965)(Sutherland, 1968), qui a réalisé le premier système de RA, basé sur un casque de RV transparent « *See Through System* ». En effet, Sutherland introduira le concept de contact entre l'homme et la machine, en plaçant un utilisateur à l'intérieur d'un environnement en trois dimensions généré par ordinateur. Ce système permet à l'utilisateur de visualiser et de naviguer autour d'éléments virtuels positionnés dans notre espace réel. Durant les années 80, le concept de RA a été surtout utilisé dans un cadre militaire, pour l'affichage d'information sur les visières des casques des pilotes d'avions « *Head-Up Display* ». Il existe de nombreuses définitions de la RA et de la RM suivant les communautés scientifiques (IHM ou RV/RA). Une analyse détaillée de ces définitions selon les deux communautés est présentée dans (Chalon, 2004) pour la communauté IHM et (Didier, 2005) pour la communauté RV/RA.

Ronald Azuma (Azuma, 1997) a défini les trois règles de base nécessaires pour le fonctionnement d'un système de RA :

- ☛ **Réalité augmentée : Les trois règles de base (Azuma, 1997) et (Azuma et al., 2001) :**

Combiner le réel et le virtuel.

Respecter les contraintes d'interactivité et de temps.

Respecter l'homogénéité et la cohérence entre deux mondes réel et virtuel.

d'après le même auteur (Azuma et al., 2001), bien que cette augmentation soit essentiellement basée sur la vision, elle peut s'appliquer également à tous les sens, en incluant la vue, l'ouïe, le toucher voir même l'odorat.

Paul Milgram (Milgram and Kishino, 1994) a proposé une unification des concepts en considérant un continuum linéaire qui va du réel au virtuel (voir la figure 2.1). Il définit le terme **Réalité Mixte (RM)** comme l'intervalle entre le réel et le virtuel.

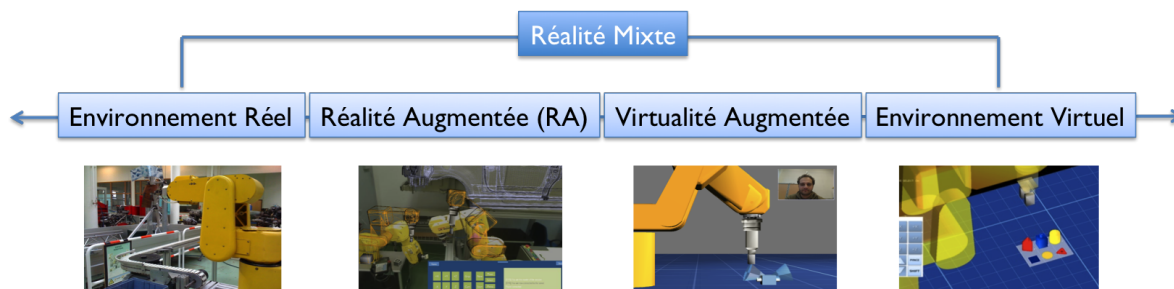


FIG. 2.1 – Le continuum " Réel-Virtuel " (adapté de (Milgram and Kishino, 1994)).

Pour ce qui nous concerne nous définissons la réalité mixte par sa finalité de la façon suivante :

- ☛ **Finalité de la réalité mixte :**

La finalité de la réalité mixte (RM) est de permettre à une personne (ou plusieurs) des interactions multisensorielles (audio, vidéo et haptique) avec un environnement qui fait coexister les deux mondes virtuel et réel. L'environnement peut être un espace intérieur ou bien extérieur. L'utilisateur peut être présent dans l'environnement réel (RM en vision directe) ou peut le percevoir à distance (RM en vision indirecte).

Les applications potentielles de la RM sont nombreuses et touchent différents domaines d'applications : médical, divertissement, militaire, conception, fabrication, entretien/réparation et robotique/télérobotique, etc..

2.1.1.1 Positionnement : Assistance à l'interaction 3D

L'interaction 3D est la composante motrice de la réalité virtuelle. Elle permet à l'utilisateur d'interagir avec les composantes de l'environnement virtuel. Aujourd'hui, il existe différentes techniques d'interaction 3D et chacune d'elles est dédiée à une des quatre tâches qui sont la **navigation**, la **sélection**, la **manipulation** et le **contrôle d'application**, mais sans être forcément rattachée à une application particulière. L'interaction 3D peut être définie par le couple (action, réaction) de l'utilisateur sur l'environnement virtuel et

réciroquement. Elle permet à l'utilisateur d'être un acteur capable d'interagir avec les entités de l'environnement virtuel et d'en percevoir la réponse sensorielle.

Nos recherches se sont focalisées sur la façon dont on peut aider l'homme à interagir (naviguer, sélectionner, manipuler et contrôler l'application) d'une manière **efficace** et **crédible** avec des environnements utilisant des systèmes complexes artificiels (comme les environnements de télérobotique) ou des environnements simulant des systèmes complexes issus du vivant (comme les environnements de simulation en biologie moléculaire). Nous considérons l'efficacité de l'interaction 3D, comme une mesure de performances (précision, sécurité, temps de réalisation et charge cognitive) d'une tâche d'interaction 3D. Alors que la crédibilité de l'interaction se définit par le respect permanent des contraintes issues des lois d'un domaine d'application.

Nos recherches portent donc sur l'élaboration de nouveaux modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction 3D dans le but d'améliorer les performances et la crédibilité des tâches d'interaction 3D dans des environnements de réalité virtuelle ou mixte. Le chapitre 3 présente une synthèse de quelques travaux effectués sur cette problématique.

☛ **Remarque :**

Dans le cas de la réalité mixte nous nous intéressons tout particulièrement aux environnements de réalité mixte en vision indirecte impliquant le contrôle d'un robot distant.

2.1.2 Travail collaboratif / téléopération basée sur internet (TC/TbI)

Le travail collaboratif désigne un travail effectué en commun par plusieurs personnes pour atteindre un objectif commun. C'est vers la fin des années 80 que les premiers travaux sur ce thème sont apparus. Ellis et ses associés (Ellis et al., 1991) ont introduit les vocables CSCW (Computer Supported Cooperative Work), TCAO (Travail Coopératif Assisté par Ordinateur) et groupeware (logiciel coopératif ou collecticiel). Le travail collaboratif regroupe toutes les activités humaines faisant intervenir plusieurs personnes, simultanément ou non. Ces activités sont diverses : conception de produits industriels, enseignement, relations commerciales, jeux, etc.

Il s'agit d'un domaine multidisciplinaire qui, en plus des domaines informatiques, bénéficie de l'apport des sciences sociales (théorie du travail et des organisations) et des sciences cognitives (planification, gestion de tâches de groupe). L'approche traditionnelle utilisée pour représenter les collecticiels consiste à utiliser une classification espace-temps. Suivant cette classification, les systèmes se distinguent par la distance temporelle entre les utilisateurs et par leur distance spatiale. Les utilisateurs interagissent de manière synchrone s'ils manipulent simultanément les données partagées, ou de manière asynchrone s'ils les manipulent à des moments différents. Ils peuvent également interagir en local (même pièce) ou à distance (lieux différents). Bertrand David considère que le premier objectif des collecticiels est l'abolition des dimensions espace et temps (David, 2001). Il présente également la notion de "TCAO capillaire" qui considère que les outils collecticiels doivent permettre la réalisation de tâches collaboratives à partir des supports qui peuvent être fixes (ordinateurs de bureau) ou mobiles (comme des ordinateurs portables et les téléphones portables) (David et al., 2003).

Ellis et associés ont défini un collecticiel comme :

☛ **Collecticiel : (Ellis et al., 1991) :**

un système informatique qui assiste un groupe de personnes engagé dans une tâche commune et qui fournit une interface à un environnement partagé.

La téléopération collaborative est un exemple particulier de télétravail collaboratif car il fait intervenir au minimum deux utilisateurs pour réaliser un travail en commun (une mission de téléopération).

La téléopération en général consiste à commander et à manipuler des systèmes robotiques à distance. Ce mode de contrôle permet d'effectuer des tâches complexes, voire impossibles pour l'homme. En effet, la téléopération permet d'effectuer des interventions en milieu hostile, mais aussi des manipulations basiques connues et maîtrisées par l'Homme. Les domaines d'application de la téléopération sont très variés et touchent la plupart des domaines de recherche (recherche médicale et l'aide aux personnes handicapées, spatial, nucléaire, sous-marin, etc.). Une synthèse de ces domaines d'applications est présentée dans le chapitre "Télétravail assisté par la réalité virtuelle" (Otmame and Mallem, 2007).

Nous considérons que la téléopération basée sur internet présente les avantages suivant :

☛ **Téléopération basée sur Internet (TbI) : (Otmame, 2000) :**

La TbI permet une délocalisation facile des opérateurs à faible coût, et ne dépend pas de l'endroit où se trouve le matériel qui permet de contrôler le robot qui, lui, se trouve sur le site esclave généralement distant. La TbI offre la possibilité aux utilisateurs de travailler et de collaborer ensemble pour contrôler des robots de n'importe quel endroit dans le monde.

2.1.2.1 Positionnement : Assistance au télétravail collaboratif via Internet

Nous nous intéressons à l'assistance au télétravail collaboratif via internet en utilisant des interactions 2D (clavier et souris) avec des interfaces de type collecticiel via le WEB. Dans ce mode de collaboration, nous nous intéressons à la modélisation et à la conception de systèmes capables :

1. d'assister et de superviser un processus de collaboration complet : de la communication des utilisateurs jusqu'à la production des résultats en passant par la coordination des tâches et des utilisateurs. Une attention particulière est accordée à la conception de collecticiels pour la téléopération collaborative via le réseau "Internet".
2. de proposer de nouveaux services permettant d'introduire de la malléabilité dans le système de collaboration suite aux nouveaux besoins qui vont émerger durant le processus de collaboration.

Nos recherches portent finalement sur l'élaboration de nouveaux modèles d'architecture logicielles pour l'assistance au télétravail collaboratif. Pour cela, nous nous sommes basés à la fois sur l'étude :

1. des modèles d'architectures logicielles des collecticiels afin d'identifier ceux qui peuvent être réellement utilisés,
2. des systèmes de téléopération via internet pour identifier les exigences de ce type d'application et les intégrer dans la modélisation,
3. des systèmes multi-agents (SMA) afin de modéliser et de concevoir le système de collaboration,
4. des mécanismes des service web (WS : Web Service) afin d'introduire de la malléabilité dans le collecticiel.

2.1.3 Environnement virtuel collaboratif : (EVC)

Les Environnements Virtuels Collaboratifs (EVCs) sont apparus au cours de ces vingt dernières années. Ils ne sont rien d'autre que le résultat de la convergence des intérêts de deux communautés de chercheurs : la réalité virtuelle et le Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur de la communauté IHM. En effet, pour la communauté de la réalité virtuelle, les EVCs sont vus comme une extension des technologies de la réalité virtuelle mono-utilisateur adaptées pour supporter plusieurs utilisateurs et plusieurs types d'applications (Benford et al., 2001). Pour la communauté de TCAO, les environnements virtuels collaboratifs représentent une technologie qui peut supporter certains aspects des interactions sociales. Des études ont montré le rôle important de l'espace physique comme une ressource partagée qui favorise la négociation et les interactions sociales (Bentley et al., 1992).

Churchill et associés (Churchill and Snowdon, 1998) ont proposé une définition d'un EVC de la façon suivante :

• **Environnement virtuel collaboratif (EVC) : (Churchill and Snowdon, 1998) :**

Un EVC est un espace virtuel créé par ordinateur et distribué où des utilisateurs peuvent se réunir et interagir sur des objets virtuels.

2.1.3.1 Positionnement : Assistance à l'interaction 3D collaborative dans les EVCs :

Nous nous intéressons à l'assistance à l'interaction 3D collaborative dans les EVCs où les interactions sont en 3D et les interfaces utilisées sont celles de la réalité virtuelle.

La définition des EVCs donnée par Churchill et Snowdon (Churchill and Snowdon, 1998) oriente les recherches sur deux axes d'études. Le premier axe concerne les études liées aux architectures réseaux et logicielles de ces environnements. Le second concerne les études sur les interactions des utilisateurs avec les objets de l'environnement virtuel.

En ce qui nous concerne nous ne nous intéressons pas au premier axe (celui des architectures réseaux) bien que ce problème soit encore ouvert et des verrous techniques existent. D'autres chercheurs de la communauté RV et TC y travaillent encore. Nous nous intéressons plus particulièrement, au deuxième aspect, à savoir l'interaction des utilisateurs entre eux et entre les objets de l'environnement virtuel. En effet, toutes les actions réalisées par les utilisateurs ont la capacité de modifier l'EVC. Pour cela, les utilisateurs doivent avoir une connaissance de certaines informations pour pouvoir agir. Qui partage

l'environnement ? Qui travaille avec qui ? Qui fait quoi ? Quand ? Comment ? Où ? Et avec quoi ?.

Nous nous intéressons finalement à la façon dont on peut :

1. améliorer le sentiment de présence des utilisateurs,
2. identifier les activités des utilisateurs par rapport à l'environnement et par rapport aux autres utilisateurs (awareness ou la conscience des interactions des autres),
3. assister la coordination des utilisateurs durant les tâches d'interaction 3D et plus particulièrement la navigation, la sélection et la manipulation. Cette dernière pose encore de nombreux problèmes concernant la manipulation synchrone d'objet.

2.2 Synthèse des résultats de recherche

2.2.1 Sur l'assistance à l'interaction 3D

Les travaux dans le cadre de l'assistance à l'interaction 3D en réalité mixte ont commencé suite à l'acquisition de la plateforme EVR@¹ en 2004 qui est indispensable pour l'étude et l'évaluation des techniques d'interactions 3D en réalité mixte. Les recherches réalisées ont montré les limites des techniques d'interaction 3D existantes pour la réalisation des tâches dans des environnements exigeants en terme de précision, de sécurité et de crédibilité (Ouramdane, 2008), (Ouramdane et al., 2009), (Essabbah, 2010). Les recherches dans ce domaine se sont focalisées sur la façon dont on peut aider l'homme à interagir (naviguer, sélectionner, manipuler et contrôler l'application) d'une manière efficace et crédible avec ce type environnement. Dans notre étude, l'efficacité de l'interaction se traduit par la mesure de performance (précision, sécurité et temps de réalisation) d'une tâche d'interaction 3D, alors que la crédibilité de l'interaction se définit par le respect permanent des contraintes issues des lois d'un domaine d'application.

La première modélisation proposée pour l'assistance à l'interaction 3D est celle résultant des travaux de thèse de Nassima Ouramdane (de 2005 à 2008) (Ouramdane, 2008). Il s'agit d'une technique de sélection et de manipulation d'objets (baptisée Follow-Me) (Ouramdane et al., 2006c) et (Ouramdane et al., 2006b). Le modèle de cette technique est basé sur l'anticipation des intentions des utilisateurs pour l'aider dans ses interactions avec un environnement de réalité mixte. Cette anticipation de l'interaction permet une réduction du temps de réaction perceptible par l'utilisateur et améliore donc son sentiment de présence. Ce modèle a été ensuite appliqué au projet ARITI-RM (téléopération en réalité mixte) pour la sélection et la manipulation d'objets par un robot (Ouramdane et al., 2006a). Un autre résultat intéressant obtenu également a démontré que la forme des guides virtuels (comme outils d'assistance à l'interaction 3D) ainsi que son type d'activation (avec ou sans retour d'effort) influencent les performances des tâches de sélection et de manipulation. En effet, une interaction 3D via une interface haptique (de type SPIDAR-GH)² et utilisant un guide haptique sphérique donne une meilleure performance (Ullah et al., 2009a).

¹Plateforme d'assistance au travail et au télétravail en Environnement Virtuel et de Réalité Augmentée : <http://evra.ibisc.univ-evry.fr>

²Space Interface Device for Artificial Reality : un dispositif à retour d'effort à taille humaine

Une deuxième modélisation a été proposée dans le cadre de la thèse de Mouna Essabbah (de 2007 à 2010) (Essabbah, 2010). Il s'agit d'un modèle d'assistance à l'interaction 3D sous contraintes. Ce modèle est le résultat de la convergence des recherches menées sur l'assistance à l'interaction dans des environnements utilisant des systèmes complexes artificiels (cas du projet ARITI (Otmane, 2000), (Otmane et al., 2000a), (Leligeour et al., 2005), (Ouramdane et al., 2006b) et (Otmane and Mallem, 2007)) et le résultat des études réalisées sur l'interaction dans des environnements simulant des systèmes complexes issus du vivant (cas du projet InVirtuo³ (Essabbah et al., 2009b) et (Essabbah, 2010)). Un résumé de ce projet est donné en section 5.9.2.2. Ce modèle permet d'apporter de la crédibilité à l'interaction 3D en environnement virtuel. Appliqué à la biologie moléculaire (plus particulièrement à l'interaction in virtuo homme-chromosome), ce modèle garantit le respect des contraintes issues des lois de la biologie qui imposent l'ordonnement spatial du chromosome. Il s'agit dans ce cas des contraintes architecturales (données physico-chimiques) et fonctionnelles (modèles biologiques). Une approche hybride de modalisation 3D en biologie moléculaire a été proposée (Essabbah et al., 2009a). Elle associe les avantages des expérimentations *in silico* (capacités de calculs) à ceux de l'interaction 3D en réalité virtuelle. Cette approche permet donc d'apporter les connaissances des experts, de manière interactive, pendant le processus de modélisation automatique pour pallier certains défauts des méthodes calculatoires usuelles. Il s'agit de placer le biologiste au centre des expérimentations virtuelles plutôt qu'en simple observateur de résultats de simulations automatiques.

2.2.2 Sur l'assistance au télétravail collaboratif

Les travaux dans le cadre de l'assistance au télétravail collaboratif ont commencé avec l'encadrement de la thèse de Narjes Khezami (de 2002 à 2005) (Khezami, 2005) en proposant un formalisme basé sur le trèfle fonctionnel des collecticiels (communication, coordination et production) et sur les systèmes multi-agents pour assister et superviser une activité de groupe (Khezami et al., 2005b). Ce formalisme a été ensuite appliqué (dans le cadre du projet ARITI) et évalué pour l'assistance à la téléopération collaborative via le réseau internet (Khezami et al., 2005a), (Khezami et al., 2005c), (Otmane and Mallem, 2007).

Ces travaux de recherche se sont poursuivis pour traiter le verrou de la malléabilité (flexibilité) des systèmes. Il s'agit de rendre les systèmes d'assistance à la collaboration plus flexibles et adaptables aux nouveaux besoins qui émergent suite à la collaboration des utilisateurs. Cette problématique a été traitée dans le cadre de la thèse de Nader Cheaib (de 2007 à 2010) (Cheaib, 2010) en proposant un formalisme pour la malléabilité des systèmes ainsi que le modèle d'architecture logicielle associé. Ce modèle exploite les mécanismes des services web (intégration et composition de services) (Cheaib et al., 2008b) et des agents logiciels pour introduire de la malléabilité dans le collecticiel (Cheaib et al., 2008a) et (Cheaib et al., 2010). Ce modèle a été ensuite appliqué au projet ARITI (Otmane et al., 2008) pour la composition de missions de téléopération et au projet - Digital Ocean - pour la composition et l'intégration de services dans le collecticiel " Oceanyd

³Modélisation & Interaction in Virtuo : application à la Biologie Moléculaire. Il s'agit d'une action incitative financée en partie par le laboratoire IBISC depuis 2010. Les travaux dans ce domaine ont commencé en 2007 en collaboration avec l'équipe épigénomique du Genopole

Groupware ” développé pour ce projet (Cheaib et al., 2008c) et (Cheaib et al., 2009).

2.2.3 Sur l’assistance à l’interaction 3D collaborative

Les travaux dans le cadre de l’assistance à l’interaction 3D collaborative ont bénéficié des concepts et des résultats obtenus pour l’assistance à l’interaction et au télétravail collaboratif résumés précédemment. En effet, le modèle du trèfle fonctionnel des collecticiels (communication, coordination et production) est utilisé pour la spécification fonctionnelle de l’interaction 3D collaborative. Les trois tâches de l’interaction 3D (navigation, sélection et manipulation) trouvent bien leurs places dans l’espace de production du trèfle. De même que le concept de workflow qui, du point de vue des collecticiels, permet la gestion des rôles et des utilisateurs, est utilisé dans la boucle perception-cognition-action en réalité virtuelle pour l’assistance à la coordination des tâches d’interaction 3D entre les utilisateurs. Deux études ont été réalisées. La première étude porte sur l’assistance à la coordination des interactions 3D collaboratives dans des environnements virtuels collaboratifs (EVCs). La seconde étudie l’influence des retours sensoriels (auditifs, visuels et haptique) sur les performances des tâches d’interaction collaboratives.

La première étude est réalisée dans le cadre de la thèse de Christophe Domingues (Domingues, 2010). Un modèle de workflow est proposé pour permettre la coordination des tâches d’interaction 3D entre les utilisateurs (Otmame et al., 2010). Pour assister la coordination des interactions des utilisateurs, ce modèle intègre les propriétés de présence et de conscience (awareness) des interactions des utilisateurs.

La deuxième étude réalisée a permis de montrer que la communication orale et le retour sensoriel influent sur les performances des tâches de manipulations coopératives (manipulations synchrones d’un objet par deux utilisateurs). En effet, en absence d’un système d’assistance à la coordination des interactions 3D, les utilisateurs privilégient la communication orale pour coordonner leurs interactions. La présence de cette communication et des guides virtuels influent sur les performances (en temps de réalisation et en erreurs de manipulation) de la tâche manipulation coopérative (Ullah et al., 2009b). Un autre résultat obtenu a permis de montrer que la présence du retour d’effort lors de la manipulation d’objets par deux utilisateurs améliore également les performances de la manipulation coopérative (Ullah et al., 2010).

Dans les trois chapitres qui suivent nous développons quelques-uns de ces résultats.

Chapitre 3

Modèles et techniques logicielles pour l'assistance à l'interaction 3D

Dans ce chapitre, nous développons le thème de recherche ”**Interaction 3D**”. Nous commençons ce chapitre, par quelques mots clés relatifs à l'interaction 3D ainsi qu'un bref état de l'art sur les quatre tâches de l'interaction 3D. Nous effectuons une analyse sur leurs utilisations dans des environnements complexes (exigeants en performance et en crédibilité). Nous développons ensuite le concept d'assistance à l'interaction 3D qui est fondé sur l'intégration des modalités sensorielles (audio, vidéo et haptique) et des guides virtuels comme outils d'assistance à l'interaction 3D. Nous nous appuyons par la suite sur deux exemples d'étude afin d'illustrer l'intérêt de l'assistance à l'interaction 3D. Le premier exemple est une application au projet ARITI (interaction homme-robot avec précision et sécurité), le second est une application au projet In-Virtuo (interaction homme-chromosome avec crédibilité).

3.1 Interaction 3D

Nous donnons ci-dessous quelques définitions que nous avons retenues concernant les mots clés suivants : technique, paradigme et métaphore d'interaction.

• **Technique d'interaction (Bowman, 1999) et (Hachet, 2003) :**

Une technique d'interaction désigne la méthode qui permet d'effectuer une tâche d'interaction dans un environnement virtuel.

• **Paradigme d'interaction (Mine, 1995), (Poupyrev et al., 1998) et (Bowman, 1999) :**

Un paradigme d'interaction désigne un ensemble de techniques permettant à l'utilisateur d'accomplir des tâches d'interaction au sein d'un environnement virtuel.

☛ **Métaphore d'interaction (Sternberger, 2006) :**

La métaphore d'interaction signifie qu'un objet ou concept réel est utilisé comme un outil virtuel pour interagir avec l'environnement virtuel.

Fuchs et ses associés (Fuchs et al., 2006) situent l'interaction 3D plus au niveau comportemental que technique, en prenant en compte les actions d'un utilisateur sur un monde virtuel.

Dans ce qui suit, nous présentons brièvement les quatre tâches universelles d'interaction 3D ainsi que différentes techniques associées à chaque tâche. Un état de l'art plus complet est proposé dans (Ouramdane, 2008), (Ouramdane et al., 2009) et (Sternberger et al., 2008) avec une proposition de rajouter une cinquième tâche (entrée de symboles).

Nous commencerons ce chapitre par un bref état de l'art sur l'interaction 3D afin de permettre au lecteur de se familiariser avec les quatre tâches d'interaction 3D et les techniques associées.

3.1.1 Bref état de l'art

De nombreuses recherches se sont penchées sur la classification des techniques d'interaction 3D existantes pour en dégager une taxonomie générale.

Une première classification, proposée par Mine (Mine, 1995), se base sur quatre formes fondamentales d'interaction dans un environnement virtuel à savoir : la navigation, la sélection, la manipulation et la mise à l'échelle. Il définit également une cinquième forme dérivant des quatre précédentes : l'interaction par widgets et menus virtuels. Plus tard, Hand (Hand, 1997) instaure une nouvelle classification qui sera revue et étendue par la suite par Bowman (Bowman, 1999) pour constituer la taxonomie la plus employée par la communauté. Selon Bowman, il existe trois types d'actions naturelles définies : la navigation, la sélection et la manipulation des objets. Le quatrième type de tâche (plus spécifique à l'informatique) est le contrôle d'applications. Il définit également le lien entre les tâches (figure 3.1)

3.1.1.1 La tâche de navigation

La navigation dans la scène virtuelle peut être traitée de différentes façons suivant les besoins de l'application. L'objectif est de laisser l'utilisateur se placer à un endroit donné afin qu'il puisse examiner la scène suivant l'angle qui lui convient. Un classement des différentes techniques de navigation (Bowman et al., 2005) est proposé en fonction des trois tâches de base du déplacement : le choix de la direction ou la cible, le choix de la vitesse/accélération du mouvement et le choix des conditions d'entrée.

La navigation est une tâche commune dans les environnements virtuels et elle est composée généralement de deux sous-tâches : le *Travel* (déplacement) qui représente la partie mobile de la navigation (déplacement physique d'un endroit à l'autre ou déplacement du point de vue), puis le *Wayfinding* qui est la composante cognitive (prise de décision) de la navigation.

Lorsque l'utilisateur navigue dans le but d'explorer et de découvrir l'espace virtuel, son trajet se dessine au fur et à mesure de son avancée dans l'environnement. Pour cela,

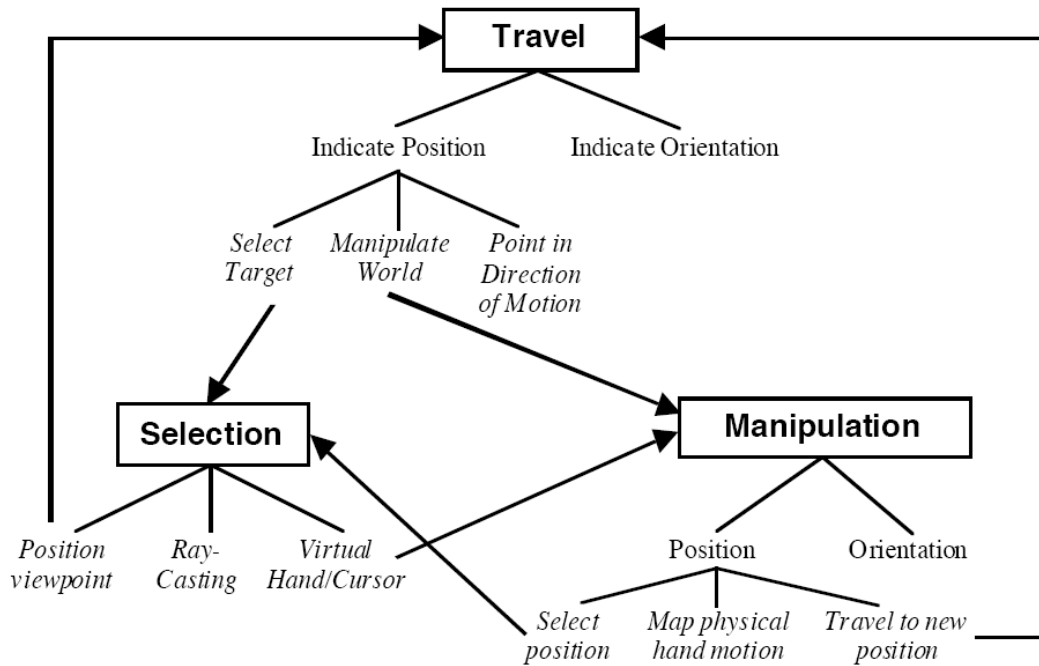


FIG. 3.1 – Lien entre les tâches de l'interaction 3D définies par Bowman (Bowman, 1999).

l'utilisateur doit disposer des moyens qui lui permettent de démarrer et d'arrêter le processus de navigation, de modifier la vitesse et la direction du déplacement. Bowman et associés (Bowman et al., 2005) classent les différentes techniques de navigation selon les trois tâches de base du déplacement : le choix de la direction ou la cible, le choix de la vitesse/accélération du mouvement et le choix des conditions d'entrée.

Plusieurs techniques de navigation existent. Mine (Mine, 1995) en présente trois exemples : la direction du regard (*Gaze-directed steering*), la direction de la main (*Pointing*) et l'utilisation des gestes de la main (*Grabbing the air* qui repose sur la métaphore du "tirer sur la corde" représenté dans la figure 3.2.(a)). Une autre technique consiste à se déplacer en utilisant une carte 2D (*Map-based travel*) (Bowman et al., 1998). Dans ce cas, l'utilisateur est représenté par une icône dans une carte 2D (figure 3.2.(b)). Le déplacement de l'icône par un stylet jusqu'au nouvel endroit de la carte implique le déplacement de l'utilisateur. Dans ce même contexte, une autre technique (*Magallanes*) permet un déplacement de l'avatar par simple sélection d'un point d'intérêt sur une interface graphique attachée à la scène virtuelle (Abasolo and Della, 2007). On peut également citer une autre technique récente, appelée *Navidget* (Hachet et al., 2009) qui utilise une interaction 2D (via widget d'interaction pour contrôler plusieurs caméras virtuelles dans un environnement 3D.

3.1.1.2 La tâche de sélection

La sélection est une tâche (action) qui permet à l'utilisateur de désigner un objet du monde. Cette action est souvent suivie d'une autre action qui est la manipulation (décrite dans la section suivante), à travers laquelle il va effectivement modifier l'environnement. Afin de désigner un ou plusieurs objets dans la scène, on peut avoir recours à diverses techniques de sélection, selon que les objets soient grands, petits, lointains, proches, nombreux, etc.

Par ailleurs, toutes les techniques de sélection et de manipulation comportent les mêmes

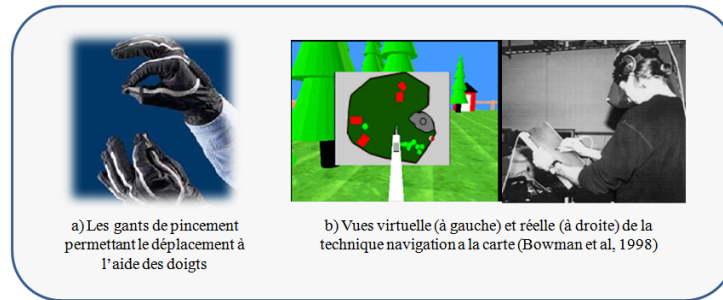


FIG. 3.2 – Exemple de techniques de navigation.

composants de base qui assurent des objectifs similaires (Bowman et al., 2001). Par exemple, pour une tâche de sélection, la technique d'interaction utilisée doit mettre à la disposition de l'utilisateur les moyens pour désigner un objet à sélectionner et confirmer la sélection, et fournir un retour virtuel, haptique ou sonore pendant l'exécution de la tâche de sélection.

Il existe plusieurs techniques de sélection dans la littérature. La technique de la main virtuelle simple (*Simple virtual hand*) proposée initialement par Sturman (Sturman et al., 1989) et reprise et utilisée ensuite dans de nombreux autres travaux (Bowman et al., 2005) et (Ouramdane et al., 2006c), s'inspire directement du schème de la sélection des objets par l'Homme dans le monde réel (figure 3.3.(a)). La technique *Go-Go* (*arm-extension*) (Poupyrev et al., 1996), représentée dans la figure 3.3.(d), offre la possibilité de toucher les objets éloignés pour les sélectionner. Le rayon laser virtuel (*ray-casting*) (Bolt, 1980) et (Jacoby et al., 1994) est une technique de pointage basée sur la métaphore du rayon virtuel (figure 3.3.(b)). La technique occlusion (*Sticky finger/occlusion*) (Pierce et al., 1997) illustrée dans la figure 3.3.(c), fonctionne dans le plan image 2D, en couvrant l'objet désiré avec l'objet sélectionneur (exemple le doigt); l'objet le plus proche du rayon visuel émanant du doigt peut alors être sélectionné.

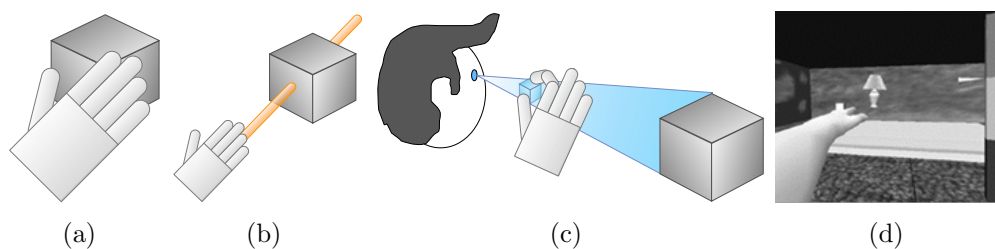


FIG. 3.3 – (a) La technique main virtuelle simple (Bowman et al., 2005) (b) La technique *ray-casting* (Jacoby et al., 1994) (c) La technique occlusion (Pierce et al., 1997) (d) La technique *Go-Go* (extrait de (Bowman and Hodges, 1997))

3.1.1.3 La tâche de manipulation

La manipulation va en général de paire avec la sélection. Il existe différents types de manipulations et différentes manières d'effectuer ces manipulations, qui sont souvent très liées à la technique de sélection employée. Une classification par métaphore des techniques de manipulation (Poupyrev et al., 1998) les divise en deux grandes familles en fonction de

la position et de la distance entre les utilisateurs et les objets virtuels : les techniques *exo-centriques* pour lesquelles le monde virtuel est contrôlé depuis l'extérieur et les techniques *égocentriques* pour lesquelles l'utilisateur agit directement depuis l'intérieur de l'environnement virtuel.

Dans la plupart des cas, ces manipulations se ramènent à une composition de manipulations simples, éventuellement contraintes. Par manipulation simple, nous entendons ici les manipulations de base consistant à déplacer un objet : translation et/ou rotation. Ces actions peuvent éventuellement être contraintes, de manière plus ou moins sophistiquée (bouger le long d'une droite, d'un plan, d'une courbe, tourner selon un axe uniquement, etc.)

Il existe de nombreuses techniques de manipulation. La technique de la main virtuelle simple (MVS : précédemment citée pour la tâche de sélection) appliquée à la manipulation nécessite des modifications dans le graphe de scène ¹ en attachant l'objet sélectionné à la main virtuelle. La technique HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending *Ray-casting*) (Bowman and Hodges, 1997) et (Bowman et al., 2001) est une technique hybride, elle combine la technique *ray-casting* pour la sélection et la technique de la main virtuelle simple pour la manipulation (figure 3.4). La technique du changement d'échelle (*Scaled-world grab*) (Mine et al., 1997) est également une technique hybride. Elle est souvent associée à la technique de sélection par occlusion. La technique PRISM (Frees and Kessler, 2005) est une autre technique hybride pour la sélection et la manipulation directe qui améliore la précision des mouvements de la main de l'utilisateur. Une autre technique "monde en miniature" (*World-In-Miniature* ou WIM) (Stoakley et al., 1995) permet à un utilisateur d'agir indirectement sur les objets d'une représentation miniature de la scène virtuelle.

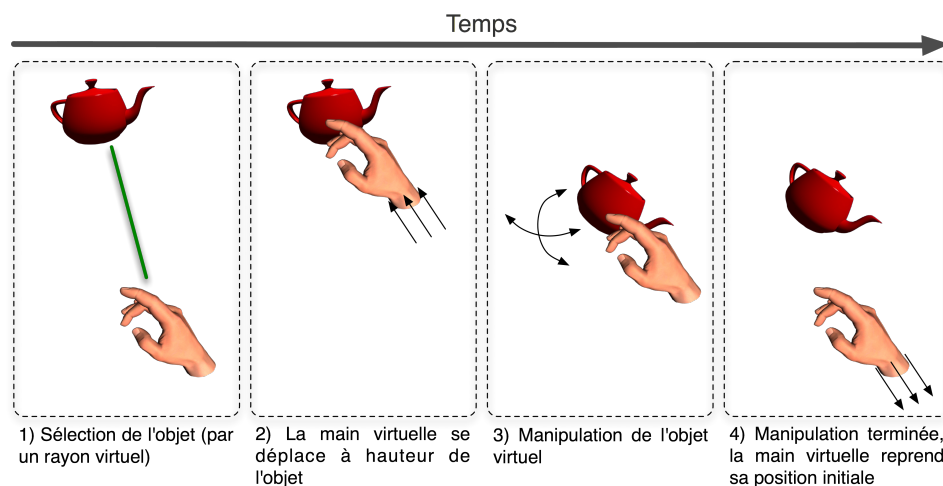


FIG. 3.4 – La technique HOMER (adaptée de (Bowman and Hodges, 1997))

3.1.1.4 La tâche de contrôle d'application

Le contrôle d'application, également appelé la tâche de commande, est une tâche (ou action) qui permet d'exécuter une commande dans le but de changer l'état du système ou

¹Un graphe de scène est une structure de données utilisée communément par les outils de modélisation 3D afin de structurer de manière logique la représentation spatiale d'une scène graphique

le mode d'interaction. Il s'agit généralement de l'envoi d'ordres (explicites ou implicites) au système. Par ailleurs, une technique de contrôle d'application est souvent liée aux trois autres tâches (par exemple, un ordre dans un menu peut impliquer la sélection).

Le contrôle d'applications 3D diffère de beaucoup du système de commande 2D. Il implique la prise en compte de beaucoup de degrés de liberté pour la sélection. En outre, les dispositifs d'entrée/sortie sont nombreux et différents et la troisième dimension supplémentaire pose de nouvelles difficultés sur la représentation des interfaces homme-machine. De nombreuses techniques ont été développées pour contrôler les applications 3D.

Les premiers travaux de réflexion sur les techniques de contrôle d'application en RV proposent d'étendre ou d'adapter certains widgets 2D à la 3D. Brookshire Conner et associés (Brookshire Conner et al., 1992) définissent un widget comme étant une combinaison de géométrie et de comportement. Ils construisent par la suite une bibliothèque de composants tels qu'un sélecteur de couleurs ou une sphère contrôlant les rotations. Jacoby et associés (Jacoby and Ellis, 1992) proposent un menu déroulant 2D nommé menu 2D converti qui est librement positionnable et orientable dans l'espace. Ce concept a été repris et amélioré par Darken (Darken, 1994) en ajoutant de la transparence aux menus ainsi qu'un retour haptique pour faciliter la manipulation. Des techniques à base de menus circulaires (Kurtenbach and Buxton, 1994) et (Deering, 1995) permettent de sélectionner un élément par un simple mouvement de la main en direction de l'élément souhaité. Le menu TULIP (Bowman and Wingrave, 2001) est un menu déroulant basé sur l'utilisation des doigts (figure 3.5.(a)). La main de l'utilisateur est équipée d'un gant de données et chaque doigt correspond à un élément du menu. Wesche et associés (Wesche and Droske, 2000) proposent une technique hybride qui utilise un menu circulaire et une sélection par pointage. Chaque élément est symbolisé par une icône. Le menu C3² proposé par Grosjean et associés (Grosjean and Coquillart, 2001) (Grosjean et al., 2002) utilise le concept des Marking Menus. Ce dernier propose de disposer les menus en cubes (figure 3.5.(b)) plutôt qu'en listes pour en accélérer l'accès. Un autre technique récente le *ViewCube* (Khan et al., 2008) utilise un widget 3D comme outil virtuel pour contrôler l'orientation de la caméra virtuelle.

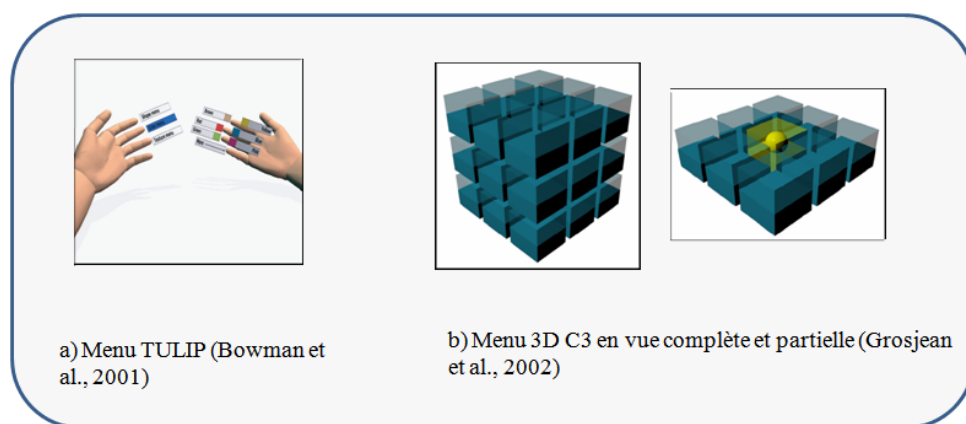


FIG. 3.5 – Exemple de menus 3D.

²Command and Control Cube

3.1.2 Analyse sur l'interaction 3D

Les recherches que nous avons menées ainsi que les expériences que nous avons réalisées autour des plateformes de réalité virtuelle et augmentée (figure 3.6) ont montré qu'interagir naturellement (sans contraintes liées à l'environnement) avec des objets d'un monde virtuel et/ou un monde réel distant est une action qui n'est pas évidente en raison des limitations des interfaces de RV et des techniques d'interaction 3D classiques. En effet, d'un côté, les technologies de la réalité virtuelle offrent une immersion multisensorielle des utilisateurs (nécessaire pour augmenter le sentiment de présence). D'un autre côté, ces technologies utilisées posent de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit d'interagir dans des environnements où les tâches à réaliser sont complexes (exigeantes en précision, en sécurité et en temps de réalisation).

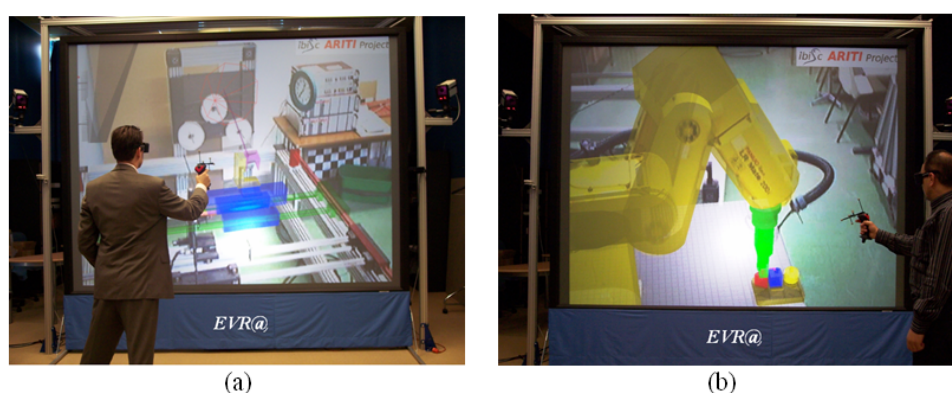


FIG. 3.6 – Tâches de sélection et de manipulation d'objets utilisant la réalité augmentée à partir de la plateforme EVR@. (a) avec un robot à 4 ddl sur le site esclave, (b) avec un robot FANUC à 6ddl sur le site esclave.

Nous avons effectué une première étude comparative (Ouramdane, 2008) des techniques de sélection et de manipulation en prenant en considération certaines mesures de performances (précision, sécurité et charge cognitive). Le tableau 3.1 résume les résultats obtenus basés sur les contraintes énoncées. Nous remarquons qu'en général les techniques existantes ne garantissent pas la précision et la sécurité de la sélection et de la manipulation. Ajoutons à cela la forte charge cognitive que nécessite l'apprentissage et l'utilisation de la plupart de ces techniques. Nous avons constaté que les techniques de sélection et de manipulation classiques ne peuvent pas être utilisées à l'état brut pour interagir avec des environnements complexes.

En effet, dans la plupart des cas, l'interaction 3D est traitée d'un point de vue général et la technique utilisée cherche à accomplir une tâche d'interaction sans prendre en considération les exigences (en terme de précision, de sécurité, temps de réalisation ou encore de crédibilité) des environnements de réalité mixte (virtuel ou augmentée) utilisant ou simulant des systèmes complexes artificiels (cas de la télérobotique) ou issus du vivant (cas de l'interaction in-virtuo en biologie moléculaire).

Il est nécessaire de proposer de nouveaux modèles pour la conception de systèmes d'assistance à l'interaction 3D pour :

- alléger l'apprentissage de l'utilisation d'une application de RV/RA,

Technique de Sélection/Manipulation	Facteurs de performance		
	Précision	Sécurité	Charge cognitive faible
Ray-Casting	-	-	+
Flashlight	-	-	+
Main Virtuelle Simple	-	-	+
Go-Go	-	-	-
Monde-En-Miniature	+	-	-
PRISM	+	-	-
HOMER	-	-	+
StickyFinger	-	-	-

TAB. 3.1 – Comparaison des facteurs de performance pour les techniques de sélection et de manipulation (avec (+) : facteur garanti et (-) : facteur non garanti). (extrait de (Ouramdane, 2008))

- rendre l'expérience de l'utilisateur la meilleure et la plus naturelle possible afin que celui-ci puisse se concentrer essentiellement sur la tâche qu'il doit effectuer,
- améliorer les performances (en termes de temps d'exécution, de précision et de sécurité) des tâches de l'interaction 3D et plus particulièrement des tâches de sélection et de manipulation,
- rendre l'interaction avec les objets (ou modèles 3D) plus crédible vis-à-vis des contraintes des domaines d'application.

Nos recherches dans ce domaine se sont focalisées sur la façon dont on peut aider l'utilisateur à interagir (naviguer, sélectionner, manipuler et contrôler l'application) d'une manière performante et crédible avec ce type d'environnement. Dans notre étude, la performance de l'interaction se traduit par les indicateurs relatifs à la précision, à la sécurité et au temps de réalisation d'une tâche d'interaction 3D, alors que la crédibilité de l'interaction se définit par le respect permanent des contraintes issues des lois d'un domaine d'application.

Nous proposons de redéfinir l'interaction 3D par sa finalité de la façon suivante :

☛ **Definition : Finalité de l'interaction 3D :**

La finalité de l'interaction 3D est de permettre l'utilisation de dispositifs matériels et de techniques logicielles adaptées en vue d'une utilisation performante et crédible des tâches d'interaction 3D.

Nous proposons une démarche de recherche qui exploite les possibilités d'assister les tâches d'interaction 3D en considérant les éléments suivants :

- le comportement des utilisateurs,
- les contraintes de l'environnement dans lequel évoluent les utilisateurs,
- les outils d'assistance (les guides virtuels et les retours multisensoriels).

Nous proposons donc pour cela de bâtir un concept d'assistance à l'interaction 3D qui intègre l'ensemble de ces éléments. Ce concept d'assistance vient comme support aux

techniques d'interaction 3D classiques pour les rendre applicables et adaptées aux exigences de la finalité de l'interaction 3D.

C'est ce concept d'assistance que nous développons dans la section suivante.

3.2 Interaction 3D assistée : Concepts principaux

L'interaction 3D permet à l'utilisateur de se déplacer et d'agir dans le monde virtuel, modifiant ainsi les propriétés de celui-ci. Par conséquent, plus l'interaction 3D est crédible et efficace et plus elle procure à l'utilisateur une sensation d'immersion et de présence dans l'environnement virtuel ou augmenté.

Toutefois, les techniques d'interaction 3D actuelles présentent certaines limites et n'exploitent pas au maximum les capacités de l'interaction 3D. Ainsi, l'utilisateur est souvent contraint de se concentrer sur la méthode d'interaction employée plus que sur la tâche qu'il doit effectuer.

En revanche, si l'on centre les études sur l'utilisateur et son comportement on remarque qu'il est possible d'assister son interaction, en prenant en considération ses intentions (ie. l'action ou la tâche vers laquelle il tend). Ce type d'assistance a pour but de simplifier les techniques d'interaction 3D pour que la réalisation d'une tâche soit instinctive aux yeux de l'utilisateur.

Le concept d'assistance que nous présentons dans cette section est le résultat de la convergence des recherches menées sur l'assistance à l'interaction dans des environnements utilisant des systèmes complexes artificiels (cas du projet ARITI (Otmane, 2000), (Otmane et al., 2000a), (Leligeour et al., 2005), (Ouramdane et al., 2006b) et (Otmane and Mallem, 2007)) et le résultat des études réalisées sur l'interaction dans des environnements simulant des systèmes complexes issus du vivant (cas du projet InVirtuo³ pour les applications en biologie moléculaire (Essabbah et al., 2009b) et (Essabbah, 2010)).

D'une manière générale, l'assistance désigne l'action de porter aide ou secours à une personne afin de réaliser une tâche donnée. Dans le cadre de l'interaction 3D, nous donnons la définition suivante :

☛ **Definition : Interaction 3D assistée (Samir Otmane) :**

L'interaction 3D assistée (I3DA) est une action réalisée par le système vers l'utilisateur pour l'aider à interagir d'une manière efficace et crédible dans son environnement de réalité mixte (virtuelle ou augmentée).

L'intégration de l'assistance dans le processus d'interaction 3D avec les environnements de réalité mixte vise à décharger l'utilisateur de tout besoin de concentration sur la manière d'interagir, liée aux contraintes matérielles ou encore aux techniques logicielles utilisées. Pour les mêmes raisons, l'assistance permet d'intégrer certaines lois d'un domaine d'application dans le système d'interaction, d'une façon transparente par rapport

³Modélisation & Interaction in Virtuo : application à la Biologie Moléculaire. Il s'agit d'une action incitative financée en partie par le laboratoire IBISC depuis 2010. Les travaux dans ce domaine ont commencé en 2007 en collaboration avec l'équipe épigénomique du Genopole

à l'utilisateur.

L'architecture logicielle classique d'une interaction 3D est souvent divisée en deux parties : l'utilisateur et les différents périphériques d'une part, et l'application, qui tente de communiquer avec l'utilisateur par l'intermédiaire de ces dispositifs (figure 3.7) d'autre part. La communication (action-réaction) est établie dans le sens utilisateur-application (action) à travers le module interaction 3D qui comporte l'ensemble des métaphores (ie. techniques) d'interaction. Dans le sens application-utilisateur (réaction), le retour d'information est assuré par les différentes modalités sensorielles (en sortie du module correspondant à l'interface matérielle).

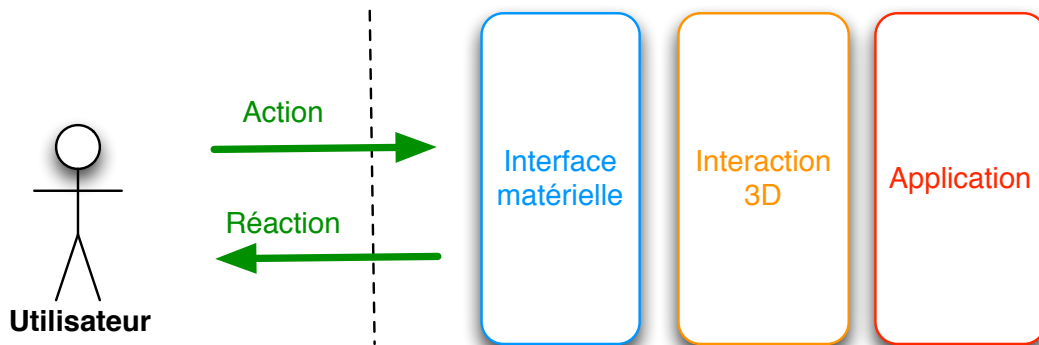


FIG. 3.7 – Architecture générale d'un système d'interaction 3D classique

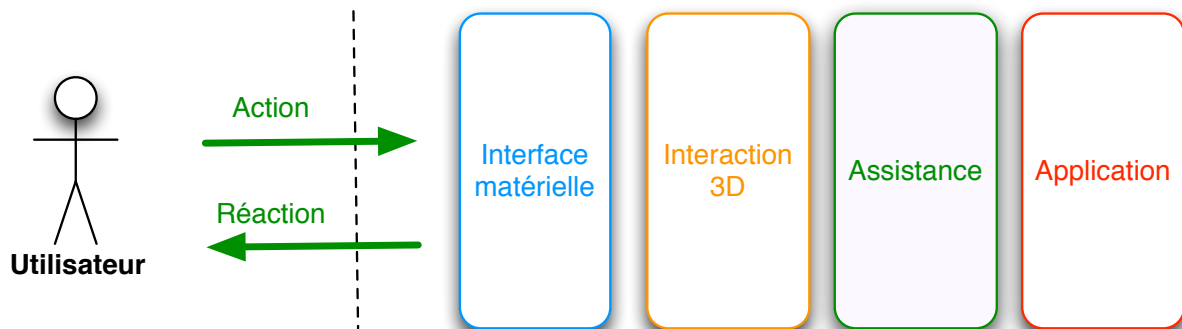


FIG. 3.8 – Architecture générale d'un système d'interaction 3D assistée

3.2.1 Assistance *versus* complexité des tâches d'interaction 3D

Le concept d'assistance à l'interaction affiche un rapport remarquable avec la complexité des tâches à réaliser. En effet, plus la tâche est complexe plus le besoin d'assistance est élevé. Afin d'identifier la relation entre le concept d'assistance et la notion de complexité de la tâche, nous introduisons le *degré d'assistance*. Ce dernier représente le niveau d'assistance nécessaire à un utilisateur pour interagir (naviguer, sélectionner, manipuler et contrôler l'application) en fonction de la complexité des tâches d'interaction 3D à réaliser (figure 3.9). Nous pouvons les regrouper en deux niveaux :

Assistance faible et élevée :

- **Niveau 1 (assistance faible) :** Adapté pour une utilisation dans des environnements virtuels ou augmentés simples (objets statiques et bien visibles, espace peu encombré, etc.). L'utilisateur n'a pas besoin (ou très peu) d'assistance pour interagir dans son environnement;
- **Niveau 2 (assistance élevée) :** Adapté pour une utilisation dans des environnements virtuels ou augmentés complexes (objets dynamiques, espace encombré, présence de contraintes du domaine d'application, etc.). L'utilisateur a besoin d'une assistance permanente pour interagir dans son environnement.

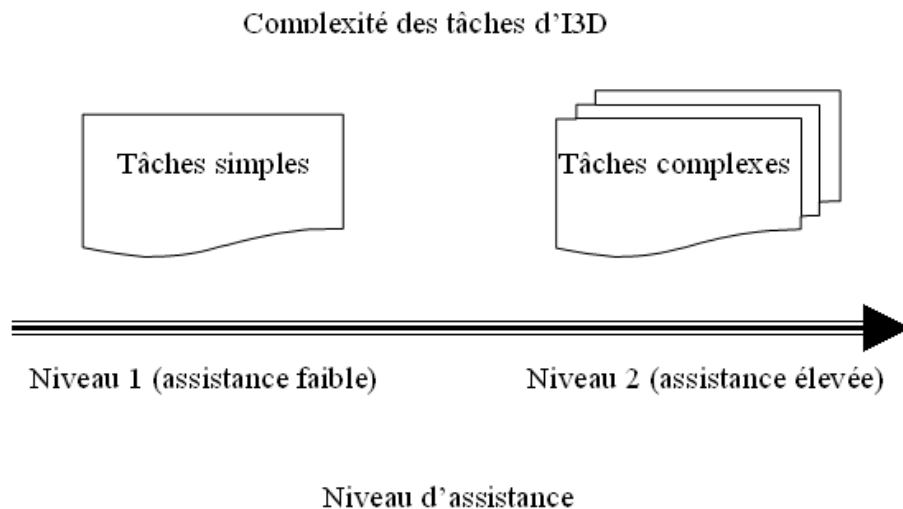


FIG. 3.9 – Niveau d'assistance requis en fonction de la complexité des tâches d'interaction 3D

L'assistance peut être considérée comme un moyen d'aide actif qui participe à la réalisation de chacune des tâches d'interaction 3D. Le système d'assistance doit donc apporter de l'aide en fonction des quatre tâches de l'interaction 3D (figure 3.10) :

- **Assistance à la navigation :** Représente une aide au déplacement de l'utilisateur dans le monde virtuel. Grâce à l'assistance, l'utilisateur disposera d'une technique d'interaction 3D pour la navigation mais aussi un support lui permettant de respecter les lois du domaine d'application (par exemple, naviguer d'une manière précise et sécurisée ou encore naviguer d'une manière crédible, etc.).
- **Assistance à la sélection :** Représente une aide à la désignation d'un objet ou d'un ensemble d'objets dans un environnement virtuel ou augmenté. Elle permet à l'utilisateur de sélectionner n'importe quelle entité du monde virtuel tout en respectant les lois du domaine d'application (réaliser une sélection précise sur un objet pour qu'une manipulation puisse être réalisable, sécuriser les objets qui ne doivent pas être sélectionnés, etc.)
- **Assistance à la manipulation :** Représente une aide à la manipulation d'un objet dans dans un environnement virtuel ou augmenté. Elle permet à l'utilisateur

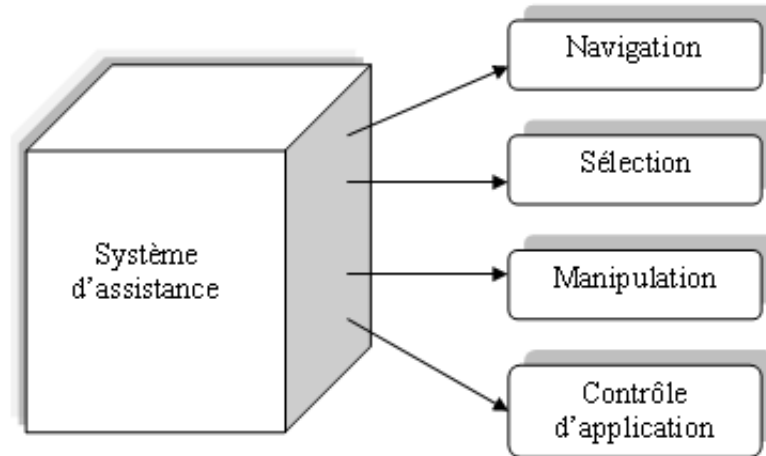


FIG. 3.10 – Illustration de l’introduction de l’assistance suivant les quatre tâches de l’interaction 3D

de manipuler des objets tout en respectant les lois du domaine d’application (des manipulations précises, sécurisées, crédibles). L’assistance à la manipulation est le moyen de manier les entités de l’environnement virtuel en respectant les lois qui régissent ces entités.

- **Assistance au contrôle d’applications** : Représente une aide fournie à l’utilisateur pour lui faciliter le contrôle d’applications. Elle permet par exemple de décharger l’utilisateur du changement de tâches d’interaction (navigation < -- > sélection < -- > manipulation) ou encore d’afficher uniquement les commandes possibles en fonction du contexte de l’état actuel de la tâche, etc..

Dans la suite, nous nous intéresserons aux moyens qui permettent de réaliser l’assistance aux différentes tâches de l’interaction 3D .

3.2.2 Assistance suivant les modalités sensorielles

L’assistance suivant les modalités sensorielles est employée afin d’informer ou de prévenir l’utilisateur de l’état courant du système. Elle peut être réalisée à travers les trois canaux sensori-moteurs, à savoir le canal visuel, auditif et haptique (figure 3.11).

- **Assistance Visuelle** : La vue est le principal sens de l’Humain c’est pourquoi la modalité visuelle est la plus exploitée. L’assistance visuelle intervient pour guider l’utilisateur à se situer dans l’espace (trouver sa direction), à percevoir les objets qui l’entourent et leurs caractéristiques (taille, couleur, état, position, etc.), et à l’informer de l’état courant de la tâche qu’il accomplit (par exemple, le sens de la manipulation, le dépassement d’une limite, etc.). L’aide visuelle, selon le niveau d’assistance, peut se présenter sous forme de code couleur, de textures, ou simplement d’un affichage textuel informatif. L’assistance visuelle peut être plus élaborée grâce à des primitives géométriques (plans, sphères, cubes, etc.) en interaction avec les objets du monde virtuel.

- **Assistance Auditive** : La principale caractéristique du canal auditif est qu'il est omnidirectionnel. Grâce à cela, tous les sons de l'environnement sont captés sans avoir à se tourner vers la source. Cependant, aucun son n'est filtré. L'assistance auditive n'est pas la plus employée, bien que les rendus audio peuvent améliorer la communication d'informations complexes (Barrass and Zehner, 2000). Elle est particulièrement efficace pour la perception des phénomènes d'alerte et des phénomènes qui évoluent dans le temps, car même s'il est facile de manquer une donnée visuelle (brève ou mal située), cela l'est beaucoup moins pour un changement dans une sonorité. L'assistance auditive peut aider l'utilisateur à se situer dans l'espace (comme pour un malvoyant) grâce à une variété de sons, continues ou discontinues et selon différentes fréquences.
- **Assistance Haptique** : L'assistance haptique permet d'améliorer la qualité d'interactivité de l'utilisateur dans un environnement virtuel ou augmenté. Elle est très importante car elle augmente la sensation de présence de l'utilisateur dans le monde virtuel en améliorant la perception des objets qu'il manipule (Seeger and Chen, 1997) ou des données qu'il analyse (Lundin et al., 2005). Grâce au sens tactile (par la peau) il est possible de percevoir les propriétés surfaciques des objets virtuels (texture, vibrations, température, etc.). Quant au sens kinesthésique (par les muscles et les tendons), il permet à l'utilisateur de percevoir ses propres mouvements et les efforts du monde extérieur sur lui (poids d'un objet lors de sa saisie, etc.). L'information haptique est bien incontestablement complémentaire aux deux autres modalités.

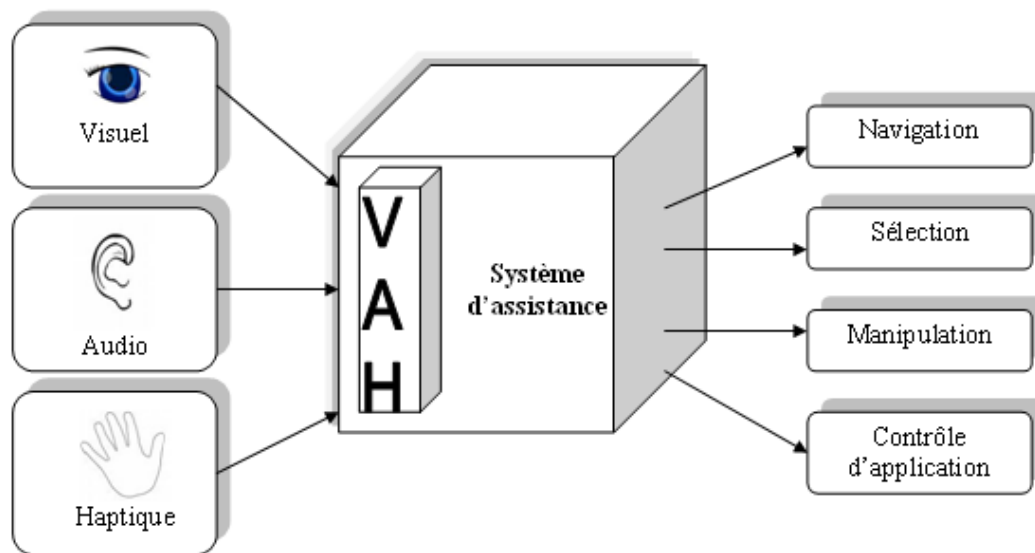


FIG. 3.11 – Intégration des modalités sensorielles comme moyen d'assistance aux tâches d'interaction 3D

Cependant le couplage entre les différentes modalités sensorielles est également intéressant pour renforcer l'assistance de l'utilisateur (Bouyer, 2007) et (Essabbah, 2010). Plusieurs configurations sont possibles :

- *La distribution* : Lorsque la quantité d'information perçue par l'utilisateur est importante, il est intéressant de distribuer ces informations sur plusieurs canaux, ce

qui permet de percevoir différentes informations simultanément et de diminuer la charge cognitive. Par exemple, si un opérateur doit assurer une navigation dans un chemin précis en évitant des obstacles mobiles. Le système peut lui proposer une trajectoire visuelle afin de respecter le chemin optimal tout en lui indiquant les obstacles par un signal sonore dont l'intensité est proportionnelle à la distance qui les sépare.

- *La redondance* : Plusieurs modalités équivalentes peuvent être utilisées pour une même tâche, chacune étant suffisante à sa réalisation. Cela permet d'affirmer une information perçue à travers un canal sensoriel par une autre information redondante, perçue sur un autre canal. Le fait d'avoir la même information par différents moyens assure à l'opérateur la confirmation de l'information. Cela ne peut être bénéfique que lorsque les modalités choisies sont pertinentes pour la tâche désirée. Cela permet également d'attirer plus l'attention de l'utilisateur, car un échec de transmission de l'information à travers une modalité donnée peut être rétabli grâce à une autre modalité.
- *La complémentarité* : Elle consiste à utiliser plusieurs modalités pour différents aspects complémentaires d'une même tâche. Chaque modalité est nécessaire à la réalisation de la tâche mais pas suffisante. Chaque modalité transmet une information intéressante mais pas complète. Par exemple, dans le but d'observer la température d'un objet, la modalité visuelle et auditive peuvent être complémentaires. Dans ce cas, l'affichage (alphanumérique) de la valeur précise de la température peut être complété par une indication sonore continue sur l'évolution de cette dernière (exemple : son grave pour le froid et aigu pour le chaud). Cependant, l'affichage textuel indique une information précise mais pas nécessairement pratique pour l'utilisateur. À l'opposé, la modalité auditive peut constituer une solution ergonomique mais pas aussi précise que la modalité visuelle.
- *La substitution* : Elle consiste à employer une modalité autre que la modalité assignée habituellement, éventuellement sur un autre canal (substitution sensori-motrice). Cela peut être fait par choix ou par obligation (manque matériel). Par exemple, il a été prouvé que certains rendus audio et visuels peuvent communiquer efficacement des informations habituellement haptiques (Kitagawa et al., 2005) et (Richard et al., 2006). Nous pouvons donc imaginer que la collision entre deux objets rigides, lors d'une manipulation, soit représentée par un changement de couleur des objets et un découplage visuel à défaut d'un véritable retour haptique.

L'assistance suivant les modalités est souvent couplée à l'assistance à l'interaction 3D, puisqu'il s'agit du moyen d'assister l'exécution d'une tâche. A chaque assistance à une tâche de l'interaction 3D peut être associée une ou plusieurs assistances selon une modalité précise, comme représenté dans la figure 3.12. Ainsi, chaque assistance suivant une modalité sensorielle peut être utilisée à tous les niveaux de l'interaction 3D.

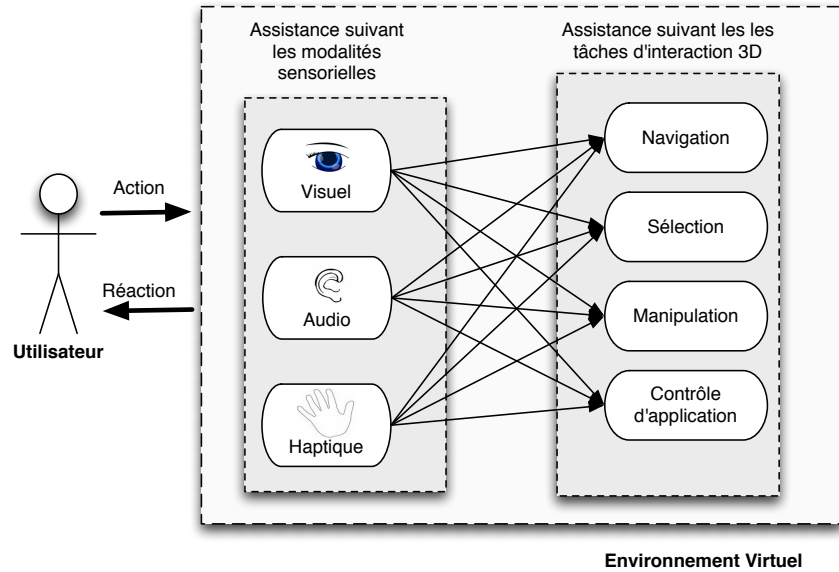


FIG. 3.12 – Couplage entre l’assistance aux tâches d’interaction 3D et l’assistance suivant les modalités sensorielles (extrait de (Essabbah, 2010))

3.2.3 Les guides virtuels comme outils d’assistance

Le concept de guide virtuel (GV), de l’anglais *Virtual Fixtures*, a été introduit par Rosenberg (Rosenberg, 1992) afin d’améliorer les performances d’un opérateur humain lors des tâches de télé-manipulation avec retard de transmission (délai). Ces métaphores graphiques sont également connues sous le nom de mécanismes virtuels (Brooks et al., 1992). Les GV ont été employés pour la commande en force d’un robot (Joly and Andriot, 1995) et (Kosuge et al., 1995), pour l’assistance à l’opérateur en environnement virtuel (Kheddar, 1997) ou encore pour l’assistance à la télé-manipulation en réalité augmentée (Otmane, 2000), (Otmane et al., 2000a) et (Otmane et al., 2000b).

Oakely et associés ont étudié l’utilisation du retour haptique dans les environnements graphiques et ont conclu que des programmes soigneusement conçus permettent d’intégrer de meilleures performances (Oakley et al., 2002).

D’autre part, dans (Kuang et al., 2004) les GV ont servi à l’optimisation des tâches dans un espace de travail, mais ils ne pouvaient être utilisés qu’avec des objets statiques et un chemin prédéfini. Par ailleurs, les auteurs ont associé les GV visuels et haptiques. D’autre part, des GV haptiques ont été particulièrement utilisés pour assister des robots pendant la tâche de manipulation. Il s’agit de la combinaison d’un retour de forces et d’un signalement de position qui guide l’utilisateur le long d’un chemin spécifié et/ou prévient l’accès dans des zones interdites (Abbott et al., 2007). De même, Ren et associés (Ren et al., 2007) ont proposé un système chirurgical haptique limitant le mouvement du chirurgien dans certains endroits. Prada (Prada and Payandeh, 2009) a étudié par des considérations plus pratiques la construction des GV. Un formalisme basé sur la mécanique a été proposé pour les GV haptiques. L’utilité de cette nouvelle conception a été illustrée par la résolution d’un problème de suivi de trajectoire dans le cadre d’une application d’entraînement virtuel pour les chirurgiens.

La figure 3.13 illustre l’intégration des guides virtuels comme outils d’assistance à l’interaction 3D.

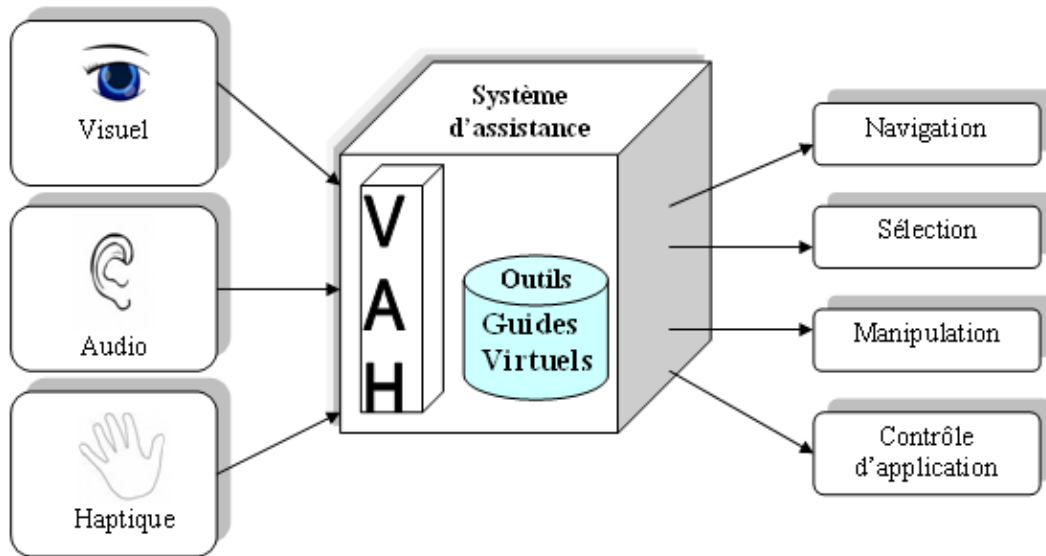


FIG. 3.13 – Intégration des guides virtuels comme outils d'assistance aux tâches d'interaction 3D

3.2.3.1 Notion de guide virtuel simple/composé, actif/passif

On peut distinguer deux types de guides virtuels (simple ou composé) :

Guide virtuel simple et composé :

- **Guide virtuel simple** : Un GV simple est représenté par une unique primitive géométrique. Ces guides sont généralement utilisés pour réaliser des tâches simples telles que le suivi d'une ligne droite, l'évitement d'obstacles (des guides virtuels actifs avec un champ répulsif) ou bien l'atteinte d'un objet dans l'environnement virtuel (des guides virtuels actifs avec champ attractif).
- **Guide virtuel composé** : Un GV composé est constitué de plusieurs GVs simples (un ensemble de segments définissant une trajectoire, un ensemble de plans ou un ensemble d'objets de forme quelconque). Ces types de guides sont généralement utilisés pour réaliser des tâches complexes tel que suivre une trajectoire quelconque ou bien assembler et désassembler des objets.

On peut utiliser plusieurs méthodes pour construire les modèles géométriques des guides virtuels. Nous résumons ci-dessous celles que nous avons déjà utilisées (une description complète et détaillée sur les méthodes de construction des guides virtuels est présentée dans (Otmame, 2000)) :

- Différents types de surface, qui peuvent être utilisées pour ne pas franchir certaines limites (plan, disque, etc.),
- Des volumes ouverts, qui peuvent être traversés par l'avatar. (cube ouvert, cylindre, tube, etc.),
- Des volumes fermés, qui peuvent servir à définir le champ d'action de l'avatar ou englober certaines parties de l'environnement dans le but de les rendre inaccessibles. (sphère, superquadriques (Blanc and Schlick, 1996)),
- Des courbes qui peuvent servir de trajectoires pour l'avatar. (BSplines (Foley et al., 1990)).

Il existe également deux modes de fonctionnement pour les guides virtuels : passif et actif. Un guide virtuel (simple ou composé) est dit passif lorsque son utilisation est limitée à l'assistance à la perception visuelle de l'utilisateur (il n'a pas d'effet direct sur l'environnement ou sur les objets de l'environnement). Un guide virtuel est dit actif lorsque son utilisation a un effet direct sur l'utilisateur (à travers son avatar), sur l'environnement ou sur les objets du monde. Les guides actifs peuvent se décomposer en deux catégories :

Guide virtuel répulsif et attractif :

- **Les guides répulsifs** : Ce type de guide a pour rôle de générer un potentiel répulsif qui évite à l'avatar de l'utilisateur de le traverser. Il peut être considéré comme une barrière qui empêche l'avatar d'aller dans une zone interdite d'accès, une surface ou un volume protecteur pour protéger des objets de l'environnement.
- **Les guides attractifs** : Ce type de guide a pour rôle de générer un potentiel attractif permettant de contraindre l'avatar de l'utilisateur à atteindre un objet de l'environnement.

3.2.3.2 Intégration des contraintes du domaine d'application

La définition donnée du mot contrainte est la suivante :

☛ **Definition (LAROUSSE)⁴ : Contrainte :**

Obligation créée par les règles en usage dans un milieu, par les lois propres à un domaine, par une nécessité.

Les contraintes des domaines d'application sont très nombreuses, certaines sont communes et d'autres très spécifiques à un domaine donné. Une étude réalisée sur certains domaines d'application utilisant la réalité virtuelle (Essabbah, 2010) a permis de recenser certaines contraintes comme l'exactitude du modèle, la précision, la sécurité, les lois physiques, la distance, le temps, la masse de données, la charge cognitive ou encore les lois biologiques, etc. Certaines de ces contraintes sont essentielles dans plusieurs aspects des systèmes de Réalité Virtuelle.

D'une manière générale, les contraintes règnent sur la plupart des domaines d'application de la Réalité Virtuelle (particulièrement pour les applications qui modélisent le réel). Toutefois, on ne s'en rend compte que lorsqu'on décide de les exprimer dans l'application et de les prendre en considération. En réalité virtuelle le principe des contraintes est à l'opposé du principe de l'*affordance*⁵ car il limite les actions possibles d'un objet. Le mot "contrainte" a généralement une connotation négative, car elle renvoie à quelque chose qui nous limite, mais les contraintes sont nécessaires dans les situations à la fois réelles et virtuelles.

3.2.3.3 Formalisme des guides virtuels pour l'assistance à l'interaction 3D

Les guides virtuels (GVs) peuvent être représentés également par des indicateurs sensoriels (visuels, auditifs ou haptiques) ou encore par un couplage de modalités. Grâce à ces

⁴<http://www.larousse.fr/dictionnaires>

⁵L'affordance (du verbe anglais "to afford") est la capacité d'un objet à suggérer sa propre utilisation

indicateurs, il est possible d'ajouter des ombres et des textures sur le modèle virtuel, mais aussi d'apporter une assistance de niveau informatif en affichant des messages textuels, ou encore en émettant un signal audio par exemple. Par ailleurs, le retour de force peut être utilisé pour aider les utilisateurs à manipuler des entités, pour simuler des collisions entre objets, pour éviter des obstacles de l'environnement, etc.. Toutefois, l'utilisation des GVs doit prendre en compte les contraintes qui régissent le domaine d'application, qu'elles soient imposées par l'environnement ou par l'utilisateur.

Le formalisme que nous allons présenter correspond à une extension du formalisme des GVs qui a été proposé dans le cadre de mes travaux de thèse de doctorat (Otmame, 2000). Cette extension est réalisée dans le cadre de la thèse de Mouna Essabbah (Essabbah, 2010). Il intègre les trois dernières propriétés (le type de contrainte, la tâche d'interaction 3D et les modalités sensorielles). Nous présentons ci-dessous l'ensemble des propriétés associées au concept de guide virtuel :

- **Un attachement** : Chaque guide virtuel peut être attaché à un objet virtuel ou à un endroit de l'environnement virtuel. Il peut être attaché d'une manière statique (il est alors figé à un endroit ou attaché à un objet particulier) ou dynamique (il apparaît suite à un événement, par exemple lorsque l'avatar rentre dans la zone de manipulation précise d'un objet virtuel). Chaque guide virtuel est caractérisé par une position et une orientation dans le monde virtuel.
- **Une zone d'influence** : Au guide virtuel peut être associée une zone (de forme volumique, surfacique ou autre) qui jouera le rôle d'un bassin d'attraction ou tout simplement d'une zone d'action. En général, une zone d'influence est définie par une équation analytique (statique ou paramétrée) qui délimite (partiellement ou totalement) la forme du guide.
- **Une condition d'activation** : A chaque guide est associée une condition d'activation. Elle peut se traduire par l'appartenance d'un ensemble de paramètres extérieurs à la zone d'influence ou par n'importe quelle autre condition liée à un événement.
- **Une fonction** : La fonction du guide définit sa raison d'être. Elle peut être explicitée par des actions à établir à l'intérieur du guide virtuel.
- **Une condition de désactivation** : La condition de désactivation met la fonction du guide virtuel hors effet. Elle peut être définie comme une négation de la condition d'activation ou l'atteinte d'un état final désiré.
- **Les contraintes du domaines** : Représente les paramètres relatifs aux contraintes du domaine, comme par exemple une équation géométrique délimitant un espace de manipulation. Partant du principe que chaque contrainte peut être modélisée par une équation relationnelle.
- **La tâche d'interaction 3D** : représente la tâche en cours (navigation, sélection, manipulation ou contrôle d'application). Ce champ permet d'identifier à quelle tâche d'interaction 3D ce guide est associé. Cela peut agir sur la fonction d'activation d'un guide.

- **Les modalités sensorielles** : représentent les modalités (audio, vidéo et haptique) qui interviennent pour assister l'utilisateur lors du processus d'interaction 3D.

Ce nouveau formalisme regroupe donc un ensemble de champs pouvant être optionnels selon la nature, la complexité et le contexte des tâches à réaliser. Ces propriétés peuvent être regroupées sous forme d'une structure de données (illustrée par la figure 3.14) qui contient un certain nombre de champs (qui peuvent être optionnels) définissant ainsi la structure d'un guide virtuel d'assistance aux tâches d'interaction 3D.

Structure d'un Guide virtuel :

- **Nom_guide** : Permet l'identification d'un GV.
- **Type_guide** : Définit le type du GV (simple, composé, passif, actif). Si le guide est "composé" alors il contient des liens vers le guide précédent et le suivant. Dans le cas où le guide est "actif", alors il nous informe s'il est "répulsif" ou "attractif".
- **Référentiel** : Contient des informations concernant la position et l'orientation du guide dans son environnement virtuel.
- **Attachement** : Précise si le guide est "statique" ou "dynamique". Dans le premier cas, il contient le nom de l'objet virtuel ou du point de passage auquel il est attaché. Dans le deuxième cas il contient la valeur "NULL" pour dire que le guide est libre.
- **Zone d'influence** : Contient le nom mathématique de l'équation ayant servi à la création de ce guide ainsi que les paramètres correspondants.
- **Type de contraintes** : Contient les paramètres de l'équation représentant les contraintes du domaine d'application.
- **Tâche de l'I3D** : Contient le nom de la tâche d'interaction 3D en cours (navigation, sélection, manipulation ou contrôle d'application).
- **Modalité** : Contient le nom de la modalité sensorielle utilisée (audio, vidéo, haptique) ou encore le couplage de modalités (audio-vidéo, vidéo-haptique, etc.).

Le cycle de fonctionnement d'un GV est donné dans la figure 3.15. D'une manière générale, l'activation d'un GV se fait par un test d'appartenance d'un point (appartenant à l'avatar de l'utilisateur) au GV. Il s'agit d'une "**Pré-condition**" (ou encore une condition d'activation). Dans ce cas, le nom et les paramètres de l'équation du guide sont récupérés depuis la structure de données définissant les propriétés de ce guide, et sont ensuite utilisés pour définir cette pré-condition. Il est aussi possible d'activer un guide par un autre événement comme par exemple la détection de collisions ou encore définir une distance d'approche entre l'avatar et un objet de l'environnement virtuel.

Une fois le guide activé, il reste à déterminer les actions ou les opérations à réaliser en présence de ce guide virtuel : c'est ce que nous appelons la "**Fonction**" du guide. Généralement cette fonction est issue d'une combinaison des actions que réalise l'opérateur et des fonctions définissant le type du guide. Si le guide est "passif" alors il est appelé "**guide d'assistance libre**"; s'il est "actif" (répulsif ou attractif) alors il est appelé "**guide d'assistance partagée ou semi-autonome**". La fonction du guide peut aussi se limiter à l'exécution d'une fonction définie par le guide permettant l'exécution automatique d'une tâche donnée. Dans ce cas, ce guide devient "**autonome**" et est appelé "**guide d'assistance autonome**". La fonction du guide n'a plus d'effet sur le monde virtuel et sur l'opérateur lorsque l'application a atteint un état final désiré (dans le cas

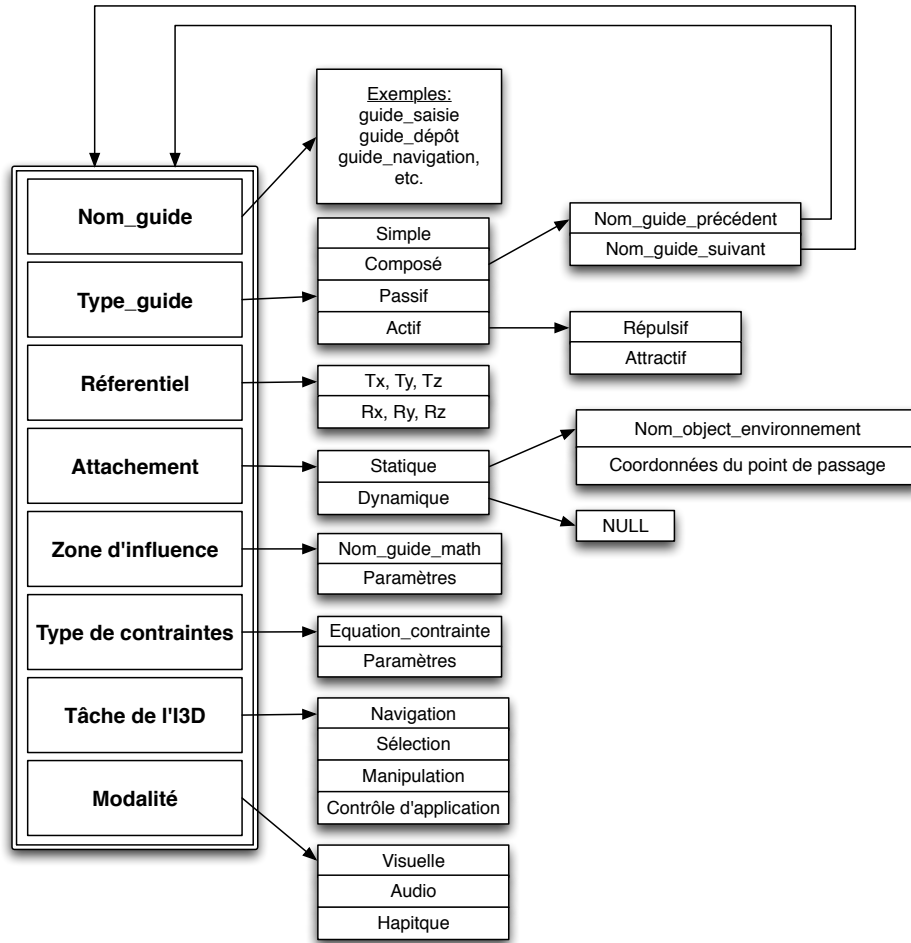


FIG. 3.14 – Schéma général des propriétés d'un guide virtuel pour l'assistance à l'interaction 3D sous contraintes

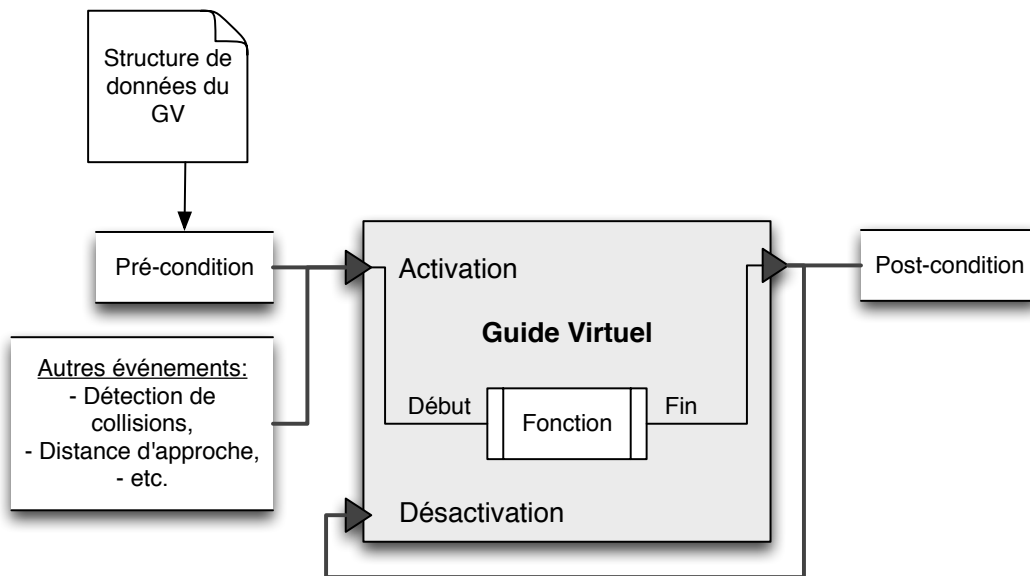


FIG. 3.15 – Cycle de fonctionnement d'un GV

d'un guide d'assistance à l'opérateur et d'un guide d'assistance partagée), ou encore la fin

de l'exécution automatique d'une tâche (dans le cas d'un guide d'assistance autonome). Il s'agit de désactiver la fonction du guide, ce qui définit la "Post-condition".

3.3 Interaction homme-robot avec précision et sécurité en réalité mixte (projet ARITI)

Cette étude est réalisée dans la cadre de la thèse de Nassima Ouramdane (Ouramdane, 2008). Il s'agit d'apporter de l'assistance pour réaliser des tâches de sélection et de manipulation d'objets d'une manière précise et sécurisée. Une technique (baptisée "Follow-Me") (Ouramdane et al., 2006c) et (Ouramdane et al., 2006b) est proposée. Le modèle d'assistance associé à cette technique permet une réduction du temps de réaction perceptible par l'utilisateur et améliore donc son sentiment de présence. Ce modèle a été ensuite appliqué au projet ARITI-RM (téléopération en réalité mixte) pour la sélection et la manipulation d'objets par un robot (Ouramdane et al., 2006a). Un autre résultat intéressant obtenu également a démontré que la forme des guides virtuels (comme outils d'assistance à l'interaction 3D) ainsi que son type d'activation (avec ou sans retour d'effort) influencent les performances des tâches de sélection et de manipulation (Ullah et al., 2009a). En effet, une interaction 3D via une interface haptique (de type SPIDAR-GH)⁶ et utilisant un guide haptique sphérique donne une meilleure performance.

Dans la suite de cette section, nous présentons brièvement le principe de la technique Follow-Me, le résultat de son modèle ainsi que son application au projet ARITI.

3.3.1 Principe de la technique Follow-Me

Le modèle de la technique Follow-Me est inspiré de l'interaction de l'être humain avec son environnement réel (figure 3.16). Par exemple, lorsqu'on veut prendre un objet pour le manipuler, le mouvement de notre main n'est pas le même à chaque étape du processus d'interaction. En effet, le mouvement de la main est rapide, libre et moins précis lorsqu'on est loin de l'objet cible. Il devient moins rapide et plus précis lorsqu'on se rapproche de la cible et, enfin, il devient très précis et stratégique pour qu'on puisse prendre l'objet correctement. Ces trois étapes représentent les différentes étapes du processus d'interaction réelle.

Ce modèle d'assistance est chargé principalement de surveiller le comportement de l'utilisateur et de prédire ses intentions et ses intérêts à chaque étape du processus d'interaction.

L'utilisateur interagit avec les objets virtuels par le biais d'un outil virtuel représenté par une main virtuelle ou un pointeur virtuel selon la technique d'interaction classique que nous souhaitons utiliser. Chaque objet est entouré de ses trois zones de manipulation. Les deux zones de manipulation précise et intermédiaire sont contenues dans des volumes ayant une forme géométrique simple (voir la figure 3.17). La zone de manipulation libre représente le reste du monde virtuel.

⁶Space Interface Device for Artificial Reality : un dispositif à retour d'effort à taille humaine

3.3. INTERACTION HOMME-ROBOT AVEC PRÉCISION ET SÉCURITÉ EN RÉALITÉ MIXTE (PROJET ARITI)

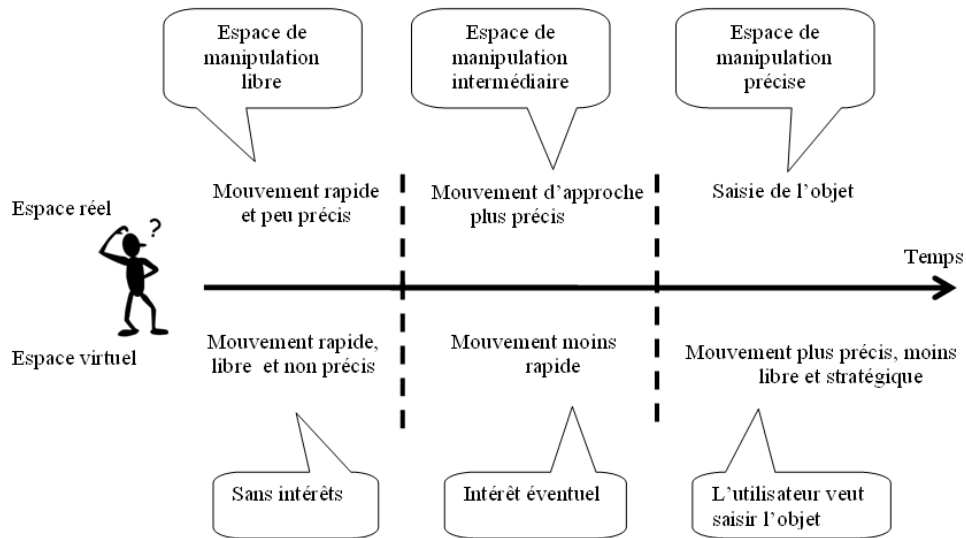


FIG. 3.16 – Décomposition du processus d'interaction selon les trois espaces de manipulation.

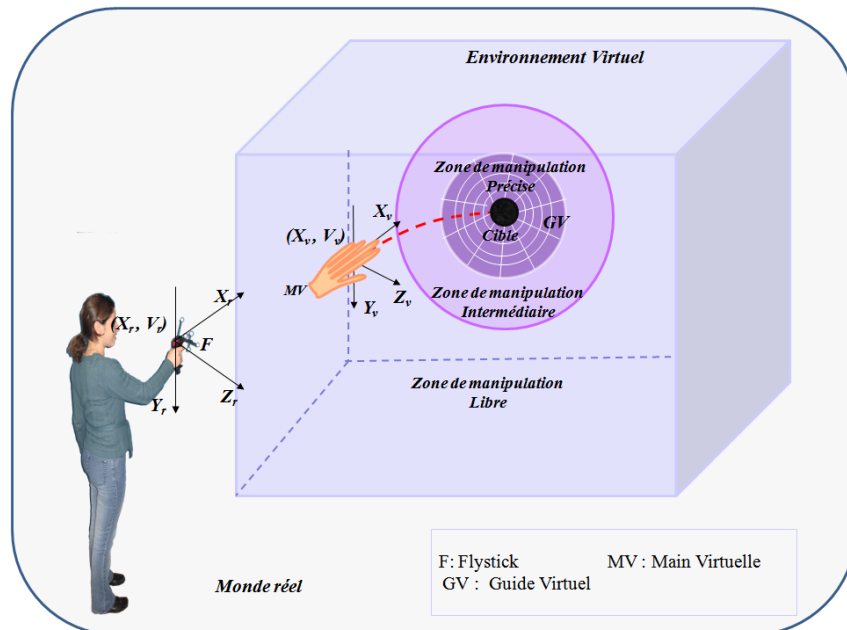


FIG. 3.17 – Interaction de l'utilisateur avec l'environnement virtuel avec la technique Follow-Me (extrait de (Ouramdane, 2008)).

3.3.2 Formalisme associé à la technique Follow-Me

Nous associons à l'avatar de l'utilisateur un ensemble d'états selon sa position par rapport aux trois zones de manipulation d'un objet cible : l'état manipulation libre (Etat_Manip_Libre), l'état manipulation intermédiaire (Etat_Manip_Intermédiaire) et l'état manipulation précise (Etat_Manip_Précise).

Pour chaque état de l'outil virtuel, la position ($\vec{p}_v(t)$) et l'orientation ($\vec{\theta}_v(t)$) de l'outil virtuel (avatar de l'utilisateur) sont calculées à chaque instant t par un même ensemble d'équations. Cependant, quand l'outil virtuel quitte une zone de l'environnement virtuel pour entrer dans une autre zone, l'ensemble d'équations qui calcule la position et l'orientation de l'outil virtuel change.

Le tableau 3.2 présente les paramètres intervenant dans le modèle de la technique Follow-Me (Ouramdane et al., 2006c).

Variables	Définition
$\vec{P}_r(t)$	Position réelle de l'utilisateur à l'instant t
$\vec{\theta}_r(t)$	Orientation réelle de l'utilisateur à l'instant t
$\vec{P}_v(t)$	Position virtuelle de l'avatar de l'utilisateur à l'instant t
$\vec{\theta}_v(t)$	Orientation virtuelle de l'avatar de l'utilisateur à l'instant t
$\vec{P}'_r(t)$	Vitesse linéaire réelle de l'utilisateur à l'instant t
$\vec{\theta}'_r(t)$	Vitesse angulaire réelle de l'utilisateur à l'instant t
$\vec{P}'_v(t)$	Vitesse linéaire virtuelle de l'avatar de l'utilisateur à l'instant t
$\vec{\theta}'_v(t)$	Vitesse angulaire virtuelle de l'avatar de l'utilisateur à l'instant t
\vec{C}_*	Position de l'objet cible
$\vec{\theta}_*$	Orientation de l'objet cible

TAB. 3.2 – Les différentes variables utilisées dans le formalisme de la technique Follow-Me

Dans ce qui suit, nous résumons les différentes équations qui permettent de calculer les valeurs de la position et de l'orientation de l'outil virtuel au niveau des trois zones de manipulation.

Etat_Manip_Libre : Lorsque l'outil virtuel n'est pas positionné dans les zones de manipulation intermédiaire et précise d'aucun objet du monde virtuel, cela signifie que l'utilisateur ne porte pas d'intérêt particulier à l'égard de ces objets. Dans ce cas, l'utilisateur n'a pas besoin de l'assistance du système pour pouvoir évoluer dans l'environnement virtuel. Nous avons choisi d'appliquer les équations associées à la technique d'interaction Go-Go (Poupyrev et al., 1996) ou la technique Ray-casting (Bolt, 1980) pour calculer la position $\vec{p}_v(t)$ de l'outil virtuel.

Etat_Manip_Intermédiaire : pour la zone de manipulation intermédiaire, nous considérons un gain k_s qui a une valeur réelle positive, entre la vitesse de déplacement

dans le monde réel et l'environnement virtuel. Si nous voulons que le mouvement de l'outil virtuel soit plus précis au niveau de cette zone, alors la valeur du gain k_s doit être inférieur à 1. Dans ce qui suit, nous montrons l'ensemble des équations qui nous permettent de calculer la position ($\vec{p}_v(t)$) et l'orientation ($\vec{\theta}_v(t)$) de l'outil virtuel dans la zone de manipulation intermédiaire :

$$\begin{aligned}\vec{p}_v(t) &= k_s \vec{p}_r(t) + \vec{p}_v(t_0) - k_s \vec{P}_r(t_0) \\ \vec{\theta}_v(t) &= \vec{\theta}_r(t) + \vec{\theta}_v(t_0) - \vec{\theta}_r(t_0)\end{aligned}\tag{3.1}$$

Etat_Manip_Precise : Lorsque l'outil virtuel est dans la zone de manipulation précise d'un objet, l'utilisateur est assisté par un guide à la commande qui l'aide à atteindre le centre C_* de l'objet cible T_* avec une haute précision. Le centre de la cible C_* est supposé connu.

$$\begin{aligned}\vec{p}_v(t) &= (\vec{p}_v(t_0) - \vec{C}_*)e^{(-K_M(t-t_0))} + \vec{C}_* \\ \vec{\theta}_v(t) &= (\vec{\theta}_v(t_0) - \vec{\theta}_*)e^{(-K_\theta(t-t_0))} + \vec{\theta}_*\end{aligned}\tag{3.2}$$

Les valeurs de K_M et de K_θ traduisent l'état des mouvements de l'utilisateur dans l'environnement virtuel (arrêter, avancer et reculer). par exemple si $K_M = 0$ signifie que l'outil virtuel ne bouge pas. Si $k_M > 0$ signifie que l'outil virtuel converge vers la cible. Si $k_M < 0$ cela signifie que l'outil virtuel recule vers la zone de manipulation intermédiaire.

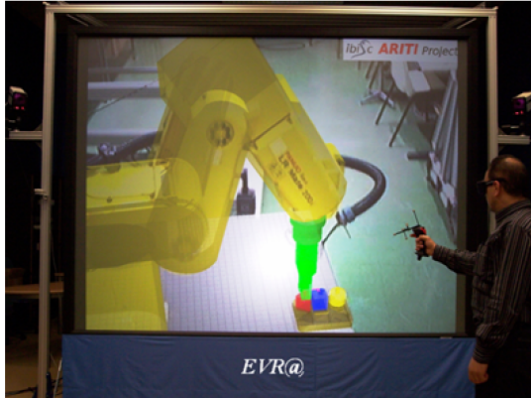
3.3.3 Application à la sélection et à la manipulation d'objet par un robot

Le projet ARITI comporte une démonstration avec un robot accessible soit à partir du WEB, soit à partir de la plateforme EVR@ (figure 3.18.(a)). Il s'agit de téléopérer ce robot pour saisir un à un trois objets géométriques de forme et de couleur différentes disposés sur un socle et de les déposer dans les emplacements qui leur sont associés. Cette manipulation, en apparence très simple, se révèle très compliquée sans assistance proposée à l'utilisateur, car les précisions au moment de la sélection et de la dépose de chacun des objets sont de l'ordre de 3 millimètres.

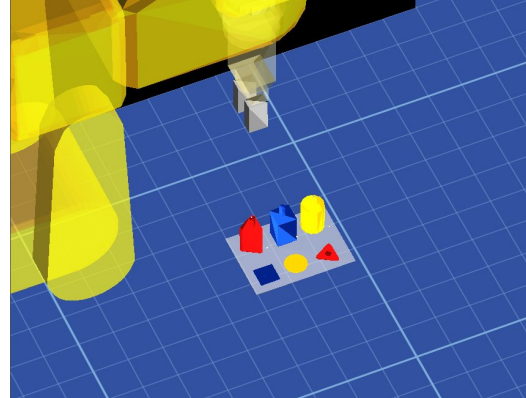
L'implantation de la technique *Follow-Me* dans notre expérience spécifie des zones intermédiaires (figure 3.19).(a)) et précises (figures 3.19.(b)) pour chacun des trois objets ainsi que pour chacune des trois zones de dépose.

Dans la littérature d'interaction 3D, les critères utilisés pour mesurer la performance sont généralement les temps de sélection et de manipulation d'objets virtuels. Dans le cadre de la téléopération, nous y rajoutons la *précision* et la *sûreté* de sélection et de manipulation d'objets. Nous proposons une représentation de la performance d'une sélection ou d'une manipulation élémentaire dans un espace 3D (voir la figure 3.20-(a)) dans lequel la performance est représentée par un point.

Dans le cas idéal, une opération élémentaire de sélection ou de manipulation est à la fois rapide, précise et sûre : la représentation de sa performance se rapproche donc du centre de cet espace. Cependant, la performance de la tâche élémentaire, notée *Per*

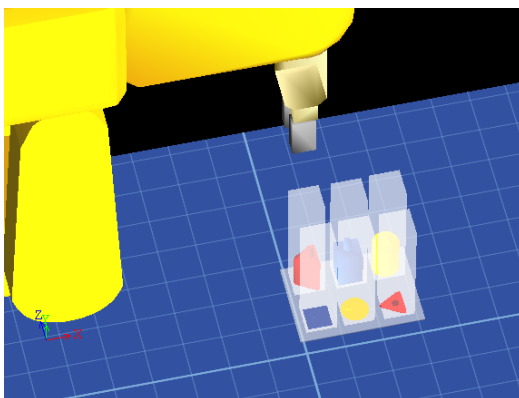


(a) interaction en réalité mixte avec le robot Fanuc LR MATE 200i.

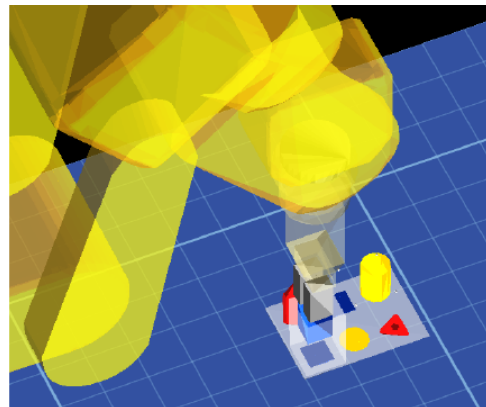


(b) l'environnement virtuel avec le robot simulé

FIG. 3.18 – Les deux environnements utilisés dans le cadre du projet ARITI.



(a) La géométrie des zones intermédiaires de l'objet bleu



(b) La géométrie des zones précise lors de la dépose de l'objet bleu

FIG. 3.19 – la géométrie des zones intermédiaires et précise pour la sélection et la manipulation avec la technique Follow-Me.

(représentée par l'équation 3.3), est donc déduite des trois mesures suivantes :

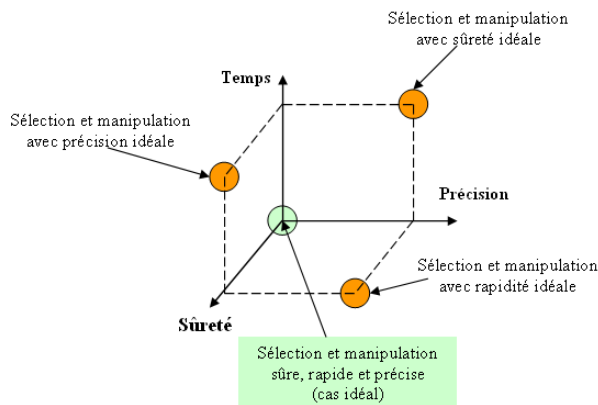
- La durée de la tâche élémentaire, notée t_e ;
- La précision de la tâche élémentaire, notée p_e ;
- La valeur absolue maximum des vitesses de collision pendant l'exécution de la tâche élémentaire, notée v_e .

$$Per = \sqrt{\left(\frac{t_e}{s_{t_e}}\right)^2 + \left(\frac{p_e}{s_{p_e}}\right)^2 + \left(\frac{v_e}{s_{v_e}}\right)^2} \quad (3.3)$$

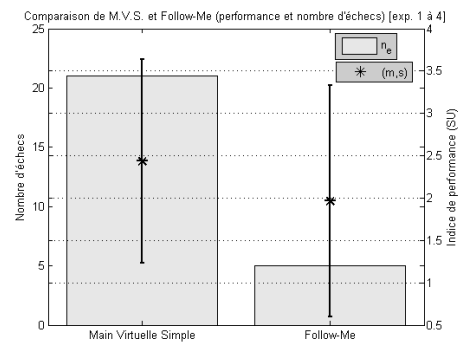
Avec s_{t_e} (resp. s_{p_e} , s_{v_e}), écart-type de l'ensemble des t_e (resp. p_e , v_e) pris sur la totalité de l'expérience.

Per est donc une variable sans dimension, qui donne une importance égale aux trois types de mesures : temps, précision et vitesse de collision.

Nous avons analysé et comparé les performances de la technique *Follow-Me* par rapport à la technique de la main virtuelle simple (M.V.S) pour la sélection et la manipulation d'objets par le robot FANUC LR Mate 200i (figure 3.18.(a)). Les résultats obtenus (Ouramdane, 2008) ont montré que la technique *Follow-Me* améliore la performance globale des tâches de sélection et de manipulation. La figure 3.20(b) présente ce résultat. En effet, le nombre d'échecs associés à des opérations élémentaires utilisant *Follow-Me* est 4 fois plus faible qu'avec la M.V.S. La performance moyenne associée à des opérations élémentaires (réussies) utilisant *Follow-Me* est très sensiblement meilleure que celle associée à M.V.S. : 1.78 contre 2.37, soit un gain de 25%. Cette différence de moyenne est très significative (ANOVA $F = 107$, $p \ll 0.01$).



(a) Représentation des critères de performance dans un espace 3D



(b) Influence de la technique d'interaction 3D sur la performance et le nombre d'échecs des sujets

FIG. 3.20 – Critère de performance (a) et comparaison de la technique *Follow-Me* avec la M.V.S. (b)

Bien que les expérimentations aient été réalisées en réalité virtuelle, elles peuvent être *a priori* étendues en réalité mixte (figure 3.18.(b)), dans le contexte du projet ARITI, car la méthode prédictive de téléopération associée au projet ARITI s'affranchit des délais de

transmission de l'information par Internet. L'unique contrainte - mais elle est de taille - est l'exactitude du modèle de l'environnement distant (robot + objets à sélectionner puis manipuler).

La technique Follow-Me a été ensuite testée et évaluée en présence d'une part, de deux formes de guides virtuels (un sous forme d'une sphère et l'autre sous forme d'un cône) et d'autre part, en fonction de deux modalités sensorielles différentes (visuelle et haptique) (Ullah et al., 2009a). Les résultats obtenus ont démontré que la forme des guides virtuels (comme outils d'assistance à l'interaction 3D) ainsi que son type d'activation (avec ou sans retour d'effort) influencent les performances des tâches de sélection et de manipulation. En effet, une interaction 3D via une interface haptique (de type SPIDAR-GH)⁷ et utilisant un guide haptique sphérique donne une meilleure performance en temps de sélection et manipulation. Et le guide haptique sphérique est nettement apprécié par les utilisateurs.

3.4 Interaction homme-chromosome avec crédibilité en réalité virtuelle (projet In-virtuo)

Cette étude est réalisée dans le cadre de la thèse de Mouna Essabbah (Essabbah, 2010). Il s'agit d'assistance à l'interaction 3D sous contraintes. Les études réalisées dans cette thèse ont permis l'extension du formalisme des guides virtuels présenté dans la section 3.2.3.3. L'objectif étant d'étudier et d'appliquer le concept d'assistance à l'interaction 3D initialement utilisé pour l'interaction homme-système complexe artificiel (interaction homme-robot), dans des environnements simulant des systèmes complexes issus du vivant (cas du projet InVirtuo⁸) pour les applications en biologie moléculaire (Essabbah et al., 2009b) et (Essabbah, 2010)).

Cette étude a permis de soulever l'importance de l'assistance à l'interaction 3D pour maintenir la cohérence entre les modifications provoquées par des interactions et les contraintes issues des lois de la biologie qui imposent l'ordonnement spatial du chromosome. C'est ce mode d'interaction que nous qualifions d'**interaction crédible**. Il s'agit dans ce cas d'étude, de prendre en compte des contraintes architecturales (données physico-chimiques) et fonctionnelles (modèles biologiques).

Une approche hybride de modélisation 3D en biologie moléculaire a été proposée (Essabbah et al., 2009a). Elle associe les avantages des expérimentations *in silico* (capacités de calculs) à ceux de la réalité virtuelle. Cette approche permet donc d'apporter les connaissances des experts, de manière interactive, pendant le processus de modélisation automatique pour pallier certains défauts des méthodes calculatoires usuelles. Il s'agit finalement de placer le biologiste au centre des expérimentations virtuelles plutôt qu'en simple observateur de résultats de simulations automatiques.

⁷Space Interface Device for Artificial Reality : un dispositif à retour d'effort à taille humaine

⁸Modélisation & Interaction in Virtuo : application à la Biologie Moléculaire. Il s'agit d'une action incitative financée en partie par le laboratoire IBISC depuis 2010. Les travaux dans ce domaine ont commencé en 2007 en collaboration avec l'équipe épigénomique du Genopole

☛ **Remarque :**

Cette étude est réalisée en collaboration avec l'équipe épigénomique du "Genopole" (impliquant un biologiste).

Dans la suite nous résumons le contexte de l'application ainsi que l'utilisation du concept d'assistance à l'interaction 3D pour interagir en réalité virtuelle avec un modèle 3D du chromosome.

3.4.1 Contexte : la fibre de chromatine

La chromatine est le complexe d'ADN et de protéines qui constitue les chromosomes. Elle est localisée dans le noyau chez les eucaryotes. Les principales protéines impliquées dans la chromatine sont les histones, autour desquels l'ADN s'enroule formant ainsi une structure en collier de perles. Celui-ci est à son tour compacté sous forme de fibre de 30nm de diamètre, constituant de base de la chromatine. La chromatine a pour fonction d'assembler l'ADN dans un volume plus petit afin de tenir dans le noyau d'une cellule.

Nous nous sommes intéressés au niveau de compaction correspondant à la fibre de chromatine 3.21.(c). L'organisme étudié est la levure bourgeonnante (*Saccharomyces cerevisiae*), ou plus connue sous le nom de levure à bière (figure 3.21 (a)). Elle est très utilisée comme organisme modèle en biologie cellulaire et en génétique. En 1996, ce fut le premier eucaryote dont le génome a été séquencé. Son génome de 16 chromosomes (voir figure 3.21 (b)) est composé de 13 millions de paires de bases et de 6 275 gènes. On estime que cette levure partage 23 % de son génome avec l'Homme.

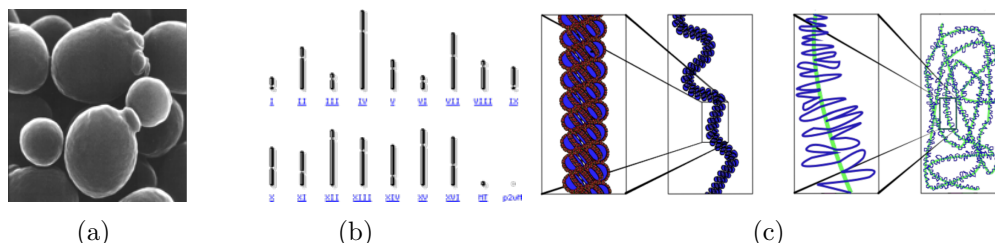


FIG. 3.21 – (a) Cellules de *Sacharomyces cerevisiae*, (b) une vue du génome de la levure et (c) les niveaux de compaction de la fibre de chromatine (extrait de (Essabbah, 2010))

Les données physico-chimiques qui ont été identifiées représentent des contraintes architecturales pour le modèle 3D (Essabbah et al., 2008). Ces contraintes existent à tous les niveaux de compaction de l'ADN (la double hélice, la chromatine, etc.). Par souci de clarté, nous les présenterons de façon générique, indépendamment de leur degré de modélisation.

Il s'agit de la **longueur de persistance**, du **diamètre** ainsi que du **volume délimité** et de l'**énergie de courbure** (figure 3.22).

Ces contraintes architecturales que nous avons citées permettent de construire le modèle 3D du chromosome avec lequel un utilisateur peut interagir. Le diamètre et la longueur de persistance du chromosome permettent d'identifier l'élément de base du modèle 3D (ie. le cylindre qui va être présenté dans la suite). Les phénomènes de l'énergie de

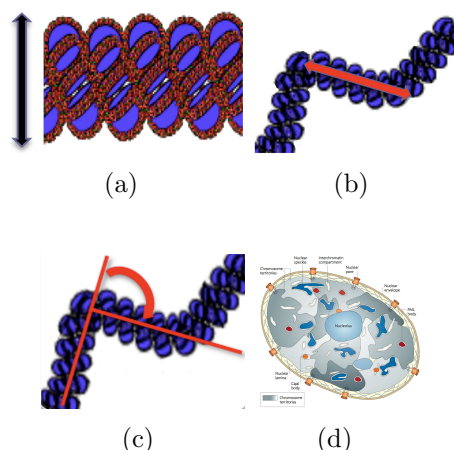


FIG. 3.22 – La chromatine (en bleu) est régie par des contraintes bio-physiques : (a) Le diamètre (b) la longueur de persistance (c) l'énergie de courbure et (d) le volume délimité ((Lanctôt et al., 2007))

courbure, de l'auto-évitement et du volume confiné imposeront une organisation spatiale de l'ensemble des éléments formant le modèle 3D (ie. l'ensemble des cylindres) en permettant d'établir la relation entre eux. La figure 3.23 illustre l'application de ces contraintes sur la modélisation 3D du chromosome.

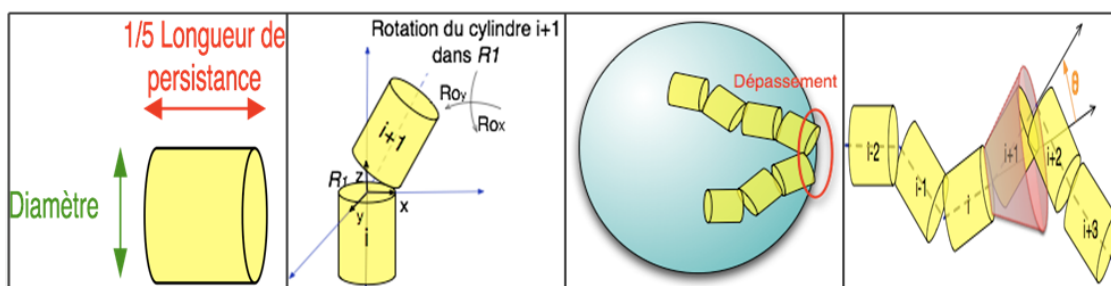


FIG. 3.23 – le modèle 3D simplifié du chromosome avec ses contraintes

3.4.2 Une approche hybride et multimodale pour l'interaction

L'approche proposée pour l'analyse *in virtuo* est une approche de modélisation 3D hybride, entre une approche automatique et interactive. Elle vise à combiner les atouts de la Réalité Virtuelle (comme l'interaction 3D sous contraintes ou encore la multimodalité), les capacités de calcul des algorithmes et les connaissances des experts (Essabbah et al., 2009a). Ce concept a été appliqué au problème du docking de protéines (Férey et al., 2009)(Heyd and Birmanms, 2009). La recherche automatique du bon assemblage d'une paire de protéines est coûteuse en temps de calcul. Parallèlement, l'expert a certaines connaissances qui ne peuvent pas être intégrées dans les paramètres des algorithmes (par exemple les connaissances géométriques sur des complexes connus). La solution proposée consiste pour l'expert à manipuler manuellement les protéines, lancer des calculs de scores de complémentarité énergétique et géométriques, recevoir des informations multimodales et en temps réel sur ces scores, et effectuer finalement un pré-positionnement des protéines

afin de limiter l'espace de recherche des algorithmes.

Dans notre cas, la modélisation 3D automatique (détaillée dans (Essabbah, 2010)) génère différentes conformations spatiales pour une même molécule et, bien que celles-ci aient toutes une réalité physico-chimique, certaines de ces conformations pourraient ne pas satisfaire les modèles biologiques.

☛ **Remarque :**

Le choix de la "meilleure" conformation (ie. la plus crédible) ne peut pas se faire de manière entièrement automatique. De plus, certaines données biologiques, connues par les experts, sont difficilement intégrables dans le processus de modélisation 3D. D'autre part, le modèle 3D généré peut être partiellement acceptable. Ainsi, grâce à l'approche hybride, l'expert (ou plus généralement l'utilisateur) peut intervenir sur les parties non acceptables du modèle. Par exemple, il peut agir sur le modèle (généré par les algorithmes de calculs) dans le but de rapprocher dans l'espace (manuellement) deux gènes éloignés dans la séquence (figure 3.24). Cela permet de réduire le temps de calcul et les risques d'obtenir des modèles 3D peu probables.

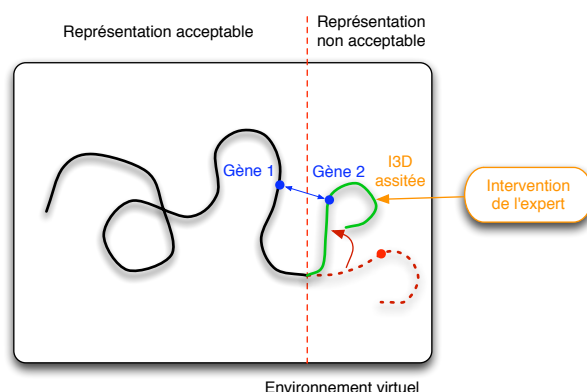


FIG. 3.24 – Principe d'intervention de l'expert sur une fenêtre de représentation non acceptable. L'expert peut choisir de rapprocher spatialement deux gènes éloignés dans la séquence.

3.4.3 Application à la sélection et à la manipulation d'un segment du chromosome

Afin de permettre à l'utilisateur (ou l'expert) d'interagir avec le modèle 3D du chromosome tout en respectant les contraintes qui lui sont associées (ie. contraintes physico-chimiques), le concept d'assistance présenté dans la section 3.2 (intégrant la multimodalité et les guides virtuels) est utilisé. En effet, l'utilisateur doit s'affranchir du dispositif matériel et des techniques d'interaction 3D dont il n'a pas nécessairement l'habitude. Il faut permettre à cet utilisateur de manipuler le modèle tout en étant rassuré sur la crédibilité de ses interactions vis-à-vis du modèle. De ce fait, il est important de diminuer la charge de l'utilisateur afin qu'il puisse s'occuper de l'essentiel, c'est-à-dire de **la recherche d'une conformation spatiale acceptable pour le chromosome**. Il peut

toutefois choisir d'explorer le rendu du modèle 3D, ou encore de le manipuler afin d'y apporter des modifications.

La navigation n'est pas la tâche la plus fréquemment utilisée dans cette application, bien qu'elle soit possible pour une exploration visuelle. De plus, la navigation et le contrôle d'application ne sont soumis dans ce cas à aucune des contraintes. Nous nous intéressons essentiellement aux tâches de sélection et de manipulation.

Chacune des modalités (visuelle, auditive et haptique) présentées dans la section 3.2.2 peut apporter une assistance à l'utilisateur de la manière suivante :

☛ **Assistance multimodale :**

- **La modalité visuelle :** permet de rendre compte de la géométrie du modèle dans l'espace. Un code couleur permet de distinguer l'état des objets 3D, qu'il s'agisse du modèle ou des outils d'assistance. Un affichage textuel permet d'identifier la tâche en cours, l'objet sélectionné ou manipulé, et le type de dépassement de contrainte.
- **La modalité auditive :** est essentiellement utilisée afin d'informer d'un dépassement de contrainte.
- **La modalité haptique :** peut signaler les collisions entre objets (modèle-modèle ou modèle-guides). Une force d'attraction peut également être utilisée afin de guider l'utilisateur vers une bonne conformation spatiale.

Il est intéressant de combiner les retours des différents canaux sensori-moteurs pour assister l'utilisateur lors des tâches de sélection et de manipulation. Cela permet à l'utilisateur d'être continuellement informé du bon déroulement de la tâche en cours et de ne pas dépasser les limites imposées. Cependant, la charge mentale de travail peut devenir excessive dans le cas où un seul canal (par exemple visuel) est sollicité en permanence : l'utilisateur risque alors la surcharge cognitive. Cela compromet sa capacité à distinguer quelle information correspond à quelle tâche. Par conséquent, la multimodalité est un très bon moyen de renseigner l'utilisateur sur la réaction du système sans alourdir sa charge cognitive.

L'assistance à la sélection permet d'aider l'utilisateur à désigner des objets cylindres moyennant un code couleur (bleu lorsque l'objet est désigné, vert lorsque la sélection est confirmée) et un affichage textuel. Deux techniques de sélection sont utilisées : la technique du *Ray Casting* pour une sélection à distance et la technique de la main virtuelle simple pour une sélection plus précise. Indépendamment de la technique de sélection utilisée, au passage de l'avatar (l'outil virtuel) par un des cylindres, ce dernier change de couleur (en bleu) et un message textuel s'affiche à l'écran indiquant l'identifiant de ce cylindre (ie. sa position dans la chaîne des cylindres qui forment le chromosome). Si l'utilisateur s'aperçoit qu'il ne s'agit pas du segment qu'il souhaitait sélectionner, il lui suffit de désigner un autre cylindre et ainsi de suite. Une fois que le bon cylindre est désigné, l'utilisateur peut valider la sélection. Dans ce cas, le cylindre sélectionné change encore de couleur (en vert) et un guide virtuel (sous forme de cône) est attaché (figure 3.25) pour préparer la phase de manipulation .

Pendant la tâche de manipulation, le système d'assistance doit veiller au respect des trois contraintes principales : une contrainte angulaire (imposée par l'énergie de courbure

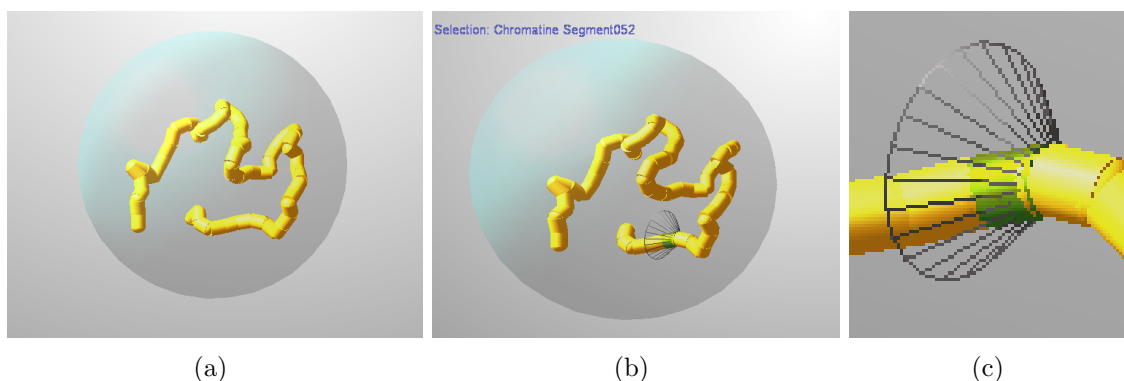


FIG. 3.25 – (a) Le chromosome tel qu’il est représenté dans l’application. (b) Lors de la sélection, l’identifiant du cylindre s’affiche, (c) il change de couleur et un cône s’y attache.

du modèle), une contrainte volumique (qui représente le territoire du chromosome) et enfin la contrainte d’auto-évitement (engendrée par la longueur et le diamètre des objets cylindres). Pour que la contrainte volumique soit respectée, il faut qu’à tout moment de la manipulation, le volume du modèle 3D du chromosome (ou le diamètre de sa boîte englobante) soit toujours inférieur au volume du guide (ou son diamètre). La figure 3.26 montre l’intervention des GVs pour le respect des contraintes (énergie de courbure et volume de confinement du chromosome) lors de la tâche de manipulation.

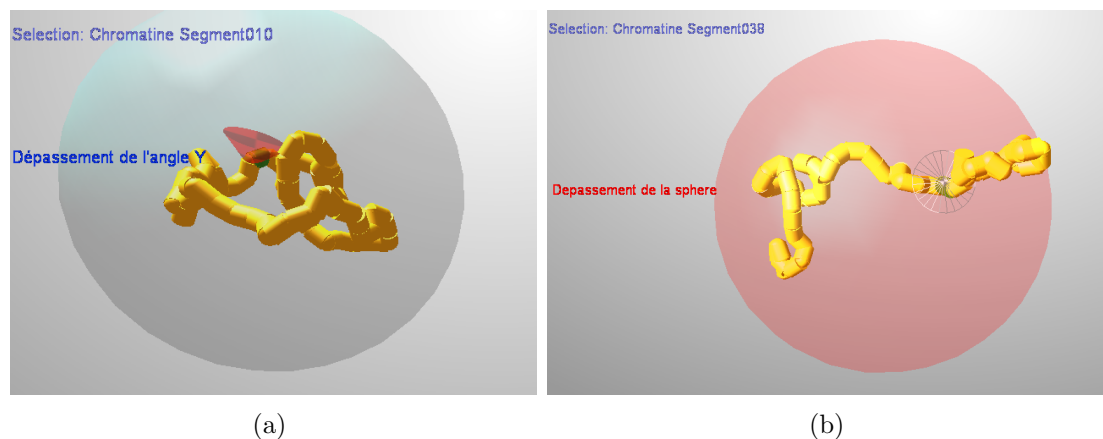


FIG. 3.26 – L’intervention des GVs pour le respect des contraintes lors de la tâche de manipulation : (a) la contrainte de l’énergie de courbure du chromosome, (b) la contrainte du volume de confinement du chromosome.

Les expérimentations réalisées autour de la plateforme de réalité virtuelle EVR@ ont montré que la présence du système d’assistance réduit considérablement le nombre d’échecs et le nombre de dépassements de contraintes lors de la manipulation du modèle 3D. L’expérience a consisté à modifier le modèle 3D pour l’amener à une conformation désirée (comme le ferait l’expert). Pour cela, il doit rapprocher (en manipulant) dans l’espace trois objets cylindres dans trois zones prédéfinies. Les couples cylindre-zone sont fixes. Un essai est terminé lorsque :

- 1) le sujet valide les trois zones données ou

- 2) le sujet a dépassé un temps d'exécution limite (*time out*) ce qui est donc considéré comme un échec.

En effet, la moyenne du nombre de dépassements de contraintes est de 32.61 pour les essais avec assistance et de 76.9 pour les essais sans assistance (voir figure 3.27 (b)). Cet écart est très significatif pour la contrainte volumique (dépassements de la sphère (ANOVA $F = 12.71, p = 0.0005 \ll 0.01$)) mais aussi pour les contraintes angulaires (dépassements de l'angle sur l'axe X (ANOVA $F = 12.94, p = 0.0004 \ll 0.01$) et Y (ANOVA $F = 11.65, p = 0.0008 \ll 0.01$)). La même observation peut être faite pour le nombre d'échecs (voir figure 3.27 (a)).

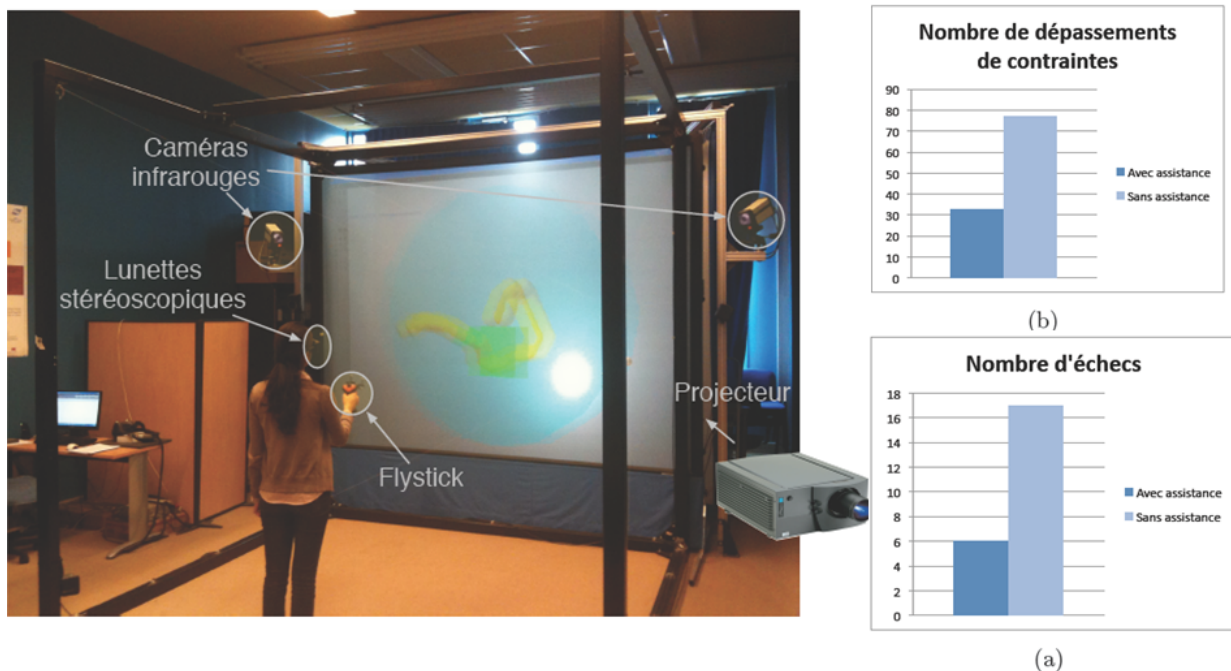


FIG. 3.27 – Comparaison des performances (avec et sans assistance) des tâches de manipulation du modèle 3D du chromosome. A gauche le site expérimental (plateforme EVR@). A droite, (a) le nombre d'échecs et (b) le nombre de dépassements de contraintes.

3.5 Bilan

Dans ce chapitre, nous avons développé le thème de recherche ”**Interaction 3D**”. Après quelques définitions et une synthèse de l'état de l'art sur l'interaction 3D, nous avons réalisé une analyse sur leurs utilisations dans des environnements complexes (exigeants en performance et en crédibilité). Nous avons par la suite développé le concept d'assistance à l'interaction 3D qui est fondé sur l'intégration des modalités sensorielles (audio, vidéo et haptique) et des guides virtuels comme outils d'assistance à l'interaction 3D. Nous nous sommes appuyés par la suite sur deux exemples d'étude afin d'illustrer l'intérêt de l'assistance à l'interaction 3D. Le premier exemple est une application au projet ARITI (interaction homme-robot avec précision et sécurité), le second est une application au projet In-Virtuo (interaction homme-chromosome avec crédibilité).

Dans le premier exemple, l'étude est centrée d'une part, sur l'utilisateur et ses intérêts dans l'espace de travail et, d'autre part, sur la prise en compte des performances (temps,

sécurité, précision) des tâches d'interaction 3D. Cette étude a permis de trouver un moyen pour anticiper la tâche que va faire l'utilisateur. Cette anticipation est fondamentale pour réduire la latence entre les actions de l'utilisateur vers le système et les réactions retournées par le système vers l'utilisateur. En effet, la latence est une contrainte majeure dans la boucle de perception-cognition-action. L'existence de cette latence dans cette boucle influe sur la qualité des applications de réalité virtuelle (Fuchs et al., 2003). Les guides virtuels sont utilisés afin d'améliorer les performances des tâches de sélection et de manipulation.

Dans le deuxième exemple, l'étude s'est focalisée sur les conséquences des actions (manipulations) de l'utilisateur vis-à-vis de la crédibilité du modèle 3D modifié. L'application au domaine de la biologie moléculaire a permis d'illustrer l'importance d'intégrer les contraintes qui ont servi à la modélisation dans le processus d'interaction 3D. En effet, ceci va permettre à l'utilisateur (ou l'expert) d'interagir avec le modèle 3D du chromosome tout en respectant les contraintes (physico-chimiques). L'assistance à l'interaction est assurée également via la multimodalité et les guides virtuels. Il est important de diminuer la charge de l'utilisateur afin qu'il puisse s'occuper de l'essentiel, c'est-à-dire de *la recherche d'une conformation spatiale acceptable pour le chromosome*.

Un des objectifs du système d'assistance à l'interaction 3D est de faciliter l'utilisation des interfaces matérielles et des techniques logicielles d'interaction 3D classiques dans des environnements exigeants en termes de performance et de crédibilité. En effet, l'utilisateur doit s'affranchir du dispositif matériel et des techniques d'interaction 3D dont il n'a pas nécessairement l'habitude. Il faut également permettre à cet utilisateur d'interagir tout en étant rassuré sur la performance et sur la crédibilité de ses interactions.

Le concept d'assistance à l'interaction 3D présenté dans ce chapitre semble être un bon compromis entre le développement de nouvelles techniques d'interaction 3D et leurs utilisations dans des environnements où les tâches à réaliser sont complexes.

Nos travaux en relation avec le thème de ce chapitre ont donné lieu aux publications suivantes :

1. S. Ullah, N. Ouramdane, S. Otmane, P. Richard, F. Davesne and M. Mallem, *Augmenting 3D Interactions with haptic guide in a Large Scale Virtual Environment* - in International Journal of Virtual Reality (IJVR), 8(2) :25-31, 2009.
2. N. Ouramdane, S. Otmane and M. Mallem *Les Techniques d'interaction 3D en Réalité Virtuelle : Etats de l'art*, dans la revue TSI (Techniques et Sciences Informatique), Volume 28, Numéro 8, pages 1017-1049, DOI : 10.3166/TSI.28.1017-1049, Lavoisier, 2009.
3. M. Essabbah, S. Otmane and M. Mallem, *3D Molecular Interactive Modeling*, "Human-Computer Systems Interaction, Advances in Soft Computing", pp 493-504, Volume 60, in Springer-Verlag, 2009.
4. M. Essabbah, S. Otmane, J. Hérisson and M. Mallem, *A New Approach to Design an Interactive System for Molecular Analysis*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS 5613), Human-Computer Interaction, (HCII 2009), pages 713-722, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

5. P. Boudoin, C. Domingues, S. Otmane, N. Ouramdane and M. Malle, *Towards Multimodal Human-Robot Interaction in Large Scale Virtual Environment*, in the 3rd ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction (HRI), pages 359-356, 2008.
6. N. Ouramdane, F. Davesne, S. Otmane and M. Malle, *A3D interaction technique to enhance telemanipulation tasks using virtual environment*, in IEEE/RJS International Conference on Intelligent RObots and Systems (IROS 2006) , pages 5201-5207, Pékin (Chine), 9-15 octobre, 2006.
7. N. Ouramdane, S. Otmane, F. Davesne and M. Malle, *FOLLOW-ME : a new 3D interaction technique based on virtual guides and granularity of interaction*, in ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications (ACM VRCIA 2006) pages 137-144, Hong Kong (Chine), 14-17 Juin, 2006.

Chapitre 4

Modèles et architectures logicielles pour l'assistance au télétravail collaboratif

Ce chapitre développe le thème "**Collaboration**" du point de vue de la communauté IHM (collecticiel). Nous présentons dans un premier temps quelques concepts de base tels que le trèfle fonctionnel des collecticiels, les systèmes multi-agents et les services web. Nous présentons un bref état de l'art des modèles d'architectures logicielles des collecticiels ainsi que les systèmes de téléopération basés sur internet. Nous effectuons une analyse sur la conception de collecticiels pour la téléopération collaborative de robots via internet. Dans le contexte particulier du télétravail collaboratif, nous présentons brièvement le formalisme multi-agent pour la collaboration ainsi que l'IHM du collecticiel de téléopération collaborative obtenu dans la cadre d'application au projet ARITI. Nous présentons par la suite les deux modèles d'architectures logicielles permettant d'introduire de la malléabilité dans les systèmes de collaboration et nous illustrons cette approche de malléabilité par un exemple d'application dans le cadre du projet ANR "Digital Ocean".

4.1 Quelques concepts : Collecticiel, agent, service web

4.1.1 Le trèfle fonctionnel des collecticiels

Une confusion dans le monde du TCAO prend lieu entre les différentes interprétations des termes collaboration et coopération. Quelques auteurs considèrent ces termes comme des synonymes, alors que d'autres (Dillenbourg et al., 1996) font une distinction entre les deux. Dans notre travail, nous nous sommes appuyés sur le modèle du trèfle fonctionnel des collecticiels pour approfondir nos recherches sur le terme "collaboration" et ses fonctionnalités.

Le modèle du trèfle fonctionnel des collecticiels proposé initialement par Ellis (Ellis, 1994a) et adapté ensuite par Salber (Salber, 1995) repose sur trois espaces fonctionnels : communication, coordination et production (figure 4.1) :

- **L’espace de communication** : concerne la communication interpersonnelle entre les individus. Par exemple, le courriel électronique, le chat, messagerie instantanée. Généralement, les informations échangées ne sont pas interprétées par la machine.
- **L’espace de coordination** : codifie les protocoles qui gouvernent la façon dont les tâches sont gérées par les groupes d’utilisateurs. Ces protocoles peuvent être purement sociaux, comme par exemple la règle sociale qui spécifie qu’une personne doit parler à la fois, ou peuvent être formellement spécifiés à travers un système de workflow.
- **L’espace de production** : comprend les artefacts partagés qui sont manipulés de façon coopérative pour réaliser les différentes tâches, comme par exemple les documents ou les données partagées.

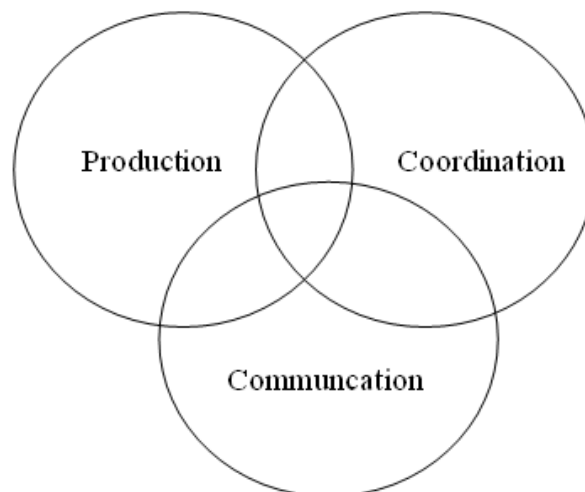


FIG. 4.1 – Le trèfle fonctionnel des collecticiels

Une extension de ce modèle a été proposée par Bertrand David (David, 2001) en remplaçant l’espace de communication par l’espace de conversation afin de distinguer les échanges interindividuelles des communications au sens informatique du terme (figure 4.2).

La taxonomie de base utilisée généralement pour les collecticiels est celle proposée par Ellis (Ellis et al., 1991). Elle classe les collecticiels selon une matrice à deux dimensions [Espace, Temps] représentée dans la figure 4.3. L’axe "Espace" définit si le travail collaboratif a lieu en local (même endroit) ou à distance (deux endroits différents). L’axe "Temps" désigne si les utilisateurs travaillent en même temps (synchrone) ou à des instants différents (asynchrone).

Le modèle du trèfle est un modèle fonctionnel du système, c’est-à-dire qu’il décrit les classes de fonctions qu’un collecticiel doit implémenter au niveau logiciel. Il peut servir à décrire les liens entre les fonctionnalités d’une application et l’architecture logicielle sous-jacente (Calvary et al., 1997). Même si le modèle du trèfle ne devait s’appliquer qu’à une description fonctionnelle du logiciel, et donc intervenir après la description de l’activité collaborative, en pratique il oriente l’analyse du travail coopératif.

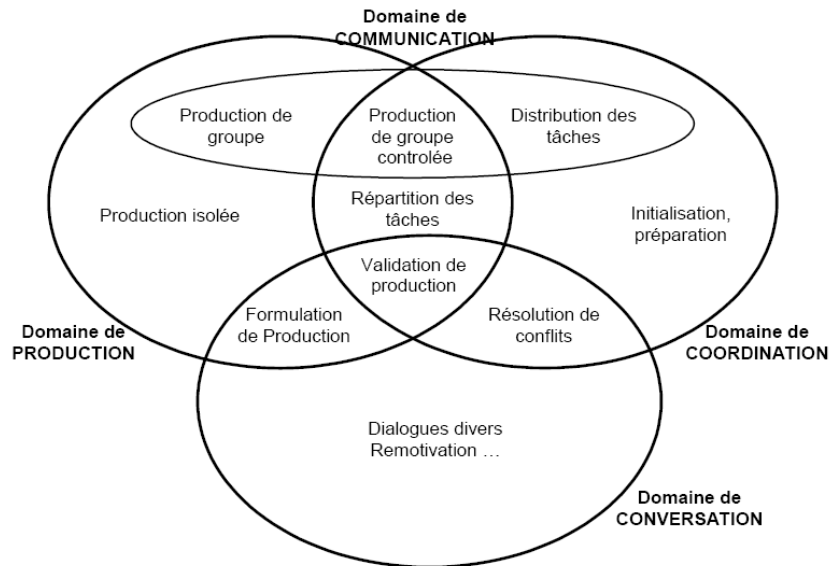


FIG. 4.2 – Le modèle 3C et les différentes tâches (d’après (David, 2001))

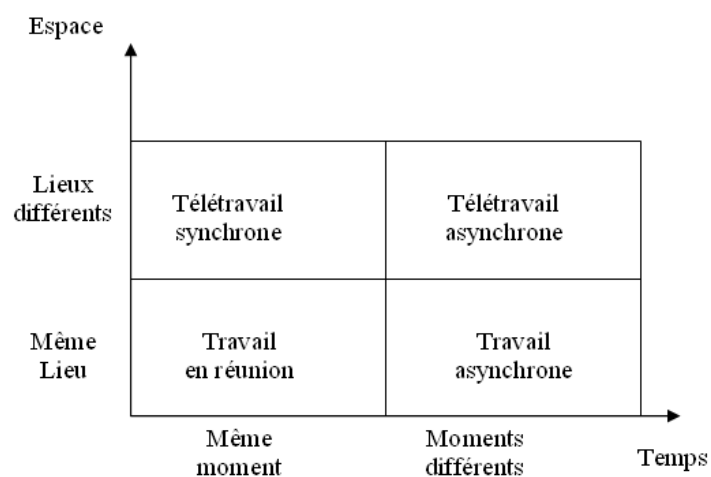


FIG. 4.3 – La taxonomie Espace-Temps des collecticiels (adaptée de (Ellis et al., 1991))

4.1.2 Le concept d'agent et de systèmes multi-agents (SMA)

L'agent est l'entité élémentaire d'un SMA. Malgré l'accroissement des travaux dans ce domaine, les chercheurs n'ont pas pu trouver un consensus sur la définition exacte de la notion d'agent. Plusieurs définitions ont été données également à un système multi-agent. En général les SMAs permettent de répartir un problème sur un certain nombre d'entités coopérantes (appelées généralement "agent"). En fonction de la taille d'un agent, de sa complexité, de ses connaissances et de son raisonnement, les approches multi-agents peuvent être classées en général selon trois grandes catégories : cognitive, réactive et hybride ((Khezami, 2005)).

Pour ce qui nous concerne nous retenons les deux définitions suivantes données par Ferber (Ferber, 1995) par le concept d'agent et par Durfee (Durfee, 1989) pour le SMA :

• **Definition "agent" (Ferber, 1995) :**

Un agent est une entité réelle ou virtuelle dotée de capacités d'action et de réaction à l'environnement dans lequel elle se situe.

• **Definition "SMA" (Durfee, 1989) :**

Un système multi-agent est un réseau fortement couplé d'entités, qui travaillent ensemble pour solutionner des problèmes qui dépassent les capacités individuelles ou les connaissances de chaque entité.

4.1.3 Le concept de service web (WS) et architecture orientée services (SOA)

En général, un service web est un composant implémenté dans n'importe quel langage, déployé sur n'importe quelle plateforme et enveloppé dans une couche XML¹. Il doit pouvoir être découvert et invoqué dynamiquement par d'autres services.

Nous avons retenu la définition suivante donnée par le W3C² (World Wide Web Consortium) :

• **Definition "Service Web" (<http://www.w3.org>) :**

Le W3C définit un service web comme : "un système logiciel qui agit comme un support interopérable dans l'interaction machine-machine. Ce système possède une interface décrite selon un format traité et compris par la machine (spécifiquement WSDL). Les autres systèmes interagissent avec le service web selon sa description prescrite en utilisant des messages SOAP (Simple Object Access Protocol), typiquement transporté en http avec une sérialisation XML en conjonction avec d'autres normes du web".

L'architecture des services web s'est imposée (tout comme le langage XML) grâce à sa simplicité, à sa lisibilité et à ses fondations normalisées. Le concept des services web s'articule actuellement autour des trois acronymes suivants :

¹eXtended Markup Language : Est un langage de description des documents qui utilise des balises. Il permet l'utilisation de balises personnalisées et l'échange des données

²<http://www.w3.org/>

- SOAP (Simple Object Access Protocol) est un protocole d'échange inter-applications indépendant de toute plateforme, basé sur le langage XML. Un appel de service SOAP est un flux ASCII encapsulé dans des balises XML et transporté via le protocole HTTP.
- WSDL (Web Service Description Language) donne la description au format XML des services web, en précisant les méthodes pouvant être invoquées, leurs signatures et le point d'accès (URL, port, etc..). C'est en quelque sorte l'équivalent du langage IDL³ (Interface Description Language) pour la programmation distribuée CORBA.
- UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) normalise une solution d'annuaire distribuée de services web, permettant à la fois la publication et l'exploration. L'UDDI se comporte lui-même comme un service web dont les méthodes sont appelées via le protocole SOAP.

Une distinction existe entre les termes service web et architecture orientée-services (SOA) (Dutra et al., 2010) (Wright, 2005), qui sont souvent mal distingués dans la littérature. En effet, SOA est une méthodologie de conception pour l'organisation et la réutilisation des services, vus comme des composants dans un système encore plus large. La distinction majeure entre les deux termes est que SOA est une architecture, alors que les services web sont une technologie, ou une implémentation d'une architecture logicielle.

4.2 Bref état de l'art

4.2.1 Modèles d'architectures logicielles pour les collecticiels

Il existe un certain nombre de modèles d'architectures logicielles qui permettent la conception des collecticiels. Nous n'avons pas la prétention de fournir une liste exhaustive de ces modèles, mais nous nous contentons de citer certains modèles que nous avons étudiés tels que ALV (Hill et al., 1994), Zipper (Patterson, 1995), CoPAC (Salber, 1995), PAC* (Calvary et al., 1997), AMF-C (Tarpin-Bernard, 1997), le méta-modèle d'architecture de Dewan (Dewan, 1999), Clock et DragonFly (Anderson et al., 2000) et Clover (Laurillau and Nigay, 2002).

En général, ces modèles correspondent à une évolution des modèles d'architectures logicielles des systèmes interactifs (applications mono-utilisateur) pour les adapter aux systèmes collaboratifs (applications multi-utilisateurs). En effet, ces modèles se basent sur des modèles de systèmes interactifs tels que Arch (Bass et al., 1992), MVC (Model-View-Controller) (Krasner and Pope, 1988) et PAC-Amodeus (Nigay, 1994), qui s'appuient sur une décomposition fonctionnelle séparant le code du noyau fonctionnel (logique de l'application) de celui de l'interface.

Dans ce qui suit nous présentons uniquement les deux modèles d'architectures logicielles (PAC* et Dewan) qui ont réellement servi comme support à nos deux contributions que nous présenterons par la suite. Un état de l'art plus détaillé sur les modèles d'architecture logicielles des collecticiels est présenté dans (Laurillau, 2002), (Khezami, 2005) et (Cheaib, 2010).

³http://en.wikipedia.org/wiki/Interface_description_language

4.2.1.0.a Modèle PAC* Ce modèle (Calvary et al., 1997), en plus de la décomposition de ses facettes selon l'agent PAC-Amodeus (Abstraction, Contrôle et Présentation), respecte aussi la décomposition de ces facettes selon le modèle du trèfle : communication, coordination et production. Comme le montre la figure 4.4, un agent PAC* peut exister sous trois formes différentes : centralisée, répartie et hybride. Dans la forme centralisée, cet agent est composé de trois agents reliés à un agent ciment, qui assure la communication entre ces agents et le reste du monde. Dans la forme répartie, les trois agents communiquent directement entre eux et assurent eux-mêmes la liaison avec les autres agents du système. La forme hybride est la combinaison des deux formes précédentes, sachant que l'agent ciment conserve toujours son rôle de lien avec le monde extérieur.

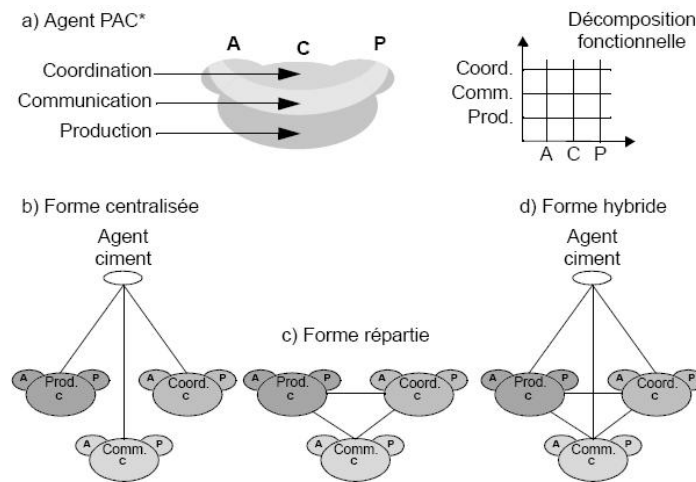


FIG. 4.4 – L'agent Pac*

4.2.1.0.b Modèle de Dewan Ce méta-modèle (Dewan, 1999) est une généralisation du modèle interactif Arch (Bass et al., 1992) et du modèle Zipper (Patterson, 1995). Selon ce méta-modèle, un collecticiel est constitué d'un nombre variable de couches qui représente plusieurs niveaux d'abstraction (Figure 4.5) : la couche la plus haute (niveau N) est de nature sémantique, et correspond au noyau de l'application, tandis que la couche la plus basse (niveau 0) représente l'interface physique.

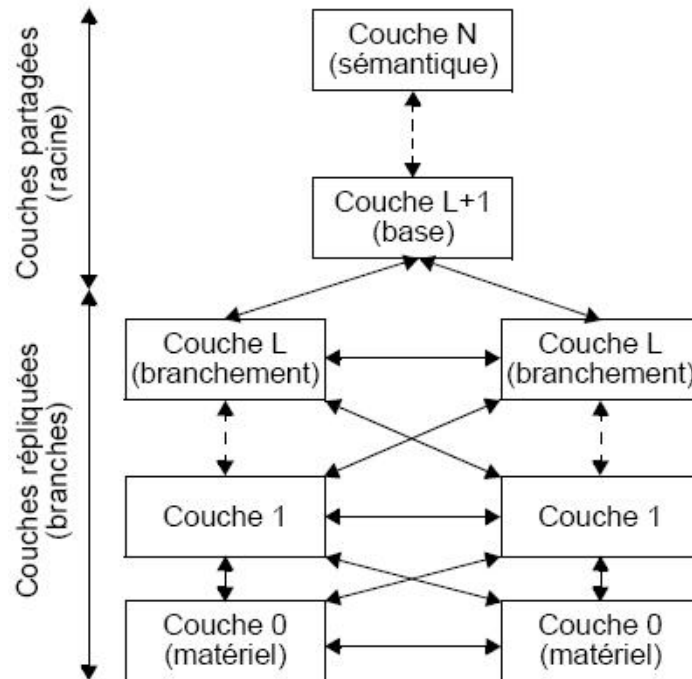


FIG. 4.5 – Le modèle de Dewan

L'architecture globale est constituée d'une racine et de plusieurs branches :

- La racine est composée de couches partagées (niveaux L+1 à N).
- Les branches sont composées de couches répliquées (niveaux 0 à L), reliées à la racine au niveau de la couche L (point d'embranchement).

Les couches communiquent entre elles à l'aide des événements d'interaction qui reflètent l'interaction de l'utilisateur avec le système, ainsi que des événements de collaboration entre les couches appartenant à deux branches différentes. De plus, il autorise une architecture sans composant public, ce qui limite la collaboration entre les utilisateurs. Ce méta modèle peut être considéré comme un modèle flexible si nous considérons que des couches peuvent être dynamiquement intégrées dans le système.

4.2.2 La téléopération basée sur le WEB

Les premiers sites Internet de la télérobotique sur le Web ont été créés en 1994 par l'américain Goldberg (Goldberg et al., 1995) et l'Australien Taylor (Taylor and Trevelyan, 1995). Depuis, de nombreux travaux ont eu lieu autour du contrôle de systèmes mécaniques (robots, caméras, machines de productique, etc.) connectés sur l'internet. Nous pouvons citer, sans vouloir être exhaustif, le projet Telegarden⁴ (dirigé par Ken Goldberg de 1995 à 2004), PumaPaint (Stein, 1998), KhepOnTheWeb (Saucy and Mondala, 1998), ARITI (Otmane et al., 2000a) et (Otmane et al., 2000b), les travaux du LISYC⁵ (LeParc et al., 2002), du LIRMM⁶ (Fraisie et al., 2003), de l'INSA⁷ de Lyon (Lelevé et al., 2003), etc. Depuis que la télérobotique via Internet a vu le jour, un recensement des systèmes fonc-

⁴<http://goldberg.berkeley.edu/garden/Ars/>

⁵Laboratoire d'Informatique des SYstèmes Complexes - Université de Brest

⁶Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier

⁷Institut National des Sciences Appliquées

tionnels a été effectué afin de centraliser l'ensemble des systèmes de télé-contrôle via Internet. En effet, en 1999 le service de télérobotique de la NASA⁸ a recensé 26 projets dont un Français (celui du projet ARITI⁹). Le projet australien "Telelabs project"¹⁰ a recensé également en mai 2005 une soixantaine de projets de télé-contrôle dans le monde. Une étude détaillée sur l'ensemble de ces travaux est présenté dans le chapitre de livre "Téléopération collaborative via le réseau Internet" (Otmane et al., 2007).

Tous les projets que nous avons cités ci-dessus sont des systèmes de télétravail mono-utilisateur, et ces applications sont généralement utilisables par une seule personne à la fois (pas de communication entre les utilisateurs). Il existe peu de travaux sur la téléopération collaborative basée via le WEB à l'exception de ceux réalisés par Ken Goldberg (le projet **Ouija** et le projet TeleActor) que nous présentons brièvement ci-dessous :

Le projet **Ouija 2000** (Goldberg et al., 2000), représenté sur la figure 4.6, présente pour la première fois la possibilité de rajouter à la notion de téléopération, celle de travail collaboratif. Le robot, muni d'une caméra, permet aux différents utilisateurs de visualiser une planche Ouija. La planche Ouija, est une planche en bois marquée de l'alphabet ainsi que par des mots court comme OUI, NON ou encore AU REVOIR. Utilisée normalement lors des séances de spiritisme, elle est utilisée dans ce projet dans un but de téléopération collaborative. Ce projet permet donc à plusieurs utilisateurs de répondre à une question commune, en positionnant leur souris sur la réponse qu'ils croient exacte. Les choix des différents utilisateurs correspondent alors, à la trajectoire de la souris. Tous les choix sont ainsi pris en compte, pour une décision commune dans le mouvement final du robot.

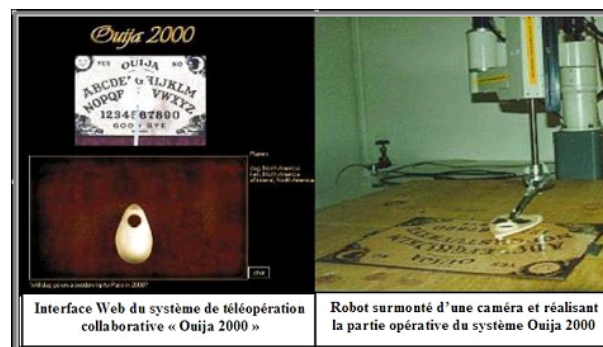


FIG. 4.6 – Système Ouija 2000 (adapté de (Goldberg et al., 2000))

Le système **TeleActor** (Goldberg, 2001), (Goldberg et al., 2002) et (Goldberg et al., 2004), développé par le même laboratoire que le projet Ouija 2000, permet de prendre en compte les décisions de plusieurs opérateurs, et ce via un système de vote. La partie physique d'un tel système est alors assurée par un humain (figure 4.7), qui se charge, en fonction de la décision finale issue du système de vote, d'effectuer la tâche qui lui incombe.

⁸http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/realrobots.html.

⁹<http://ariti.ibisc.univ-evry.fr>

¹⁰<http://telerobot.mech.uwa.edu.au/links.html>



FIG. 4.7 – Système TeleActor (adapté de (Goldberg et al., 2004))

4.3 Analyse sur la téléopération collaborative

Les systèmes de télérobotique sont traditionnellement implantés en utilisant des canaux de communication dédiés. Le déplacement du site esclave et/ou du site maître nécessite le déplacement du matériel ainsi que la reconfiguration réseau du canal de communication reliant ces deux sites. Les personnes sont obligées de se déplacer sur le site client (centre de contrôle afin de travailler et de préparer les missions). De plus, si la machine cliente tombe en panne, il devient difficile ou très coûteux de poursuivre la mission puisqu'il s'agit d'une machine dédiée où se trouve l'interface homme machine. Cependant, la télérobotique basée sur Internet permet une délocalisation facile des opérateurs à faible coût, et ne dépend pas de l'endroit où se trouve le matériel qui permet de contrôler le robot qui, lui, se trouve sur le site esclave généralement distant. Cette idée a été exploitée par la NASA lors de la préparation de la mission "Sojourner" sur Mars. Initialement, les scientifiques étaient obligés de se déplacer jusqu'au centre de contrôle en Californie afin de travailler et de contrôler le robot. Le développement d'une interface Internet (Backes et al., 1998) a donné la possibilité aux scientifiques de travailler et de collaborer ensemble pour contrôler le robot de n'importe où dans le monde. Cet exemple montre une des possibilités que peut offrir le télétravail via Internet.

L'étude que nous avons effectuée nous a permis de remarquer la constante amélioration des systèmes de téléopération. Nous avons également constaté la croissance du nombre de systèmes téléopérés via Internet. Ceci a créé un nouveau besoin qui est celui de faire travailler plusieurs personnes distantes sur un même site, et depuis nous assistons à l'émergence de quelques systèmes dits multi-utilisateurs. Avec de tels systèmes, la téléopération collaborative via Internet, commençait à se poser le problème de la téléopération distribuée. Les deux systèmes présentés (Ouija 2000 et Tele-actor) sont basés sur la prise en compte des votes des utilisateurs pour générer soit une commande commune (qui sera exécutée par le robot) soit une décision commune sur la tâche que va réaliser un opérateur distant. Cependant, la collaboration au sens des collecticiels n'est pas vraiment exploitée dans le but de permettre une réelle collaboration entre les utilisateurs. Grâce aux efforts menés en intelligence artificielle pour modéliser le travail collaboratif et grâce aussi à l'amélioration de la puissance des ordinateurs, ce type de système commence à voir le jour.

La problématique de la téléopération collaborative via Internet doit prendre en compte les exigences du domaine de la téléopération via Internet d'une part et les exigences

du domaine du TCAO d'autre part. En effet, Il s'agit de trouver un bon compromis entre la flexibilité que doivent offrir des collecticiels et la garantie de réaliser une mission de téléopération qui nécessite de l'assistance à l'opérateur et de la sécurité dans le déroulement de la tâche.

- En conséquence, un collecticiel pour la téléopération collaborative via Internet doit :
- supporter un travail collaboratif ;
 - assister et superviser les utilisateurs pendant le déroulement de la mission ;
 - permettre l'analyse et l'évaluation de la collaboration au sein d'un groupe et/ou de l'ensemble des groupes ;
 - permettre la réalisation des tâches d'une manière synchrone (temps réel) et/ou asynchrone (temps différé) en fonction de la mission.

4.4 Assister et superviser une activité de téléopération collaborative via Internet : Projet ARITI-C

Afin de permettre une téléopération collaborative via Internet, le développement de collecticiels adaptés pour la téléopération est nécessaire. C'est dans cet objectif que nous avons mené des travaux dans le cadre de la thèse de Narjes Khezami (Khezami, 2005) qui ont permis la conception et la réalisation d'un collecticiel pour la téléopération collaborative via Internet.

L'étude réalisée a comme objectif de tenter de répondre à la question suivante :

Quel formalisme et quel modèle d'architecture logicielle doit-on concevoir pour réaliser un collecticiel pour la téléopération collaborative via Internet ?

Pour répondre à cette problématique, nous avons utilisé d'une part le concept d'agent pour modéliser la collaboration dans le système. D'autre part, nous nous sommes inspirés du modèle d'architecture logicielle PAC* (Calvary et al., 1997) (présenté dans la section 4.2.1.0.a) pour la conception de l'architecture logicielle du collecticiel.

Dans la suite, nous présentons brièvement le formalisme proposé, le modèle d'architecture logicielle et l'interface homme-machine du collecticiel ARITI-C.

4.4.1 Modélisation d'un système multi-agent pour la collaboration

La mise en place d'un collecticiel pour la téléopération suppose une manipulation directe sur un robot réel : c'est une tâche délicate à effectuer, qui nécessite beaucoup de rigueur et de concentration de la part des participants. Pour cette raison, un participant doit impérativement communiquer avec les autres pour mettre en place un plan de coordination. Par conséquent, la communication doit essentiellement permettre aux membres du groupe qui doivent collaborer ensemble de se mettre d'accord sur les règles de collaboration. Ils doivent se concerter sur le but de la collaboration, sur la façon de l'effectuer et également sur les résultats attendus pour chacun des participants. Afin d'assister la collaboration entre les utilisateurs, nous proposons que l'ensemble des interactions entre

les utilisateurs lors de collaboration (communication, coordination et production) passent par un agent (figure 4.8) ; cet agent est appelé Agent Collaborateur (AC).

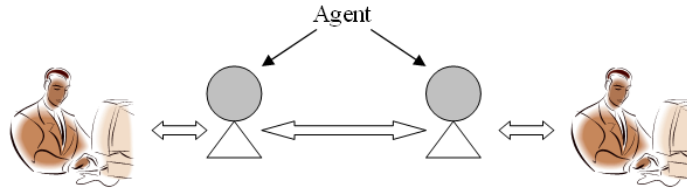


FIG. 4.8 – Illustration de la présence de deux agents pour assister la collaboration entre deux utilisateurs.

Le formalisme de collaboration que nous avons proposé (Khezami et al., 2004) nécessite au moins deux agents interagissant ensemble afin d'exécuter une tâche commune (réaliser ensemble une mission de téléopération). La figure 4.9 résume le protocole de collaboration entre deux agents i et j : un agent i qui fait la demande de collaboration avec à un autre agent j .

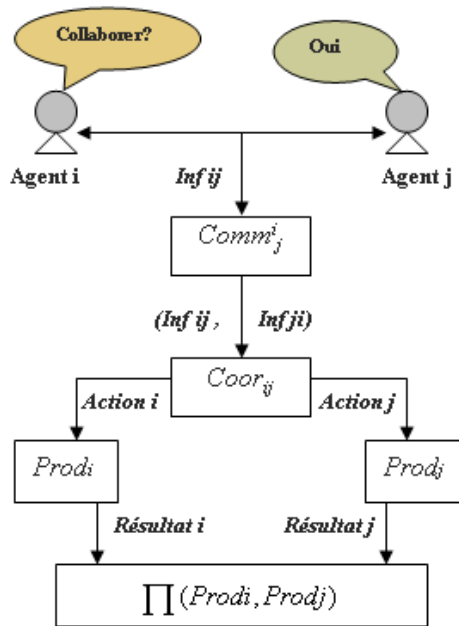


FIG. 4.9 – Le protocole de collaboration entre deux agents.

La collaboration entre N agents est modélisée par un triplet $\langle COMM, COOR, PROD \rangle$ (équation (4.1)) :

- La communication $COMM$ est représentée par tous les couples d'informations échangés entre deux agent i et j , pour chaque agent i qui communique avec un autre agent j (équation 4.2).
- La coordination $COOR$ est représentée par l'ensemble des actions $Actions_i$ de tous les agents i participant à la collaboration (équation 4.3).
- La production $PROD$ est la combinaison de tous les résultats partiels $Résultats_i$ de tous les agents i collaborant. L'opérateur de combinaison d'influence \prod dépend du type d'interaction (synchrone ou asynchrone) (équation 4.4).

☛ Formalisme de l'Agent Collaborateur (Khezami, 2005) :

$$COLL = \langle COMM, COOR, PROD \rangle \quad (4.1)$$

$$COMM = \{(Inf_{ij}, Inf_{ji}) / i = 1..N - 1, j = 1..N, i \neq j\} \quad (4.2)$$

$$COOR = \{Actions_i / i = 1 \dots N\} \quad (4.3)$$

$$PROD = \prod_{i=1..N} (Resultats_i) \quad (4.4)$$

De cette modélisation, nous pouvons retenir quelques points clés qui doivent être pris en compte par les agents qui assistent les utilisateurs lors de la collaboration :

- La collaboration commence par une communication, ensuite une coordination et finalement une production.
- La communication est basée sur des couples d'informations ; chaque demande envoyée par un agent i à un agent j doit avoir une réponse.
- Lors de la coordination, chacun des agents définit avec les autres agents du même espace son plan d'actions, qu'il doit respecter pour le bon fonctionnement de la collaboration.
- Et puisque tous les résultats de toutes les productions seront combinés, alors il est nécessaire de respecter les contraintes, dues à cette combinaison, durant l'exécution des actions.

L'architecture proposée est inspirée de l'architecture PAC* et elle a pour objectif l'assistance à la collaboration ainsi que la résolution des conflits qui en résultent. Le système multi-agent défini est composé de quatre types d'agents : les agents qui permettent de choisir une mission qui sont appelés les "**agents communication**", les agents qui permettent de sélectionner les actions à exécuter qui sont appelés les "**agents coordination**", les agents qui exécutent les actions choisies qui sont appelés les "**agents production**", et les agents qui permettent d'assurer la communication inter agents, qui sont appelés les "**agents collaboration**". Chaque instance de ces quatre agents est regroupée sous un super-agent, appelé "**agent collaborateur**" (illustré par la figure 4.10).

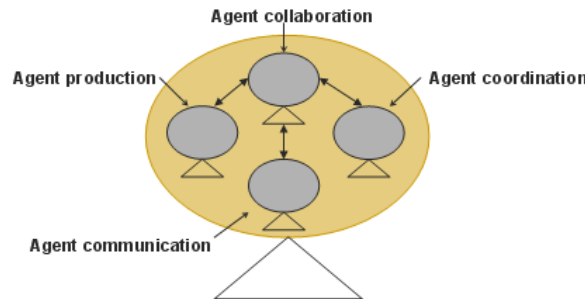


FIG. 4.10 – La description de l'agent collaborateur

Dans ce modèle d'architecture, un agent collaborateur interagit avec ses correspondants du système par l'intermédiaire de son agent collaboration et de ses agents dédiés (communication, coordination et production). Ces agents dédiés communiquent avec leurs homologues des autres agents collaborateurs. Cela signifie qu'un agent communication

d'un agent collaborateur i , par exemple, peut communiquer avec l'agent communication de l'agent collaborateur j (idem pour l'agent coordination i avec l'agent coordination j).

Dans ce modèle, chaque agent collaborateur sera alors composé de trois agents dédiés respectivement à la *communication*, à la *coordination* et à la *production*. Le quatrième agent collaboration va jouer le rôle d'intermédiaire entre ces trois agents dédiés. Ce choix est justifié par le fait que nous voulons limiter le nombre d'échanges de messages de chaque agent dédié.

L'avantage majeur de ce modèle est l'utilisation de l'**agent collaboration** qui joue un double rôle. D'une part, il assure la liaison entre les différents agents du monde considéré et, d'autre part, il est vu comme une interface entre l'utilisateur et l'agent collaborateur.

Ci-dessous nous résumons les rôles de chaque agent :

- **Agent collaboration** : L'agent collaboration assure deux fonctions principales. D'une part, il permet la communication entre les trois agents dédiés de l'agent collaborateur et, d'autre part, il établit une interaction directe entre chaque agent dédié avec son correspondant d'un autre agent collaborateur. Cette communication directe entre les agents dédiés d'un même agent collaborateur, et avec leurs correspondants des autres agents collaborateurs, permet d'augmenter l'efficacité du système de communication (les interactions entre agents). Cela permet d'éviter l'effet du goulot d'étranglement dû à la centralisation.
- **Agent communication** : L'agent communication décide si une mission peut être accomplie ou pas, et c'est donc lui qui décide si la collaboration peut avoir lieu. Par conséquent, l'agent communication est la pierre angulaire de l'agent collaborateur. L'agent communication détermine l'état de l'agent en fonction des informations qu'il reçoit et de son état antérieur. Cet agent gère toutes les informations qui lui sont communiquées.
- **Agent coordination** : L'agent coordination définit toutes les actions que l'agent peut accomplir suite au choix de la mission de l'agent communication. L'agent coordination reçoit un ensemble d'informations qui lui sont envoyées par les autres agents coordination ou par l'agent collaboration.
- **Agent production** : L'agent production se charge de l'exécution des actions issues de la collaboration des différents agents du système. Ces actions sont envoyées par l'agent collaboration.

Les figures 4.11.(a) et 4.11.(b) illustrent respectivement les interactions externes et internes entre deux agents collaborateurs.

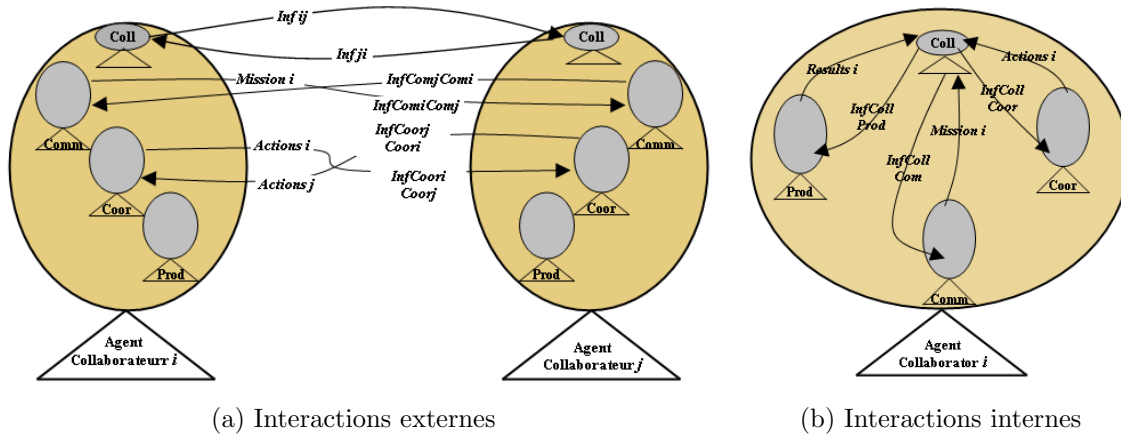


FIG. 4.11 – Interactions externes et internes entre deux agents durant un processus de collaboration (extrait de (Khezami, 2005)).

4.4.2 Application au projet ARITI

Afin d'appliquer le modèle de collaboration au projet ARITI, la conception du système multi-agent pour la collaboration (SMA-C) est réalisée en UML (Unified Modeling Language) et son implementation en langage Java en utilisant la plateforme de développement d'agents JADE¹¹.

Dans notre modèle conceptuel, chaque agent peut communiquer avec un autre agent en utilisant un protocole d'interaction conforme aux spécifications de FIPA¹² et fourni par JADE. La FIPA spécifie un ensemble de protocoles d'interaction standards pour construire les conversations entre les agents.

Les classes d'agents **AgentCollaboration**, **AgentCommunication**, **AgentCoordination** et **AgentProduction** possèdent des classes internes qui héritent de divers comportements et protocoles d'interaction offerts par JADE (CyclicBehaviour, AchieveREInitiator/AchieveREResponder et ContractNetInitiator/ContractNetResponder). Ils sont détaillés dans les spécifications FIPA et présentés dans (Khezami, 2005). Cependant, nous pouvons résumer ci-dessous leurs rôle dans le système :

- Le comportement *Cyclic Behaviour* : écoute de messages indépendants les uns des autres échangés par les différents agents de notre système.
- Le protocole d'interaction *Rational Effect (RE)* : dialogue entre agents sous forme d'une proposition et d'une réponse (positive ou négative).
- Le protocole *Contract Net* : dialogue entre agents sous forme d'un appel à enchères suivi de propositions (et de réponses de l'initiateur suivant les propositions).

¹¹JADE, pour Java Agent DEvelopment framework, est un middleware écrit en Java et se conformant aux spécifications de la Fipa. Cet environnement simplifie le développement d'agent en fournissant les services de base définis par la Fipa, ainsi qu'un ensemble d'outils pour le déploiement.

¹²La FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) a été fondée en 1996 .C'est une organisation à but non lucratif dont l'objectif est de produire des standards logiciels pour des agents hétérogènes et des systèmes Multi -Agents (SMA) portés par des plates-formes différentes. Le but est de rassembler les dernières avancées dans la recherche sur les SMA et les pratiques industrielles dans le logiciel, les réseaux et les systèmes d'information.

La classe **Serveur** est elle-même un agent, qui génère les autres agents et lance l'interface graphique. Ces classes sont liées entre elles de la façon représentée dans le diagramme de classes en figure 4.12.

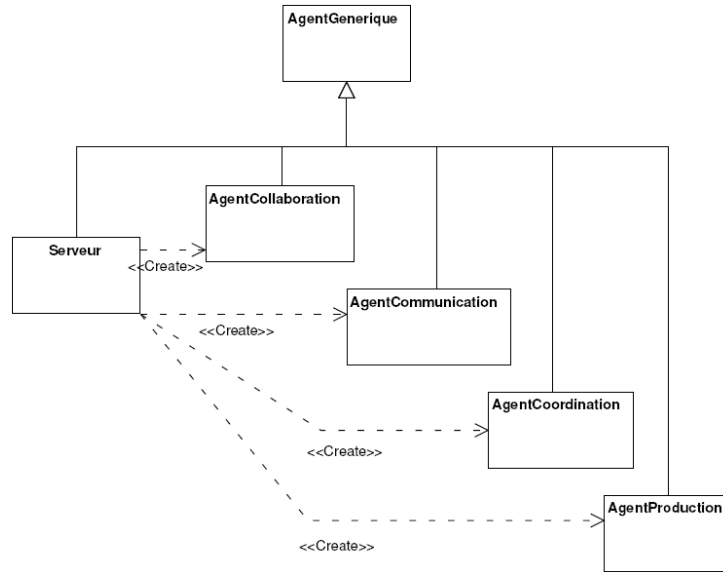
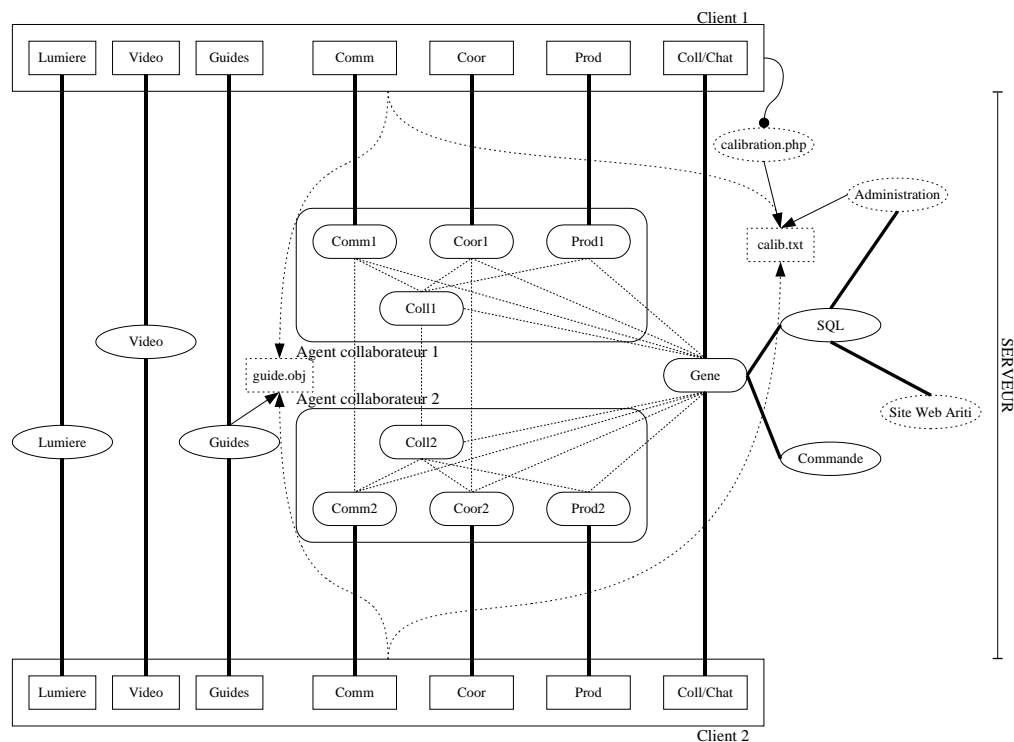


FIG. 4.12 – Le diagramme de classes

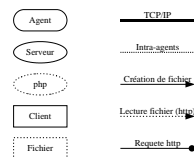
Par simplicité de conception et d'implémentation, le serveur SMAC est un serveur supplémentaire ajouté à l'ancienne version (mono-utilisateur) du projet ARITI. En outre, cet ajout permet de garder la compatibilité avec les modules (client/serveur) existants (commande du robot, vidéo, contrôle de la lumière, etc.).

L'architecture du système de ARITI-C est essentiellement constituée d'une interface englobant divers clients ainsi que de multiples serveurs dont le SMA-C. Afin de communiquer avec le SMA-C, un client (Coll) communique avec l'agent générateur (Gene). Ce dernier crée les agents collaborateurs (quadruplets agent collaboration, agent communication, agent coordination, agent production), qui communiquent chacun avec trois clients (client communication, client coordination et client production car l'agent collaboration ne communique pas directement avec le client collaboration), et qui communiquent entre eux au sein du SMA. Un agent collaborateur est associé à un et un seul utilisateur du groupe. L'agent générateur (serveur) communique avec la commande du robot et également avec le SGBD (Système de Gestion de Bases de Données) afin d'enregistrer les informations de la collaboration et de fournir les missions et leurs contenus aux agents collaborateurs.

Les autres éléments qui gravitent autour de ce système sont plus simples. Un client est dédié à chacun de ces serveurs : lumière, vidéo et enregistrement des guides virtuels. La figure 4.13 présente l'architecture générale du système.



(a) Architecture générale



(b) Légende de la figure

FIG. 4.13 – Vue globale de l'architecture de ARITI-C

L'application du SMA-C au projet ARITI a permis de transformer un système de téléopération mono-utilisateur en un système de téléopération collaborative multi-utilisateur. La figure 4.14 illustre cette transformation et la figure 4.15 présente d'une part l'interface logicielle du collecticiel résultante et d'autre part illustre le rôle de chaque agent dans chacun des espaces de collaboration.

4.5 Assister une activité de collaboration en introduisant de la malléabilité : Projet Digita Ocean

Les travaux de recherche présentés dans la section précédente se sont poursuivis pour traiter le verrou de la malléabilité (flexibilité) des systèmes. Il s'agit de rendre les systèmes d'assistance à la collaboration plus flexibles et adaptables aux nouveaux besoins qui émergent suite à la collaboration des utilisateurs. Cette problématique a été traitée avec l'encadrement de la thèse de Nader Cheaib de 2007 à 2010 (Cheaib, 2010) en proposant

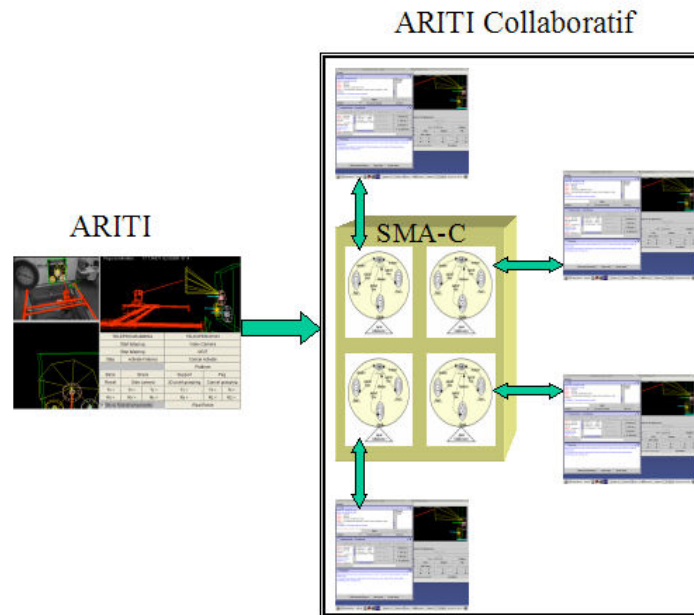


FIG. 4.14 – Illustration de la transformation de ARITI en ARITI-C

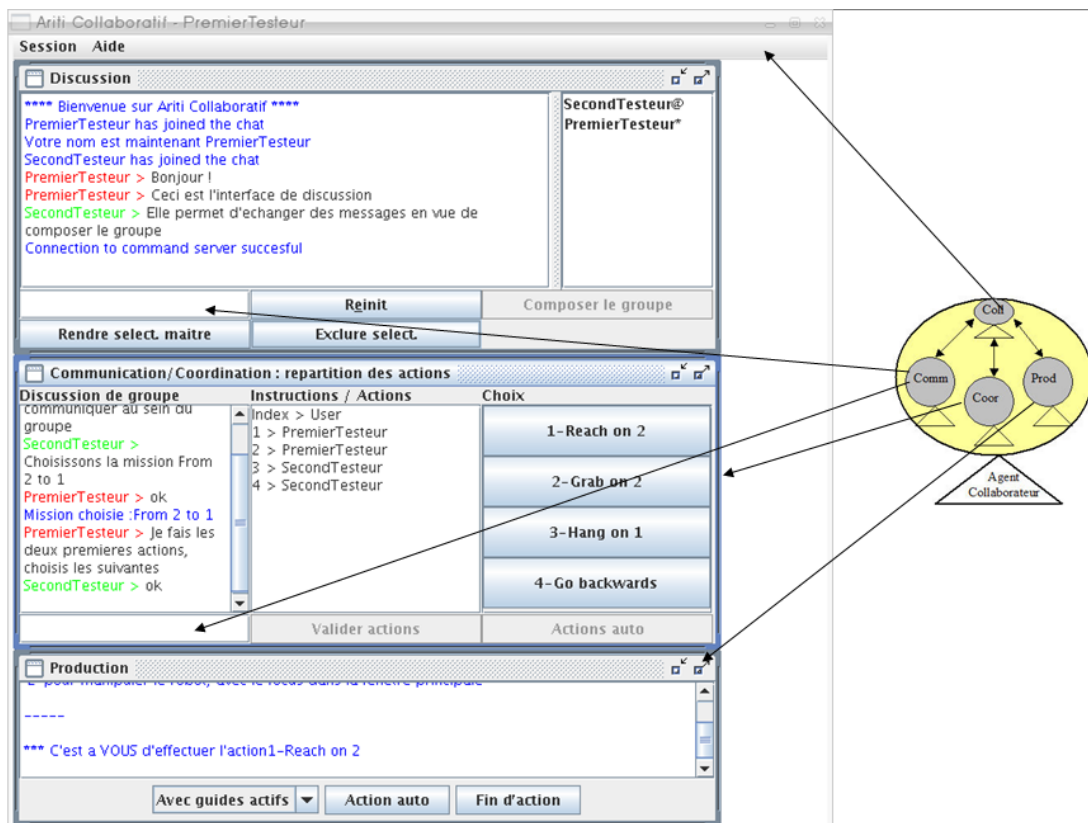


FIG. 4.15 – L'interface homme-machine du collecticiel et le rôle de chaque agent

un formalisme pour la malléabilité des systèmes ainsi que les modèles d'architectures logicielles associés. Ce modèle exploite les mécanismes des services web (intégration et composition de services) (Cheaib et al., 2008b) et des agents logiciels pour introduire de la malléabilité dans un système d'assistance à la collaboration (Cheaib et al., 2008a) et (Cheaib et al., 2010). Ce modèle a été ensuite appliqué au projet ARITI (Otmame et al., 2008) pour la composition de missions de téléopération et au projet - Digital Ocean - pour la composition et l'intégration de services dans le collecticiel " Oceanyd Groupware " développé pour ce projet (Cheaib et al., 2008c) et (Cheaib et al., 2009).

Dans nos recherches, nous avons constaté que les questions concernant la malléabilité sont plus nombreuses que les réponses, sans un support suffisant pour l'orientation, la comparaison et la classification. Ainsi, fournir une vue générale et compréhensive de ces approches est un support important pour le domaine du TCAO. Les questions abordées sont les suivantes :

- Quels sont les aspects qui contribuent à la malléabilité des systèmes collaboratifs ?
- Quel modèle d'architecture logicielle pour la modélisation et la conception des collecticiels malléables ?
- Quelles sont les technologies et les outils logiciels facilitant l'intégration et l'implémentation des propriétés de la malléabilité dans les collecticiels ?

Il existe dans la littérature plusieurs approches et méthodologies pour la malléabilité des collecticiels. Cheaib (Cheaib, 2010) a proposé une classification de ces approches (figure 4.16).

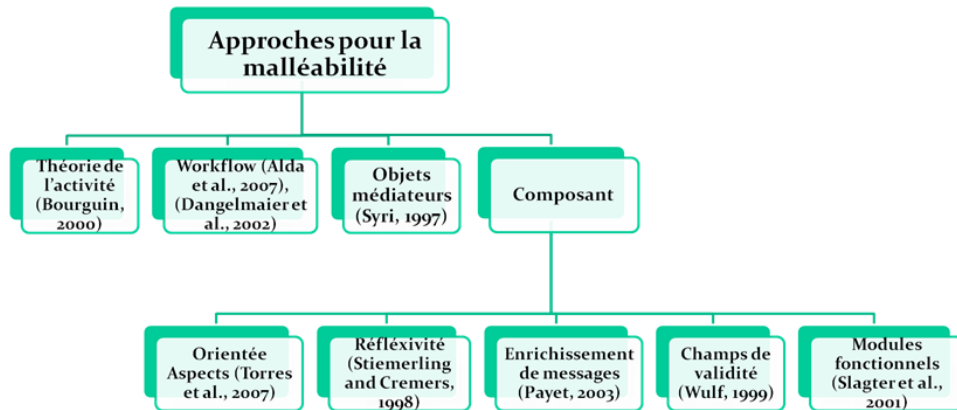


FIG. 4.16 – Classification des approches de la malléabilité des collecticiels (extrait de (Cheaib, 2010)).

4.5.1 Modèles d'architectures logicielles pour la malléabilité

Deux modèles d'architectures ont été proposés : le premier est à base de services web uniquement et le second intègre les services web et les agents logiciels.

4.5.1.1 Modèle d'architecture à base de services web

Nous présentons l'architecture logicielle à base de services web, que nous appelons *UDDI4C* (UDDI for collaboration) dont le principe est initialement proposé dans (Cheaib et al., 2008b). Ce modèle d'architecture, présenté dans la figure 4.17, est basé sur :

- le modèle de Arch (Bass et al., 1992) en offrant une décomposition canonique de la structure principale du système en cinq composants principaux (noyau fonctionnel, adaptateur fonctionnel, interaction physique, interaction logique et le contrôleur de dialogue), chacun ayant une fonctionnalité spécifique.
- le modèle conceptuel de Dewan (Dewan, 1999) qui structure le collectif en un nombre variable de couches. La couche la plus haute est la couche sémantique, qui correspond au noyau fonctionnel, tandis que la couche inférieure représente la couche physique ou l'interface.

Nous ne représentons pas les couches qui existent entre le noyau fonctionnel et l'interface physique. Nous affirmons que ces couches peuvent contenir des modules afin de prendre en compte les points de vue des utilisateurs, ainsi que leurs profils et l'historique de leurs utilisations des services du système.

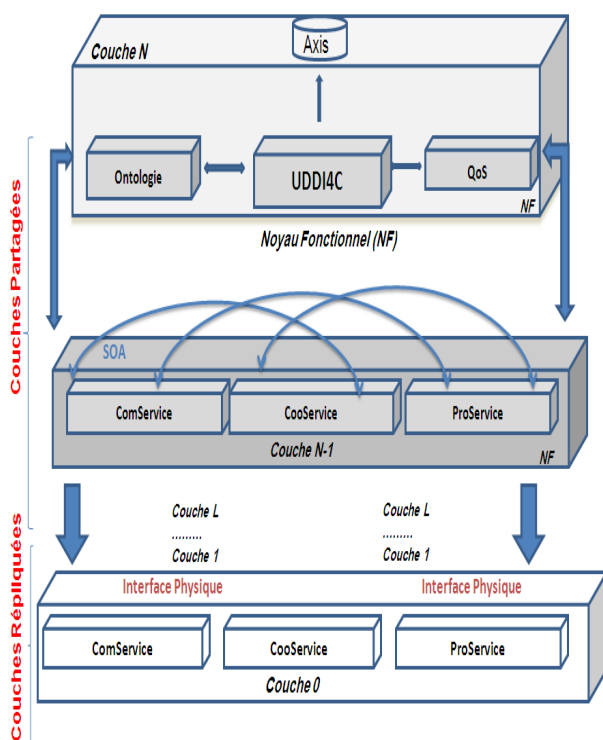


FIG. 4.17 – L'architecture UDDI4C à base de services web (extrait de (Cheaib, 2010))

En effet, cet environnement comporte trois principaux aspects : (a) un cadre d'organisation des composants logiciels pour un accès à travers le réseau, (b) un mécanisme pour la publication et l'enregistrement des services afin qu'ils puissent être dynamiquement découverts, (c) un ensemble de normes qui permet aux composants d'échanger des données dans le système, ainsi qu'avec les composants distribués sur internet. Du point de vue abstrait, il existe trois composants (**CommService**, **CooService** et **ProService**) et deux acteurs principaux. Le premier est le consommateur ou le groupe de consomma-

teurs de services qui vont interagir et collaborer en utilisant le système. Le second est le fournisseur (ou un ensemble de fournisseurs) qui publie ses services dans des répertoires publics distribués sur internet, contenant des fonctionnalités diverses et accessibles par des interfaces standardisées.

Dans notre spécification d'environnement (figure 4.17), le niveau N-1 est basé sur un environnement SOA, basé sur trois composants principaux (communication, coordination et production), qui sont décrits par une interface WSDL. Cette interface fournit tous les détails nécessaires pour interagir avec ces services, y compris les formats des messages, le protocole de transport et la localisation. Ainsi, une fois les services publiés, un consommateur peut trouver le service demandé via l'interface de l'*UDDI4C*. Les protocoles HTTP, SOAP et XML sont utilisés pour le transport et le triage de paramètres pour que la plateforme soit indépendante du langage de programmation, ainsi que l'accès à ces services web.

Ce modèle d'architecture logicielle *UDDI4C* proposé peut être utilisé pour apporter une certaine malléabilité au niveau des services offerts aux utilisateurs. Ainsi, cette malléabilité est obtenue par le biais de l'intégration de services web externes, ou bien de la composition de services internes afin de générer de nouveaux services de communication, de coordination ou de production.

4.5.1.2 Modèle d'architecture à base de services web et d'agents logiciels

L'architecture logicielle proposée dans (Cheaib et al., 2008a) et (Cheaib et al., 2010) repose sur une approche d'intégration des concepts des **services web** et des **agents logiciels**, afin de concevoir et d'implémenter une architecture logicielle comme support de la malléabilité des collecticiels. Ainsi, nous définissons un système malléable comme un système qui possède une capacité de créer de nouveaux comportements, par un mécanisme d'orchestration de services. Ce mécanisme offre deux processus principaux pour soutenir la malléabilité :

- L'intégration des services web dans le système, qui n'étaient pas prévues lors de la phase de conception. Les services ainsi invoqués répondent le plus aux spécifications des utilisateurs.
- La composition de deux ou de plusieurs services, afin de générer un nouveau service avec un nouveau comportement.

Le modèle d'architecture résultant (figure 4.18) baptisé U3D (Universal Directory for Description and Discovery) est également basé sur le modèle d'architecture à base de services web "*UDDI4C*" présenté précédemment dans la section (4.5.1.1) et sur le formalisme d'agent collaborateur (avec l'implémentation du SMA-C) présenté dans la section 4.4.

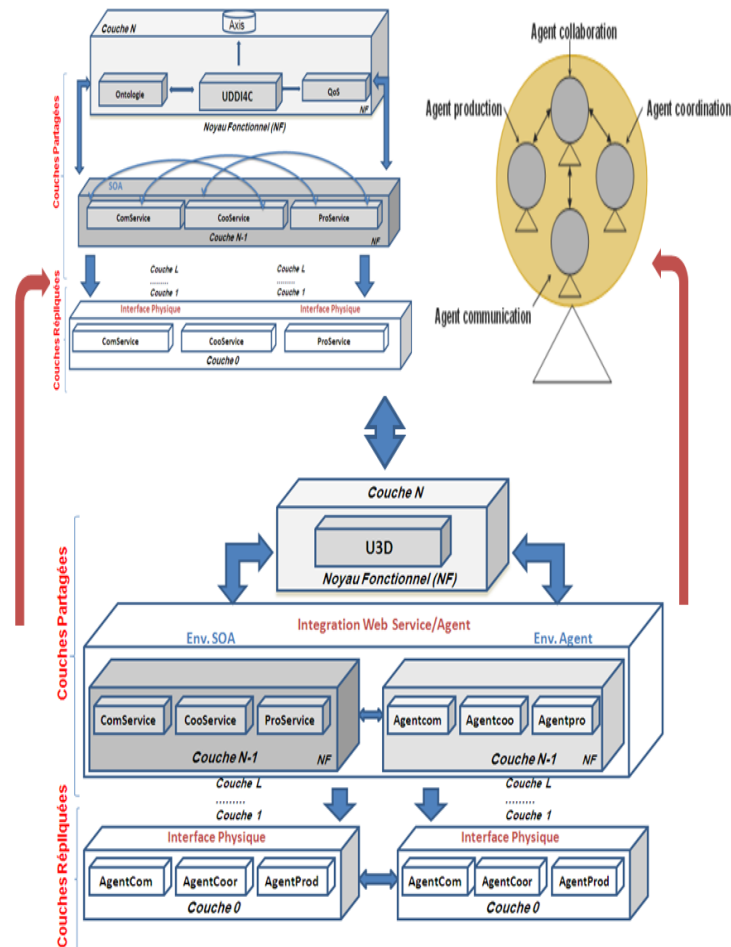


FIG. 4.18 – L’architecture U3D résultante de l’intégration des services web (en haut à gauche) et des agents logiciels en haut à droite (extrait de (Cheaib, 2010))

Nous résumons ci-dessous les composantes principales de ce modèle d’architecture à savoir les couches N-1 (l’environnement SOA et l’environnement d’agents) et la couche N (U3D qui représente la couche sémantique).

Environnement SOA :

Dans la figure 4.18, une partie de la couche de niveau N-1 est basée sur un environnement SOA en charge des services web dans le système. Elle regroupe les services nécessaires pour la communication, la coordination et la production comme suit :

- ComService : offre les moyens de communication entre les utilisateurs en collaboration (service de vidéoconférence, audio, communication textuelle, etc.)
- CoorService : offre les services implémentant des règles de coordination. Généralement, ces types de services sont mis en œuvre en utilisant des techniques de workflow afin de codifier leurs interactions.
- ProService : offre les services nécessaires à la production (application Paint, document Word, tableau blanc partagé, contrôle d’un robot, etc.), ainsi que tous les services qui offrent des fonctionnalités d’aide à la production.

Environnement d'agents :

De l'autre côté, un environnement d'agents constitue l'autre partie du noyau fonctionnel (NF) au niveau N-1. Cette couche est peuplée d'agents logiciels qui sont déployés en utilisant des bibliothèques pour mettre en œuvre les comportements d'agents. L'utilisation des agents, sert à rendre la découverte de nouveaux services dynamique, sans avoir à arrêter l'exécution du système. La décomposition fonctionnelle de cet environnement en trois composantes (communication, coordination et production) permet une grande modularité, où chaque agent gère un ou plusieurs services dans l'environnement SOA de la même classe. Chaque sous-composant de cette couche manipule des objets sémantiques dédiés à l'une des trois composantes.

la composante *U3D* (Universal Directory for Description and Discovery) :

C'est la composante de niveau N du modèle. Elle constitue la couche sémantique de l'architecture (c'est la composante de base dans le modèle). En effet, le nom du modèle est inspiré de l'intégration de l'UDDI (Universal Description Discovery and Intégration) utilisé par les services web, et du DF (Directory Facilitator), qui est analogue au UDDI, utilisé par les agents logiciels en utilisant la plateforme JADE¹³.

Dans cette couche il existe un composant appelé WAG (Web Agent Gateway) qui gère les liens entre les agents et les services web au sein du système, ainsi que les agents et les services web externes. En effet, ce composant est nécessaire pour que :

- Les agents logiciels puissent découvrir et invoquer des services web.
- Les clients des services web découvrent et invoquent les services d'agents dans le Directory Facilitateur (DF) de l'environnement JADE.
- Les services web soient publiés dans le DF, comme étant des services d'agents.

4.5.2 Application au projet Digital Ocean

Le projet DIGITAL OCEAN¹⁴ (ANR RIAM 2006-2009) est soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) via le réseau pour la Recherche et l'Innovation en Audiovisuel et Multimédia (RIAM). Le projet DIGITAL OCEAN a pour objectif principal la création d'un nouveau mode de distribution de contenus multimédias. Il repose sur l'intégration de trois modules :

- Un appareil de diffusion subaquatique de contenus multimédia (TRYTON) qui peut simuler des sensations de la plongée sous-marine.
- Un jeu vidéo de démonstration,
- Une plateforme logicielle d'édition de sites sous-marins (OCEANYD).

La figure 4.19 présente un des scénarios d'utilisation qui regroupe l'ensemble des partenaires.

¹³<http://jade.tilab.com/>

¹⁴<http://digitalocean.fr/>

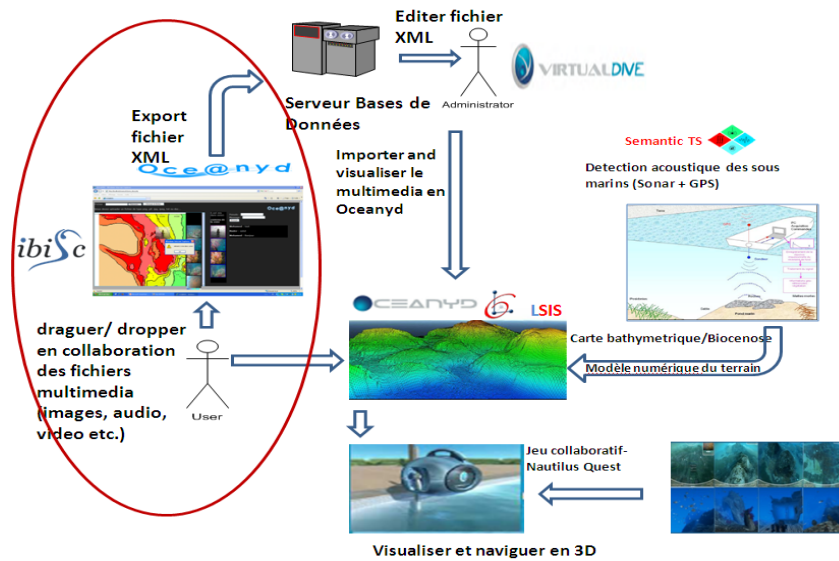


FIG. 4.19 – Scénario d’utilisation - DIGITAL OCEAN

IBISC a pour mission la conception et le développement de la plateforme logicielle d’édition de contenu de sites sous-marins. Cette plateforme est composée de deux logiciels que nous avons réalisés et qui sont actuellement dans la vitrine de la société VirtualDive (coordinateur du projet) :

- **OceanydGroupware** pour que les utilisateurs puissent collaborer, dans le but de créer le catalogue des sites de plongée du monde, qui sera donc une œuvre commune et collective.
- **OceanydExplorer** pour permettre l’interaction 2D/3D et la visualisation des sites de plongés virtuels créés.

La problématique traitée concerne la conception d’une architecture logicielle malléable permettant à des personnes (généralement des plongeurs) de collaborer et d’enrichir (avec des données multimédias : audio, vidéo, images, etc.) les sites de plongée déjà modélisés. L’architecture logicielle doit faire face aux besoins émergents des utilisateurs et le système doit s’adapter pour prendre en compte de l’imprévisibilité des exigences des utilisateurs.

La figure 4.20 présente l’IHM du collecticiel *OceanydGroupware* développé pour ce projet.

4.5. ASSISTER UNE ACTIVITÉ DE COLLABORATION EN INTRODUISANT DE LA MALLÉABILITÉ : PROJET DIGITA OCEAN

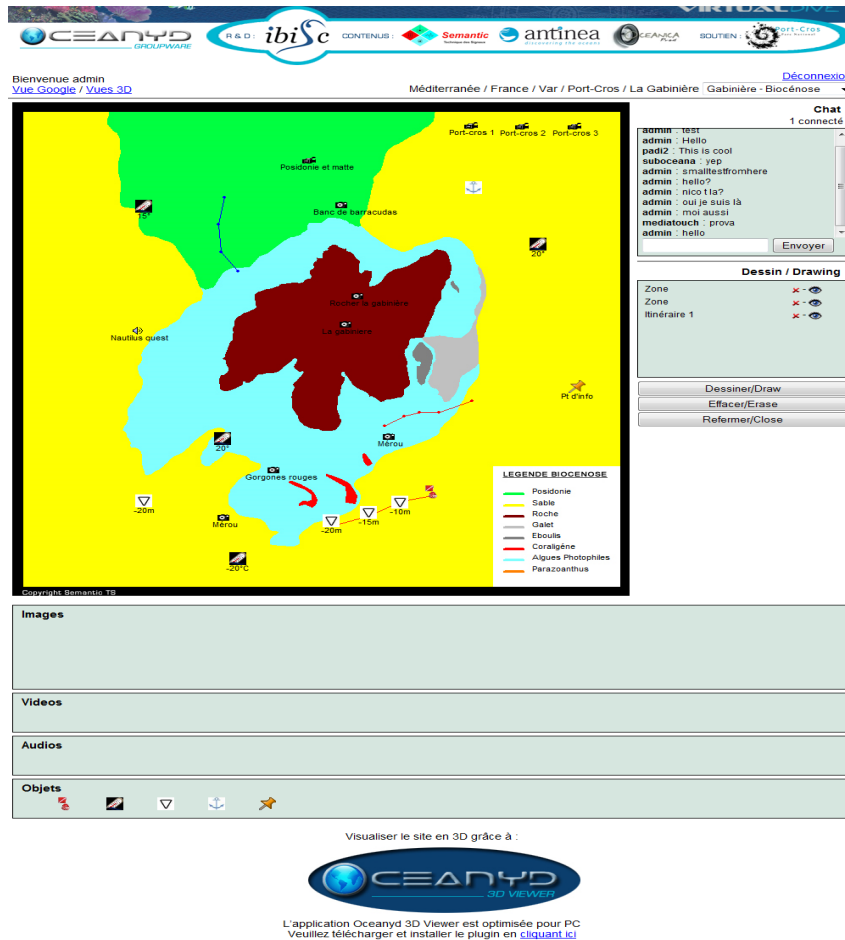


FIG. 4.20 – Page principale de *OceanydGroupware*

Cependant, plusieurs contraintes qu'il faut prendre en compte existent :

- Les fichiers collectés par *OceanydGroupware* manquent d'informations nécessaires pour les manipuler dans l'application 3D *OceanydExplorer*, afin de restituer, avec la plus grande précision, leurs localisations géographiques réelles sous-marines. La carte bathymétrique 2D du collecticiel est dotée d'une fonctionnalité afin de détecter les coordonnées (x, y) déposées, en utilisant les coordonnées GPS réelles de la région que la carte fournit. L'information manquante est généralement la coordonnée en z des fichiers déposés.
- Plusieurs informations sont utiles afin d'offrir une documentation efficace des objets déposés par les utilisateurs en collaboration, afin de bien les exploiter dans *OceanydExplorer* qui explore en 3D la région du site de plongée représentée par une carte 2D dans *OceanydGroupware*.
- Il doit y avoir un lien de communication interopérable entre les deux applications *OceanydGroupware* et *OceanydExplorer*, étant donné qu'ils sont déployés en utilisant des applications hétérogènes. Le but est de créer un lien bidirectionnel pour pouvoir, d'une part, charger les fichiers multimédias collectés à travers *OceanydGroupware* dans l'application *OceanydExplorer* et, d'autre part, recharger les informations créés à partir de *OceanydExplorer* dans la base de données qui est commune aux deux applications.

Le modèle d'architecture logicielle *UDDI4C* présenté dans la section 4.5.1.1 permet de répondre à cette problématique.

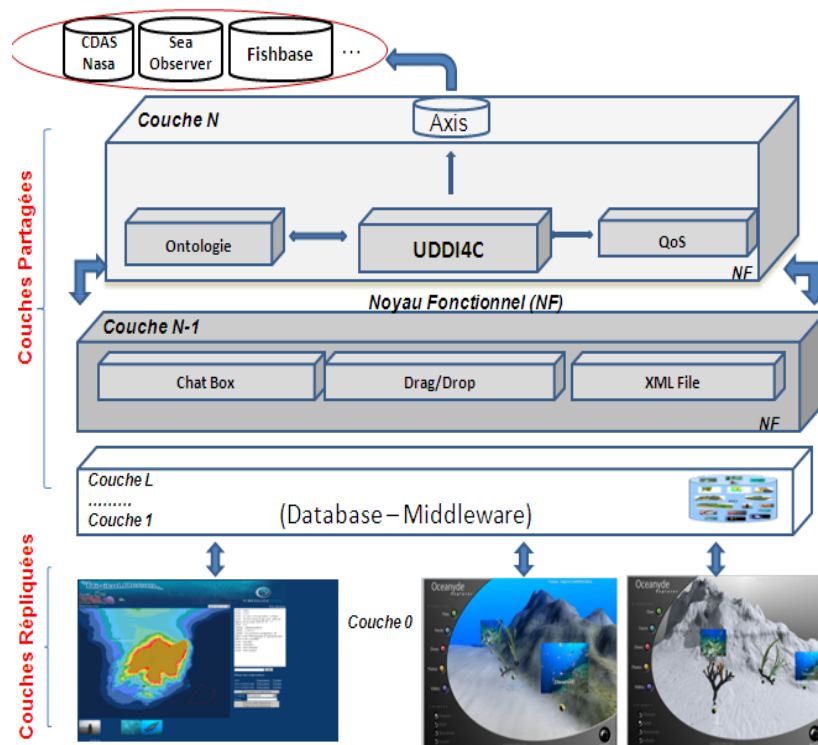


FIG. 4.21 – Application de l'*UDDI4C* sur *OceanydGroupware* et *OceanydExplorer*

En effet, comme nous pouvons le voir dans la figure 4.21, la couche physique contient diverses interfaces du collecticiel *OceanydGroupware* pour la collecte de données, ainsi que les interfaces de l'application *OceanydExplorer*. Le noyau fonctionnel (sur la couche N-1) contient divers services classés selon les fonctionnalités qu'ils offrent, ainsi que des composants (couche N) pour pouvoir interagir avec des services web externes. Il s'est avéré que l'utilisation des services web offre des informations sur la nature des fichiers géolocalisés sur la carte 2D du collecticiel. Un exemple est le site web (<http://www.fishbase.fr>) qui contient une base de données sur tous les types de poissons qui existent dans le monde. Un autre service web est le CDAS¹⁵ (Coordinated Data Analysis System) de la Nasa, qui fournit des missions simultanées, des instruments de sélection et de comparaison des données venant de leurs diverses missions d'exploration. Un troisième site web est le (<http://www.geographynetwork.com>), qui fournit une infrastructure nécessaire pour appuyer le partage de l'information géographique entre les fournisseurs de données, les fournisseurs de services, et les utilisateurs à travers le monde. Grâce à ce réseau mondial, de nombreuses informations géographiques, y compris des cartes dynamiques et des données téléchargeables sont représentées en tant que services web, pouvant être intégrées dans des diverses applications.

Ces sites web agissent comme des UDDIs distribués et leur invocation permet d'apporter des informations nécessaires pour exploiter les types de fichiers collectés. Ceci permet

¹⁵<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>

une malléabilité au niveau de l'interface et des ressources utilisées par le système, ainsi que de créer un lien entre *OceanydGroupware* et *OceanydExplorer*.

4.6 Bilan

Dans ce chapitre, nous avons développé le thème "**Collaboration**" d'un point de vue de la communauté IHM. Nous avons commencé ce chapitre par quelques définitions permettant la compréhension de nos contributions. Nous avons présenté un bref état de l'art sur les modèles d'architectures logicielles des collecticiels et sur les systèmes de téléopération basés sur Internet. Nous avons orienté notre analyse sur la conception de collecticiels destinés au télétravail collaboratif et plus particulièrement à la téléopération collaborative de robots via internet. Nous avons présenté brièvement le formalisme multi-agent pour la collaboration ainsi que son application au projet ARITI pour concevoir l'interface homme-machine du collecticiel de téléopération collaborative via internet. Nous avons par la suite, présenté une approche permettant d'introduire de la malléabilité dans les systèmes en général et dans les collecticiels en particulier. Nous avons présenté deux modèles d'architectures logicielles qui permettent cette malléabilité : le premier est basé sur les mécanismes des services web et le second permet l'intégration des services web et des agents logiciels. Une application de la première architecture dans le cadre du projet ANR "Digital Ocean" est présentée afin d'illustrer l'intérêt d'introduire de la malléabilité dans le collecticiel "Oceanyd-Groupware" développé dans le cadre de ce projet.

Dans le contexte de la téléopération collaborative, le collecticiel obtenu est le résultat de deux études : les modèles d'architectures logicielles des collecticiels et les systèmes de téléopération basés sur internet. Ce collecticiel permet aux utilisateurs de collaborer ensemble pour préparer et exécuter une mission de téléopération. Ce pendant, le robot réel ne peut être manipulé que par une seule personne à un instant donné (manipulation asynchrone du robot). Le système supervise l'ensemble des actions des utilisateurs et il veille à ce que chacun des membres du groupe puisse réaliser sa tâche au bon moment et dans de bonnes conditions (des aides visuelles et à la commande du robot sont utilisées). Il est possible également à la fin d'une mission d'effectuer une analyse de celle-ci grâce aux informations enregistrées dans une base de données. En effet, une interface PHP et une base de données ont été conçues pour pouvoir suivre le fonctionnement du projet, et extraire des caractéristiques relatives aux missions et aux usagers : influence de paramètres de la mission sur les performances des usagers, influence de l'apprentissage pour un même usager ou groupe, influence de la composition du groupe, etc.. Ceci permet d'évaluer la façon dont se construit la collaboration pour des tâches complexes et pour présumer de l'intérêt de porter le système sur d'autres types de missions.

Dans le contexte de la malléabilité, nous avons constaté que l'intégration des deux technologies (agent et service web) produit une synergie qui amène une certaine ouverture du système. Celle-ci est une propriété importante pour qu'un système puisse évoluer au cours du temps, et s'adapter aux préférences des utilisateurs face aux nouveaux besoins qui peuvent émerger suite à une collaboration. Les travaux qui ont été accomplis jusqu'à présent sur la problématique de la malléabilité, nous ont permis de construire un ensemble cohérent de modèles d'architectures logicielles pour introduire de la malléabilité dans les systèmes en général et dans les collecticiels en particulier. Sur le plan de l'implémentation,

le choix des technologies de développement Web (services web) favorise l'ouverture des architectures proposées à d'autres applications ou services sur le Web. Cette approche constitue un axe de développement prometteur pour l'exploitation des applications collaboratives.

Nos travaux en relation avec le thème de ce chapitre ont donné lieu aux publications suivantes :

1. N. Cheaib, S. Otmane and M. Mallem, *Integrating Web services and Software Agents for Tailorable Groupware Design*, Book Chapter in *Emergent Web Intelligence : Advanced Semantic Technologies*, Springer Verlag, chap. 8, pp. 185-212, 2010.
2. S. Otmane, N. Cheaib and M. Mallem, *Internet-based collaborative teleoperation : towards tailorable groupware for teleoperation*, Book Chapter in "End-to-End QoS Engineering in Next Generation Heterogenous Networks", edited conjointly by Wiley & sons and ISTE/Hermes editors, pp. 163-196, 2008.
3. N. Cheaib, S. Otmane and M. Mallem, *Combining FIPA Agents and Web Services for the Design of Tailorable Groupware Architecture*, Proc. ACM 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (ACM SIGWEB, iiWAS), pages 702-705, 2008.
4. N. Cheaib, S. Otmane and M. Mallem, *Integrating Internet Technologies in Designing a Tailorable Groupware Architecture*, Proc. 12th International Conference on CSCW in Design (IEEE CSCWD 2008), pages 141-147, Xi'an, China, 2008,
5. N. Cheaib, S. Otmane, M. Mallem, A. Dinis and N. Fies, *Oce@Nyd : A new Tailorable Groupware for Digital Media collection for Underwater Virtual Environments*, Proc. of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts (ACM SIGCHI, DIMEA), pages 256-263. Athens 2008.
6. S. Otmane, N. Khezami and M. Mallem, *Téléopération collaborative via le réseau Internet*, dans *Mécanismes du contrôle de la qualité de service : applications temps réel et multimédia*, (Traité IC2, série traitement du signal et de l'image), Chapitre 4, pp 119-155, Lavoisier 2007.
7. N. Khezami, S. Otmane and M. Mallem, *An Approach to Modelling Collaborative Teleoperation*, in 12th IEEE International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2005), pages 788-795, Seattle, Washington, USA, July 18-20, 2005.
8. N. Khezami, S. Otmane and M. Mallem, *A New Interface for Collaborative Teleoperation*, International Federation of Automatic Control (PRAHA IFAC World Congress 2005), PRAHA, Czech Republic, July 3-8, 2005.
9. N. Khezami, S. Otmane and M. Mallem, *A new Formal Model of Collaboration by Multi-Agent Systems*, in IEEE International Conference on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems (IEEE KIMAS'05), pages 32-37, April 18-21, Waltham, Massachusetts, USA, 2005,

Chapitre 5

Assistance à l'interaction 3D collaborative

Dans ce chapitre, nous développons le thème ”**Collaboration**” qui émerge des deux communautés : réalité virtuelle et IHM. En effet, les travaux dans le cadre de l'assistance à l'interaction 3D collaborative ont bénéficié des concepts et des résultats obtenus pour l'assistance à l'interaction 3D et ceux utilisés pour la spécification des collecticiels.

Nous commençons ce chapitre par une présentation de quelques concepts et définitions : la notion de présence, l'awareness, et l'interaction collaborative. Ensuite nous présentons un bref état de l'art sur les environnements virtuels collaboratifs. Nous présentons une analyse sur les interactions dans les EVCs. Nous développons par la suite le concept d'assistance à l'interaction 3D collaborative qui intègre deux concepts : celui d'assistance à l'interaction 3D mono-utilisateur (du chapitre 3) et celui du workflow que nous développons également dans ce chapitre.

5.1 Quelques concepts : Présence, awareness, interaction collaborative

5.1.1 Présence

Les EVCs sont des espaces habités par plusieurs utilisateurs qui travaillent ensemble dans le but de réaliser des objectifs communs. La difficulté avec ce type d'environnement réside dans le fait que les utilisateurs doivent se voir mutuellement et avoir conscience de la présence des autres utilisateurs dans le monde virtuel. L'importance de la présence de l'utilisateur dans ces environnements se justifie par le rôle essentiel que joue le corps humain dans la transmission naturelle d'informations. En effet, nos corps fournissent différentes informations immédiates et continues portant sur plusieurs facteurs qui sont : la présence, l'activité, l'attention, la disponibilité, l'emplacement, l'identité, la capacité, etc.. Le corps humain peut être employé explicitement pour communiquer (Goebbels et al., 2003). Les gestes et les signes représentent des outils d'accompagnement à d'autres formes de trans-

mission. C'est ce qui est appelé le « langage du corps ». Ci-dessous, nous présentons quelques facteurs caractérisant le langage du corps.

- **Présence** : le but principal de la représentation d'une personne dans un environnement virtuel collaboratif est de donner un sens à sa présence. Afin que cette dernière soit facilement détectable par les autres utilisateurs, elle doit se faire automatiquement et continuellement.
- **Emplacement** : dans les environnements virtuels collaboratifs et pour certaines applications collaboratives, il est important de localiser l'utilisateur. Cela nécessite de connaître sa position et son orientation par rapport aux autres utilisateurs d'une part et aux différents objets de l'environnement d'autre part.
- **Identité** : l'identification des différents utilisateurs dans l'environnement virtuel collaboratif est une question importante pour les systèmes de RV et les systèmes collaboratifs. Selon (Goebbels et al., 2000), la représentation de l'utilisateur dans l'environnement peut résoudre le problème de l'identification à plusieurs niveaux :
 1. Il doit être facile d'identifier d'un coup d'œil que la représentation du corps utilisé correspond bien un être humain par opposition à d'autres objets de l'environnement ;
 2. Il doit être possible de distinguer entre les différents individus qui sont représentés dans l'environnement ;
 3. Et, en dernier lieu, il doit être facile d'identifier les activités d'un individu par rapport à l'environnement et aux autres utilisateurs du système collaboratif.

La présence peut être vue comme une des composantes principales d'un EVC, du fait que l'utilisateur ne doit pas seulement se sentir présent dans l'environnement mais il doit avoir conscience de la présence des autres utilisateurs ; c'est ce qui est appelé « l'Awareness de présence ».

5.1.2 Awareness

Lorsque plusieurs personnes interagissent avec le même espace virtuel, chacun de ces utilisateurs génère de son côté un ensemble de signaux. Si un utilisateur perçoit les activités des autres utilisateurs comme s'ils se trouvaient dans le même endroit physique, alors ces signaux lui permettent d'avoir une certaine connaissance des actions et intentions des autres. Cette connaissance est le résultat des interactions de l'utilisateur avec son environnement. Elle est connue dans la littérature sous le terme awareness. L'awareness permet à deux ou plusieurs utilisateurs d'adapter et de planifier leurs comportements en fonction de ce qu'ils savent réciproquement des autres. Gutwin et Greenberg (Greenberg et al., 1996) relèvent quatre caractéristiques au concept d'awareness :

- L'awareness est la connaissance de l'état d'un environnement délimité dans l'espace et le temps.

- L'awareness est constituée de connaissances qui doivent être mises à jour en fonction des transformations de l'environnement.
- L'awareness est entretenue par l'interaction des personnes avec l'environnement.
- L'awareness est souvent liée à une activité. Elle ne représente pas un but en soi mais elle participe à la résolution d'une tâche.

5.1.3 Interaction 3D collaborative

L'interaction collaborative est l'un des enjeux majeurs de la recherche dans le domaine des EVCS. L'objectif visé par cette recherche est de permettre à plusieurs personnes co-localisées ou dé-localisées de partager un espace commun et d'interagir ensemble avec les entités composants cet espace.

Nous définissons l'interaction 3D collaborative de la façon suivante :

• **Definition Interaction 3D collaborative :**

L'interaction 3D collaborative est la composante motrice de tout environnement virtuel collaboratif. Elle représente l'ensemble des actions nécessaires pour interagir (naviguer, sélectionner et manipuler), communiquer et se coordonner.

5.2 Bref état de l'art : Environnements virtuels collaboratifs (EVCS)

Depuis la fin des années 80 (i.e., au même moment que les travaux sur le thème du travail coopératif sont apparus) plus d'une soixantaine de projets d'EVCS ont vu le jour. La figure 5.1 présente l'évolution des publications sur les EVCS par année (entre 1997 jusqu'à 2003). Cette liste n'est pas exhaustive mais donne une idée sur l'importance des recherches dans ce domaine.

Pour compléter la liste de la figure 5.1, nous pouvons citer **SPIND-3D**, une plateforme de travail coopératif synchrone pour de petits groupes (Dumas et al., 1999). Elle a été développée dans le cadre du projet **Alcove** de l'INRIA (agir et collaborer sur des objets virtuels complexes). Le projet **Cryopolis** (Cryopolis, 2001), réalisé par la société française de jeux vidéo "Cryo" pour le compte de Canal Plus et qui permet à plusieurs personnes de se rencontrer sur le web dans un Paris cloné en 3D (voir la figure 5.3(a)). Le projet **Everquest2** (Everquest2, 2004) est un exemple d'environnement virtuel dédié pour les jeux de rôles. Cet environnement fournit un support de communication par interface textuelle (voir la figure 5.3(b)). Le projet européen **COVEN** (COVEN, 1997) et (Frécon et al., 1999) a permis d'identifier plusieurs progrès pour les EVCS à plusieurs niveaux : système, interaction et applications (voir la figure 5.4).

Le projet **DIVIPRO** (Glencross et al., 2002) est une application de prototypage CAO qui permet à plusieurs utilisateurs de manipuler et d'interagir ensemble sur des maquettes virtuelles. L'objectif est de réaliser des opérations d'assemblage pour vérifier les processus de maintenance (voir figure 5.5.(a)). DIVIPRO peut exploiter le dispositif haptique PHANTOM.

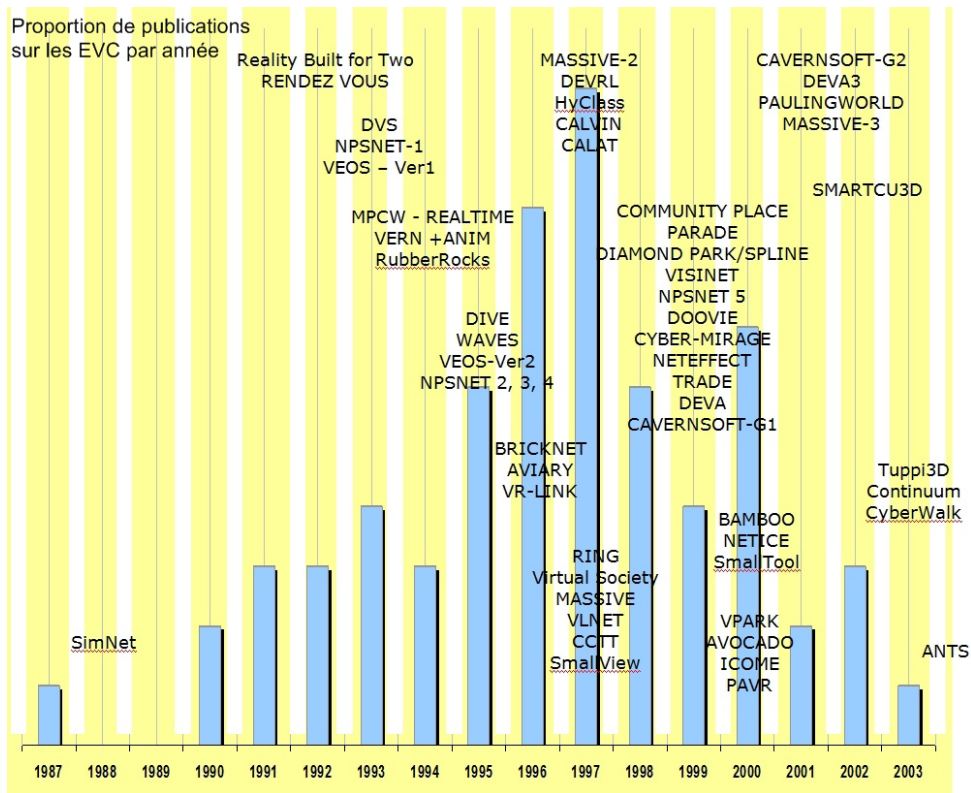


FIG. 5.1 – Proportion de publications sur les EVCs par année ainsi que leurs évolutions (extrait de (Thouvenin, 2009)).

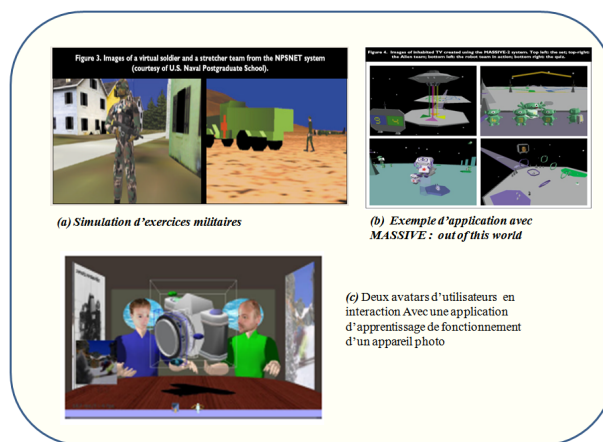


FIG. 5.2 – Exemples d'EVCs : NPSNET (Capps et al., 2000), MASSIVE-2 (Greenhalgh, 1999) et SPIN-3D (Dumas et al., 1999).

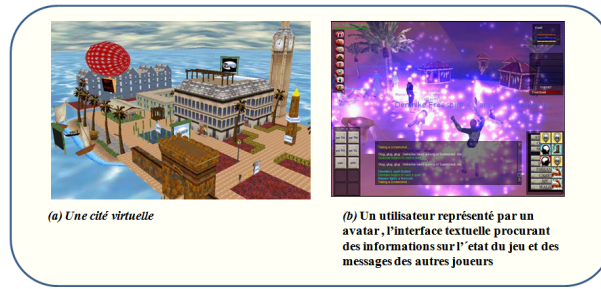


FIG. 5.3 – Exemples d'EVCs : Cryopolis (Cryopolis, 2001) et Everquest2 (Everquest2, 2004).

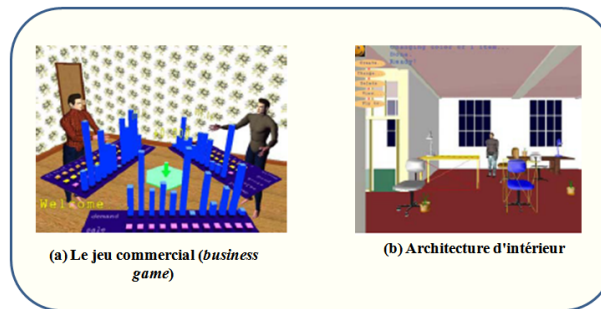
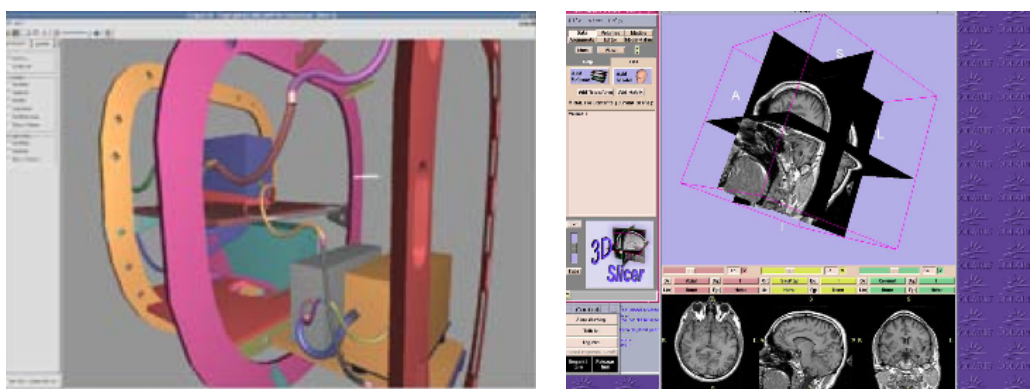


FIG. 5.4 – Exemple d'environnements réalisés dans le cadre du projet COVEN : jeu commercial et architecture d'intérieur (COVEN, 1997).

Dans le domaine médical, on peut citer le projet **Argonaute 3D** (Le Mer et al., 2004) qui utilise comme base le système SPIN-3D. Ce projet permet aux médecins d'accéder aux dossiers médicaux des différents patients, ainsi qu'à des données d'IRM¹ ou de scanners reconstruits en 3D. Un salon virtuel est disponible il permet aux médecins (représentés par des avatars) de communiquer. Ils peuvent communiquer par la voix ou bien effectuer des gestes via leurs avatars. Dans le même contexte, on peut citer également le projet **Group-Slicer** (Simmross-Wattenberg et al., 2005) qui permet aux médecins de partager des données pour analyser des cas cliniques. L'interaction avec les données se fait de manière asynchrone alors que la communication est synchrone (voir figure 5.5.(b)).

¹Imagerie par Résonance Magnétique



(a) L'interface du projet DIVIPRO

(b) L'interface du projet Group-Slicer

FIG. 5.5 – Les deux projets : (a) projet DIVIPRO (Extrait de (Glencross et al., 2002)), (b) projet Groupe-Slicer(extrait de (Simmross-Wattenberg et al., 2005))

Le projet **Part@ge**², qui est financé par l'Agence Nationale de la Recherche (2006-2009), a pour thèmes de recherche de base le travail collaboratif et l'interaction collaborative synchrone dans les EVCS. Ce projet est une suite des activités du projet PERF-RV³. Parmi les résultats obtenus dans le cadre de Part@ge, nous citons le travail de Bouguet et associés (Bouguet et al., 2007) qui porte sur la téléprésence collaborative 3D. Ce concept exploite les avantages des outils de partage synchrone de documents et ceux des systèmes de visioconférence de haute qualité.

5.3 Analyse sur les interactions dans les EVCS

Les techniques d'interaction 3D mono-utilisateurs étudiées dans le chapitre 3 sont à la base des interactions des utilisateurs dans la plupart des EVCS présentés dans la section précédente. Cependant, beaucoup de ces techniques ne peuvent pas s'appliquer telles quelles dans le cas d'interaction collaborative synchrone car elles ne sont pas prévues pour gérer les données partagées d'un objet. En effet, ces techniques ne gèrent pas les accès concurrents à un objet comme il est souligné dans (Aguerreche et al., 2009a). Cependant, certaines techniques d'interaction peuvent être modifiées pour permettre l'interaction à plusieurs. Elles peuvent néanmoins permettre la manipulation d'un objet à tour de rôle par plusieurs utilisateurs.

Les travaux concernant l'interaction multi-utilisateur sont peu nombreux et ils sont essentiellement dédiés à la manipulation d'objets (la sélection étant une phase de la manipulation). On peut les classer en deux catégories, les techniques de sélection/manipulation asynchrones et synchrones.

- **La méthode asynchrone** est apparue dès les débuts de la recherche dans ce domaine. Elle exploite des techniques mono-utilisateur que plusieurs utilisateurs vont appliquer à un objet à tour de rôle. Ce mode d'interaction est très utilisé dans la plupart des EVCS existants.

²<http://partage.ingenierium.com/>

³<http://www.perfrv.org/vitrine/resultats/commun/ColloqueFinal/rapports/SyntheseFinale.fr.pdf>

- **les méthodes synchrones** permettent aux utilisateurs d’agir sur des données partagées de l’objet, ensemble et en même temps. On distingue deux catégories. La première catégorie consiste à répartir des données partagées (degrés de liberté, couleur, taille). Par exemple, un utilisateur va agir sur les translations et l’autre sur les rotations de l’objet via des techniques mono-utilisateurs. Elle combine les techniques d’interaction et non pas le mouvement des utilisateurs. La seconde catégorie concerne ”l’accès concurrent aux mêmes données” (Noma and Miyasato, 1997), (Duval and Le Tenier, 2004), (Duval et al., 2006), (Riege et al., 2006), (Aguerreche et al., 2009b) et (Duval and Fleury, 2009). Cela permet de combiner les mouvements des différents utilisateurs pour déterminer le mouvement de l’objet. On retrouve dans cette catégorie des techniques qui exploitent des techniques mono-utilisateurs (ray-casting ou main virtuelle simple) ou des extensions de techniques qui ont pour base les techniques mono-utilisateur.

La figure 5.6 illustre les trois configurations possibles dans le cas d’une manipulation d’un objet par deux utilisateurs. La partie de gauche correspond aux cas d’une manipulation asynchrone, celle du milieu aux cas d’une manipulation synchrone avec répartition des données, et celle de droite aux cas d’une manipulation synchrone avec accès concurrent aux données de l’objet. Les données $P1$ (respectivement $P2$) et $O1$ (respectivement $O2$) représentent les vecteurs position et orientation de l’outil virtuel représentant l’utilisateur $U1$ (respectivement $U2$). Les données P et O représente les vecteurs position et orientation de l’objet virtuel à manipuler.

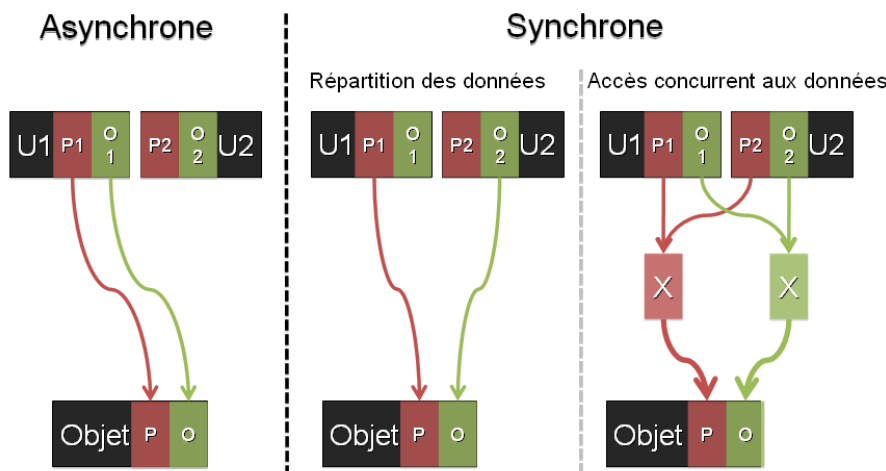


FIG. 5.6 – Illustration des 3 modes de manipulation d’objets dans un EVC.

Les EVCs sont des environnements complexes dans lesquels plusieurs utilisateurs partagent les mêmes objets pour agir ensemble. La complexité de ces environnements est liée à l’interaction du groupe d’utilisateurs avec les éléments partagés. Dans un monde partagé, plusieurs contraintes apparaissent, notamment celles qui sont liées à la coordination et à la communication des utilisateurs ainsi qu’à la gestion de l’interaction d’un utilisateur dans le monde virtuel vis-à-vis des objets et des autres utilisateurs.

Malheureusement, les interactions 3D mono et multi utilisateur(s) en RV sont actuellement loin de procurer des solutions satisfaisantes. En effet, l’interaction 3D souffre d’un manque de modèles et de formalismes permettant de gérer et de contrôler les actions et les intentions des utilisateurs dans l’environnement virtuel. L’interaction de plusieurs utilisateurs dans des environnements virtuels est limitée, et de nombreuses recherches sont

en cours. L'objectif principal des recherches menées dans le domaine de l'interaction 3D multi-utilisateurs est de donner la capacité à des utilisateurs d'évoluer dans des environnements collaboratifs, de pouvoir interagir efficacement, facilement et ensemble avec les entités de l'environnement.

Nous proposons un autre point de vue pour la conception des EVCs et donc la gestion des interactions 3D collaboratives. Ce point de vue repose sur la convergence des approches entre les deux domaines de recherche qui sont le TCAO et la RV. En effet, nous exploitons d'une part le trèfle fonctionnel des collecticiels issu du TCAO, pour fournir un cadre fonctionnel pour la modélisation de l'interaction 3D collaborative et, d'autre part, la classification de l'interaction 3D (navigation, sélection, manipulation et contrôle d'applications) en tant que domaine de recherche de la RV.

5.4 Un workflow pour l'assistance à la coordination des interactions 3D collaboratives

En nous basant sur le modèle du trèfle fonctionnel des collecticiels et sur la décomposition des tâches d'interactions 3D, nous obtenons les requis fonctionnels (la figure 5.7) d'un système d'assistance à l'interaction 3D collaborative. Les trois tâches navigation, sélection et manipulation trouvent bien leur place dans l'espace de production du trèfle. La tâche de contrôle d'application n'est pas représentée car elle est commune aux trois autres tâches. La fonctionnalité de communication doit également faire partie du système et elle peut intervenir à tout moment lors l'interaction.

L'étude que nous avons réalisée (Ullah et al., 2009b) pour analyser l'importance de l'espace de communication lors des tâches de manipulations coopératives a montré que la communication orale influe sur les performances des tâches de manipulation coopérative (manipulation synchrone d'un même objet). En l'absence d'un système d'assistance à la coordination des interactions 3D, les utilisateurs utilisent la communication orale pour coordonner leurs interactions (car ils n'ont pas le choix). Une autre étude a permis également de montrer que la présence du retour d'effort lors de la manipulation d'objets par deux utilisateurs améliore également les performances des tâches de manipulation coopératives (Ullah et al., 2010). Il est donc nécessaire de fournir un moyen d'aider les utilisateurs à coordonner leurs interactions dans un EVC. Nous proposons donc d'ajouter une composante "workflow" dans le système d'assistance à l'interaction 3D pour prendre en compte l'aide à la coordination des interactions 3D collaboratives.

Cependant, le workflow représenté dans l'espace de coordination du trèfle est un élément central du système d'assistance à l'interaction 3D collaborative. En effet, c'est lui qui doit gérer et superviser les différentes actions des utilisateurs.

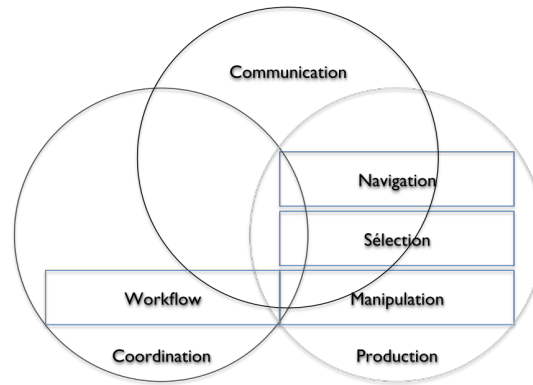


FIG. 5.7 – Les requis fonctionnels d'un système d'assistance à l'interaction 3D collaborative.

En nous basant sur un des principes fondamentaux de la RV provenant du domaine de la psychologie cognitive, à savoir la boucle perception-cognition-action qui décrit les relations entre un utilisateur et le monde virtuel (voir figure 5.8), l'utilisateur agit sur l'EV par l'intermédiaire d'interfaces motrices qui captent ses actions (gestes, voix, etc.). Ces actions sont transmises à un ordinateur qui interprète ses actions comme des modifications de l'EV. Le ordinateur évalue les transformations et les restitutions à apporter à l'utilisateur via les interfaces sensorielles.

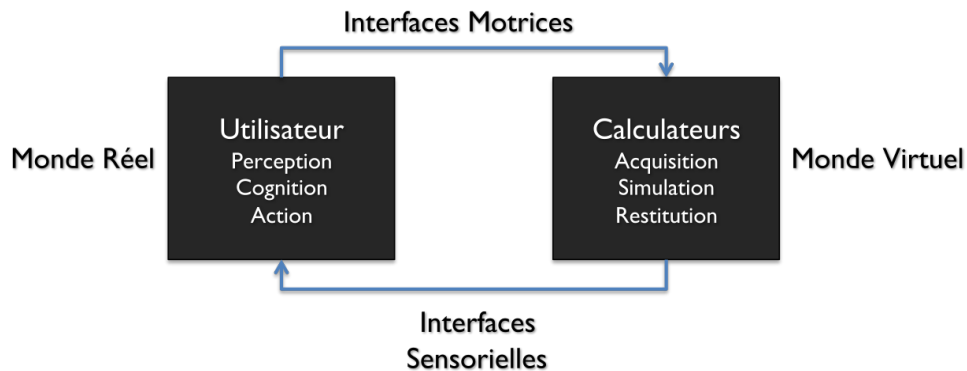


FIG. 5.8 – La boucle de perception/cognition/action passant par le monde virtuel (adapté de (Fuchs et al., 2003)).

Par conséquent, nous allons perturber cette boucle en incorporant dans celle-ci la notion de workflow (voir 5.9). Le workflow est la gestion de l'ensemble des tâches à accomplir et des différents acteurs impliqués dans le processus. Le workflow dans la boucle perturbée intervient donc pour permettre la coordination des tâches d'interaction 3D (navigation, sélection et manipulation) et la communication des utilisateurs dans l'EVC. Cela signifie qu'une action d'un des utilisateurs de l'EVC sera d'abord "analysée" par le processus de workflow, pour que ce dernier modifie la perception des autres utilisateurs, afin qu'ils agissent ensemble plus facilement.

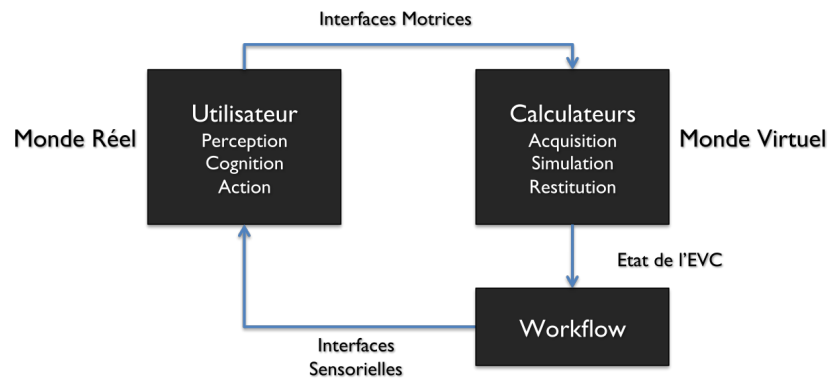


FIG. 5.9 – L'ajout de la composante workflow dans la boucle perception/cognition/action

Ce cadre fonctionnel permet, d'une part, aux utilisateurs d'avoir des connaissances sur l'état du système et des autres utilisateurs (qui navigue ?, qui interagit ?, qui communique ?, qui a des difficultés ?) ; d'autre part, il fournit au système toutes les informations nécessaires pour assister les utilisateurs à agir (sélection facile, détection de l'intention de se diriger vers un objet), communiquer avec les autres et plus globalement travailler ensemble.

L'ajout de cette composante de workflow dans le système d'assistance à l'interaction 3D mono-utilisateur présenté dans la section 3.2 permet d'étendre le concept d'assistance à l'interaction 3D vers l'assistance à l'interaction collaborative. La figure 5.10 illustre le système d'assistance à l'interaction 3D collaborative résultant de l'intégration de la composante "Workflow".

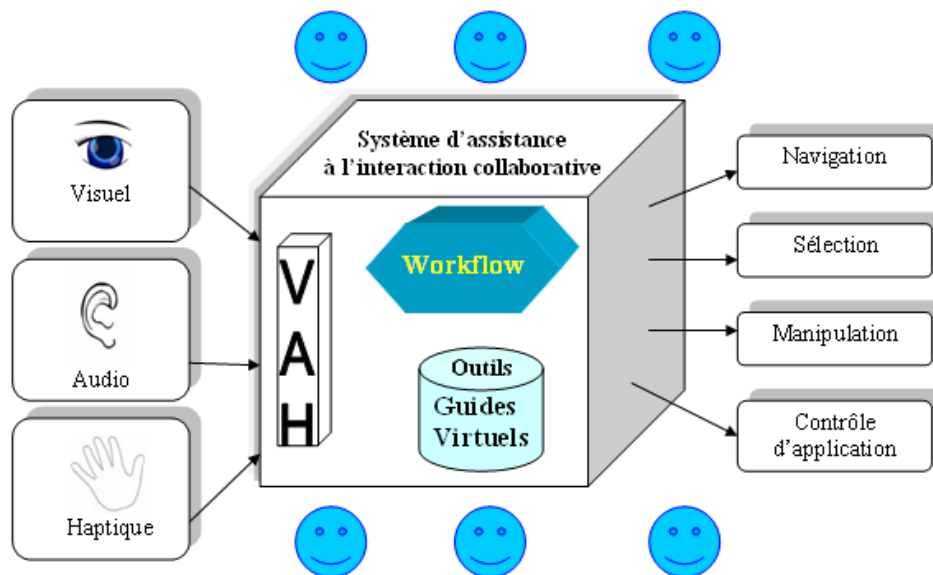


FIG. 5.10 – Assistance à l'interaction 3D collaborative : ajout de la composante workflow

Le workflow permet d'assurer la coordination des utilisateurs afin qu'ils puissent produire ensemble (manipuler un objet à plusieurs, dialoguer, naviguer, sélectionner, etc.). Le workflow est modélisé par deux composantes (voir 5.11) :

- Une première composante représente l'espace des données partagées qui permet de caractériser le comportement de l'ensemble des utilisateurs pour qu'ils puissent agir en commun ainsi que les états des différents objets virtuels ou données média. C'est

en quelque sorte une mémoire du groupe dans l'EVC. Cette mémoire collective va nous permettre de connaître des informations sur les actions des utilisateurs présents et donc caractériser l'EVC.

- La seconde composante représente l'ensemble des fonctions qui traitent les données de l'espace partagé afin de fournir les outils permettant la collaboration dans l'EVC.

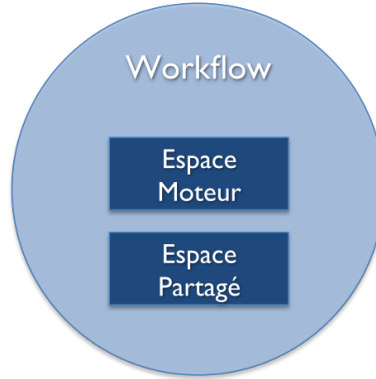


FIG. 5.11 – Les composantes du workflow

5.4.1 La composante partagée

La composante partagée du workflow est constituée de deux matrices qui représentent, pour l'une, l'état de tous les utilisateurs (ME_U) et, pour l'autre, l'état de toutes les sources de l'EVC (ME_S). Les deux matrices définissent l'état global du système et permet de caractériser l'EVC à tout instant (voir figure 5.12.(a)). Cette connaissance de l'état du système permet de filtrer et de fournir les bons outils en fonction des situations pour que les utilisateurs puissent interagir ensemble dans l'EVC. La matrice d'état est donc définie par l'équation 5.1.

$$ME = \langle ME_U, ME_S \rangle \quad (5.1)$$

Les deux matrices sont construites à partir des informations des utilisateurs et des sources de l'EVC. Pour cela, nous représentons l'EVC par le triplet (U, S, W) tel que U est l'ensemble des utilisateurs, S est l'ensemble des sources et W est le workflow. Une source étant un élément générant des informations sensorielles (objet virtuel O et donnée média M) que les utilisateurs peuvent percevoir. L'appellation de source provient des travaux de (Bharadwaj et al., 2005). Elle est pour les auteurs un élément de l'interface 2D qui génère de l'information. Quant à nous, nous définissons une source comme étant un élément de l'EVC qui génère des informations perceptibles par les utilisateurs, avec lequel il est possible d'interagir via des techniques d'interaction 3D. L'EVC est donc composé de plusieurs sources (voir figure 5.12.(b)) ; le cylindre représente le champ de vision simplifié de l'utilisateur) qui prennent différentes formes : objets 3D, flux vidéo etc..

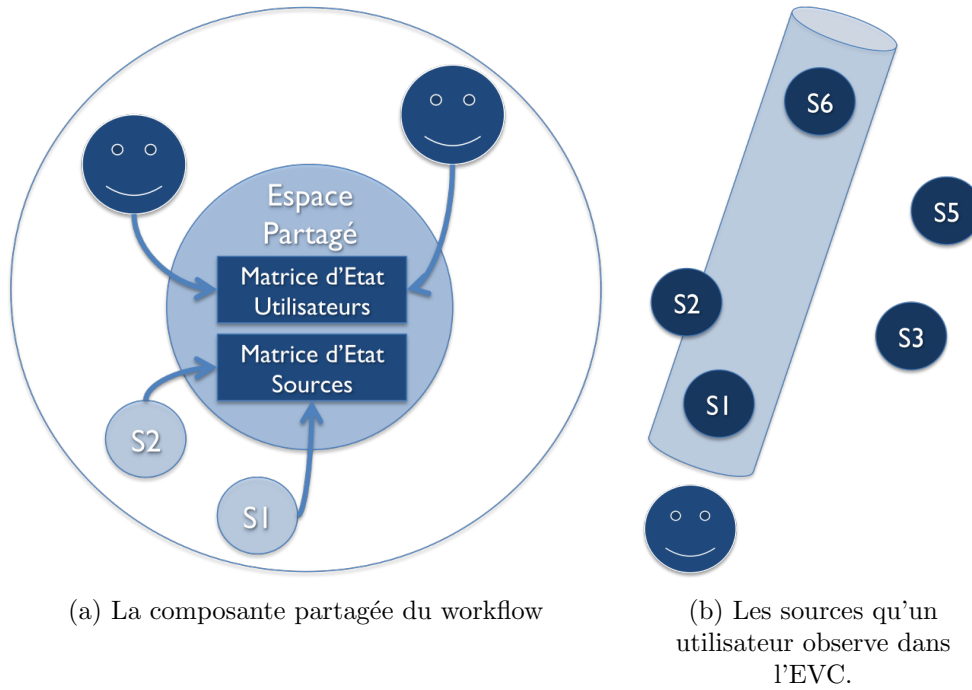


FIG. 5.12 – Illustration de la composante partagée (a) et des sources qu'un utilisateur observe dans l'EVC (b)

L'EVC peut donc être représenté par : $EVC = (U, S, W)$ avec $S = (O, M)$ tels que :

$$\begin{cases} U = u_1, u_2, u_i, \dots, u_n & \text{avec } i = (1, \dots, n) \\ O = o_1, o_2, o_j, \dots, o_l & \text{avec } j = (1, \dots, l) \\ M = m_1, m_2, m_k, \dots, m_p & \text{avec } k = (1, \dots, p) \end{cases} \quad (5.2)$$

Un utilisateur u_i est représenté par le couple (A_{u_i}, VU_{u_i}) . A_{u_i} étant l'avatar de l'utilisateur dans l'EVC et VU_{u_i} représente le vecteur d'état de l'utilisateur. Le vecteur d'état de l'utilisateur est représenté par plusieurs éléments tels que :

☛ **Vecteur d'état de l'utilisateur :**

- P_{u_i} représente la position de l'avatar ;
- O_{u_i} représente l'orientation de l'avatar ;
- F_{u_i} représente la force que l'utilisateur exerce par l'intermédiaire de l'avatar ;
- V_{u_i} représente la vitesse de l'avatar ;
- m_{u_i} représente la masse virtuelle de l'avatar.

Une source S_j est représentée par le couple (R_{s_j}, VS_{s_j}) . R_{s_j} étant la représentation de la source dans l'EVC et VS_{s_j} représente le vecteur d'état de la source :

☛ **Vecteur d'état de la source :**

- P_{s_j} représente la position de la source
- O_{s_j} représente l'orientation de la source
- V_{s_j} représente la vitesse de la source
- m_{s_j} représente la masse virtuelle de la source

En conséquence, les matrices d'états prennent la forme donnée par l'équation (5.3), représentant la matrice d'état des utilisateurs (ME_U) et par l'équation (5.4) pour la matrice d'état des sources (ME_S) :

$$ME_U = \begin{bmatrix} P_{u_0} & \dots & P_{u_i} & P_{u_n} \\ O_{u_0} & \dots & O_{u_i} & O_{u_n} \\ F_{u_0} & \dots & F_{u_i} & F_{u_n} \\ V_{u_0} & \dots & V_{u_i} & V_{u_n} \\ m_{u_0} & \dots & m_{u_i} & m_{u_n} \end{bmatrix} \text{ avec } i = (1..n) \quad (5.3)$$

$$ME_S = \begin{bmatrix} P_{s_0} & \dots & P_{s_i} & P_{s_m} \\ O_{s_0} & \dots & O_{s_i} & O_{s_m} \\ V_{s_0} & \dots & V_{s_i} & V_{s_m} \\ m_{s_0} & \dots & m_{s_i} & m_{s_m} \end{bmatrix} \text{ avec } i = (1..m) \quad (5.4)$$

5.4.2 La composante motrice

Cette composante fait intervenir des **fonctions d'assistance** qui utilisent les données de l'espace partagé pour agir sur des objets particuliers de l'EVC que nous appelons (**sources particulières**). Ces objets particuliers sont utilisés pour :

- Faire percevoir aux utilisateurs les différentes actions dans l'EVC (améliorer l'awareness du groupe) ;
- Proposer de l'assistance aux utilisateurs pour les aider à coordonner leurs interactions.

5.4.2.1 Les sources particulières

Les sources particulières sont associées à des fonctions de transferts dans le but de détecter les actions des participants ou bien de faire comprendre aux utilisateurs que certains utilisateurs réalisent des actions (awareness).

Pour cela, nous nous sommes inspirés du modèle spatial de l'interaction de Benford (Benford and Fahlen, 1993) que nous avons ensuite étendu et appliqué pour l'interaction 3D (Ouramdane-Djerrah et al., 2007). Ces modèles permettent de définir des zones pour négocier l'interaction 3D afin d'anticiper les actions des utilisateurs (par exemple, lors du passage de la tâche de navigation à la tâche de sélection, etc.). Pour cela, nous utilisons les concepts **d'aura, de focus et de nimbus** qui permettent de négocier ces changements de zones (manipulation, sélection et navigation) en fonction des données (position et orientation) des utilisateurs (voir la figure 5.13). Ces sources particulières sont : le focus, l'aura, le numbus, l'assistant et l'avatar. Les utilisateurs sont caractérisés par des vecteurs d'états. La matrice d'état formée des vecteurs permet d'alimenter le moteur de workflow. Le moteur agit alors sur ces sources particulières pour modifier la perception dans l'EVC.

☛ **Les sources :**

- **Le focus** correspond à l'ensemble des sources avec lesquelles l'utilisateur peut interagir. Ce sont les sources qui appartiennent à une zone qui en réalité représente le champ de vision de l'utilisateur. L'intersection de deux focus permet à deux utilisateurs d'interagir sur la même source qu'ils visualisent (illustré dans la figure 5.13).
- **Le nimbus** correspond à l'ensemble des utilisateurs voulant interagir sur une source. Il représente le groupe qui va peut-être sélectionner la source en vue de la manipuler par la suite (illustré dans la figure 5.13).
- **L'aura** correspond à la zone qui entoure une source qui permet aux utilisateurs de sélectionner la source, seul (voir la figure 5.14-a) ou à plusieurs. La sélection est possible uniquement si le/les avatars des utilisateurs sont dans l'aura de la source (voir la figure 5.14-b).
- **L'assistant** permet à un utilisateur d'être assisté sur des actions spécifiques qu'il réalise. Par exemple, dans le cas de la sélection d'une source en vue de la manipuler, un assistant peut intervenir de manière visuelle, motrice ou combinée. L'assistant prend alors la forme d'un objet assurant le rôle d'un guide virtuel comme décrit dans les articles suivants : (Otmane et al., 2000a), (Ullah et al., 2009a) et (Prada and Payandeh, 2009). Dans ce cas, lorsque l'utilisateur sera informé visuellement qu'il s'approche de l'objet et lorsque ce dernier sera à l'intérieur de l'objet assistant, l'assistant l'aidera à atteindre la cible. Cela va permettre une sélection plus aisée en permettant une approche plus simple et guidée vers la cible (voir 5.15).
- **L'Avatar** est une représentation dans le monde virtuel de l'utilisateur. Il peut prendre la forme d'un humanoïde ou une forme simple d'un objet 3D reconnaissable. Il va permettre de représenter les positions et les orientations de l'utilisateur aux autres utilisateurs ainsi que lui-même dans l'environnement virtuel collaboratif.

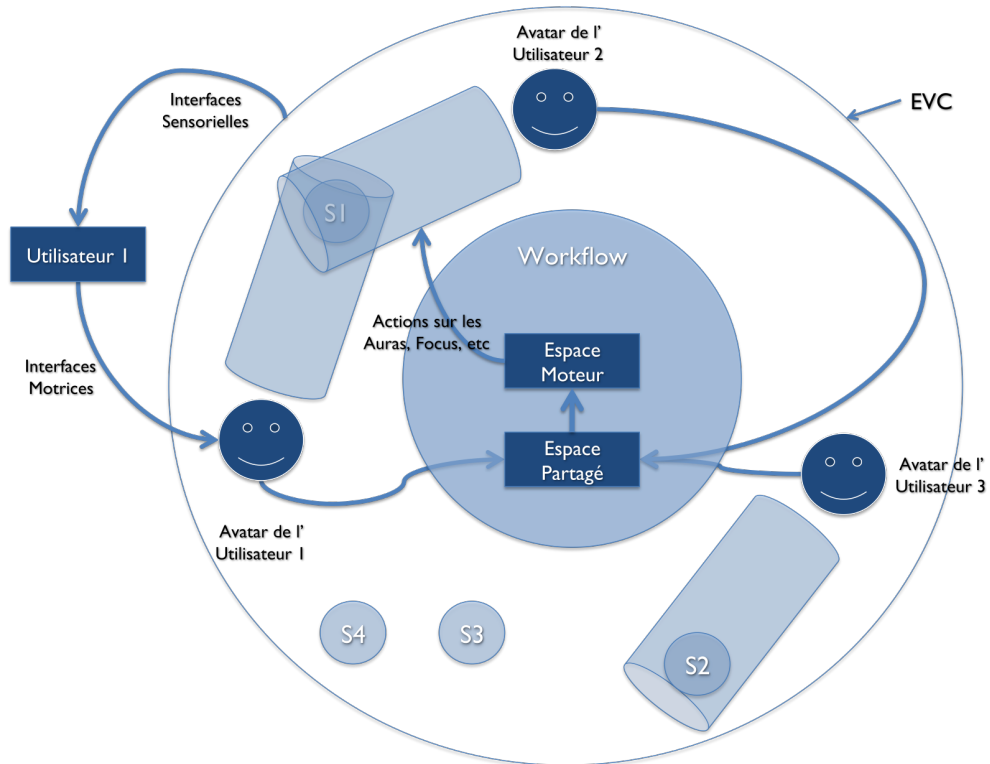


FIG. 5.13 – Illustration des interactions entre le workflow et les sources particulières. Dans cet exemple, le focus de l'utilisateur 3 correspond à la source S2, et le numbus de la source S1 correspond à l'ensemble (utilisateur 1, utilisateur 2).

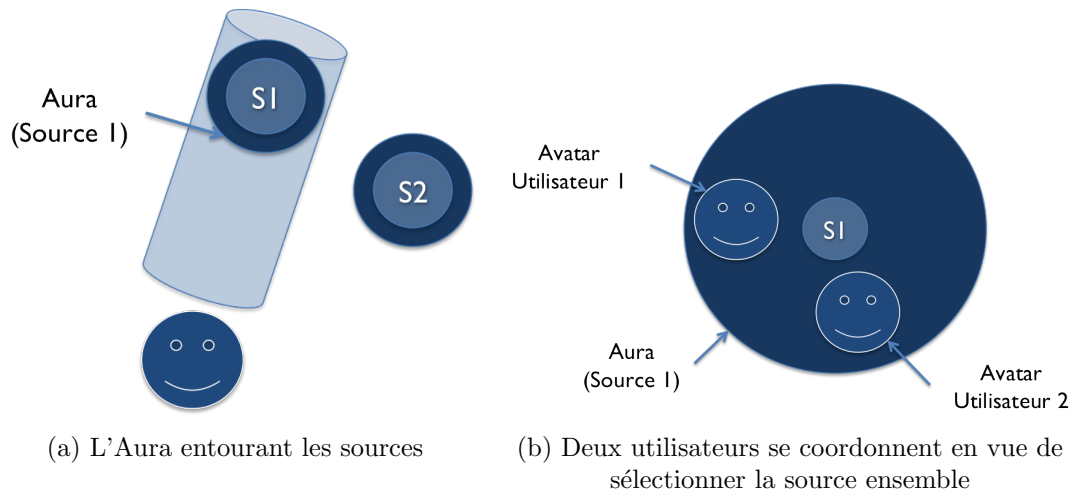


FIG. 5.14 – Illustration de l'Aura

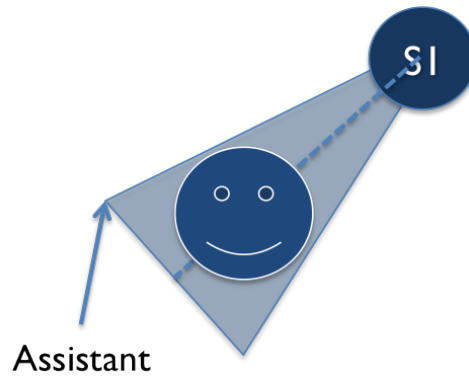


FIG. 5.15 – Illustration de l'assistant durant une phase de sélection

5.4.2.2 Les fonctions d'assistance

Les fonctions d'assistance sont des fonctions qui agissent sur les sources particulières que le moteur peut utiliser (le focus, l'aura, l'assistant, l'avatar) en exploitant les données de l'espace partagé. Ces fonctions interviennent dans les différents tâches de l'interaction 3D (navigation, sélection, manipulation). En agissant sur ces objets particuliers, le système est capable de fournir une assistance aux utilisateurs afin de permettre la coordination de ces derniers dans l'EVC.

La fonction de navigation :

Cette fonction va agir sur la couleur de l'aura en utilisant des données des matrices d'états dans le but d'indiquer à l'utilisateur sa position vis-à-vis des sources. Cela permet d'informer l'utilisateur local qu'il se rapproche ou s'éloigne des sources. Pour les utilisateurs distants, cette fonction peut modifier, par exemple, la couleur de l'avatar des autres participants (figure 5.16).

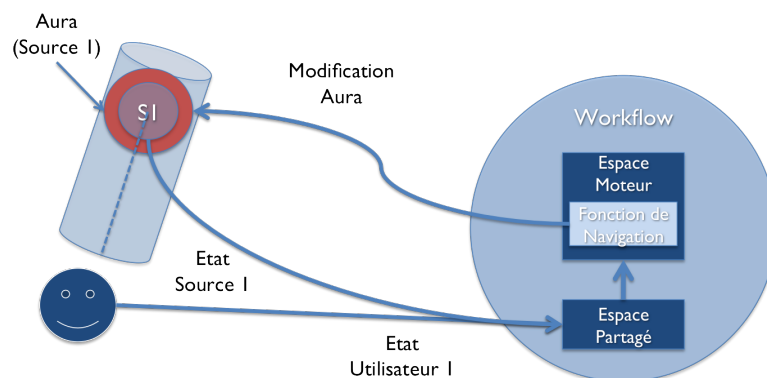


FIG. 5.16 – Principe de l'application de la fonction de navigation

La fonction de sélection :

Cette fonction est dédiée à la gestion des sélections par les utilisateurs. Elle devient active lorsque ces derniers pénètrent dans l'aura de la source. Un assistant apparaît afin

de les aider à la sélection. Lorsque la sélection est validée, la manipulation devient possible (voir 5.17). Cette fonction agit de manière similaire pour les utilisateurs distants.

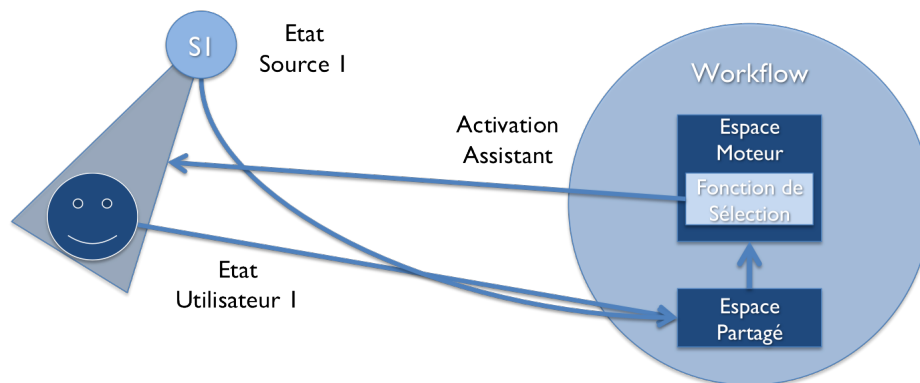


FIG. 5.17 – Illustration de la fonction de sélection

La fonction de manipulation :

Comme nous l'avons vu dans le bref état de l'art, l'interaction à plusieurs dans un monde virtuel est souvent limitée à deux utilisateurs par objet. De plus, des nouvelles techniques sont proposées dans les cas multi-utilisateurs ce qui rend l'apprentissage pour les utilisateurs plus laborieux et nécessite de changer de technique durant le passage mono à multi-utilisateurs.

Nous souhaitons que les utilisateurs puissent manipuler des objets à plusieurs via la technique mono-utilisateur de leur choix. De cette manière, lors du passage d'une interaction mono-utilisateur vers une interaction à plusieurs, les utilisateurs peuvent continuer à utiliser le système de la même manière. En effet, cela évite un apprentissage d'une nouvelle métaphore et une charge cognitive supplémentaire pour les utilisateurs.

Notre approche consiste à intégrer des concepts de mécanique classique en modélisant la manipulation multi-utilisateur via un système mécanique composé de liaisons mécaniques. Nous présentons les concepts qui s'inscrivent dans l'espace de manipulation de notre modèle.

• **Notion de repère et de mouvement :**

En physique, pour déterminer le mouvement en translation d'un objet, il est possible d'utiliser les deux premières lois de Newton. La première loi (voir l'équation 5.5) s'énonce ainsi : "Dans un référentiel galiléen, le vecteur vitesse du centre d'inertie d'un système est constant si et seulement si la somme des vecteurs forces qui s'exercent sur le système est un vecteur nul".

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \quad (5.5)$$

Cette première loi permet de déterminer la vitesse d'un objet en mouvement de translation uniforme. La seconde loi de Newton (voir l'équation 5.6) s'énonce quant à elle ainsi : "Soit un objet de masse "m" : l'accélération "a" subie par l'objet dans un référentiel galiléen est proportionnelle à la résultante des forces qu'il subit".

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a} \quad (5.6)$$

Cette loi nous donne l'accélération en translation d'un objet dans un référentiel galiléen. Pour déterminer l'accélération angulaire de ce même objet, il est nécessaire d'utiliser l'extension de cette loi pour la rotation. L'accélération angulaire a_α subie par un objet, de moment d'inertie J dans un référentiel galiléen, est proportionnelle à la résultante des moments des forces qu'il subit (voir l'équation 5.7).

$$\sum \vec{M}_{ext} = J \vec{a}_\alpha \quad (5.7)$$

Nous pouvons résumer cela en utilisant les torseurs d'actions et dynamique (voir l'équation 5.8).

$$\sum T_{ext} = \{D\} \quad (5.8)$$

Nous savons que chaque liaison élémentaire de mécanique a une représentation sous forme de torseur d'action $\{T\}$. L'idée est d'exploiter les torseurs d'actions de liaisons et de les appliquer à l'équation 5.8. Pour ce faire, nous modélisons les liaisons avatars-objet via une liaison mécanique pour former un mécanisme.

• **Notion de mécanisme et de liaison :**

Par définition, un mécanisme est la combinaison de plusieurs pièces. Dans notre cas, on parlera de plusieurs objets et d'avatars. Ces pièces sont liées entre elles par des contacts qu'on appelle liaisons mécaniques. La liaison mécanique est la description de la relation entre les pièces via des modèles mathématiques.

Lors de la sélection d'un objet via une interaction mono-utilisateur, l'avatar de l'utilisateur devient le "parent" de l'objet. Celui-ci hérite donc des mouvements de l'avatar ce qui facilite la manipulation. Dans le cas multi-utilisateur, cela ne peut pas s'appliquer

directement, car lors d'une manipulation d'un objet par deux utilisateurs, le mouvement de l'objet est dépendant de l'action des deux utilisateurs puisque les utilisateurs "sont liés" à l'objet par des liaisons.

En reprenant l'exemple du déplacement d'un objet par une technique mono-utilisateur (l'objet hérite des mouvements de l'avatar), il existe aussi une liaison entre l'avatar et l'objet. Nous pouvons modéliser cela sous la forme d'une liaison encastrement. L'utilisation de liaisons virtuelles entre les avatars et les objets va agir comme un adaptateur qui va adapter les techniques mono-utilisateur au cas de la manipulation à plusieurs (comme illustré dans la figure 5.18).

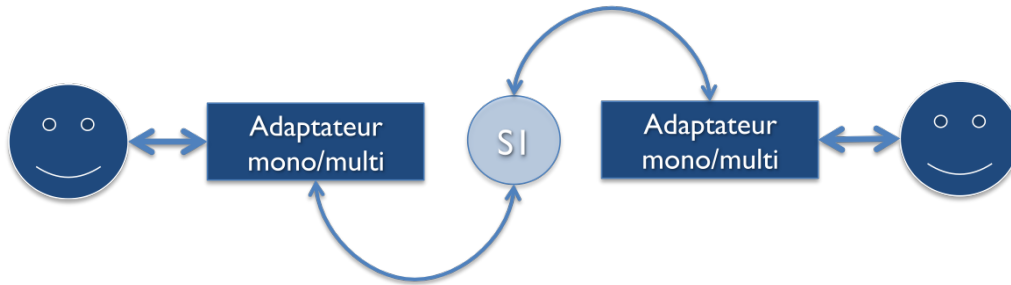


FIG. 5.18 – Principe de notre proposition pour permettre la manipulation à plusieurs

Pour déterminer le mouvement de l'objet, on exploite les forces que les utilisateurs exercent sur les points d'attache de l'objet. La figure 5.19 illustre le processus pour déterminer le mouvement de la source $S1$ à partir de la force F . Dans cette exemple, une liaison rotule relie l'avatar et l'objet. Elle est modélisée par son torseur des efforts transmissibles T_{Rotule} . La figure 5.20 illustre le fonctionnement du processus. En résolvant la relation de la dynamique, nous pouvons déterminer les accélérations en translation et en rotation de l'objet, à partir de la force communiquée par l'utilisateur sur la liaison rotule représentée par son torseur :

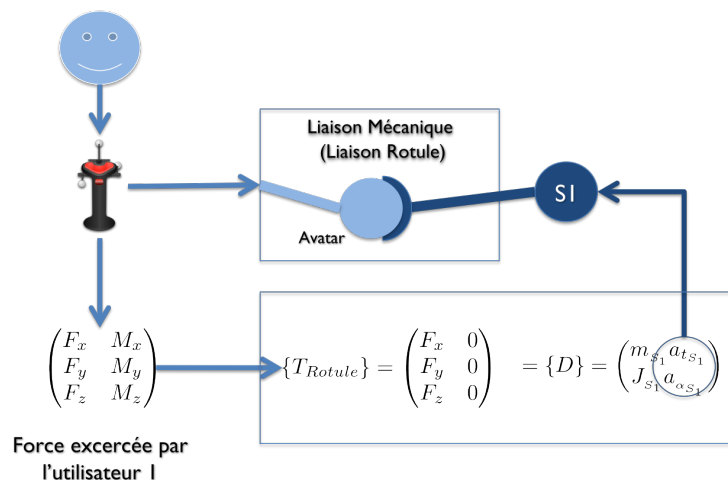


FIG. 5.19 – Processus pour déterminer le mouvement de l'objet.

Finalement, la fonction de manipulation va agir sur la source (l'objet que manipulent les utilisateurs) et sur l'environnement. Elle permet, d'une part, d'assister les utilisateurs à coordonner leurs interactions sur un même objet (en utilisant des augmentations multi-sensorielles). D'autre part, elle peut intervenir directement sur l'objet manipulé en

modifiant ces propriétés (position et orientation par exemple) via le modèle de la liaison mécanique avatar-objet. La figure 5.20 illustre l'application de la fonction de manipulation pour modifier la position et l'orientation d'un objet manipulé par deux utilisateurs.

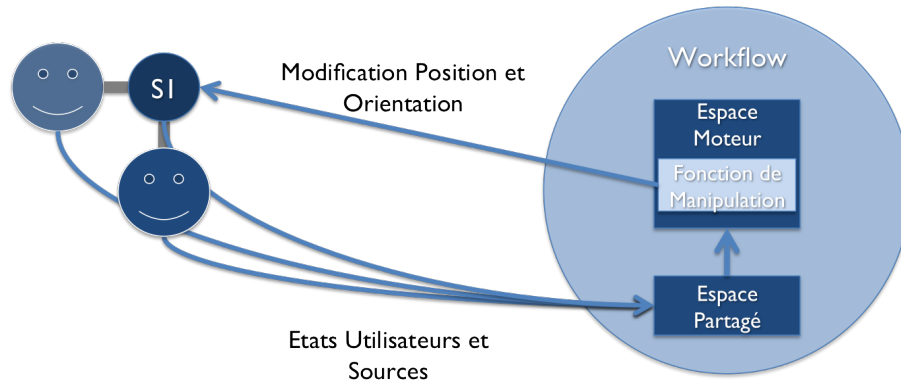


FIG. 5.20 – Illustration de l'application de la fonction de manipulation

Afin de tester ce modèle d'assistance à l'interaction 3D collaborative, nous avons réalisé deux expériences. La première concerne la tâche de sélection en mono-utilisateur et la seconde concerne une tâche de manipulation à deux utilisateurs. Ces deux expériences sont résumées dans les deux sections suivantes.

5.5 Application à la sélection d'un objet par un utilisateur

L'objectif de la première expérience est d'analyser la réaction des participants vis-à-vis de l'utilisation du modèle d'assistance.

Cette étude a comme objectif de comparer les performances des tâches de sélection avec ou sans assistance.

L'environnement virtuel utilisé pour cette expérience est illustré dans la figure 5.21 (a). Il est composé d'un avatar et de plusieurs objets (sphère, cube, cylindre, anneau, etc.). Ces objets peuvent être sélectionnés et sont entourés de leur aura. Celle-ci est proportionnelle à l'échelle de l'objet, ce qui permet d'éviter d'obtenir des auras de très grandes tailles entourant des objets très petits. Tous les objets sont de la même couleur. Les utilisateurs sont représentés par des avatars (un simple objet de forme cylindrique). Les auras varient de couleur et disparaissent lorsque l'utilisateur entre dans la phase de sélection. Les guides virtuels sont de forme conique et ont pour couleur initiale le bleu. Leurs couleurs varient en fonction de la position de l'utilisateur.

L'expérience consiste à naviguer dans l'EV en suivant des points de contrôle, puis à sélectionner un des points d'attache du cube (voir la figure 5.21 (b)) dans l'environnement virtuel. L'expérience prend fin lorsque les utilisateurs valident la sélection du point d'attache.

La figure 5.22(a) nous donne des premiers éléments de réponse concernant le temps de sélection. En effet, les guides virtuels améliorent les performances en sélection. C'est

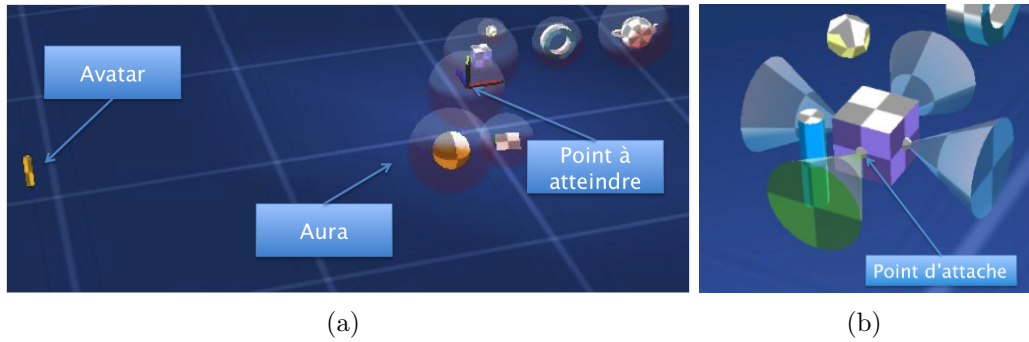


FIG. 5.21 – L'environnement virtuel utilisé pour réaliser la première expérience (a) visualisation de l'aura des objets et de la trajectoire à suivre, (b) les points d'attache à atteindre avec la main virtuelle simple pour valider la sélection.

un résultat attendu qui est logique car la main virtuelle simple n'est que très peu efficace pour la sélection d'objets petits (ce qui correspond aux points d'attache). Dans les essais sans assistance, la durée moyenne de sélection t_s est de 3,25 secondes (écart-type : 1,0 secondes) alors qu'elle est de 2 secondes (écart-type : 0,58 secondes) pour les essais avec assistance (présence de guides virtuels). L'ANOVA confirme l'influence des guides virtuels sur les performances en sélection (ANOVA $f = 14,86$, $p < 0,01$). De la même manière, les expériences sans assistance ont engendré plus d'erreurs de sélection contrairement aux essais avec assistance (voir figure 5.22)(b). La présence d'erreurs commises par les sujets est fortement dépendante des conditions correspondant aux cas de présence des guides virtuels (ANOVA $f = 4,69$, $p < 0,01$) pour l'aide à la sélection.

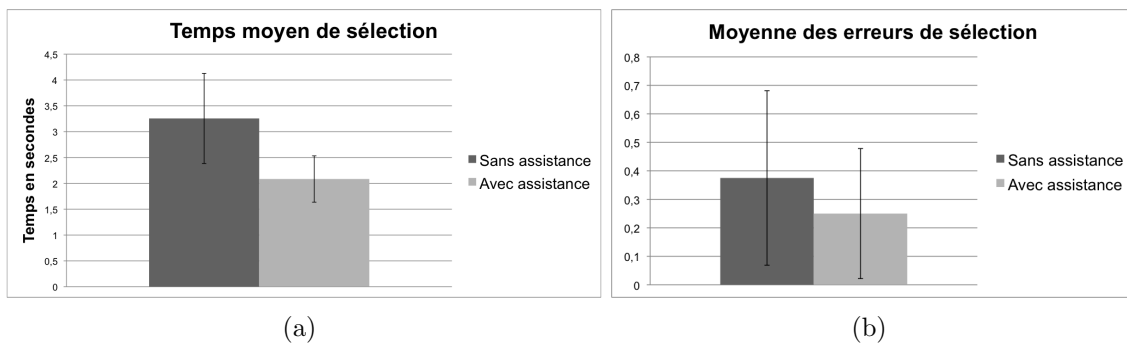


FIG. 5.22 – Influence de l'assistance en sélection sur le temps (a) et sur le nombre d'erreurs (b).

Les deux résultats obtenus concernant la durée de sélection et le nombre d'erreurs de sélection ne sont pas étonnants car la technique de "Main Virtuelle Simple" est délicate à utiliser lorsque les objets à sélectionner sont petits, ce qui est le cas ici pour les points d'attache du cube. Le guide virtuel améliore notablement la perception de la distance entre l'avatar et le point d'attache, ce qui diminue à la fois le nombre d'erreurs de sélection et la durée de sélection par rapport au cas sans assistance. Sans assistance, l'utilisateur a du mal à être suffisamment précis et a tendance à valider plusieurs fois sa sélection sans succès avant de parvenir à la fin de l'expérience. Cela induit une augmentation de la durée

de sélection dans le cas sans assistance.

Cette première expérience nous a permis de mettre en pratique le modèle de gestion de l'interaction 3D ainsi que de récupérer des informations concernant nos outils d'assistance. Dans la seconde expérience, nous testons le modèle dans un cadre réellement coopératif avec deux utilisateurs.

5.6 Application à la manipulation d'un objet par deux utilisateurs

Dans cette section, nous proposons de tester notre modèle d'assistance et de mesurer les premiers résultats de son utilisabilité ainsi que son efficacité dans le cas multi-utilisateurs pour une tâche de manipulation synchrone d'un objet par deux utilisateurs. L'expérimentation de manipulation à deux utilisateurs nous permet d'analyser la réaction des participants vis-à-vis de l'utilisation de notre modèle et d'avoir une première appréciation globale des outils d'assistance pour la coordination. L'objectif est de comparer les performances durant la manipulation à deux utilisateurs avec les deux types d'assistance (visuelle et combinée visuelle-manipulation) au cas sans assistance.

L'environnement virtuel collaboratif (EVC) est illustré sur la figure 5.23(b). Cet EVC se compose de deux avatars (pour les deux utilisateurs) et d'une planche sur laquelle est posé un objet cylindre. Les utilisateurs doivent déplacer la planche jusqu'à une zone de dépôt qui sera utilisée pour valider la fin de la manipulation, sans faire chuter le cylindre qui est posé dessus. Les deux avatars de forme cubique sont de même taille mais de couleurs différentes. La couleur jaune représente le premier utilisateur et le bleu le second. La zone de dépôt est quant à elle de couleur bleue. L'accès à la zone de dépôt se trouve derrière un mur, bloquant ainsi le passage des utilisateurs.

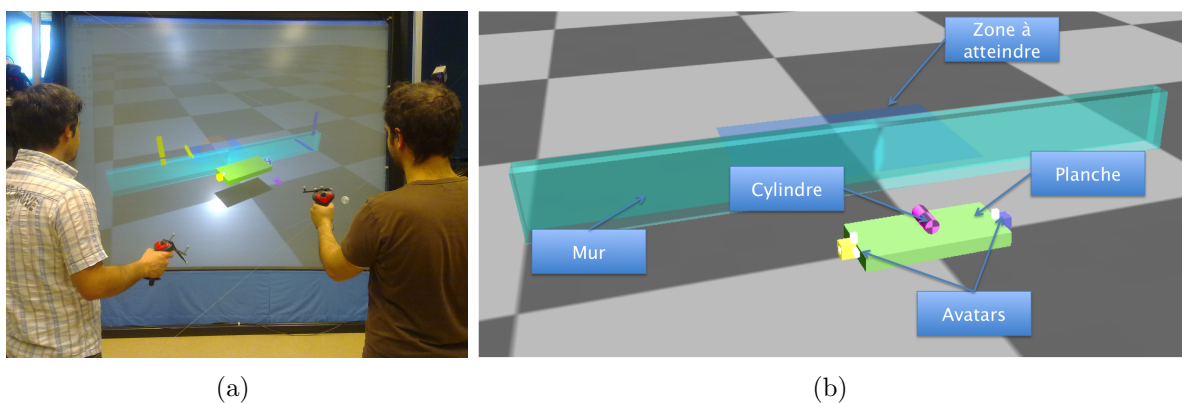


FIG. 5.23 – Le dispositif expérimental de l'expérience (a) et l'environnement virtuel utilisé pour réaliser la seconde expérience (b).

Les avatars des utilisateurs sont liés aux points d'attache de la planche via une liaison mécanique de type encastrement (aucun degré de liberté). Cela signifie que l'avatar reste fixe par rapport à la planche car la liaison ne permet ni translation ni rotation entre l'avatar et la planche (voir la figure 5.24).

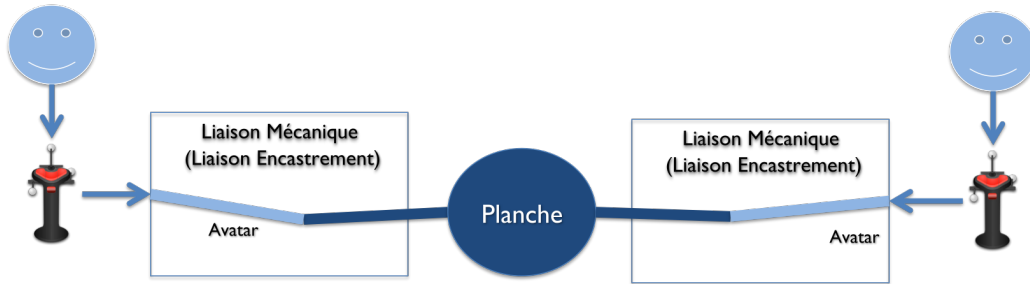


FIG. 5.24 – Liaisons entre les deux avatars et la planche

La liaison que nous avons utilisée permet à l'avatar de transmettre un effort à la planche car le mouvement relatif est bloqué (aucun degré de liberté). L'effort transmis est déterminé à partir de la matrice d'état des utilisateurs ME_U (voir l'équation 5.9) et, plus précisément, des vecteurs d'états des deux utilisateurs. Cette matrice contient les vitesses de déplacement des utilisateurs (V_{u_0} et V_{u_1}). Nous pouvons donc déterminer la force (F_{u_0} et F_{u_1}) que les utilisateurs exercent sur leurs avatars respectifs et, par conséquent, sur la planche via les liaisons. La position et l'orientation de l'objet ($P_{Planche}$ et $O_{Planche}$) sont déterminées par notre fonction qui utilise le Principe Fondamental de la Dynamique (PFD). Cette fonction de calcul du PFD va donc modifier la matrice d'état des sources qui est représentée par l'équation 5.10.

$$ME_U = \begin{bmatrix} P_{u_0} & P_{u_1} \\ O_{u_0} & O_{u_1} \\ V_{u_0} & V_{u_1} \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

$$ME_S = \begin{bmatrix} P_{Cylindre} & P_{Planche} \\ O_{Cylindre} & O_{Planche} \\ V_{Cylindre} & V_{Planche} \\ 0,1 & 0,5 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Les constantes dans les deux matrices représentent les masses que nous avons attribuées aux objets :

- Avatars : 1 Kg;
- Cylindre : 0,1 Kg;
- Planche : 0,5 Kg.

Deux types d'assistance sont testés pour la tâche de manipulation coopérative dans cette expérience :

- Assistance visuelle : des indications visuelles 3D (flèches, point d'exclamation) apparaissent durant la manipulation, indiquant aux utilisateurs des problèmes à propos de la stabilité du cylindre. Les flèches sont utilisées pour indiquer aux utilisateurs le sens du déplacement à effectuer pour éviter la chute du cylindre. Le point d'exclamation apparaît si la correction n'est pas réalisée par les utilisateurs.
- Assistance visuelle et à la manipulation : en supplément des indications visuelles, une fonction agissant sur le mouvement de la planche est ajoutée. Celle-ci se base sur l'inclinaison de la planche et va modifier le comportement de la liaison mécanique

pour restreindre certains mouvements jugés inopportuns pour la stabilisation du cylindre sur la planche. Elle est donc destinée à éviter le basculement de la planche et donc la chute du cylindre. Cependant, les utilisateurs peuvent "forcer" cette aide à la stabilisation s'ils souhaitent réellement faire basculer la planche.

Nous avons représenté l'utilisation des données de la matrice d'état par les fonctions sur la figure 5.25. La fonction d'assistance visuelle nécessite les vitesses des utilisateurs (V_{u_0} et V_{u_1}) et la position de la planche ($P_{Planche}$). La fonction d'assistance à la manipulation va agir directement sur la source.

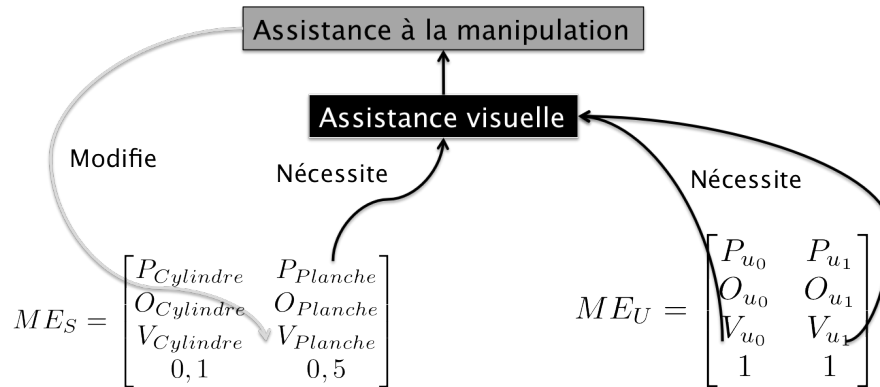


FIG. 5.25 – Utilisation des données de la matrice d'état par nos fonctions d'assistance

Trois conditions sont utilisées : condition A : sans assistance, condition B : avec assistance visuelle et condition C : avec assistance visuelle et à la commande.

En générale, nous remarquons que les assistances (conditions B et C) permettent de limiter le nombre de chutes du cylindre (voir la figure 5.26(a)). En effet, l'assistance visuelle est un outil permettant d'anticiper la chute ; elle permet par conséquent aux utilisateurs de se corriger. D'autre part, l'ajout d'une correction aux mouvements effectués par les deux utilisateurs permet de stabiliser la planche pour éviter autant que possible la chute du cylindre.

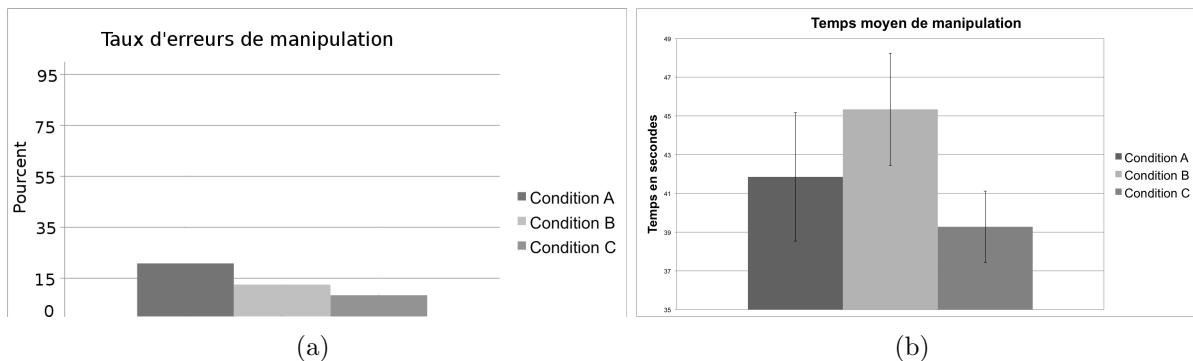


FIG. 5.26 – Taux d'erreurs de manipulation (a) et temps moyen total (b) en fonction des trois conditions d'assistance (A, B et C)

La figure 5.26(b) illustre la durée moyenne de manipulation dans chacune des trois conditions d'assistance. En moyenne, les essais sous la condition C sont plus rapides

que ceux correspondant à la condition B. En effet, les assistances visuelles permettent certes d'éviter la chute dans une certaine mesure en visualisant la manière de corriger le mouvement de la planche plus facilement, mais l'assistance s'effectue au détriment de la durée de manipulation. En effet, nous avons observé lors des essais sous la condition B que, lorsque les assistances visuelles apparaissent (ce qui signifie une chute possible future), les utilisateurs prennent du temps pour dialoguer et discuter d'une stratégie pour corriger et éviter la chute : ils perdent alors du temps.

5.7 Bilan

Dans ce chapitre, nous avons développé le thème "**Collaboration**" qui émerge des deux communautés : réalité virtuelle et IHM. En effet, les travaux dans le cadre de l'assistance à l'interaction 3D collaborative ont bénéficié des concepts et des résultats obtenus pour l'assistance à l'interaction 3D et au télétravail collaboratif développés respectivement dans les chapitres 3 et 4. Le modèle du trèfle fonctionnel des collecticiels (communication, coordination et production) est utilisé pour la spécification fonctionnelle de l'interaction 3D collaborative. Les trois tâches de l'interaction 3D (navigation, sélection et manipulation) trouvent bien leurs places dans l'espace de production du trèfle. De même que le concept de workflow qui, du point de vue des collecticiels, permet la gestion des rôles et des utilisateurs, est utilisé dans la boucle perception-cognition-action en réalité virtuelle pour l'assistance à la coordination des tâches d'interaction 3D entre les utilisateurs. Afin de permettre une assistance mutisensorielle aux tâches d'interactions 3D collaboratives, nous avons intégré la composante de workflow dans le système d'assistance à l'interaction 3D proposé dans le chapitre 3.

Nous avons ensuite présenté les deux composantes du workflow. La première est une composante partagée qui contient les données relatives aux utilisateurs et aux sources (objets) de l'EVC. Ces données sont représentées dans notre modélisation par deux matrices : la première représente l'état des utilisateurs, alors que la seconde représente l'état des objets dans l'EVC. La seconde composante représente le moteur du workflow, elle correspond aux fonctionnalités dédiées à l'assistance à la coordination des tâches d'interaction 3D. Elle utilise les données partagées et les applique sur des objets particuliers (sources particulières : le focus, l'aura, l'assistant, l'avatar) de l'EVC via des fonctions d'assistance. Ces dernières agissent sur ces sources particulières en exploitant les données de l'espace partagé. Ces fonctions interviennent dans les différentes tâches de l'interaction 3D (navigation, sélection et manipulation).

Nous avons présenté également un résumé des premières expérimentations que nous avons réalisées. Ces premières expérimentations nous ont permis, d'une part, de tester la possibilité d'une implémentation du modèle et, d'autre part, nous ont permis de constater son intérêt dans les tâches d'interaction 3D mono et multi-utilisateurs. Dans un premier temps, nous avons mené une expérimentation sur les tâches de navigation et de sélection. L'objectif a été de vérifier l'apport des assistances dans les tâches mono-utilisateur. La seconde expérimentation concerne quant à elle la manipulation synchrone d'un objet par deux utilisateurs. L'objectif a été de tester les performances des assistances durant le déplacement d'un objet sur lequel était posé un autre objet cylindre (qui peut tomber suite à une faible inclinaison de la planche). En effet, une des difficultés de l'interaction

multi-utilisateurs est l'aspect coordination durant la réalisation d'une tâche.

L'analyse subjective que nous avons réalisée a révélé quant à elle la nécessité de traiter un aspect "cognitif" pour l'interaction collaborative. Nous pensons que le sentiment que possède un utilisateur (à propos du rôle important de sa contribution) par rapport à son partenaire est présent et affecte les performances communes. Nous pensons également que la présence des aides visuelles destinées à un utilisateur et qui sont visibles par les deux utilisateurs joue très certainement un rôle de "répression" en indiquant le mauvais élève du couple. Cela a d'ailleurs engendré de l'énerverment chez certains participants et de la frustration.

Cette expérimentation a démontré également des faiblesses dans la conception du protocole expérimental qui nécessite une étude plus approfondie.

Nos travaux en relation avec le thème de ce chapitre ont donné lieu aux publications suivantes :

1. S. Otmane, C. Domingues, F. Davesne and M. Malle, *Collaborative 3D interaction in Virtual Environments : a workflow-based approach*, Book Chapter in Virtual Reality, INTECH International, to appear.
2. S. Ullah, P. Richard, S. Otmane and M. Malle, *Human Performance in Cooperative Virtual Environments : the Effect of Visual Aids and Oral Communication*, in International Journal of Virtual Reality (IJVR),8(4) :79-86, 2009.
3. S. Otmane, N. Ouramdane and M. Malle, *Towards collaborative teleoperation based on human scale networked mixed reality environments*, Book Chapter in "End-to-End QoS Engineering in Next Generation Heterogenous Networks", edited conjointly by Wiley & sons and ISTE/Hermes editors, pp. 382-410, 2008.
4. N. Ouramdane, S. Otmane and M. Malle, *A new model of collaborative 3D interaction in shared virtual environment*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS 4551), Human-Computer Interaction, Part II, HCII 2007, pages 663-672, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
5. S. Otmane N. Ouramdane and M. Malle, *Towards a Collaborative 3D Interaction Model for Cooperative Design in Virtual Environments*, in the 11th IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (IEEE CSCWD'07), pages 198-203, Melbourne, Australia, April 26-28, 2007.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

5.8 Bilan

Il y a une dizaine d'années, mes travaux de recherche s'inscrivaient dans le domaine de la télérobotique et de la réalité augmentée, où les recherches se sont focalisées sur l'assistance à la téléopération en réalité augmentée via internet. Les travaux de ma thèse ont permis de mettre en place le projet ARITI avec sa première interface en réalité augmentée via le web en 1998 qui permet la commande d'un robot de notre laboratoire à partir de n'importe où dans le monde avec précision, sécurité et rapidité. Ceci n'est possible que grâce au premier formalisme de guides virtuels actifs proposé et à l'interface¹ homme-machine développée permettant son exécution via un simple navigateur web. Ce projet est la référence française sur le site web de la NASA² et sur le site web Australien créé en 2005 "Telelabs project"³.

Ensuite est venu le besoin de faire collaborer plusieurs utilisateurs distribués géographiquement pour réaliser des missions de téléopération complexes. C'est à ce moment que les recherches dans le domaine du travail collaboratif ont commencé. C'est notamment avec l'encadrement de la thèse de Narjes khezami (de 2002 à 2005) que les travaux sur la modélisation et la conception d'un collecticiel pour la téléopération ont été réalisés. Ces travaux ont fait ressortir un problème important dans le domaine du travail collaboratif. Il s'agit de la problématique de la malléabilité des systèmes en général et des collecticiels en particulier. Cela est une conséquence des besoins qui émergent durant un processus de collaboration des utilisateurs. Cette problématique a été abordée avec l'encadrement de la thèse de Nader Cheaib (de 2007 à 2010).

Il y a près de cinq ans, après l'acquisition de la plateforme de réalité virtuelle et augmentée (EVR@) du laboratoire IBISC, nos recherches dans le domaine de la réalité virtuelle ont réellement commencé. En effet, la plateforme EVR@ nous a permis de passer du stade de la simple modélisation et simulation informatique de nos concepts, vers de réelles expérimentations à taille humaine, aussi bien en réalité virtuelle qu'en réalité augmentée en vision indirecte. Nous avons étendu nos travaux initialement destinés à l'interaction et à la collaboration via des interfaces homme-machine 2D vers l'interaction 3D et la collaboration dans des environnements virtuels. Depuis, 4 thèses ont été soutenues sur les deux thèmes interaction 3D et interaction collaborative en réalité virtuelle et augmentée (Nassima Ouramdane (2005-2008), Mouna Essabbah (2007-2010), Pierre Boudoin

¹Développée en langage JAVA et qui intègre de la réalité augmentée via le web

²http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/realrobots.html.

³<http://telerobot.mech.uwa.edu.au/links.html>

et christophe Domingues (2008-2010).

Tous ces travaux ont un point en commun : l'**assistance** et deux problématiques : l'**interaction** et la **collaboration** pour utiliser ou simuler des systèmes complexes. Ces systèmes complexes peuvent être soit artificiels (cas de la robotique/télerobotique) ou bien issus du vivant (cas de la simulation en biologie moléculaire).

C'est dans ce contexte que nous avons essayé de résumer l'ensemble de nos travaux dans ce mémoire. En effet, la démarche de recherche présentée en introduction ainsi que le cadre de nos travaux de recherche (présenté dans le chapitre 2) vont dans ce sens.

Dans ce qui suit nous récapitulons l'ensemble des travaux présentés dans les chapitres 3, 4 et 5 de ce mémoire.

5.8.1 Sur l'assistance à l'interaction 3D

Dans le chapitre 3, nous avons développé le thème de recherche "**Interaction 3D**". Les recherches réalisées ont montré les limites des techniques d'interaction 3D existantes pour la réalisation des tâches dans des environnements exigeants en terme de précision, de sécurité et de crédibilité. Les recherches dans ce domaine se sont focalisées sur la façon dont on peut aider l'homme à interagir (naviguer, sélectionner, manipuler et contrôler l'application) d'une manière efficace et crédible avec ce type d'environnement. Dans notre étude, l'efficacité de l'interaction se traduit par la mesure de performance (précision, sécurité et temps de réalisation) d'une tâche d'interaction 3D. Alors que la crédibilité de l'interaction se définit par le respect permanent des contraintes issues des lois d'un domaine d'application.

Nous avons identifié les composantes principales d'un système d'assistance à l'interaction 3D qui sont les modalités sensorielles (audio, vidéo et haptique) et les guides virtuels. Par conséquent, le nouveau formalisme proposé pour les guides virtuels intègre le type de modalités sensorielles, le type de tâche d'interaction 3D (navigation, sélection, manipulation et contrôle d'application) ainsi que les contraintes du domaine d'application. Ce formalisme est le résultat de la convergence des recherches menées sur l'assistance à l'interaction dans des environnements utilisant des systèmes complexes artificiels (cas du projet ARITI) et le résultat des études réalisées sur l'interaction dans des environnements simulants des systèmes complexes issus du vivant (cas du projet InVirtuo) pour les applications en biologie moléculaire.

Nous avons présenté par la suite deux exemples d'applications. Le premier présente l'apport de l'assistance pour améliorer les performances d'une interaction 3D homme-robot. Le deuxième exemple montre l'intérêt de l'assistance pour une interaction 3D crédible avec un modèle 3D représentant un chromosome. Nous avons souligné l'importance de diminuer la charge de l'utilisateur afin qu'il puisse s'occuper essentiellement de la tâche qu'il doit réaliser. En effet, l'objectif principal du système d'assistance à l'interaction 3D est d'aider l'utilisateur à interagir moyennant des interfaces sensorimotrices avec des techniques d'interactions 3D classiques, afin de pouvoir travailler dans des environne-

ments exigeants en terme de performance et de crédibilité.

5.8.2 Sur l'assistance au télétravail collaboratif

Dans le chapitre 4, nous avons développé le thème de recherche **"Collaboration"** d'un point de vue communauté IHM (collecticiel). Les recherches réalisées ont permis de modéliser et de concevoir un collecticiel pour la téléopération collaborative via internet. Nous avons présenté le formalisme multi-agent pour la collaboration résultant de cette étude ainsi que l'interface homme-machine du collecticiel de téléopération collaborative. Ce collecticiel permet d'assister la préparation de missions de téléopération par un groupe d'utilisateurs et supervise l'exécution des tâches. Dans ce type de mission, le robot réel ne peut être manipulé que par une seule personne à un instant donné (manipulation asynchrone du robot). Lors de l'exécution des tâches, des aides visuelles et à la commande du robot sont utilisées. Un autre aspect intéressant à rappeler est la possibilité d'analyser le résultat d'une mission afin d'évaluer la façon dont se construit la collaboration pour des tâches complexes et pour présumer de l'intérêt de porter le système sur d'autres types de missions.

Par la suite, nous avons présenté une approche permettant d'introduire de la malléabilité dans les systèmes. Nous avons présenté brièvement les deux modèles d'architectures logicielles résultant de notre étude : le premier est basé sur les mécanismes des services web et le second permet l'intégration des services web et des agents logiciels dans une seule architecture logicielle. Nous avons ensuite montré l'intérêt d'introduire de la malléabilité dans les systèmes de collaboration en prenant comme exemple d'application un collecticiel "Oceanyd-Groupware" développé dans le cadre du projet ANR "Digital Ocean". Nous avons souligné également que sur le plan de l'implémentation, le choix des technologies de développement Web (services web) favorise l'ouverture des architectures proposées à d'autres applications ou services sur le Web. Cette approche constitue un axe de développement prometteur pour l'exploitation des applications collaboratives.

5.8.3 Sur l'assistance à l'interaction 3D collaborative

Dans ce chapitre, nous avons développé le thème **"Collaboration"** comme un thème qui émerge des deux communautés : la réalité virtuelle et l'IHM. En effet, les travaux dans le cadre de l'assistance à l'interaction 3D collaborative ont bénéficié des concepts et des résultats obtenus pour l'assistance à l'interaction 3D et au télétravail collaboratif développés respectivement dans les chapitres 3 et 4. Le modèle du trèfle fonctionnel des collecticiels (communication, coordination et production) est utilisé pour la spécification fonctionnelle de l'interaction 3D collaborative. Les trois tâches de navigation, de sélection et de manipulation sont représentées dans l'espace de production du trèfle. De même, le concept de workflow qui, du point de vue des collecticiels, permet la gestion des rôles et des utilisateurs, est utilisé dans la boucle perception-cognition-action en réalité virtuelle pour l'assistance à la coordination des interactions 3D collaborative. La composante de workflow est ensuite intégrée dans le concept d'assistance à l'interaction 3D développé dans le chapitre 3 pour permettre une assistance multisensorielle des utilisateurs.

Nous avons présenté le modèle du workflow ainsi qu'un résumé des premières expériences que nous avons réalisées. Ces premières expérimentations nous ont permis de tester la possibilité d'une implémentation du modèle et son intérêt dans les tâches d'interaction 3D mono et multi-utilisateurs. L'analyse subjective que nous avons réalisée a révélé la nécessité de traiter un aspect "cognitif" pour l'interaction collaborative.

5.9 Perspectives

5.9.1 Deux axes de recherche

Les techniques d'interactions 3D sont très éloignées des interactions 2D classiques. Ces dernières se réalisent le plus souvent par l'intermédiaire du couple clavier-souris associé aux interfaces graphiques que nous connaissons tous. Ces interactions 2D sont aujourd'hui maîtrisées et il est possible de connaître leurs performances. Cela n'est pas le cas pour les interactions 3D en raison d'un certain nombre de barrières : différentes interfaces de Réalité Virtuelle (RV), différentes techniques d'interaction 3D, peu de connaissances et peu de spécialistes.

Malgré le fait que la recherche dans le domaine de l'interaction 3D se soit sensiblement réduite ces derniers temps, elle ne manque pas d'intérêts et d'objectifs. Cela se justifie par une importante communauté mondiale de chercheurs qui comptait (selon une étude réalisée par Bowman en 2006) 350 membres dans au moins 28 pays (Bowman et al., 2006). Si nous supposons que cette réduction est due au fait que la plupart des techniques d'interaction 3D, les plus importantes et les plus innovantes, ont été découvertes jusqu'ici, alors on aurait trouvé un boom d'applications concrètes et utilisables dans le monde réel, impliquant l'interaction 3D. Malheureusement, ceci ne semble pas être le cas pour l'instant. Une étude récente réalisée dans la revue *Presence* par Chen et Bowman (Chen and Bowman, 2009) confirme en effet qu'il y a très peu d'applications utilisant des environnements virtuels et qui impliquent des techniques d'interaction 3D complexes. En effet, cette étude a révélé que les tâches et/ou techniques d'interaction existantes sont soit trop génériques lorsqu'elles sont isolées du contexte de l'application, ou bien trop spécifiques à l'application pour être réutilisables facilement.

Le domaine de l'interaction 3D est encore jeune et immature. Le manque de modèles, d'outils logiciels, de modélisation, de conception et d'aide à l'évaluation des techniques d'interaction 3D, ne facilite pas la tâche aux chercheurs et aux concepteurs d'applications de réalité virtuelle.

Le même constat peut être fait pour l'interaction collaborative dans les EVCs. La maturité de ce domaine est étroitement liée à la maturité du domaine de l'interaction 3D. En effet, la maîtrise de l'interaction 3D en mono-utilisateur pourrait aider à mieux concevoir des EVCs ou encore des EACs.

Les deux domaines de recherche (interaction 3D et interaction collaborative) méritent d'être développés d'avantage et il y a peu de travaux dans ces domaines impliquant des interactions dans des environnements complexes.

5.9.1.1 Interaction en réalité mixte

Nous souhaitons contribuer à la maturité de ce domaine de recherche qui est "l'interaction 3D" et qui représente le moteur de toute application de réalité virtuelle. Nous souhaitons également l'ouvrir aux interactions 3D en réalité mixte en vision directe où le réel et le virtuel se rencontrent dans un espace mixte. Il faut imaginer des systèmes d'interactions capables de faire passer d'un monde à un autre sans changer d'interface ou de technique d'interaction 3D et surtout acceptables par les utilisateurs. Ce dernier point nécessite des collaborations avec des spécialistes dans le domaine de l'ergonomie et des sciences cognitives.

Nous allons poursuivre les travaux sur le concept du "continuum de l'interaction 3D". Il s'agit de considérer l'interaction 3D comme un processus complet et continu, allant de la tâche de navigation jusqu'à la tâche de manipulation en passant par la tâche de sélection. Cette problématique est traitée en collaboration avec l'équipe TADIB⁴ du laboratoire IBISC. Une première approche a été proposée dans la thèse de Pierre Boudoin en proposant un système d'interaction adaptatif (Boudoin et al., 2009) avec une technique d'interaction "FlyOver" (Boudoin et al., 2008). La technique proposée permet de maintenir une même logique d'utilisation quelque soit le périphérique utilisé et quelque soit la tâche de l'interaction 3D à effectuer. Cette approche est basée sur des méthodes de traitement de données multi-capteurs et elle est testée avec deux types de capteurs (SPIDAR⁵ et système ART⁶). Nous souhaitons approfondir cet aspect en collaboration avec le professeur Hichem Maaref (responsable de l'équipe TADIB et spécialiste en traitement de données). Ce continuum de l'interaction est nécessaire pour des interactions dans un espace aussi bien virtuel que mixte. En effet, cela va permettre à l'utilisateur de réaliser des gestes dans le monde réel et qui seront en conformité avec ceux reproduits dans l'espace virtuel ou encore dans l'espace mixte.

Nous nous fixons comme objectif l'étude d'un système d'interaction 3D en réalité mixte qui se veut robuste et flexible :

- **Robuste** : résistant aux changements de contexte (de tâches de l'interaction 3D, de contraintes du domaine d'application et d'interfaces de réalité mixte), précis (garantir un seuil de précision tolérable par le système et par l'utilisateur). L'interaction 3D résultante doit être une tâche en continu afin d'éviter les sauts en position lors des basculements d'un système de tracking à un autre. Ce phénomène entraîne ainsi un comportement de la technique d'interaction 3D non souhaité par l'utilisateur et créant par conséquent une rupture de la continuité de l'interaction 3D. Nous nous intéresserons également aux problèmes de saut et de perte de données.
- **Flexible** : reconfiguration et adaptation rapide de l'application et des contraintes par l'utilisateur. Nous nous intéressons ici à la possibilité de rendre l'application plus adaptable afin de passer d'une expérimentation à une autre plus rapidement sans que l'on soit obligé de programmer à chaque fois. Les approches étudiées sur la malléabilité de systèmes peuvent être utilisées afin de permettre la composition et l'intégration des services web pour la réalité mixte.

⁴Traitement de Données et Images - Biométrie du laboratoire IBISC

⁵Space Interface Device for Artificial Reality

⁶Advanced Real-time Tracking

5.9.1.2 Collaboration en réalité mixte

Nous souhaitons également apporter des contributions dans le domaine de la collaboration dans les environnements virtuels/augmentés collaboratifs (EVCs/EACs) et plus particulièrement, sur l'interaction 3D collaborative. Le lien entre les deux communautés (IHM et RV) doit être maintenu car les recherches dans le domaine des collecticiels (initialement destinés aux interfaces 2D avec des interactions 2D) peuvent être étendues et adaptées à la problématique de l'interaction 3D collaborative dans les EVCs (avec des interfaces multisensorielles et des interactions 3D).

Nous allons poursuivre les travaux de modélisation et d'expérimentation sur l'interaction 3D collaborative. Le travail présenté dans le chapitre 5 mérite encore d'être approfondi, de nouvelles expériences sont également nécessaires. Bien que l'assistance à la coordination des tâches d'interaction soit nécessaire, et que les premiers résultats soient encourageants, les expériences n'ont été réalisées uniquement qu'avec deux utilisateurs. Un autre problème doit être également pris en compte : l'imprévisibilité des besoins qui vont émerger au cours d'un travail collaboratif. Ceci implique que les systèmes de collaboration doivent supporter un travail sensible au contexte dans lequel ils seront utilisés. Ce contexte s'exprime, par exemple, par la situation collaborative qui se présente, par la spécificité de la tâche à réaliser ainsi que par les paramètres avec lesquels la collaboration prend place : distribution géographique, modalités de perception visuelle (vision mono/stéréo) et d'interaction (type d'interfaces de réalité virtuelle), connexions réseaux, etc.. Le système collaboratif doit être en mesure de supporter ces exigences.

Afin de permettre une rapide maturité des recherches dans ces deux domaines, il faut arriver à mutualiser⁷ les recherches et l'utilisation des plateformes de RV/RA (y compris avec les systèmes utilisés comme les robots par exemple). En effet, la recherche dans les domaines de la réalité virtuelle et mixte s'appuie généralement sur des expérimentations autour des plateformes très coûteuses (malgré la diminution des coûts ces dernières années). Cette contrainte, d'ordre technologique et financière, pose un frein empêchant l'élargissement de la communauté scientifique dans ces domaines. Un autre aspect important pour les expérimentations dans le domaine de l'interaction 3D collaborative concerne la possibilité de création d'un réseau de plateformes de réalité virtuelle et augmentée. Ce réseau à plusieurs noeuds va ouvrir des portes à de réelles expérimentations dans le domaine des EVCs/EACs permettant ainsi à la communauté scientifique de tester et de valider certains aspects liés à l'interaction collaborative en partageant les interfaces matérielles et les systèmes logiciels que disposera le réseau. Cette idée de réseau de plateformes a été testée en 2005/2006 avec le LISA⁸ d'Angers lors des premières expériences sur un réseau à deux noeuds (Leligeour et al., 2006). Ce type d'expérience permet d'étudier dans des conditions réelles les principales exigences qu'impose un travail collaboratif autour des plateformes de RV/RA. La figure 5.27 illustre cette expérience (la figure 5.27(a) montre un utilisateur autour de la plateforme PREWISE⁹, la figure 5.27(b) montre un autre utilisateur autour de la plateforme EVR@, la figure 5.27(c) présente le système

⁷Regrouper (les moyens, les savoirs et savoir-faire) afin d'être davantage économique. extraite de <http://fr.wiktionary.org/wiki/mutualiser>

⁸Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Automatisés

⁹Plateforme de REalité Virtuelle pour la Simulation et l'Expérimentation du laboratoire LISA d'Angers

permettant la supervision via le Web des deux sites et des tâches réalisées par le robot réel.

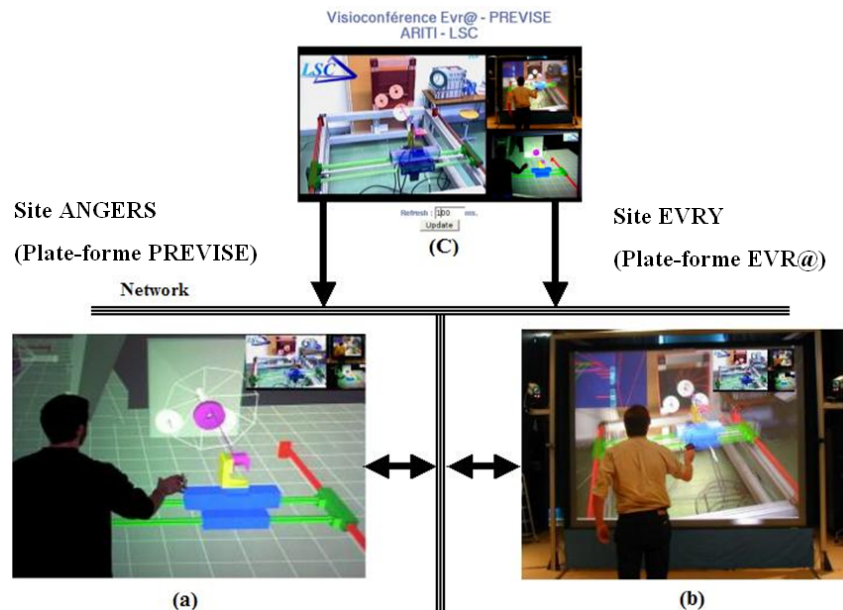


FIG. 5.27 – Illustration de l’expérimentation réalisée lors de la téléopération collaborative entre deux plateformes de réalité virtuelle et augmentée [extrait de (Leligeour et al., 2006)].

5.9.2 Axes applicatifs

5.9.2.1 Interaction en réalité mixte pour l’exploration des sites de plongée réels

☛ Remarque :

Ce projet s’inscrit dans le cadre du nouveau projet européen FP7 2010-2012 "Digital Ocean de N°262160" dont le début est prévu pour décembre 2010. Il constitue un consortium de 9 partenaires européens (3 en France, 2 au Portugal, 2 en Finlande, 1 en Italie et 1 en Suisse). La part de financement pour le laboratoire IBISC est de 330.000 euros sur 24 mois.

Ce projet européen (FP7 2010-2012 Digital Ocean de N°262160) est la suite du projet ANR Digital Ocean (2006-2009). Il concerne l’ensemble de la chaîne de contenus numériques sur les fonds marins, depuis la création, la production, l’édition, les interfaces et jusqu’à leur diffusion multimodale par des terminaux dédiés ou du marché, mobiles et fixes. Il recouvre l’audiovisuel, l’animation, les jeux vidéo sérieux 'serious game', l’internet et la réalité mixte. Il permettra de géo-localiser et de personnaliser ces contenus grâce à l’introduction de robots sous-marins téléopérés en ligne en réalité mixte.

La méthode de "plongée virtuelle en temps réel" concerne la téléopération en réalité mixte et via l’internet de robots sous-marins placés dans les sites de plongée. Elle représente l’axe structurant de ce projet dont IBISC est responsable. Avec des délais aussi courts, ce projet s’appuie sur un capital de savoirs et de savoir faire de deux projets existants :

le projet ARITI pour la téléopération en réalité mixte et le projet ANR Digital Ocean de 2006-2009. La figure 5.28 illustre le processus général du système de plongée virtuelle en temps réel.



FIG. 5.28 – Illustration du processus général du système de plongée virtuelle en temps réel.

L'application de la réalité mixte aux images vidéo transmises devra donner aux utilisateurs du procédé une vision au moins équivalente à celle d'un plongeur réel réalisant ce parcours dans les mêmes conditions. Cependant, il est important de souligner que la précision dans l'espace et dans le temps de l'opération de réalité mixte n'est que secondaire puisque dans la réalité les plongeurs n'ont qu'une vague idée de l'endroit où ils se trouvent. La plongée virtuelle dans ce domaine ne cherche qu'à égaler la plongée réelle.

5.9.2.2 Interaction en réalité virtuelle pour l'analyse en biologie moléculaire

☛ Remarque :

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une action incitative co-financée par le laboratoire IBISC "AI In-Virtuo".

L'activité d'analyse en Biologie Moléculaire consiste à observer des systèmes biologiques et à examiner des résultats expérimentaux dans le but de comprendre des phénomènes du Vivant. Les expérimentations *in silico* (ie. tests effectués au moyen d'outils informatiques), et particulièrement la modélisation 3D, tendent à remplacer les manipulations *in vitro* (ie. tests reproduits en dehors de l'organisme étudié) qui sont parfois impossibles à réaliser. La plupart des algorithmes utilisés pour cette modélisation 3D se base sur des approches automatiques. Or, ces approches présentent certains inconvénients : temps de traitement important, modélisation souvent partielle, modèle 3D généralement figé, etc.. De plus, certains modèles biologiques ne peuvent pas être intégrés dans le processus de modélisation automatique. Nous pensons que l'apport des connaissances des experts, de manière interactive, pendant le processus de modélisation automatique peut pallier certains défauts des méthodes calculatoires usuelles (confronter l'image mentale de l'expert avec le modèle virtuel). Il s'agit de placer le biologiste au centre des expérimentations

virtuelles plutôt qu'en simple observateur de résultats de simulations automatiques. C'est ce que nous appelons l'analyse in virtuo, qui associe les avantages des expérimentations in silico (capacités de calculs et de simulation) à ceux des Interactions Homme-Machine (IHM) en Réalité Mixte : commande naturelle, immersion/semi-immersion dans l'environnement virtuel, augmentations multi-sensorielles (visuelle, auditive, haptique), etc..

L'objectif de cette action est la création **d'expérimentations in virtuo**, qui comportent trois phases fondamentales : la modélisation 3D, la visualisation et l'interaction 3D. Durant les 3 dernières années, un travail a été réalisé (en collaboration avec le programme Epigénomique du Genopole) dans le cadre de la thèse de Mouna ESSABBAH. Ce travail de recherche a révélé l'importance de l'introduction des interactions 3D sous contraintes (pour la sélection et la manipulation du modèle 3D) dans le processus d'analyse. Les contraintes identifiées lors d'une application au problème de la modélisation 3D du chromosome sont de type architecturales (ie. données physico-chimiques) et fonctionnelles (ie. modèles biologiques). Ces contraintes issues des lois de la Biologie imposent l'ordonnement spatial du chromosome. Par conséquent, l'intervention des experts ne peut pas être réalisée efficacement par des techniques d'I3D classiques faute de décrédibiliser le modèle résultant de cette simulation interactive.

Un autre problème de taille est celui de créer des conditions convenables pour mettre le biologiste en centre des expérimentations in virtuo acceptables en lui proposant des outils (logiciels et matériels) conviviaux, faciles à utiliser et qui le déchargent des contraintes technologiques (interruption brutale du tracking, temps de réponse important, interface matérielle encombrante, techniques d'interaction 3D trop compliquées, etc.) qui nuisent à ce genre d'expérimentation. Une solution envisagée est de proposer un système d'assistance à l'analyse in virtuo basée sur les techniques de réalité mixte et de traitement de données. Dans un deuxième temps, on envisagera le cas où plusieurs biologistes collaborent dans un environnement virtuel partagé.

Bibliographie

- Abasolo, M. and Della, J. (2007). Magallanes : 3d navigation for everybody. *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques*.
- Abbott, J., Marayong, P., and Okamura, A. (2007). Haptic virtual fixtures for robot-assisted manipulation. *Robotics Research*, pages 49–64.
- Aguerreche, L., Duval, T., and Arnaldi, B. (2009a). Analyse de techniques de coopération en environnements virtuels 3d. *TSI. Technique et science Informatiques*, 28(6-7) :767–797.
- Aguerreche, L., Duval, T., and Lécuyer, A. (2009b). Short paper : 3-hand manipulation of virtual objects. *Joint Virtual Reality Conference of EGVE - ICAT - EuroVR*, pages 153–156.
- Anderson, G., Graham, T., and Wright, T. (2000). Dragonfly : linking conceptual and implementation architectures of multiuser interactive systems. In *Proceedings of the 22nd international conference on Software engineering*, pages 252–261. ACM New York, NY, USA.
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. In *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4) :355–385.
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., and MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augment reality. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 34–47.
- Backes, P., Tso, K., and Tharp, G. (1998). Mars pathfinder mission internet-based operations using wits. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*.
- Barrass, S. and Zehner, B. (2000). Responsive sonification of well-logs. *Proc. 2000 of Int. Conf. On Auditory Display*.
- Bass, L., Faneuf, R., Little, R., Mayer, N., Pellegrino, B., Reed, S., Seacord, R., Sheppard, S., and Szczur, M. (1992). A metamodel for the runtime architecture of an interactive system. *SIGCHI Bulletin*, 24(1) :32–37.
- Benford, S. and Fahlen, L. (1993). A spatial model of interaction in large virtual environments. *Proceedings of the third conference on European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, pages 109–124.
- Benford, S., Greenhalgh, C., Rodden, T., and Pycock, J. (2001). Collaborative virtual environments. *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, 44 :23–37.
- Bentley, R., Rodden, T., Sawyer, P., Sommerville, I., Hughes, J., Randall, D., and Shapiro, D. (1992). Ethnographically informed systems design for air traffic control. In *CSCW'92*, pages 123–129.

- Bharadwaj, V., Reddy, Y., and Reddy, S. (2005). Integrating awareness sources in heterogeneous collaboration environments. *Doctoral Consortium Enterprise Information Systems ICEIS 2005*, pages 18–27.
- Blanc, C. and Schlick, C. (1996). Ratioquadrics : an alternative model for superquadrics. *The Visual Computer, Springer-Verlag*, 12(8) :420–428.
- Bolt, R. (1980). “put-that-there” : Voice and gesture at the graphics interface. *Proceedings of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 262–270.
- Boudoin, P., Otmane, S., and Mallem, M. (Laval, France, 2008). Fly over, a 3d interaction technique for navigation in virtual environments independent from tracking devices. *in Virtual Reality International Conference (VRIC'08)*, pages 7–13.
- Boudoin, P., Otmane, S., Mallem, M., and Maaref, H. (2009). A framework for designing adaptative systems in vr applications. *in the 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (IEEE CCNC), in special session on Collaboration and Communication in Virtual Worlds (CCVW), Electronic proceeding (ISBN : 978-1-4244-2308-8), Las Vegas, United-States.*
- Bouguet, A., Coldefy, F., Guérin, J., Louis-dit Picard, S., and Pavy, D. (2007). Environnement virtuel pour la téléprésence collaborative 3d. In *Actes des 2èmes journées AFRV*, pages 33–37.
- Bouyer, G. (2007). Rendu multimodal en réalité virtuelle : Supervision des interactions au service de la tâche. *Thèse de l'Université de Paris XI.*
- Bowman, A., Kruijff, E., and Laviola, J. Poupyrev, I. (2005). *3D User Interfaces : Theory and Practice.* Addison-Wesley.
- Bowman, D. and Hodges, L. (1997). An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. *Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 35–ff.
- Bowman, D., Johnson, D., and Hodges, L. (2001). Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques. *Presence : Teleoperators & Virtual Environments*, 10(1) :75–95.
- Bowman, D., Wineman, J., Hodges, L., and Allison, D. (1998). Designing animal habitats within an immersive ve. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18(5) :9–13.
- Bowman, D. A. (1999). *Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments : Design, Evaluation, and Application.* PhD thesis, Georgia Institute of Technology.
- Bowman, D. A., Chen, J., Wingrave, C. A., Lucas, J., Ray, A., Polys, N. F., Li, Q., Haciahmetoglu, Y., Kim, J.-S., Kim, S., Boehringer, R., and Ni, T. (2006). New directions in 3d user interfaces. *The International Journal of Virtual Reality*, 5 :3–14.
- Bowman, D. A. and Wingrave, C. A. (2001). Design and evaluation of menu systems for immersive virtual environments. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, pages 149–156.
- Brooks, T., Ince, I., and Robotics, H. (1992). Operator vision aids for telerobotic assembly and servicing inspace. *IEEE International Conference on Robotics and Automation, Proceedings.*, 1 :886–891.

- Brookshire Conner, D., Snibbe, S. S., Herndon, K. P., Robbins, D. C., Zeleznik, R. C., and van Dam, A. (1992). Three-dimensional widgets. *Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, Special Issue of Computer Graphics*, 26 :183–188.
- Calvary, G., Coutaz, J., and Nigay, L. (1997). From single-user architectural design to PAC* : A generic software architecture model for cscw. *Proceedings of the ACM CHI 97*, pages 242–249.
- Capps, M., McGregor, D., Brutzman, D., and Zyda, M. (2000). A new beginning for dynamically extensible virtual environments. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 12–15.
- Chalon, R. (2004). *Réalité Mixte et Travail Collaboratif : IRVO, un modèle de l’Interaction Homme Machine*. PhD thesis, Ecole Centrale de Lyon.
- Cheaib, N. (2010). *Contribution à la malléabilité des collecticiels : une approche basée sur les services web et les agents logiciels*. PhD thesis, Université d’Evry Val d’Essonne.
- Cheaib, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2008a). Combining fipa agents and web services for the design of tailorable groupware architecture. In *Proc ACM 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services (iiWAS2008), ACM SIGWEB*, pages 702–705, ACM New York, NY, USA.
- Cheaib, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2008b). Integrating internet technologies in designing a tailorable architecture. In *Proceedings of the 12th international conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCWD)*, pages 141–147, Xi’An, China.
- Cheaib, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2009). Collaborative multimedia collection for enriching and visualizing 3d underwater sites. In *6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, United-States*, ACM New York, NY, USA.
- Cheaib, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2010). Web services and software agents for tailorable groupware design. In *Emergent Web Intelligence : Advanced Semantic Technologies*, pages 185–212. Springer Verlag in the series Studies in Computational Intelligence.
- Cheaib, N., Otmane, S., Mallem, M., Dinis, A., and Fiès, N. (2008c). Oceanyd : a new tailorable groupware for digital media collection for underwater virtual environments. In *Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts, ACM SIGGRAPH*, pages 256–263, ACM New York, NY, USA.
- Chen, L. and Bowman, D. (2009). Domain-specific design of 3d interaction techniques : An approach for designing useful virtual environment applications. *Presence, by the Massachusetts Institute of Technology*, 18(5) :370–386.
- Churchill, E. and Snowdon, D. (1998). Collaborative virtual environments : an introductory review of issues and systems. *Virtual Reality*, 3(1) :3–15.
- COVEN (1997). Coven project, guidelines for building cve applications. Technical Report AC040, EPFL, Geneva, IIS, TNO, Lancaster, UCL, Nottingham, SICS, Division, Thomson,.
- Cryopolis (2001). Cryopolis. www.cryopolis.com.
- Darken, R. (1994). Hands-off interaction with menus in virtual spaces. In Fisher, S. S., Merritt, J. O., and Bolas, M. T., editors, *Proceedings of SPIE : Visual Data Interpretation*, volume 2177, pages 365–371.

- David, B. (2001). Ihm pour les collecticiels. *Réseaux et Systèmes Répartis*, pages 169–206. Hermès, Vol. 13.
- David, B., Chalon, R., Vaisman, G., and Delotte, O. (2003). Capillary cscw. *Stephanidis C., Jacko J. (Eds.) Human-Computer Interaction Theory and Practice, Vol. 2, LEA, London.*, pages 879–883.
- Deering, M. F. (1995). Holosketch : a virtual reality sketching/animation tool. In *Proceedings of CHI'95*, pages 220–226.
- Dewan, P. (1999). Architectures for collaborative applications. *Computer Supported Cooperative Work*, 7 :169–193.
- Didier, J. (2005). *Contributions à la dextérité d'un système de réalité augmentée mobile appliqué à la maintenance industrielle*. PhD thesis, Université d'Evry Val d'Essonne.
- Dillenbourg, P., Baker, M., Blaye, A., and O'Malley, C. (1996). The evolution of research on collaborative learning. *Learning in Humans and Machine : Towards an interdisciplinary learning science*, pages 189–211.
- Domingues, C. (2010). *Interaction 3D collaborative en réalité virtuelle*. PhD thesis, Université d'Evry Val d'Essonne.
- Dumas, C., Degrande, S., Chaillou, C., Saugis, G., Plénacoste, P., and Viaud, M. (1999). Spin : A 3-d interface for cooperative work. *Virtual Reality Journal*, 4 :15–25.
- Durfee, E. (1989). *Coordination of Distributed Problem Solvers*. Kluwer Academic Publishers.
- Dutra, M., Ghodous, P., Kuhn, O., and Tri, N. (2010). A generic and synchronous ontology-based architecture for collaborative design. *Concurrent Engineering, Research and Applications*, 18(1) :65–74.
- Duval, T. and Fleury, C. (2009). An asymmetric 2d pointer/3d ray for 3d interaction within collaborative virtual environments. *3D technologies for the World Wide Web. Proceedings of the 14th International Conference on 3D Web Technology*, pages 33–41.
- Duval, T. and Le Tenier, C. (2004). Interactions 3d coopératives en environnements virtuels avec openmask pour l'exploitation d'objets techniques. *Mécanique & Industries, Elsevier*, 5(2) :129–137.
- Duval, T., Lecuyer, A., and Thomas, S. (2006). Skewer : a 3d interaction technique for 2-user collaborative manipulation of objects in virtual environments. *Proceedings of the 3D User Interfaces (3DUI'06)*, pages 69–72.
- Ellis, A. (1994a). Conceptual model of groupware. *Proc CSCW, ACM Press NY*, pages 79–88.
- Ellis, C., Gibbs, S., and Rein, G. (1991). Groupware : Some issues and experiences. *Communications of the ACM (CACM)*, 34 :38–58.
- Ellis, S. R. (1994b). What are virtual environments? In *Proceedings of IEEE Computer Graphics et Applications*, pages 17–22. IEEE.
- Essabbah, M. (2010). *Assistance à l'interaction Homme-Molécule in virtuo : application au chromosome*. PhD thesis, Université d'Evry Val d'Essonne.
- Essabbah, M., Herisson, J., Otmane, S., and Mallem, M. (2008). Towards a biophysical 3d model of the dna. *1th IEEE International Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications*, pages 1–6.

- Essabbah, M., Otmane, S., J, H., and Mallem, M. (2009a). A new approach to design an interactive system for molecular analysis. *Human-Computer Interaction, Part IV, HCII 2009, LNCS 5613*, pages 713–722.
- Essabbah, M., Otmane, S., and Mallem, M. (2009b). *3D Molecular Interactive Modeling*, volume 60 of *Human-Computer Systems Interaction, Advances in Soft Computing*, pages 493–504. Springer Berlin / Heidelberg.
- Everquest2 (2004). Everquest2. sony copyright. <http://everquest2.station.sony.com>.
- Ferber, J. (1995). Les systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective. *InterEditions, Paris*.
- Férey, N., Nelson, J., Martin, C., Picinali, L., Bouyer, G., Tek, A., Bourdot, P., Burkhardt, J., Katz, B., Ammi, M., Etchebest, C., and Autin, L. (2009). Multisensory vr interaction for protein-docking in the corsaire project. *Virtual Reality*, 13(4) :257–271.
- Foley, van Dam, Feiner, and Hughes (1990). Addison-Wesley publishing company.
- Fraisse, P., Agniel, C., Andrieu, D., and Delosrios, J. (2003). Teleoperations over ip network : Virtual puma robot. *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT'03)*.
- Frécon, E., Greenhalgh, C., and Stenius, M. (1999). The divebone—an application-level network architecture for internet-based cves. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 58–65, London.
- Frees, S. and Kessler, G. (2005). Precise and rapid interaction through scaled manipulation in immersive virtual environments. In *In IEEE Virtual Reality 2005*, pages 99–106.
- Fuchs, P., Arnaldi, B., and Tisseau, J. (2003). *La réalité virtuelle et ses applications*, chapter 1, pages 3–52. Les Presses de l'École des Mines de Paris.
- Fuchs, P., Moreau, G., Berthoz, A., and Coquillart, S. (2006). Le traité de la réalité virtuelle : Volume 2, interfaçage, immersion et interaction en environnement virtuel. *Presses des Mines Paris Tech*.
- Glencross, M., Marsh, J., Cook, J., Daubrenet, S., Pettifer, S., and Hubbard, R. (2002). Divipro : Distributed interactive virtual prototyping. *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications*, pages 170–170.
- Goebbels, G., Aquino, P., Lalioti, V., and Goebel, M. (2000). Supporting team work in collaborative virtual environments. In *Proceedings of ICAT 2000 - The Tenth International Conference on Artificial Reality and Tele-existence*, pages 233–241.
- Goebbels, G., Lalioti, V., and Gobel, M. (2003). Design and evaluation of team work in distributed collaborative virtual environments. In *ACM VRST'03*, pages 231–238, Osaka JAPAN.
- Goldberg, K. (2001). The tele-actor : A new framework for collaborative telepresence. *Conference on Computer Human Interaction CHI*. Seattle, Washington.
- Goldberg, K., Chen, B., Solomon, R., Bui, S., Farzin, B., Heitler, J., Poon, D., and Smith, G. (2000). Collaborative teleoperation via the internet. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. San Francisco Californie.
- Goldberg, K., Mascha, M., Getner, S., and Rothenberg, N. (1995). Desktop teleoperation via the world wide web. *IEEE Conference on Robotics and Automation*. Nagoya, Japan.

- Goldberg, K., Song, D., Khor, Y., Pescovitz, D., Levandowski, A., Himmelstein, J., Shih, J., Ho, A., and Paulos, E. (2002). Collaborative online teleoperation with spatial dynamic voting and a human "tele-actor". *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Arlington VA , Washington DC.
- Goldberg, K., Song, D., Yong Song, I., Mcgonigal, J., Zheng, W., and Plautz, D. (2004). Unsupervised scoring for scalable internet-based collaborative teleoperation. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 4551–4556.
- Greenberg, S., Gutwin, C., and Cockburn, A. (1996). Awareness through fisheye views in relaxed-wysiwiw groupware. In *Proceedings of Graphics Interface*, pages 28–38, Toronto, Canada.
- Greenhalgh, C. (1999). Large scale collaborative virtual environments. C.J. van Rijsbergen, Ed. Springer-Verlag, Distinguished Dissertation series.
- Grosjean, J., Burkhardt, J.-M., Coquillart, S., and Richard, P. (2002). Evaluation of the command and control cube. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI 2002)*, IEEE Press, pages 14–16.
- Grosjean, J. and Coquillart, S. ., . (2001). Command & control cube : a shortcut paradigm for virtual environments. In *In Proceedings of IPT-EGVE'01*.
- Hachet, M. (2003). *Interaction avec des environnements virtuels affichés au moyen d'interfaces de visualisation collective*. PhD thesis, Université Bordeaux I.
- Hachet, M., Declea, F., Knödela, S., and Guittona, P. (2009). Navidget for 3d interaction : Camera positioning and further uses. *International Journal of Human-Computer Studies : Current trends in 3D user interface research*, 67(3) :225–236.
- Hand, C. (1997). A survey of 3d interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, 16(5) :269–281.
- Heyd, J. and Birmanns, S. (2009). Immersive structural biology : a new approach to hybrid modeling of macromolecular assemblies. *Virtual Reality*, 13(4) :245–255.
- Hill, R., Brinck, T., Rohall, S., Patterson, J., and Wilner, W. (1994). The rendezvous architecture and language for constructing multiuser applications. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 1(2) :81–125.
- Jacoby, R., Ferneau, M., and Humphries, J. (1994). Gestural interaction in a virtual environment. *Proceedings of SPIE*, 2177(355).
- Jacoby, R. H. and Ellis, S. (1992). Using virtual menus in a virtual environment. *Proceedings of SPIE : Visual Data Interpretation, Alexander, editor*, 1668 :39–48.
- Joly, L. and Andriot, C. (1995). Imposing motion constraints to a force reflecting telerobot through real-time simulation of a virtual mechanism. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1 :357–362.
- Khan, A., Mordatch, I., Fitzmaurice, G., Matejka, J., and Kurtenbach, G. (2008). View-cube : a 3d orientation indicator and controller. *I3D'08 : Proceedings of the 2008 symposium on Interactive 3D graphics and games*, pages 17–25.
- Kheddar, A. (1997). Téléopération basée sur le concept du robot caché. *Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie*.
- Khezami, N. (2005). *Vers un collecticiel basé sur formalisme multi-agents destiné à la téléopération collaborative via Internet*. PhD thesis, Université d'Evry Val d'Essonne.
- Khezami, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2004). A formal model for collaborative teleoperation. *the International Conference on Computing, Communications and Control Technologies (CCCT 04)*, pages 183–187. August 14-17, 2004, Texas, USA.

- Khezami, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2005a). An approach to modelling collaborative teleoperation. *12th IEEE International Conference on Advanced Robotics (ICAR 05)*. July 18-20, Seattle, Washington, USA.
- Khezami, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2005b). A new formal model of collaboration by multiagent system. In *IEEE KIMAS International Conference Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems (KIMAS 2005)*, pages 32–37.
- Khezami, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2005c). A new interface for collaborative teleoperation. In *16th IFAC World Congress*, pages 156–162, Prague (Czech Republic).
- Kitagawa, M., Dokko, D., Okamura, A., and Yuh, D. (2005). Effect of sensory substitution on suture-manipulation forces for robotic surgical systems. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 129(1) :151–158.
- Kosuge, K., Itoh, T., Fukuda, T., and Otsuka, M. (1995). Tele-manipulation system based on task-oriented virtual tool. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*.
- Krasner, G. and Pope, S. (1988). A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in smalltalk-80. *Journal of Object-Oriented Programming*, 1(3) :26–49.
- Kuang, A., Payandeh, S., and Zheng, B. (2004). Assembling virtual fixtures for guidance in training environments. *Proceedings. 12th International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pages 367–374.
- Kurtenbach, G. and Buxton, W. (1994). User learning and performance with marking menus. In *Proceedings of CHI'94*, pages 258–264.
- Lanctôt, C., Cheutin, T., Cremer, M., Cavalli, G., and Cremer, T. (2007). Dynamic genome architecture in the nuclear space : regulation of gene expression in three dimensions. *Nat Rev Genet*, 8(2) :104–115.
- Laurillau, Y. (2002). *Conception et réalisation logicielles pour les collecticiels centrées sur l'activité de groupe : le modèle et la plate-forme Clover*. PhD thesis, University of Joseph Fourier, Grenoble, France.
- Laurillau, Y. and Nigay, L. (2002). Clover architecture for groupware. *Proc CSCW, ACM Press*, pages 236–245.
- Le Mer, P., Soler, L., Pavy, D., and Bernard, A. (2004). Argonaute 3d : a real-time cooperative medical planning software on dsl network. *Studies in health technology and informatics*, (98) :203–209.
- Lelevé, A., Prévot, P., Subai, C., Noterman, D., and Guillemot, M. (2003). Towards remote laboratory platforms with dynamic scenarios. *7th world Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2003)*.
- Leligeour, V., Otmane, S., and Mallem, M. (2005). Augmented reality interface for free teleoperation. In *International Federation of Automatic Control (IFAC World Congress 2005), PRAHA, Czech Republic, July 3-8, 2005*.
- Leligeour, V., Otmane, S., Richard, P., and Mallem, M. (2006). Distributed software architecture for collaborative teleoperation based on networked mixed reality platforms. In *2nd IEEE International Conference on Information & Communication Technologies : From Theory to Applications (IEEE ICTTA 2006)*, pages 3498–3503, Damascus, Syria.

- LeParc, P., Ogor, P., Vareille, J., and Marcé, L. (2002). Web based remote control of the mechanical systems. *IEEE International Conference on Software Telecommunications and Computer Networks*, pages 176–180.
- Lundin, K., Sillen, M., Cooper, M., and Ynnerman, A. (2005). Haptic visualization of computational fluid dynamics data using reactive forces. *Proc. SPIE*, 5669 :31–41.
- Milgram, P. and Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. In *IEICE Transactions on Information and Systems (Special Issue on Networked Reality)*, E77-D(12) :1321–1329.
- Mine, M., Jr, F. B., and Sequin, C. (1997). Moving objects in space : exploiting proprioception in virtual-environment interaction. *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 19–26.
- Mine, M. R. (1995). Virtual environment interaction techniques. Chapel Hill, NC 27599-3175 TR95-018, Departement of Computer Science, University of North California.
- Nigay, L. (1994). *Conception et modélisation logicielles des systèmes interactifs : application aux interfaces multimodales*. PhD thesis, Université Joseph Fourier - Grenoble 1.
- Noma, M. and Miyasato, T. (1997). Cooperative object manipulation in virtual space using virtual physics. *Proceeding of Dynamic System and Control ASME*, 61 :101–106.
- Oakley, I., Adams, A., Brewster, S., and Gray, P. (2002). Guidelines for the design of haptic widgets. In *Proceedings of British HCI, British Computer Society*, pages 195–212.
- Otmane, S. (2000). *Télétravail Robotisé et Réalité Augmentée : Application à la Téléopération via Internet*. PhD thesis, Université d’Evry Val-Essonne.
- Otmane, S., Cheaib, N., and Mallem, M. (2008). *Internet-based Collaborative Teleoperation : Towards Tailorable Groupware for Teleoperation.*, chapter 7, pages 163–193. Wiley and ISTE/Hermes.
- Otmane, S., Christophe, D., Davesne, F., and Mallem, M. (2010). Collaborative 3d interaction in virtual environments : a workflow-based approach. *Book chapter in Virtual Reality, ISBN 978-953-307-518-1, InTech International, in press*.
- Otmane, S., Khezami, N., and Mallem, M. (2007). *Téléopération collaborative via le réseau Internet*, chapter 4, pages 119–155. (Traité IC2, série traitement du signal et de l’image). Lavoisier.
- Otmane, S. and Mallem, M. (2007). Télétravail assisté par la réalité virtuelle. *Mécanismes du contrôle de la qualité de service : applications temps réel et multimédia, (Traité IC2, série traitement du signal et de l’image)*, Lavoisier, Chapitre 9 :263–288.
- Otmane, S., Mallem, M., Kheddar, A., and Chavand, F. (2000a). Active virtual guide as an apparatus for augmented reality based telemanipulation system on the internet. In *IEEE Computer Society - 33rd Annual Simulation Symposium*, pages 185–191, Washington, D.C., USA.
- Otmane, S., Mallem, M., Kheddar, A., and Chavand, F. (2000b). Ariti : an augmented reality interface for teleoperation on the internet. In *Advanced Simulation Technologies Conference - High Performance Computing*, pages 254–261, Washington, D.C., USA.

- Ouramdane, N. (2008). *Vers un système d'assistance à l'interaction 3D pour le travail et le télétravail collaboratif dans les environnements de réalité virtuelle et augmentée*. PhD thesis, Université d'Evry Val d'Essonne.
- Ouramdane, N., Davesne, F., Otmane, S., and Mallem, M. (2006a). 3d interaction technique to enhance telemanipulation tasks using virtual environment. In *IEEE/RJS International Conference on Intelligent RObots and Systems (IROS 2006)*, pages 5201–5207, Beijing (China).
- Ouramdane, N., Davesne, F., Otmane, S., and Mallem, M. (2006b). Evaluation of the follow-me technique for grabbing virtual objects in semi-immersive virtual environment. In *8th IEEE International Conference on Virtual Reality (VRIC 2006)*, pages 85–94, Laval (France).
- Ouramdane, N., Otmane, S., Davesne, F., and Mallem, M. (2006c). Follow-me : a new 3d interaction technique based on virtual guides and granularity of interaction. In *ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications (VRCIA 2006)*, pages 137–144, Hong Kong (China).
- Ouramdane, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2009). Interaction 3d en réalité virtuelle-état de l'art. *Technique et Science Informatiques (TSI)*, 28(8) :1017–1049.
- Ouramdane-Djerrah, N., Otmane, S., and Mallem, M. (2007). A new model of collaborative 3d interaction in shared virtual environment. *Lecture Notes in Computer Science, Human-Computer Interaction.*, 4551 :663–672.
- Patterson, J. (1995). A taxonomy of architectures for synchronous groupware applications. *Journal of ACM SIGOIS Bulletin*, 15(3) :27–29.
- Pierce, J., Forsberg, A., Conway, M., and Hong, S. (1997). Image plane interaction techniques in 3d immersive environments. *Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics*, pages 33–ff.
- Poupyrev, I., Ichikawa, T., and Weghorst, S. (1998). Egocentric object manipulation in virtual environments : Empirical evaluation of interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, 17(3) :41–52.
- Poupyrev, I., Weghorst, S., Billingham, M., and Ichikawa, T. (1996). The go-go interaction technique non-linear mapping for direct manipulation in vr. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '96) Press*, pages 79–80.
- Prada, R. and Payandeh, S. (2009). On study of design and implementation of virtual fixtures. *Virtual Reality*, 13(2) :117–129.
- Ren, J., Zhang, H., Patel, R., and Peters, T. (2007). Haptics constrained motion for surgical intervention. *Health Technology and Informatics*, pages 379–384.
- Richard, P., Chamaret, D., Inglese, F., Lucidarme, P., and Ferrier, J. (2006). Human-scale virtual environment for product design : Effect of sensory substitution. *The International Journal of Virtual Reality*, 5(2) :37–44.
- Riege, K., Holtkamper, T., Wesche, G., and Frohlich, B. (2006). The bent pick ray : An extended pointing technique for multi-user interaction. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 2006.*, pages 62–65.
- Rosenberg, L. (1992). The use of virtual fixtures as perceptual overlays to enhance operator performance in remote environments. *Technical report, No. A054292, USAF Armstrong.*

- Salber, D. (1995). De l'interaction individuelle aux systèmes multiutilisateurs. l'exemple de la communication homme-homme- médiatisée. *Thèse de doctorat Informatique*. Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Saucy, P. and Mondala, F. (Oct. 12-17, 1998). Khepentheweb : One year of access to a mobile robot on the internet. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 98)*, pages 23–30, Victoria, B.C. Canada.
- Seeger, A. and Chen, J. (1997). Controlling force feedback over a network. *The Second PHANToM User's Group Workshop, Cambridge, Massachusetts, USA, MIT*.
- Simmross-Wattenberg, F., Carranza-Herrezuelo, N., Palacios-Camarero, C., Casaseca-de-la Higuera, P., Martin-Fernandez, M., Aja-Fernandez, S., Ruiz-Alzola, J., Westin, C., and Alberola-Lopez, C. (2005). Group-slicer : A collaborative extension of 3d-slicer. *Journal of Biomedical Informatics*, 38(6) :431–442.
- Stein, M. (Oct. 12-17, 1998). Painting on the world wide web : The pumapaint project. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 98)*, pages 37–42, Victoria, B.C. Canada.
- Sternberger, L. (2006). *Interaction en réalité virtuelle*. PhD thesis, Université Louis Pasteur de Strasbourg 1.
- Sternberger, L., Bechmann, D., and Gerber, D. (2008). L'interaction en réalité virtuelle : Etat de l'art. *Technique et Science Informatiques*, 27(9-10) :1155–1188.
- Stoakley, R., Conway, M., and Pausch, R. (1995). Virtual reality on a wim : interactive worlds in miniature. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 265–272.
- Sturman, D. J., Zeltzer, D., and Pieper, S. (1989). Hands-on interaction with virtual environments. In *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 19–24.
- Sutherland, I. E. (1965). The ultimate display. In *In IFIPS Congress*, volume 2, pages 506–508, New York, NY, USA.
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three-dimensional display. In *IFIPS Conference*, volume 33, pages 757–764.
- Tarpin-Bernard, F. (1997). Travail coopératif synchrone assisté par ordinateur : Approche amf-c. *Thèse de doctorat Informatique*. Ecole Centrale de Lyon.
- Taylor, K. and Trevelyan, J. (Oct. 1995). Australia's telerobot on the web. In *26th International Symposium On Industrial Robots*, Singapore.
- Thouvenin, I. (2009). Interaction et connaissance : construction d'une expérience dans le monde virtuel. *Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne*.
- Tisseau, J. (2001). *Réalité virtuelle : autonomie in virtuo*. PhD thesis, Université de Rennes I (France).
- Ullah, S., Ouramdane, N., Otmane, S., Richard, P., and Mallem, M. (2009a). Augmenting 3d interactions with haptic guides in a large scale virtual environment. *International Journal of Virtual Reality (IJVR)*, 8(2) :25–31.
- Ullah, S., Richard, P., Otmane, S., Naud, M., and Mallem, M. (2009b). Human performance in cooperative virtual environments : the effect of visual aids and oral communication. In *The International Journal of Virtual Reality*, volume 8(4), pages 79–86.

- Ullah, S., Richard, P., Otmane, S., Naud, M., and Mallem, M. (2010). Haptic guides in cooperative virtual environments : Design and human performance evaluation. In *in proceedings of IEEE Symposium on haptics*, pages 457–462.
- Wesche, G. and Droske, M. (2000). Conceptual free-form styling on the responsive workbench. In *Proceedings of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pages 83–91.
- Wright, M. (2005). A detailed investigation of interoperability for web services. Master Thesis, Rhodes University, South Africa.

