Laboratoire Systèmes Complexes
FRE 2494

RAPPORT D'ACTIVITE

2003

TABLE DES MATIERES

A. BILAN SYNTHETIQUE 5

I. POLITIQUE SCIENTIFIQUE DU LSC 9

1. HISTORIQUE 9
2. THEMATIQUE GENERALE DE RECHERCHE : LA MACHINE INTELLIGENTE AUTONOME OU DANS SES RELATIONS AVEC L'HOMME 9
2.1 Thème I. Traitement et analyse de données et images (TADI) 10
2.2. Thème II. Réalité virtuelle et réalité augmentée (RVRA) 11
2.3. Thème III. Modélisation et Contrôle des machines complexes (MCMC) 12
3. SYNERGIES INTER-THEMES 14
4. PERSPECTIVES POUR LES QUATRE ANNEES A VENIR 17
4.1. Perspectives du Thème I : TADI 17
4.2. Perspectives du Thème II : RVRA 18
4.3. Perspectives du Thème III : MCMC 19
5. CONCLUSION 20

II. BILAN CHIFFRE 23

1. RESSOURCES HUMAINES 23
2. BILANS FINANCIERS 23
3. BILAN DES PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES 25
4. VISIBILITE ET COLLABORATION 26
5. LISTE DES EQUIPEMENTS 29

B. DESCRIPTION DES ACTIVITES DE RECHERCHE 31

I. TRAITEMENT ET ANALYSE DE DONNEES ET IMAGES 33

1. INTRODUCTION 35
2. TRAITEMENT DE DONNEES NUMERIQUES ET SYMBOLIQUES 35
2.1. Statistiques en grande dimension et séparation de sources 35
2.2. Traitement de données imprécises et incertaines 41
3. APPRENTISSAGE PREDICTIBLE ET FIABLE D'ACTIONS REFLEXES 45
3.1. Contexte théorique et expérimental 45
3.2. Principaux résultats 46
4. TRAITEMENT ET ANALYSE D'IMAGES 48
4.1. Analyse de textures 48
4.2. Localisation d'une base mobile par vision stéréoscopique couleurs 50
4.3. Vision et réalité augmentée 51
4.4. Applications industrielles de la vision 51
4.5. Etude du changement des occupations de sol sur des données de télédétection 51
4.6. Perspectives 53
5. TRAVAUX DIVERS 55

II. REALITE AUGMENTEE – REALITE VIRTUELLE 57

1. INTRODUCTION 59
2. REALITE AUGMENTEE ET TELETRAVAIL COLLABORATIF 59
2.1. Introduction 59
2.2. Réalité augmentée et téléopération de robots 60
2.3. Le Télétravail Collaboratif en Réalité Augmentée via Internet 67
3. L'ENTREPRISE VIRTUELLE INTELLIGENTE 71
3.1. Introduction 71
3.2. Approches Intelligentes de Gestion et Contrôle des Ressources 72
3.3. Protocoles de Gestion et Contrôle du nomadisme 73
4. REALITE VIRTUELLE ET INTERFACE HAPTIQUE 74
4.1. Téléopération assistée par les techniques de réalité virtuelle 74
4.2. Interfaçage haptique 76
4.3. Infohaptie et simulations physiques interactives 78

4.4 Application *82*

III. MODELISATION ET CONTROLE DES MACHINES COMPLEXES **85**

1. INTRODUCTION 87
2. CONTROLE DE VEHICULE TERRESTRES ET AERIENS 87
2.1. Contrôle de déplacements des véhicules autonomes *87*
2.2. Dynamique et contrôle-commande des véhicules routiers *89*
2.3. Contrôle de véhicules aériens *95*
3. COOPERATION ENTRE ENTITES INTELLIGENTES 99
3.1. Capteurs intelligents *99*
3.2. Assistance robotisée aux personnes handicapées *103*
3.3; Coopération de robots *108*
4. MECATRONIQUE 112
4.1. Dynamique des systèmes multicorps : application à la modélisation et à la commande des robots. *112*
4.2. Modélisation et commande d'engins volants. *114*
4.3. Micro-robotique appliquée à la chirurgie. *115*
4.4. Dynamique et contrôle de structures *116*

C. PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES **117**

I. HDR ET THESES **119**

1. THESES SOUTENUES ENTRE 1999 ET 2002 119
2. HDR 122

II. PUBLICATIONS **123**

1. OUVRAGES 123
2. REVUES AVEC COMITE DE LECTURE 124
3. CONGRES ET COLLOQUES AVEC ACTES 130
4. BREVETS ET LOGICIELS 147
5. LISTE DES THESES EN COURS 148

A. BILAN SYNTHETIQUE

Note [1]

Direction
Directeur : F. Chavand
Directeur adjoint : E. Colle

Thème I
TADI
Traitement et Analyse de Données et Images
Responsable : H. Maaref

Thème II
RARV
Réalité Augmentée et Réalité Virtuelle
Responsable : F. Chavand

Thème III
MCMC
Modélisation et Contrôle des Machines Complexes
Responsable : E. Colle

Traitement de données numériques et symboliques

Responsable : V. Vigneron
Membres : V. Vigneron, C. Barret, H. Maaref
Doctorants : *K. Zemalache*, A. Djouak

Apprentissage prédictible et fiable d'actions réflexes

Responsable :C. Barret

Membres : V. Vigneron, C. Barret, H. Maaref

Doctorants : A. Hazan

Traitement et analyse d'images

Responsable :S. Lelandais

Membres : S. Lelandais, S. Bouzidi

Doctorants : *C. Montagne*, A.P. Leitao

Réalité augmentée et télétravail collaboratif

Responsable : M. Mallem

Membres : S. Otmane, D. Roussel

Doctorants : *D. Merad*, N. Khézami, J-Y. Didier

Entreprise virtuelle intelligente

Responsable : N. Agoulmine

Doctorant : D. Gomez

Réalité virtuelle et interface Haptique

Responsable : A. Kheddar

Membres : F. Chavand, H. Arioui

Doctorants : M. Benali–Khoudja, J. Citérin, A. Drif,

Contrôle de véhicules terrestres et aériens

Responsable : S. Mammar
Véhicules terrestres
Membres : S. Mammar, L. Nouvelière.
Doctorant : A. Chaïbet, S. Glaser

Véhicules aériens
Membres : Y. Bestaoui, G. Damm, *N. Azzouz, L. Beji*
Doctorants : D. Boukraa, S. Hima,

Coopération entre entités intelligentes

Responsable : E. Colle

Membres : P. Hoppenot, G. Pradel

Doctorants : K. Nait Shabane, M. Trabelsi, Y. Rybarcsyk, K.Saïdi

Mécatronique

Responsable : M. Pascal

Membres : P. Joli, L. Benchikh, *N. Azzouz, L. Beji*

Doctorants : N. Seguy, A. Mouhingou

[1] Les personnes dont le nom est en italique participent à plusieurs thématiques

I. POLITIQUE SCIENTIFIQUE DU LSC

1. Historique

Le Laboratoire Systèmes Complexes (LSC) est né en 2000 de la partition du CEMIF (Centre d'Etude de Mécanique d'Ile-de-France) en deux entités indépendantes. Le CEMIF – laboratoire mixte CEA/Université d'Evry– a été créé en 1992. Le conseil scientifique du CEMIF, dans sa réunion de novembre 1998, a jugé que la cohérence du laboratoire n'était pas suffisante et a suggéré une restructuration de nos activités en deux laboratoires indépendants, l'un en mécanique–énergétique (LME), l'autre autour de la modélisation et du contrôle des systèmes complexes (LSC).

Avant la création de l'Université d'Evry en 1991, le premier laboratoire de recherche implanté sur le site a été celui du projet SPARTACUS d'aide aux personnes handicapées physiques (fin années 1970). Il est devenu le Laboratoire de Robotique d'Evry en 1984, supporté par l'IUT de Créteil–Evry (Université Paris 12). Le LRE s'est fondu dans le CEMIF en 1992.

Le LSC a été reconnu par le ministère comme équipe d'accueil en décembre 2000, et par le CNRS (FRE 2494) au sein du département STIC depuis Juin 2002.

2. Thématique générale de recherche : la machine intelligente autonome ou dans ses relations avec l'homme

Les activités du Laboratoire Systèmes Complexes sont centrées essentiellement sur la problématique de la « Machine Intelligente ». Il s'agit de réaliser des machines ou systèmes physiques qui sont en mesure de percevoir et d'agir dans un environnement variable (connu ou inconnu), capables de raisonner de façon rationnelle sur une diversité de tâches ou de données et sur les moyens nécessaires pour les accomplir de façon autonome ou en coopération avec un opérateur humain. Cet objectif nécessite une démarche scientifique et technique menant en parallèle et étroitement les développements de la théorie et de l'expérimentation. Ainsi les chercheurs du laboratoire investissent leurs efforts dans l'approfondissement des principaux thèmes de la machine intelligente au niveau des concepts et méthodes, et de la mise en œuvre des résultats théoriques sur des processus réels.

Nos activités s'articulent autour de trois thèmes, eux mêmes organisés en sous-thèmes, concernant :

- le traitement et l'analyse des données (thème I : TADI) ;
- l'interfaçage actif homme-systèmes (thème II : RVRA) ;
- la modélisation et le contrôle des machines complexes (thème III : MCMC).

La structure actuelle apparaît ainsi :

Thème I. Traitement et analyse de données et images (TADI)
- I.1. Traitement de données numériques et symboliques
- I.2. Apprentissage prédictible et fiable d'actions réflexes
- I.3. Traitement et analyse d'images

Thème II. Réalité virtuelle et réalité augmentée (RVRA) (interfaçage actif multimodal homme-systèmes)

II.1. Réalité augmentée et télétravail collaboratif
II.2. L'entreprise virtuelle intelligente
II.3. Réalité virtuelle et interfaçage haptique
Thème III. Modélisation et Contrôle des machines complexes (MCMC)
III.1. Contrôle de véhicules terrestres et aériens
III.2. Coopération entre entités intelligentes
III.3. Mécatronique

Dans la suite de ce paragraphe une présentation rapide de ces différents thèmes est faite, mettant en évidence les points forts et le rayonnement de l'équipe.

2.1 Thème I. Traitement et analyse de données et images (TADI)

Dans le thème I (TADI) l'aspect « complexité » d'un système, est compris au niveau des données et des informations disponibles sur ce système et qui peuvent se présenter sous la forme de données numériques, de signaux, d'images, d'informations linguistiques, de connaissance a priori. L'objectif général est de tirer parti de la façon la plus efficace possible de ces données pour améliorer le fonctionnement et les performances du système, à travers des tâches de modélisation, contrôle, diagnostic, aide à la décision, etc. Une attention particulière est portée sur le fait que ces données sont d'une part généralement de grandes dimensions et, d'autre part, fréquemment entachées d'imprécision et d'incertitude.
Notre action se situe aussi bien au niveau des outils de traitement, soit en en proposant d'originaux, soit en testant et améliorant des méthodes existantes, qu'à celui des mises en œuvre sur des applications pratiques. Ces applications peuvent, soit être issues des thèmes II et III du laboratoire, ce qui induit une forte coopération avec ces thèmes, soit internes au groupe TADI (en particulier dans le domaine du traitement de données biomédicales).
Ces informations sont prises sur les machines (réacteurs nucléaires, systèmes mécaniques) et leur environnement (route intelligente, localisation non métrique), sur l'homme opérateur contrôlant une machine ou sur l'homme passif pour traiter des données médicales (projet ECG Fœtal) ou biométriques.

Points forts de TADI
Les principales avancées à retenir au cours des 4 dernières années concernent :

- La fusion de données imprécises et incertaines : Une méthode possibiliste a été proposée améliorant ainsi le comportement de la règle adaptative proposée par Dubois et Prade. Les performances de cette dernière ont été validées dans le cas de la localisation d'un robot mobile muni de capteurs ultrasonores.

- Les systèmes d'inférence floue (SIF) : Nous avons développé un algorithme d'optimisation en ligne de SIF en préservant la lisibilité et l'interprétation des règles. Cette méthode a été validée dans un cadre robotique et un système complet de navigation semi-réactive d'un robot mobile a été développé. Un article publié en 2002 dans la revue RAS (Robotics and Autonomous Systems) est actuellement classé deuxième article le plus téléchargé de l'année (http://www.elsevier.com/locate/issn/09218890).

- La Séparation Aveugle de Sources (SAS) / application ECGF,EMGD : L'extraction non-invasive de signaux médicaux quasi-ponctuels fortement bruités a été rendue possible en révisant le principe d'acquisition du signal (réseau d'électrodes), la physique des capteurs et

en optant pour des méthodes de SAS non-stationnaires. Les résultats obtenus actuellement, avant optimisation des capteurs, sont parmi les tous meilleurs publiés.

Rayonnement de TADI
Le rayonnement des équipes du thème TADI se traduisent par la participation aux travaux des GDR ISIS et STIC Santé, des contrats scientifiques (Lesieur SA et INSERM, CEA, etc.), des collaborations scientifiques avec des organismes de recherche comme l'INRETS, l'INRIA, des projets de recherche conjoints avec d'autres laboratoires (projet biométrie avec notamment le LMSS de l'UTT et le LIS de l'INPG), projets en traitement d'images comportant direction conjointe de thèse avec l'IMASSA de la DGA, des ACI (Extraction de l'ECG fœtal avec le CHU Robert Debré ; Cognition et traitement de l'information avec notamment le LPPA du Collège de France).

2.2. Thème II. Réalité virtuelle et réalité augmentée (RVRA)

Interfaçage actif multimodal homme-systèmes

Les travaux du thème II (RVRA) concernent l'interfaçage actif et multimodal homme-systèmes. L'utilisation de grand nombre de systèmes complexes par l'homme nécessite la mise en œuvre d'interfaçages, assez souvent interactifs. Ces systèmes peuvent prendre la forme de robots distants tels que des bras manipulateurs, des drones, des véhicules terrestres, des outils de téléchirurgie ou des systèmes physiques de télétravail (cas de la télé-robotique). Ils peuvent prendre la forme de ressources distribuées qu'il faudra exploiter à travers un réseau de communication *intelligent* avec des contraintes de réactivité à distance, donc de délai. Il s'agit dans ce cas « d'entreprises virtuelles ». Ils peuvent aussi prendre la forme de systèmes complexes complètement virtuels qu'il faudra simuler ou avec lequel il faut mettre en œuvre des stratégies d'interactivité proches du réel (simulateurs interactifs).
L'interfaçage peut être basé sur le concept de **réalité augmentée** mettant en œuvre la superposition des environnements réel et virtuel. Les **interfaces haptiques** mettent en jeu le sens haptique de l'homme (i.e. la kinesthésie et le tactile). Moyennant des interfaces et des dispositifs ergonomiques adaptés aux modalités sensorielles de l'opérateur humain, l'interaction entre l'opérateur et l'environnement virtuel est voulue à la fois intuitive (illusion haptique, recherche de métaphores haptiques) et multimodale.
Tout naturellement dans la continuité de ces différents travaux, le laboratoire a lancé un programme de recherche sur le **télétravail collaboratif** et plus généralement sur **l'entreprise virtuelle.**

Points forts de RVRA
L'équipe **Réalité augmentée** a été la première en France à développer des études sur ce concept pour le contrôle des robots téléopérés (thèse soutenue en 1990). Cet axe de recherche s'est poursuivi avec le développement du système MCIT (Module de Contrôle et d'Interface en Téléopération). Nous sommes le laboratoire français le plus avancé dans la mise en œuvre du concept de réalité augmentée avec des images *live* pour la téléopération. L'équipe est également la première à avoir mis sur l'internet un système de télétravail permettant le contrôle d'un robot (ARITI : Augmented Reality Interface for Teleoperation applications via Internet) et utilisant les techniques de la réalité virtuelle. ARITI constitue un système expérimental de télétravail via l'Internet, il est accessible depuis 1999 sur le site Web du laboratoire et depuis février 2000 sur le site de la NASA[2]. Au delà de la réalisation technique,

[2]NASA Space telerobotics Program; http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/-realrobots.html

les apports de ARITI résident dans la mise en œuvre d'assistances à l'opérateur humain pour la perception de la scène, la supervision des tâches et le contrôle du robot (guides virtuels). L'équipe **haptique** est la seule (avec le CEA) à maîtriser toutes les composantes fondamentales liées à l'haptique : (i) l'infohaptie –terme forgé par le LSC, qui représente l'informatique du rendu haptique par analogie avec l'infographie qui est l'informatique du rendu visuel -, (ii) l'automatique du rendu haptique, (iii) la conception mécatronique des dispositifs haptiques, (iv) la psychophysique du rendu haptique. Ces travaux sont bien identifiés aux niveaux national et international (programme européen Touch-Hapsys).
En ce qui concerne l'équipe **entreprise virtuelle** les travaux sur l'optimisation de flux Internet en utilisant une approche à base de neurones sont uniques en France.

Rayonnement de RVRA
L'équipe du programme **entreprise virtuelle** travaille sur des projets internationaux (projet CNRS Ulysse avec l'Irlande, projet européen IEA avec le LIP6, projet CAPES/COFECUB avec le Brésil). Un membre de l'équipe a co-organisé le congrès IFIP/IEEE MMNS 2003 (Management of Multimedia Networks and Services, Belfast) et co-organise HPOV en 2004.

L'équipe du programme **haptique** a une collaboration scientifique importante avec le CEA LIST, avec l'INRIA. Elle est co-porteur de l'AS « détection de collision et réponse », porteur de l'AS « information et interfaces haptiques », et fait partie du comité de pilotage du RTP 15 « Interfaçage médiatisé et réalité virtuelle ». Elle est impliquée dans le projet MATEO d'assistance au geste chirurgical (Hôpital Tenon) et mène l'étude d'un simulateur d'accouchement (Hôpital Robert Debré). Trois logiciels ont été déposés conjointement avec l'INRIA. Un membre de l'équipe a co-organisé le congrès IEEE ROMAN 2001. Des projets industriels ont été réalisés ou sont en cours avec l'IFP (exploration de grandes bases de données géologiques), avec l'INRETS (adjonction du retour haptique dans les simulateurs de conduite automobile). Elle est la seule équipe française à participer à un projet européen sur le retour haptique (IST Touch-Hapsys du 5ème PCRD).

L'équipe du programme **RA** participe aux travaux du GDR ISIS. Des projets industriels ont été réalisés avec Renault-Automation pour la supervision en RA de machines-outils. Elle participe à une projet RNTL (AMRA).

L'ensemble du groupe RVRA fait partie du réseau d'excellence INTUITION qui vient d'être accepté dans le cadre du 6ème PCRD. Par ailleurs, le LSC a reçu un important soutien du Ministère de l'Education Nationale, du CNRS et du département de l'Essonne pour le montage d'une plate-forme de Réalité Virtuelle (EVR@). Cette plate forme sera opérationnelle au premier trimestre 2004.

2.3. Thème III. Modélisation et Contrôle des machines complexes (MCMC)

Le Thème III (MCMC) est largement transdisciplinaire. Les études qui y sont menées concernent des systèmes dans leur globalité, elles sont à la fois complémentaires et transversales par rapport à celles menées dans les thèmes I et II, dont elles exploitent les acquis.
Dans ce thème trois axes principaux se dégagent : le contrôle de véhicules, la coopération entre entités intelligentes, et la mécatronique.

2.3.1. Contrôle de véhicules terrestres et aériens

Le contrôle des véhicules s'est développé dans le laboratoire d'abord autour de la robotique mobile. Ce thème s'est ouvert au contrôle de véhicules routiers, automobiles ou camions, avec des collaborations avec l'INRETS et RVI dans le cadre du programme **route et véhicules intelligents**.
Depuis 2000 nous avons constitué une équipe pour travailler sur le contrôle de véhicules aériens. Le LSC a acquis un dirigeable pour servir de support aux expérimentations. Des résultats ont été publiés sur le contrôle d'hélicoptères et de ballons dirigeables. Les travaux ont porté notamment sur le contrôle référencé vision et sur la modélisation de dirigeables souples, la génération et le suivi de trajectoires.

Points forts et rayonnement du programme « route et véhicules intelligents »
Un premier volet des recherches du laboratoire sur ce thème abordent le triplet véhicule-infrastructure-conducteur et les interactions associées. Elles visent une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeux afin de proposer des systèmes d'information, d'alerte et de commande permettant de garantir la sécurité sur un trajet. Le deuxième volet concerne l'amélioration de l'efficacité des systèmes de transport par l'apport de nouvelles technologies et l'automatisation. On étudie pour cela des scénarios sous différents critères de gains en capacité et de sécurité.

Cette ambivalence est unique au plan national et place le laboratoire en position privilégiée de partenariat avec le LCPC et l'INRETS. Sur le plan international, la reconnaissance est au rendez-vous, et le laboratoire est depuis cette année engagé sur le plan européen ($6^{ème}$ PCRD) dans le cadre du projet intégré PReVENT. L'équipe est représentée au comité de pilotage du RTP « véhicules intelligents ».

Points forts et rayonnement du programme « engins volants »
Le LSC est un des premiers laboratoires en France à s'être lancé dans le domaine des véhicules volants autonomes : pour les hélicoptères avec le laboratoire HEUDIASYC (Compiègne) et pour les dirigeables avec le laboratoire LAAS (Toulouse).
Les résultats les plus importants concernant le pilotage automatique d'engins volants à voilures tournantes ont lieu dans le domaine de la commande référencée vision pour ces systèmes sous-actionnés où la connaissance parfait de la cible n'est plus supposée.
Les résultats les plus importants pour les dirigeables concernent la génération de trajectoires non équilibrantes pour lesquelles le sous-actionnement et les limitations des actionneurs sont pris en compte.

Dans le cadre d'un concours lancé en 2003 par l'ONERA et la DGA sur les drônes, le projet présenté par le LSC et l'UFR Sciences et Technolgie a été sélectionné (hélicoptère à 4 rotors connu sous le nom de Roswell-Flyer ou XSF).

2.3.2 Coopération entre entités intelligentes

La coopération d'entités intelligentes comprend la coopération homme-machines et la coopération entre robots, mises en œuvre dans le cadre du projet ARPH[3]. Le robot mobile muni d'un bras manipulateur est destiné à apporter une assistance à la personne handicapée. L'IHM conçue, utilise les principes mis en œuvre dans ARITI (cf. thème II, RVRA). Ce projet a été développé avec le soutien de l'AFM (Association Française contre la Myopathie).

[3] ARPH : Assistance Robotisée à une Personne Handicapée

La coopération de robots se développe dans le laboratoire comme une suite naturelle des travaux que nous avons menés en commun avec le LESIR de l'ENS Cachan, autour du projet AMAGRA (Architecture Multi-Agent pour un Groupe de Robots Autonomes). Ce projet s'intégrera à terme dans le projet ARPH.

Points forts et rayonnement
Les activités de recherche concernent jusqu'à maintenant le handicap moteur avec une assistance à la manipulation au moyen d'un bras manipulateur mobile. Il existe très peu d'équipes travaillant sur ce domaine applicatif, aucune au niveau national. Il y a quelques projets internationaux mais qui ne mettent pas la problématique de coopération au centre de leurs préoccupations.

L'activité du LSC dans le domaine de l'assistance technique pour les personnes dépendantes s'est traduite par une implication capitale dans la création et l'animation de réseaux comme l'IFRATH - Institut Fédératif de Recherche pour l'Assistance Technique aux personnes Handicapées - puis le RTP "Handicaps" du CNRS-DSTIC avec pour volonté de fédérer les acteurs très dispersés de la recherche et de promouvoir des interactions avec les réseaux d'utilisateurs et les rares industriels. Le laboratoire est co-organisateur de la conférence « Handicap » qui se déroule une année sur deux, depuis 2000.

2.3.3. Mécatronique

La mécatronique associe dans une même démarche de conception la mécanique et l'automatique. L'activité de ce groupe a porté initialement sur la modélisation et la commande de systèmes mécaniques complexes avec comme application principale la robotique. Le thème majeur de l'équipe est la dynamique des systèmes multicorps flexibles ou non. Dans ce domaine un membre de l'équipe co-organise depuis plusieurs années un symposium dans le cadre des « ASME International Design Technical Conferences ».

L'équipe mécatronique travaille en synergie avec les automaticiens et le groupe TADI pour la modélisation et la commande des drones : modélisation par éléments finis du dirigeable, poursuite de trajectoires équilibrantes –thèse en collaboration avec l'ENP de Tunis–, conception de nouveau drones).

La micro-robotique appliquée à l'assistance au geste chirurgical se développe dans cette équipe en coopération avec l'Université Simon Frazer (Burnaby, Canada), elle concerne le retour haptique et le projet MATEO (Modélisation Artérielle Thérapeutique Endovasculaire assistée par Ordinateur). La réalisation d'un prototype de cathéter actif a conduit au dépôt d'un brevet en France et aux USA. L'application des techniques de réalité virtuelle utilisant le retour haptique –en collaboration avec l'équipe RV– pour l'apprentissage du geste chirurgical dans l'opération d'anévrismes de l'aorte est en cours de réalisation dans le cadre de ce projet mené avec l'hôpital Tenon.

3. Synergies inter-thèmes

La politique organisationnelle du laboratoire a toujours été de faire en sorte qu'il y une synergie forte entre les équipes des trois thèmes. Cela se traduit par des co-directions de thèses, des programmes de recherches transversaux.

Ces relations sont mises en évidence par le tableau 1 qui montre le caractère structurant pour des axes prioritaires et des projets fédérateurs et par le tableau 2 qui répertorie les thèses co-encadrées entre deux thèmes.

Le thème I n'a pas été jusqu'à maintenant porteur de projet fédérateur (mais il le sera dans l'avenir avec le projet 'biométrie'). Mais, outre sa dynamique propre, cette équipe a une rôle fédérateur au sein du Laboratoire Systèmes Complexes car y sont développées des compétences solides qui sont utilisées dans les deux autres thèmes.

Axes prioritaires et *projets fédérateurs*	Thème I **TADI**	Thème II **RVRA**	Thème III **MCMC**
Réalité virtuelle et Réalité augmentée	Traitement d'images Co-encadrement de thèses	**Thème principal**	Assistance au geste chirurgical Assistance robotisée à une personne handicapée
Contrôle de véhicules: - **Véhicules terrestres et route automatisée** - **Véhicules aériens**	Traitement d'images Traitement de données Co-encadrement de thèses	Simulateur de conduite	**Thème principal**
Assistance robotisée à une personne handicapée	Traitement d'images Traitement de données Localisation non métrique Co-encadrement de thèses	Application de la RV-RA à la conception de l'IHM	**Thème principal**
Assistance au geste chirurgical	Traitement d'images Traitement de données	**Thème principal** pour l'accouchement	**Thème principal** pour l'anévrisme de l'aorte

Tableau 1 : Axes prioritaires et projets fédérateurs du LSC

Nom du doctorant	Sujet de thèse	Directeur de thèse	Co Encadr.	Production	Thème
D. MERAD	Appariement 2D/3D basé sur les invariants projectifs	M. Mallem	S. Lelandais	C02-35,C03-30 C03-31,C99-04 C99-11,C00-01 C00-05,C00-16	I et II
C. MONTAGNE	Extraction d'indices visuels pour le guidage d'une base mobile dans un environnement domestique coloré	S.Lelandais	E. Colle	C99-08,C99-12 C00-17, C03-27,28 R00-04,R00-06 R02-07	I et III
K. ZEMALACHE	Commande orientée vision des systèmes sous actionnés par des techniques neuro-floues	H. Maaref	L. Béji	Débutée en 2003	I et III
H. ARIOUI	Commande de dispositifs à retour haptique en présence de retards de transmission	A. Kheddar	S. Mammar	C02-09 10,11,12,13 C03-04,C03-04	II et III
S. OTMANE	Télétravail robotisé et réalité augmentée via internet	M. Mallem	E. Colle	C00-26	II et III
H. LOIZA	Capteur de vision stéréoscopique	S.Lelandais	J. Triboulet	R99-03 R01-10	I et II

Tableau 2 : Thèses co-encadrées inter-thèmes

L'ensemble de ces synergies est illustré par le schéma de la figure 1 qui fait apparaître d'une part l'environnement de la machine contrôlée et sur lequel des informations sont extraites, et d'autre part l'homme comme opérateur des systèmes interactifs.

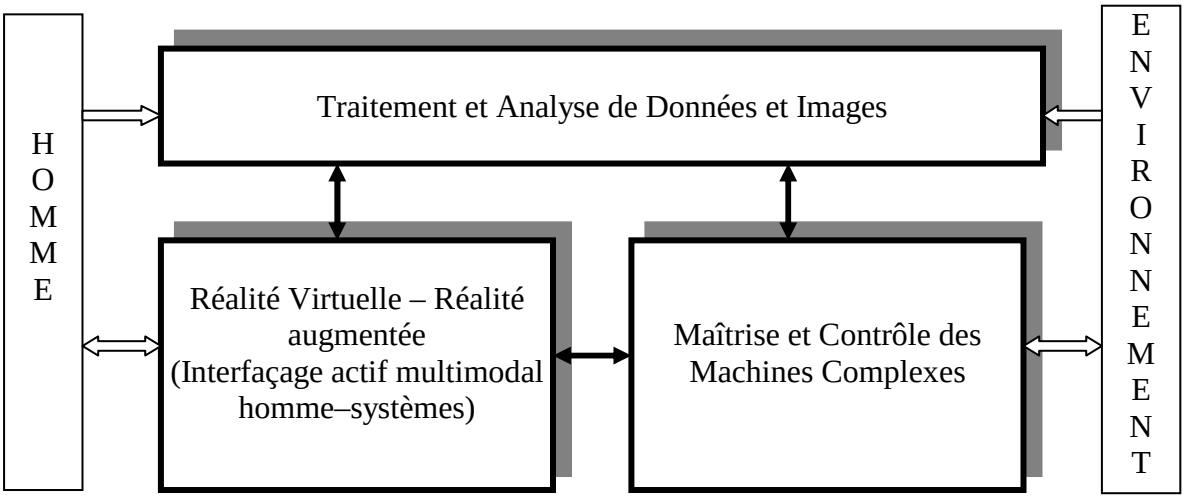

Figure 1 : Schéma illustratif de l'organisation du LSC

4. Perspectives pour les quatre années à venir

L'évolution thématique du laboratoire se fera avec l'objectif de renforcer les axes prioritaires de développement (réalité virtuelle et contrôle de véhicules) et les projets fédérateurs. L'objectif est d'améliorer la visibilité scientifique du LSC, de renforcer les synergies internes pour améliorer notre efficacité, tout en encourageant les collaborations externes pour trouver les compétences complémentaires qui nous aideront à dépasser certains verrous technologiques. Il s'agit notamment de maintenir et même renforcer l'ouverture du laboratoire vers des équipes appartenant aux domaines des sciences cognitives et de la physiologie. Il en est de même des liens avec les grands organismes de recherche (CEA, INRETS, INRIA, INSERM). Le LSC participe de manière active à la mise en place du projet NUMATEC sur Saclay.

La présence de Genopole sur Evry ouvre également pour le LSC des perspectives de développement très intéressantes des activités de recherche menées par les équipes TADI et RVRA. Une proposition de collaboration a été faite dans le cadre du programme ATIGE : cette proposition concerne les applications de la réalité virtuelle à la visualisation, interprétation et manipulation de molécules d'ADN.

La politique d'ouverture sur les activités fédératives en France (participation aux RTP du département STIC, aux AS et ACI, au programme RNTL) et en Europe dans le cadre du 6ème PCRD, sera un des axes forts de développement des activités du laboratoire qui par ailleurs cherchera aussi à développer les coopérations extra-européennes, notamment avec le Japon (avec le détachement de A. Kheddar dans le cadre du JRL).

Dans les lignes qui suivent sont présentés les principales orientations des recherches pour chacun des thèmes.

4.1. Perspectives du Thème I : TADI

Les deux projets prioritaires pour l'équipe TADI sont les suivants :

Interaction Perception-action

Nous avons initié une démarche scientifique originale utilisant des outils de type Sciences Pour l'Ingénieur dans un cadre basé sur une approche issue des sciences cognitives. Nous nous attacherons à poursuivre le développement de cette démarche sur le plan théorique et à la valider expérimentalement. Le contexte choisi pour effectuer cette validation est celui de l'acquisition par un robot mobile de capacités de navigation en traitant le système perception-action de façon unifié (et non séquentiellement comme cela est l'usage). Ce projet est fédérateur au sein du laboratoire puisqu'il sera mené avec une équipe du thème III.

Biométrie

Nous avons choisi la biométrie comme domaine fédérateur sur lequel l'ensemble des compétences du thème peut être valorisé. Une reconnaissance de l'iris à l'aide de variables multiples a été initiée en 2003 et un travail portant sur l'authentification de visages a débuté récemment. Après un savoir-faire acquis sur différentes modalités biométriques, la mise en œuvre de l'utilisation de variables multiples sera envisagée pour permettre l'authentification ou l'identification robuste d'un individu à partir de caractéristiques biométriques variées.

4.2. Perspectives du Thème II : RVRA

L'équipe RA a pour objectif scientifique de lever un verrou important qui est celui du *recalage 3D/2D temps réel* du monde virtuel sur le monde réel. Ce recalage suppose une calibration des points de vues réel et virtuel et une reconnaissance automatique de l'environnement réel. Par ailleurs, ce travail pose un problème ergonomique de présentation des informations à l'utilisateur (quand et comment utiliser la RA). Une collaboration avec les équipes de neurosciences et de psychologie expérimentale est nécessaire.
L'équipe a amorcé des recherches en RA en vision directe, avec l'objectif d'aboutir à un système de RA, semi-immersif, utilisant un dispositif de visualisation semi-transparent, permettant à l'opérateur d'avoir une vue directe de son environnement de travail augmentée par des informations visuelles pertinentes vis à vis de la tâche.
Dans le domaine du télétravail collaboratif, il s'agit de proposer des formalismes d'intelligence artificielle et des architectures logicielles permettant de prendre en compte les difficultés du travail collaboratif et les nouvelles modalités de perception visuelle, d'interaction et de communication. La collaboration peut avoir lieu à la conception autour de la maquette, dans une salle immersive, ou entre deux équipes physiquement distantes mais travaillant de façon coordonnée sur une maquette identique.
La plateforme EVR@ (« Environnement Virtuel et Réalité Augmentée ») en cours d'installation servira de support pour le développement et la mise en œuvre de ces recherches.

Les perspectives de **l'équipe haptique** sont orientées vers plusieurs voies de recherche constituant un challenge au niveau international. D'abord la consolidation du concept *d'infohaptie*. L'équipe est la seule en France, avec le CEA, (voire même à l'étranger) à considérer le rendu haptique comme partie intégrante des moteurs de simulation. Nous continuons à travailler sur les problèmes de détection de collisions et l'animation dynamique basée sur la physique pour les unifier et les rendre temps réel, traitant aussi bien les objets rigides que déformables dans un même benchmark Nous travaillons aussi sur l'algorithmique intégrant le rendu de texture avec une modélisation informatique prenant en compte des caractéristiques psychophysiques liées au toucher.
Pour ce qui est de l'aspect matériel du rendu haptique, nous concevons de nouveaux dispositifs à retour haptique, compacts et intégrés (de la taille d'un clavier d'un ordinateur portable) : le concept de rendu à multi-étages et multi-types d'actionnement. Il s'agit d'une interface à retour haptique complète (retour d'effort plus rendu de texture) basée sur des idées nouvelles d'actionnement à base d'intégration piézoélectrique/effet Peltier/élastomère ou électromagnétique et beaucoup d'idées novatrices à base de polymères conducteurs fonctionnant à l'air libre. Nous travaillons aussi sur l'automatique du rendu haptique en prenant en compte les contraintes dictées par l'infohaptie telles que les retards et les fréquences d'échantillonnage variables.
Nous entamons aussi des collaborations et des expériences très étroites avec des laboratoires de psychophysiques pour des expériences nouvelles qui permettrons de mieux comprendre le sens haptique humain et sa relation avec les autres sens. Ces études sont importantes pour nous, car cela nous aide à mieux optimiser les interfaces.

L'équipe Entreprise Virtuelle a pour objectif de définir de nouveaux concepts de travail et de collaboration via les réseaux fixes et mobiles. Il s'agit de lever des verrous d'une part en terme de qualité de service des communications sous-jacentes et d'autre part de gestion de l'infrastructure physique et logique dans le but de satisfaire les besoins de collaboration à l'intérieur d'une entreprise virtuelle. Pour cela il faut mettre en place de nouvelles solutions qui permettent de configurer les réseaux de manière à supporter les différentes applications de collaboration en fonction d'un ensemble d'objectifs de hauts niveaux (politiques). L'objectif

est d'automatiser les translations d'un contrat de service SLA (Service Level Agreement) de mise en place d'une entreprise virtuelle entre différentes localisations physiques pour des objectifs de travail coopératif, d'ingénierie concurrente, de téléopération, etc, et de traduire automatiquement ces SLA en un ensemble de politiques de configuration dans un environnement réseau et système hétérogène.

4.3. Perspectives du Thème III : MCMC

Contrôle de véhicules terrestres : routes et véhicules intelligents

Initiés sous la problématique d'automatisation complète de la conduite, les travaux se sont orientés depuis 3 ans maintenant sur le développement d'assistances à la conduite. Cette orientation sera renforcée pour les prochaines années. Les assistances que nous développons à la fois pour le longitudinal et le latéral seront déclinées suivant les différents modes de coopération homme-véhicule. Le développement de ces modes d'interactions sera abordé sous le double aspect technique et humain en collaboration avec le LIVIC et l'IRRCyN.

La méthodologie directrice est l'intégration du calcul du « risque de situation » dans la synthèse des alertes et des lois d'assistance active. Ce risque combinera la dynamique véhicule, l'infrastructure et le conducteur. L'objectif étant de construire des fonctions d'assistance permettant de traiter de manière unifiée, d'assistances en inter-distance, en arrêt sur obstacle, en approche de virage et dans le virage.

Par ailleurs, les travaux actuels se basent principalement sur le capteur vidéo pour le positionnement du véhicule sur la voie de circulation et par rapport aux véhicules environnants. Nous explorons dès maintenant différentes possibilités de positionnement en relatif et en absolu, pouvant utiliser une meilleure coopération entre les véhicules ou avec l'infrastructure. Les modifications nécessaires à apporter à l'infrastructure sont en cours d'étude et se poursuivront de manière active. Nous pouvons citer : l'ajout des balises de bord de voie, des aimants sur la voie, des transpondeurs, etc. Sont à explorer également les influences des changements dans l'infrastructure sur les algorithmes de contrôle-commande. Plusieurs types de changements sont possibles et leurs combinaisons seront étudiés.

Une partie de ces orientations choisies sera traitée dans le cadre de nos contributions en tant que partenaire dans le projet intégré PReVENT qui débutera en Février 2004.

Engins volants

Dans le cadre d'un concours lancé par l'ONERA sur les drones, nous nous sommes investis dans la conception et la commande d'un hélicoptère à 4 rotors connu sous le nom de Roswell-Flyer ou XSF. Ce type d'hélicoptère est conçu spécialement pour des missions telles que le vol stationnaire, le suivi de trajectoire lente, le décollage ou encore l'atterrissage. Le cahier des charges prévoit la conception d'un mini-drone pouvant se loger dans une sphère de 70cm de diamètre et qui pourrait effectuer un vol quasi-stationnaire. Concernant la dynamique du vol, quatre points sont mis en avant : l'aérodynamique, les effets gyroscopiques, la flexibilité des pales, la dynamique des rotors. Concernant le contrôle, les points à l'étude sont les suivants: planification de chemins et évitement d'obstacles dans un milieu urbain, génération de trajectoires de consignes et commande du système sous actionné, suivi de trajectoires et suivi de cibles.

Coopération entre entités intelligentes

L'assistance restant basée sur des moyens robotisée, il est intéressant d'envisager une diversification à la fois des moyens et du champ d'application. En ce qui concerne le premier point, l'idée est de considérer que le service rendu à la personne dépendante se fait par coopération d'un ensemble de robots mobiles dans l'optique d'une utilisation dans un centre de réadaptation. Notre équipe a déjà commencé des recherches sur ce sujet et possède désormais un parc de petits robots mobiles afin de valider ses approches.
En parallèle, nous désirons élargir le champ d'application au handicap cognitif. Il n'existe à notre connaissance que deux équipes au monde qui s'intéressent à l'apport de la robotique dans l'évaluation et la thérapie d'enfants autistes par interaction avec des robots. Les compétences spécifiques du LSC en terme de robotique téléopérée pourraient permettre de proposer des solutions originales

En ce qui concerne l'équipe mécatronique, un des objectifs majeurs est d'accentuer les coopérations avec les autres équipes du laboratoire, TADI, RARV, automaticiens dans les domaines de l'assistance au geste chirurgical, de la modélisation et du contrôle de drones.

5. Conclusion

Le bilan chiffré est porté plus loin dans cette partie.

Depuis sa dernière évaluation le laboratoire s'est restructuré faisant passer l'activité « traitement d'images » dans l'équipe TADI afin d'améliorer la cohérence et favoriser les synergies. La structure administrative et technique du laboratoire ainsi que sa capacité d'encadrement sont en train de changer. Le ratio HDR/enseignants-chercheurs qui était de 9/28 en 2001 est maintenant de 13/24. Par contre le LSC qui n'avait jusqu'en 2002 qu'une secrétaire sur ¼ de temps, dispose maintenant d'un IGE à mi-temps depuis 2003 et le CNRS nous a attribué une assistante de direction à temps plein à partir de janvier 2004.

La reconnaissance par le CNRS comme FRE à partir de janvier 2002 nous a donné accès à un réseau dont nous avons essayé d'exploiter au mieux les synergies : participation à plusieurs RTP, à plusieurs AS. Nous nous sommes appuyés sur l'expertise du CNRS pour monter plusieurs projets hexagonaux et européens.

Le rayonnement du laboratoire, que ce soit au niveau national ou international s'est considérablement amélioré depuis quelques années. Cela se traduit par la participation à des programmes nationaux (RNTL, PREDIT-ARCOS) et européens dans le cadre du 5ème et du $6^{ème}$ PCRD, l'organisation de congrès internationaux : co-organisation du congrès Handicap depuis 2000, tutorial sur la robotique 3D dans le congrès IEEE Robotics and Automation 2000, co-organisation du congrès IEEE ROMAN 2001, co-organisation d'un symposium dans le cadre des « ASME International Design Technical Conferences », co-organisation du congrès IFIP/IEEE MMNS 2003 (Management of Multimedia Networks and Services, Belfast).

Les crédits récurrents (hors salaires des permanents) du ministère et du CNRS qui représentaient en moyenne 25% du total des crédits du laboratoire en 2001, en représentent maintenant 20%. Cette amélioration vient de notre présence dans différents projets cités précédemment et des crédits que nous avons obtenus de la part du département de l'Essonne pour monter une plate-forme sur les thématiques liées à la réalité augmentée et virtuelle.

Le bilan du laboratoire fait apparaître un recentrage de ces activités autour des deux axes principaux : réalité virtuelle (interfaçage actif multimodal homme-système) et véhicules (drones et véhicules terrestres). Les travaux de recherche menés dans ces deux axes principaux et dans les projets fédérateurs montrent bien la cohésion et la complémentarité des équipes. Le fort appel dû à l'implantation du Génopôle sur Evry peut renforcer l'effet structurant si le LSC réussit à diffuser les techniques de réalité virtuelle dans ce domaine.

L'activité de création de connaissances s'est traduite depuis 1999 par la production d'ouvrages (2), la coordination d'ouvrages collectifs (4), l'écriture de chapitres d'ouvrages collectifs (10), de 65 articles dans des revues à comité de lecture (48 de 99 à 2002, 17 de janvier à septembre 2003), 197 communications à des congrès avec actes (154 de 99 à 2002, 43 de janvier à septembre 2003), dont 14 invitées et 8 organisée

Deux brevets ont été déposés en 2000. Trois logiciels ont été déposés.

19 thèses ont été soutenues ainsi que 7 Habilitations à diriger des recherches (M. Mallem en 1999, H. Maaref et Y. Bestaoui en 2000, S. Mammar en 2001, A. Kheddar, T. Hamel et S. Lelandais-Bonadé en 2002). Il faut noter à ce propos la réelle difficulté, voire l'impossibilité, d'obtenir des bourses de thèses de la part de la région Ile-de-France, et le faible soutien de notre école doctorale de laquelle nous arrivons avec peine à obtenir une allocation de recherche par an.

Le LSC participe à la formation des jeunes chercheurs. Il a été engagé jusqu'en 2000 dans la formation doctorale robotique (sceau principal : Paris 6, établissements co-habilités : ENSAM, UVSQ, UEVE, INSTN). A partir de l'année 2000-2001 il est le laboratoire porteur du DEA RVMSC (Réalité Virtuelle et Maîtrise des Systèmes Complexes), l'Université d'Evry en est l'établissement principal. Nous participons activement au montage des nouveaux MASTERS. Nous travaillons actuellement sur un projet qui reprend, en les restructurant, les thématiques du DEA RVMSC. Ce projet est soutenu par l'université d'Evry, l'UVSQ, l'INT, l'IIE, l'ENSMP, l'INSTN. Une UV sera assurée par le LPPA du Collège de France.

Une autre action de formation est menée avec l'IIE (Institut d'Informatique d'Entreprise). Le LSC y assure l'enseignement d'une option (robotique et réalité virtuelle). Cette école, qui recrute sur le concours Centrale/Supélec, fournit au laboratoire de bons stagiaires et doctorants. Cet adossement IIE/LSC est bénéfique pour les deux organismes. Il est un facteur déterminant dans le maintien du haut niveau scientifique des activités du LSC.

II. BILAN CHIFFRE

1. Ressources humaines

Politique de recrutement

Année	Professeur	Maître de conférences
1999	1 interne : thème 2	1 interne : thème 1 1externe : thème 3
2000	1 externe : thème 2	
2001		1 interne : thème 2 1 externe : thème 1
2002	2 internes : thème1 et thème 3	1 externe : thème 3
2003	1 interne : thème 2	1 interne : thème 2 2 externes : thème1 et thème 3

			Total
Externe /total sur 5 ans	**20 %**	**62,5 %**	**46,1 %**

2. Bilans financiers

Synthèse des financements Ministère de la recherche et CNRS

	Année 2000	Année 2001	Année 2002	Situation au 09/2003
Crédits scientifiques				
CNRS	0	0	89503	36966
Autre	24622	24622	25500	25500
Equipements				
CNRS	0	0	0	0
Autre	10367	10367	13345	13345
Autres Crédits				
CNRS	0	0	0	0
Autre (BqR)	8385	9148	14600	6800
Contrats (annuités)	105059	88150	286166	365758
Autres (annuités)	58571	20206	10165	181390
sous-total (Contrats et autres)	163630	108356	296331	547148
Total	207004	152493	439279	629759
Contrats/Total en %	79	71	67	87

Synthèse des financements autres que Ministère de la recherche et CNRS

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Contrats de recherche								
Thème 1	0	0	29527	49320	34520	14		
Thème 2	4760	66416	19624	175164	196423	159540	60094	
Thème 3	26243	38643	38999	61682	134815	168597	155155	99907
Total	**31003**	**105059**	**88150**	**286166**	**365758**	**328151**	**215249**	**99907**
Autres (AS, ROBEA, Subventions)								
Thème 1	5082	15247	21065	18906	0	0	0	
Thème 2	0	2729	4071	1633	219889	93378	0	
Thème 3	8876	43324	6270	7267	12571	17100	9000	
Total	**13958**	**61300**	**31406**	**27806**	**232460**	**110478**	**9000**	**0**
Total contrats et Autres	**44961**	**166359**	**119556**	**313972**	**598218**	**438629**	**224249**	**99907**
Total entre 1999 et 2003					**1243066**			

3. Bilan des productions scientifiques

Production sur la période 1999-2002

		1999	2000	2001	2002	Total	Sept. 2003
Ouvrages	Thème 1	1	0	0	1	**2**	0
	Thème 2	1	0	1	3	**5**	2
	Thème 3	0	0	1	0	**1**	2
Total		**2**	**0**	**2**	**4**	**8**	**4**
Revues	Thème 1	4	7	1	4	**16**	5
	Thème 2	1	1	3	1	**6**	2
	Thème 3	3	3	14	6	**26**	11
Total		**8**	**11**	**20**	**11**	**50**	**18**
Conférences avec actes	Thème 1	7	9	7	9	**32**	16
	Thème 2	6	7	13	20	**46**	15
	Thème 3	9	18	16	20	**63**	13
Total		**22**	**34**	**36**	**49**	**141**	**44**
Total		**34**	**46**	**58**	**61**	**199**	**59**

Liste des références bibliographiques par thème de 1999 à 2003

	Ouvrage	Revue
Thème I	L99-01, L02-04	R99-04, R99-06, R99-07, R99-08, R00-01, R00-04, R00-06, R00-07, R00-08, R00-09, R00-011, R01-13, R02-04, R02-06, R02-07, R02-10, R03-10, R03-12, R03-13, R03-17, R03-18
Thème II	L99-02, L01-01, L02-01, L02-02, L02-03, L03-01, L03-02, L03-03	R99-03, R01-09, R01-10, R01-20, R02-11, R02-01, R03-11
Thème III	L01-02, L03-02, L03-04	R99-01, R99-02, R99-05, R00-02, R00-03, R00-05, R00-10, R01-01, R01-02, R01-03, R01-04, R01-05, R01-06, R01-07, R01-08, R01-11, R01-12, R01-14, , R01-15, R01-16, R01-17, R01-18, R01-19, R02-01, R02-02, R02-03, R02-05, R02-08, R02-09, R03-02, R03-03, R03-04, R03-05, R03-06, R03-07, R03-08, R03-09, R03-14, R03-15, R03-16

Liste des références bibliographiques inter-thèmes de 1999 à 2003

	Revue	**Conférence avec actes**
Thème I et II	R99-03 R01-10	C02-35 C03-30, C03-31
Thème II et III		C00-26, C02- 9,10,11,12,13 C03-04

Bilan des habilitations à diriger les recherches et thèses soutenues

	1999	**2000**	**2001**	**2002**	**Total**
HdR	1	2	1	3	7
Thèses	5	4	3	7	19

4. Visibilité et collaboration

Participation aux GdR

GdR	**ISIS**	**STIC Santé**	**Automatique**
Thème I	×	×	
Thème II	×		
Thème III	×	×	×

Participation aux Réseaux Thématiques Pluridisciplinaires du département STIC du CNRS

RTP	**Interfaçage Médiatisé et Réalité Virtuelle n°15**	**Handicaps n° 34**	**Véhicules Intelligents n°40**	**Systèmes aérospatiaux n° 46**
Thème II	Membre du comité de pilotage			
Thème III		Animation	Membre du comité de pilotage	Membre du comité de pilotage

Participation aux comités d'organisation ou scientifique de conférences

Nom	Date	Lieu	Rôle du LSC	Thème
MMNS 2003	Sept. 2003	Belfast	Président du comité d'organisation	II
Handicap 2002	Juin 2002	Paris	Président du comité d'organisation	III
IEEE Roman'2001	Sept. 2001	Bordeaux et Paris	Président du comité d'organisation, membre du comité scientifique co-chairman	II
ASME Symposium on Multibody Dynamics and Vibration	Sept 9-13, 2001	Pittsburgh	Président du comité d'organisation	III
Handicap 2000	Juin 2000	Paris	Président du comité d'organisation	III
ASME Symposium on Multibody Dynamics and Vibration	Sept. 2003	Chicago	Président du comité d'organisation	III
ISH	Octobre 2003	Paris	Président du comité scientifique	III

Participation à des actions Européennes

Nom du projet	Cadre	Montant	Début	Fin	Thème
TOUCH-HAPSYS	Projet Inégré 5ème PCRD	401,8 K€	01/10/2002	30/09/2005	II
INTUITION	Réseau d'excellence 6ème PCRD	(en cours de négociation)			II
PREVENTIVE SAVETY Wire local danger warning	Projet Intégré 6ème PCRD	300 K€	01/10/2003	01/10/2006	III
PREVENTIVE SAVETY Situation-adaptive system	Projet Intégré 6ème PCRD	100 K€	01/10/2003	01/10/2006	III

Accueil de visiteurs extérieurs

Visiteur	Université d'origine	Période de présence	Durée
M. R. Mahony	Senior lecturer à l'Université de Monash, Australie	2000	1 mois
M. K. Kozlowski	Université Posnan Pologne	2000	1 mois
M. A. Abichou	Professeur à l'école polytechnique de Tunis, Tunisie	2001	1 mois
M. J. Celestino	Professeur à l'Université fédérale du Céara, Brésil	2002	1 mois
M. S Payendeh	Associate Professor Simon Fraser university, Canada	2002	1 mois
M. C. Caleanu	Professeur à l'Université de Politechnique de Timisoara	2003	1 mois
M. T. Matsumaru	Associate Professor Université de Shizuoka, Japon	2003	6 mois

5. Liste des équipements

Ordinateurs

51 PC
1 SGI Octane

Capteurs

Caméras
2 caméras analogiques simples
1 caméras analogiques pan+tilt
1 tête stéréo analogique
Capteurs ultrason
2 têtes de capteurs ultrason composées d'1 émetteur/récepteur et d'un récepteur

Robots avec leurs équipements

Robots mobiles
Flotte de 5 robots mobiles dont 1 avec un PC embarqué
Base mobile équipée avec
- Un pc embarqué avec réseau Wi-Fi
- Un bras robot Manus
- Une caméra Pan+tilt
- Un Bras robot

Robot Fanuc

Banc de calibration

Banc robotisé équipé avec :
- Une caméra d'environnement pour la téléopération
- Une tête stéréo
- Un projecteur de grille laser

Ballon Dirigeable

Dirigeable robotisé équipé avec :
- Une caméra VHF
- Une centrale inertielle + émetteur HF
- Actionneurs et moteurs themiques

Simulateurs

Dispositif à retour d'effort haptique (Phantom)
Simulateur de conduite
Simulateur de téléopération pour la chirurgie endovasculaire (projet MATEO) équipé avec :
- Le bras robot Fanuc (déjà cité)
- Une caméra pour la téléopération

Plateforme de RV/RA

Equipement de la Plateforme EVR@

Plate forme technologique pour les Environnements Virtuels et de Réalité @ugmentée - Projet ASTRE 2002[4]

Vidéo projecteur stéréo(Technologie DLP, Lunettes shutter, Ecran semi-transparent 3*2,25m²)
Casques de vision semi transparents stéréo
Bras à retour haptique(Virtuose 6D)
Serveur Graphique
Serveur Vidéo
Equipement vidéo (caméras)
Equipement réseau sans fil
4 PC standard
tracking optique (ARTTRACK)
Centrale inertielle(MT9)

Matériel divers

Imprimantes
Deux imprimantes laser
Audiovisuel
Un projecteur LCD
Un caméscope numérique
Un appareil photo numérique

[4] Les éléments en italique sont en cours d'acquisition

B. DESCRIPTION DES ACTIVITES DE RECHERCHE

I. TRAITEMENT ET ANALYSE DE DONNEES ET IMAGES

Thèmes scientifiques

Statistiques en grande dimension et séparation de sources
mots clés : optimisation, stabilités algorithmiques, données de grande dimension, données symboliques, séparation de sources.

Traitement de données imprécises et incertaines
mots clés : systèmes d'inférence floue, optimisation, théorie des possibilités, calcul par intervalles, fusion de données.

Apprentissage prédictible et fiable d'actions réflexes
mots clés : système perception–action, apprentissage par renforcement, respect de contraintes, émergence.

Traitement et analyse d'images
mots clés : vision stéréoscopique , imagerie, traitement de la couleur, analyse de textures, télédétection, multirésolution.

Responsables Claude Barret, Hichem Maâref
Vincent Vigneron (Traitement de données numériques et symboliques)
Hichem Maâref (Traitement de données imprécises et incertaines)
Claude Barret (Apprentissage prédictible et fiable d'actions réflexes)
Sylvie Lelandais-Bonadé (Traitement et analyse d'images)

Participants

Claude Barret, PR, IUT. Evry	(depuis 1992)
Sonia Bouzidi, MCF, U. Evry	(depuis 2001)
Sylvie Lelandais-Bonadé, MCF, HDR, IUT Evry	(depuis 1992)
Hichem Maâref, PR, IUT Evry	(depuis 1992)
Vincent Vigneron, MCF, U. Evry	(depuis 1998)

Participants associés

Michel Dumas, Ing. CEA	(1999-2000)
Christophe Hérail, PRAG GE, IUT Evry	(depuis 2000)
J-M. Martinez, Ing. CEA et PAST U. Evry	(1999-2000)
Yasmina Saadi, MCF, U. Evry	(1999-2000)

Doctorants

Ana Paola Leitao	12/00	Bourse INRETS
Christophe Montagne	10/01	Bourse MERT
Amar Djouak	09/02	
Kadda Zemalache	09/02	

Thèses soutenues

Laurent Boutté	11/00	Ingénieur informaticien
Frédéric Davesne	04/02	Post-doc. (LPPA Collège de France)
Ali Goudarzi	12/01	Enseignant chercheur (Univ. Ispahan, Iran)
Djamel Hanifi	03/00	Ingénieur informaticien
Humberto Loaiza	11/99	Enseignant chercheur (Univ. Valle, Colombie)

Denis Rivière	09/00	Post-doc. (INSERM)
Alberto Soria-Lopez	12/99	Chercheur (Univ. Mexico)
Renaud Thétiot	09/99	Ingénieur (High Tech Systems)

HDR soutenues

Hichem	Maâref	01/00	PR	Univ. Evry
Sylvie	Lelandais-Bonadé	11/02	MCF	Univ. Evry

Coopérations et Groupes de travail

GDR ISIS : Fusion de données, traitement d'images couleur, indexation
GDR STIC Santé : Analyse de données biomédicales
Université Paris I (SAMOS) : Apprentissage non supervisé
IRISA Rennes : Optimisation des systèmes flous, Apprentissage par renforcement
CEA (SFME) : Modélisation par apprentissage, Analyse de spectres
INRETS (LIVIC, ESTAS) : Commande floue, Fusion de données, « Route Intelligente »
CHU R.Debré : Traitement de données médicales (obstétrique)
LIS (CNRS – INPG) : Traitement de données
INRIA (Rocquencourt) : Traitement d'images
IMASSA (Brétigny) : Traitement d'images
LPPA (CNRS – Collège de France) : Apprentissage sensori-moteur
Université de la Havane / CUJAE : Traitement de données et images
City University (Center for software reliability, Londres) : Traitement de données imprécises
LMSS (EA 3173, Troyes) : Biométrie
CEM2 – Université de Montpellier : Traitement d'images couleurs, vision stéréoscopique
INPHB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire : Vision stéréoscopique
Université de Biskra, Algérie : Biométrie

1. Introduction

Dans la notion de « complexité » d'un système, nous nous plaçons ici au niveau des données et informations disponibles sur ce système et qui peuvent se présenter sous la forme de données numériques, de signaux, d'images, d'informations linguistiques, de connaissance a priori, etc. L'objectif général est de tirer parti de la façon la plus efficace possible de ces données pour améliorer le fonctionnement et les performances du système, à travers des tâches de modélisation, contrôle, diagnostic, aide à la décision, etc. Une attention particulière est portée sur le fait que ces données sont d'une part généralement de grandes dimensions et, d'autre part, fréquemment entachées d'imprécision et d'incertitude.
Notre action se situe aussi bien au niveau des outils de traitement, soit en en proposant d'originaux, soit en testant et améliorant des méthodes existantes, qu'à celui des mises en œuvre sur des applications pratiques. Ces applications peuvent être issues des thèmes II et III du laboratoire, ce qui induit une forte coopération avec ces thèmes, soit internes au groupe TADI (en particulier dans le domaine du traitement de données biomédicales).
Au cours de la période de référence, notre activité a évolué de façon importante sous l'influence de deux facteurs principaux :

1. les mouvements de chercheurs rattachés au thème, certains ayant cessé temporairement ou définitivement leur activité et d'autres étant venus rejoindre et renforcer l'équipe. C'est en particulier le cas de S. Lelandais-Bonadé et S. Bouzidi qui animaient auparavant les travaux sur le traitement d'images au sein du Thème II ;
2. les évolutions générales du laboratoire avec le développement d'axes prioritaires ou d'opérations transverses (RA/RV, Robotique 3D, route intelligente, aide aux handicapés) auxquels nous participons.

C'est ainsi que nos activités peuvent se décliner actuellement selon 3 sous-thèmes :
- Traitement de données numériques et symboliques;
- Apprentissage prédictible et fiable d'actions réflexes ;
- Traitement et analyse d'images.

Les autres travaux, correspondant à des activités plus marginales, seront regroupés dans un dernier paragraphe.

2. Traitement de données numériques et symboliques

Ce sous thème de recherche se décline en deux grandes parties :

2.1. Statistiques en grande dimension et séparation de sources

Depuis 4 ans, nous avons développé une activité importante concernant le traitement statistique des tableaux de grandes dimensions et les techniques adaptatives de séparation de sources, aussi bien dans leurs aspects théoriques que dans leur mise en œuvre pratique. Une attention particulière a été portée sur les applications dans le domaine biomédical.

2.1.1. Statistiques en grande dimension

Cette thématique ne se limite pas à l'analyse de données, mais résume l'ensemble des activités algorithmiques du groupe : elle a pour objectif le traitement des tableaux de grandes dimensions qui décrivent des systèmes (non)linéaires multivariables.

2.1.1.1. Ré-échantillonnage

Le *bootstrap* est une méthode de ré-échantillonnage qui intéresse beaucoup de chercheurs pour des applications réelles dans le cas où l'on dispose d'un nombre de données qui n'est pas assez grand par rapport à leur dimension pour que les résultats asymptotiques soient satisfaits. En ce qui concerne l'identification des systèmes, la confrontation des exemples d'identification des systèmes ARMA avec des résultats plus classiques montre assez clairement qu'il s'agit d'un domaine privilégié d'applications (C01-35-[VIG01]). Dans (R02-04-[KAL02R]), nous décrivons la méthode du *bootstrap* non paramétrique pour l'estimation de l'écart type de l'estimateur d'un paramètre et nous montrons qu'elle apporte une solution au problème de la sélection entre différents modèles (voir Figure). Dans (C03-39-[VIG03]) nous rappelons les propriétés asymptotiques des modèles autorégressifs non linéaires et les tests asymptotiques de différence de contrastes qui en découlent. Nous mettons également en évidence les limites pratiques de l'application de ces tests à des données réelles ou simulées, puisqu'il faut disposer d'échantillons de très grande taille pour obtenir des résultats satisfaisants. Nous montrons alors comment on peut utiliser le *bootstrap* pour construire des tests beaucoup plus puissants, permettant le choix entre deux modèles. Enfin nous montrons la consistance du *bootstrap* paramétrique dans ce cas de figure.

Plusieurs applications de cette méthode portant sur l'approximation de fonctions complexes et des surfaces de réponses ont été traitées en collaboration avec le CEA. Elles concernent :

- l'optimisation du repositionnement du combustible des réacteurs nucléaires (C00-23-[MAR00C]);
- des études de fiabilité mécanique (C00-08-[DEV00C]);
- l'estimation du pic de puissance électrique dans les réacteurs nucléaires (C00-33-[VIG00bC]).

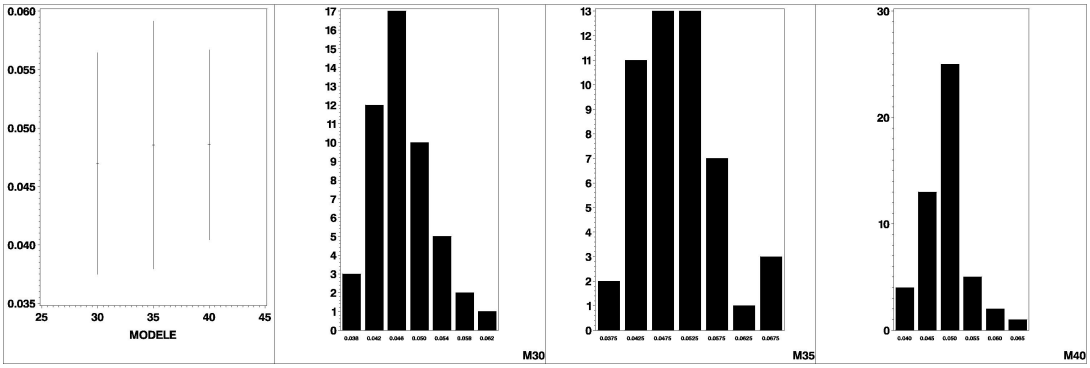

Figure I-1 Lois des variances de l'erreur de 3 modèles à partir desquelles est faite la sélection de modèle.

2.1.1.2. Localisation non métrique

La notion d'espace de localisation permet de traiter des problèmes tels que la planification sous contraintes de localisation. Une des techniques classiques de localisation en robotique est l'utilisation d'un système composé de capteurs et d'un ensemble d'amers, artificiels ou naturels.

Dans le contexte d'un projet ACI Neurosciences (2002) (0), nous avons mené une série d'expériences dans laquelle un automate Khepera, muni d'un ensemble de capteurs, est placé dans un environnement artificiel. Placé à l'entrée, on lui donne pour objectif de trouver la sortie.

Des images lui parviennent avec une certaine fréquence d'échantillonnage (les échos ultrasonores), mais intercalés avec des images aberrantes. Nous avons analysé comment les mécanismes de perception sont modifiés selon l'importance du rapport signal/bruit par rapport à un fonctionnement sans perturbation.

La méthode de localisation utilisée consiste à calculer la dimension fractale de l'espace des mesures, supposé de grande dimension et plus grand que le nombre de capteurs ; elle s'appuie donc sur le degré de corrélation des mesures. (C02-40 [VIG02]).

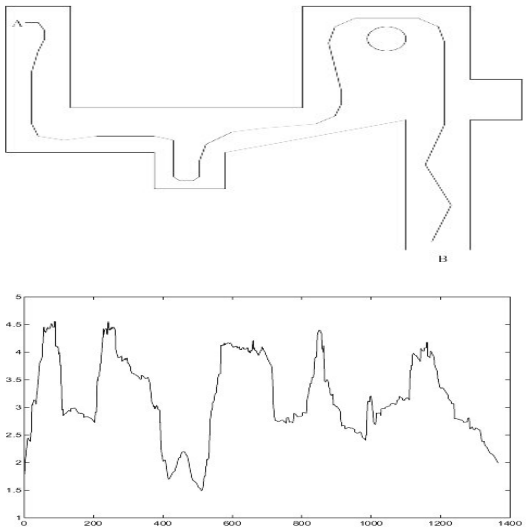

Figure I-2 Variation de la dimension fractale pendant le déplacement du robot

Ces études ont permis de montrer que l'on est capable de repérer des différences locales d'environnement sans informations à priori. L'objectif est ensuite de regrouper ces situations en un nombre fini de classes (non fixé à l'avance). Dans ces expériences, nous cherchons à vérifier, à la suite des travaux de thèse de F. Davesne [DAV02Thèse] (0), qu'il n'y a pas nécessairement de représentation interne (en mémoire), mais que la mémoire agit comme un « guide » qui utilise la perception comme un filtre : l'intentionnalité active la mémoire et utilise la perception pour se valider elle-même. La mémoire se présente alors comme une sorte de mécanisme dynamique qui aide à valider un scénario. Supposons qu'on crée un espace d'état dans lequel tous les objets semblent reliés à cause de la simultanéité de la perception. Le premier but de la perception est alors de chercher à les dissocier. Le résultat de la perception c'est de « voir quelque chose », mais pour cela, le système doit utiliser des ressources internes, sa mémoire (qui, elle, crée du sens).
A plus long terme, nous espérons montrer que, même lorsque les données sont aberrantes ou lacunaires, on arrive malgré tout à extraire une information de localisation, en tout cas si le bruit qui perturbe la perception dure moins longtemps que le signal utile.

2.1.1.3. Traitement de données ordinales ou qualitatives

Dans cette thématique, on s'intéresse à la dépendance entre deux caractères qualitatifs. Classiquement, en statistique, cette dépendance est évaluée à travers le chi2 de contingence. Cet indice, largement utilisé en analyse des données, a été revu dans (C02-40 [VIG02]).et adapté pour la classification de données qualitatives par cartes de Kohonen.
Les avantages de cette pratique sont multiples :
a) on fait apparaître les liaisons intéressantes entre caractères étudiés et caractères descriptifs,
b) dans le cas de tableaux de grande dimension, on économise un temps de calcul considérable, car l'analyse n'a pas besoin d'être effectuée sur la totalité du tableau, mais seulement sur une partie.

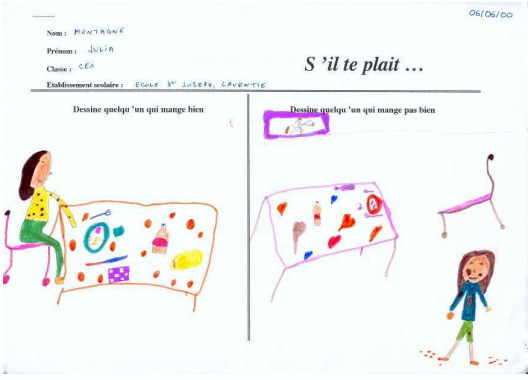

Figure I-3 Dessin extrait de l'étude FLVD.

Nous avons validé cet algorithme sur deux études socio-économiques: l'évaluation des collaborations R&D entre entreprises privées et laboratoires de recherche publics [C99-22-VIG99C], et le projet FLVS (étude Ville-Santé Fleurbaix-Laventie) qui évalue, à travers des enquêtes alimentaires, des questionnaires et des dessins (cf Figure 1-3), le comportement nutritionnel des enfants et de leur famille (contrat de recherche Lesieur SA et INSERM Paris). Nous avons réussi à visualiser les liens entre perception consciente et imagée de « l'enfant qui mange » (bien ou mal) vue par l'enfant lui- même. En rapprochant ainsi les paramètres biologiques des paramètres nutritionnels, on établit des profils de comportements alimentaires. La topologie de cette carte impose naturellement que des profils appartenant à des classes voisines dans la carte auront aussi des comportements alimentaires similaires dans la vie quotidienne.

2.1.1.4. Classification non-paramétrique basée sur l'indépendance conditionnelle

Nous traitons ici le problème de la combinaison de classifieurs pour la fusion de données, la reconnaissance de formes, la robotique… Nous proposons une approche normative qui prend en compte l'indépendance conditionnelle des classifieurs et nous proposons une méthode pour la réaliser. Un problème important des méthodes de combinaison actuelles est l'absence d'un critère pour choisir les classifieurs utilisés dans la combinaison. Nous montrons que les quelques rares critères déjà proposés (par exemple la variance), ne sont pas satisfaisants et nous proposons un critère lié à la théorie de l'information, en le justifiant théoriquement (C03-44-[VIG03])

Cette activité de recherche est un point de départ pour des travaux récents touchant à la biométrie, plus particulièrement un projet de reconnaissance jointe iris et cornée, alliant les domaines de traitement d'image (cf. section 0) et de fusion de données (cf. section 0) et qui concerne donc l'ensemble du groupe TADI. Ce projet a été initié en 2002 avec pour partenaires le Laboratoire de Modélisation et de Sûreté des Systèmes (EA 3173, Troyes), le laboratoire « Mort Cellulaire et Néoplasie » (Saint Etienne, EA 3063), le Laboratoire Image et Signal (Grenoble, UMR 5083), et le Laboratoire d'Automatique et de Microélectronique (UTT).

2.1.2. Séparation aveugle de sources (SAS)

La pertinence des algorithmes adaptatifs pour la séparation de sources est bien établie ; le foisonnement des exemples présentés qui proviennent de ce domaine en atteste. La séparation aveugle de sources ou « analyse en composantes indépendantes » tente de trouver une solution au problème classique de la cocktail party, dans lequel des signaux indépendants ne sont connus qu'à travers plusieurs de leurs mélanges différents. L'adjectif « aveugle » met nettement l'accent sur le fait que (i) les signaux sources sont non-observés, (ii) aucune information sur le mélange n'est disponible. L'absence d'information a priori est compensée par une hypothèse statistiquement forte (et souvent plausible) d'indépendance des signaux sources.

2.1.2.1. Etudes théoriques sur les algorithmes

Plusieurs algorithmes de résolution originaux ont été proposées et testés sur le modèle Hérault-Jutten dans (C03-40-[VIG03]), (C03-42-[VIG03]). Pour le cas de signaux non stationnaires bruités, ces algorithmes sont associés à un post-débruitage par ondelettes. Les travaux poursuivis visent à étendre l'utilisation du calcul par intervalle (cf. section 0) pour explorer l'espace des solutions de ce type de problème, et à utiliser les propriétés particulières des signaux rencontrés : markovianité des signaux, non-stationnarité des sources, distribution

ponctuelle des sources, gaussianité des sources, etc. Une étude théorique critique des points faibles des algorithmes a été effectuée (R99-07-[VIG99] R03-18-[VIG03]). Dans (C01-35-[VIG01] et C03-39-[VIG03]), nous avons établi des conditions nécessaires pour la stabilité de ces algorithmes à partir des valeurs propres de la matrice hessienne de la pseudo-vraisemblance des observations. Nous avons ainsi introduit des solutions numériques pour éviter les points stationnaires que l'on rencontre dans ce type d'algorithme. Ces travaux ont eu des conséquences pratiques importantes sur le traitement des applications biomédicales effectué en parallèle (cf. section 0). Plus récemment, nous nous attachons à trouver des raccourcis numériques au calcul des conditions de stabilité des équations d'adaptation à partir des techniques EDO.

2.1.2.2. Applications biomédicales

Depuis trois ans, une activité importante du groupe concerne le traitement et la reconnaissance de signaux biologiques de type électromyogramme du diaphragme (EMGD) et électrocardiogramme du fœtus (ECGf) (C03-44-[VIG03]) (cf Figure I-4). Ces actions rentrent dans le cadre de projets de recherche conjoints avec le Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle de l'Hôpital Robert Debré (O. Sibony et A. Azancot), l'Unité de Réanimation du service de pneumologie de la Pitié Salpetrière (T. Similowski) et le Laboratoire Image et Signal (Grenoble). Cette étude comporte trois volets :

a) l'identification, par des cliniciens, des problèmes d'analyse de signaux physiologiques pouvant se poser en termes de SAS en s'appuyant sur un état de l'art des techniques conventionnellement utilisées ;
b) l'illustration de la valeur ajoutée des méthodes de SAS pour l'analyse de signaux physiologiques, à partir de leur mise en œuvre sur des applications médicales spécifiques ;
c) le choix de protocoles pour le traitement de signaux biomédicaux qui sont par nature non-stationnaires et bruités (les techniques de séparation de sources classiques qui reposent sur la stationnarité des signaux et l'hypothèse iid sont insuffisantes ; elles retrouvent leur efficacité lorsqu'elles prennent en compte les corrélations temporelles).

L'électrocardiogramme du fœtus humain est un outil indispensable dans le cadre d'une médecine fœtale diagnostique et thérapeutique en terme de surveillance du fœtus pendant le travail, de recherche de la souffrance foetale par analyse de la variabilité cardiaque, d'aide au diagnostic pour le déclenchement ou non d'une IVG, de télé-surveillance du fœtus à domicile et pour la mise en place d'une sémiologie du diagnostic identique à celle mise en place pour le rythme cardiaque. Il permettrait de détecter et de prévenir les cardiopathies, d'évaluer les thérapies pharmacologiques dans la lutte contre ces cardiopathies, d'étudier les contraction maternelles et d'aider au diagnostic pour décider du traitement chirurgical ou pharmacologique d'une cardiopathie.

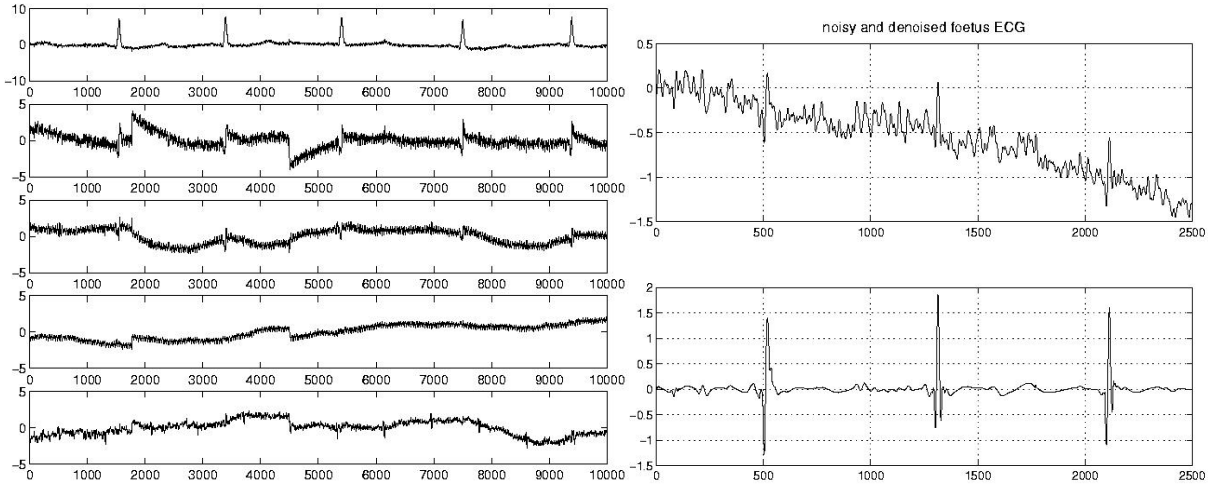

Figure I-4 Extraction de l'ECG fœtal à partir de signaux réels collectés sur une patiente à 34s

Une journée organisée par V. Vigneron et C. Jutten sous le patronage du GDR STIC SANTE et de l'AS CNRS « Séparation de sources » s'est déroulée le 7 mai 2003 à l'Hôpital G. Pompidou, sur le thème de l'analyse et l'interprétation de signaux physiologiques, tels que ceux enregistrés en électromyographie, électrocardiographie, électroencéphalographie, magnétoencéphalographie, par les techniques de séparation aveugle de sources développées par les laboratoires de traitement du signal et déjà largement utilisées pour des applications non médicales.

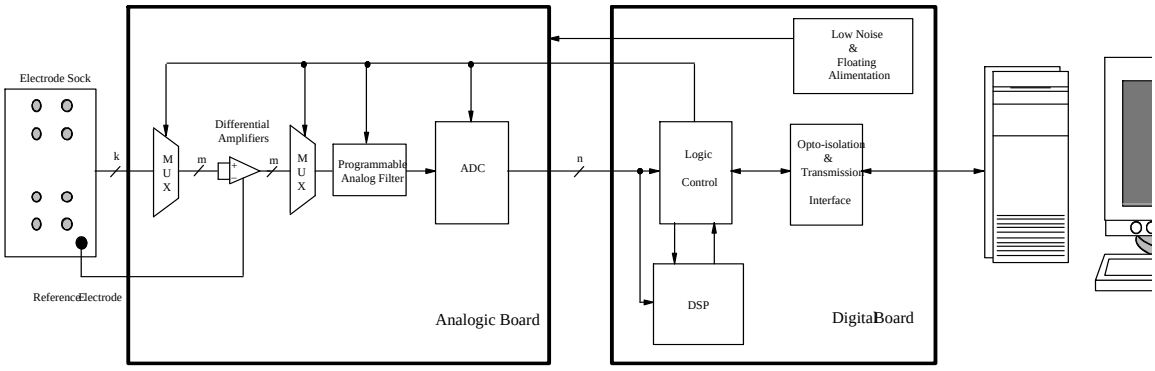

Figure I-5 Schéma du système d'acquisition de signaux

Parallèlement à cette activité sur le traitement des signaux, nous travaillons sur l'acquisition des données biomédicales. Nous avons conçu un dispositif très performant (cf Figure I-5) dans le cadre d'une ACI Technologie pour la Santé « Extraction de l'ECG fœtal » (1999) qui a été utilisé pour l'enregistrement de signaux EMGD et ECGf en temps réel sur des patientes en milieu hospitalier.
Ce dispositif répond à deux préoccupations pratiques importantes :

- il n'existe actuellement aucun moyen pour placer de façon automatique les électrodes ;
- les méthodes SAS, très efficaces par ailleurs, sont sensibles au bruit.

Pour pallier ces limitations, nous avons imaginé un dispositif électronique original (qui a fait l'objet du dépôt d'une enveloppe Soleau se présentant sous la forme d'une ceinture flexible comportant un réseau d'électrodes disposées en grille destiné à entourer l'abdomen de la mère (voir Figure I-6).

Ce système, actuellement validé en simulation, devrait permettre de sélectionner les paires d'électrodes pour lesquelles :
- le rapport signal/bruit est le plus « favorable » ;
- les signaux sont les plus décorrélés possibles.

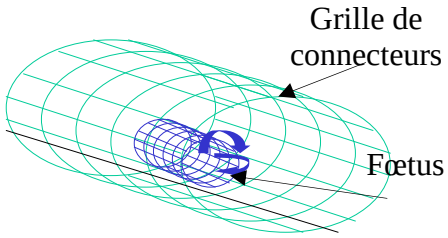

Figure I-6 Grille d'électrode destinée à collecter les meilleurs signaux ECGf.

Sur la Figure I-6, les électrodes sont placées sur les nœuds de la grille et capables de récupérer le meilleur rapport signal sur bruit. La recherche des meilleures paires d'électrodes au sens des deux critères précédents est pilotée par un algorithme itératif de type marche aléatoire. Cet algorithme de poursuite évalue la variance du signal entre deux pics d'ECG maternels. Une paire d'électrodes choisie au hasard sert d'initialisation à l'algorithme qui parcourt à partir de cette position la grille de façon à toujours maximiser cette variance.

2.2. Traitement de données imprécises et incertaines

Nos travaux dans ce domaine portaient initialement sur le traitement de données imprécises par la théorie du flou. Cette théorie permet d'une part la modélisation de la connaissance humaine pour calquer les capacités d'experts humains à commander des systèmes mal définis et/ou difficilement modélisables et d'autre part de traiter des informations imparfaites. Plus récemment nous avons abordé le problème du traitement de données imprécises à travers le calcul par intervalles que nous avons appliqué, entre autres, à l'approximation certaine de fonctions floues.

Par ailleurs, le thème de la fusion de données a pris une importance grandissante ces dernières années dans le laboratoire, en lien avec les activités concernant la localisation et le contrôle de véhicules, pour lesquelles une des problématiques importantes est de tirer le meilleur parti de ressources sensorielles limitées et pouvant être de mauvaise qualité. Ceci nous a amenés à nous intéresser, outre à la logique floue, aux différentes théories de l'incertain (théories des probabilités, des possibilités et de l'évidence) pour le traitement des connaissances et l'aide à la décision.

2.2.1. Systèmes d'inférence floue (SIF)

Ce sujet a été historiquement le premier abordé dans l'équipe, en particulier à travers une participation active au groupe de travail « Commande Symbolique et Neuromimétique » du pôle « Automatisation Intégrée » du GDR automatique durant toute son existence. Il est aussi très corrélé avec les activités du laboratoire concernant la robotique mobile et les véhicules intelligents. Dans ce cadre, un système de navigation semi-réactive d'un robot mobile a été développé. La logique floue s'est avérée être une solution attractive permettant l'intégration de l'aptitude des experts humains, ce qui conduit à une navigation anthropomorphique, non métrique et souple. Un modèle exact du robot n'est pas exigé et la navigation est basée sur un ensemble de règles logiques intrinsèques, d'où la portabilité sur différentes plates-formes. Elle présente également une certaine robustesse vis à vis des mesures capteurs qui peuvent être dégradés et à faible coût (R00-06-[MAA00]).

2.2.2. Optimisation des systèmes d'inférence floue (SIFO)

Un SIF peut être vu comme un système multi-paramètres. Même si l'esprit de la commande floue est de choisir ces paramètres par recours à « l'expertise humaine », une démarche logique est de se servir de cette expertise comme initialisation (introduction de connaissance à

priori), puis de rajouter à cela une étape d'optimisation supervisée. Nous avons privilégié, par rapport à l'ensemble des méthodes d'optimisation possibles, le recours à des méthodes proches de celles utilisées dans les réseaux neuromimétiques multicouches (RMC), c'est-à-dire celles basées sur la minimisation d'une fonction de coût, puisqu'il existe une analogie structurelle très forte entre SIF et RMC. Néanmoins une différence importante apparaît immédiatement. Un RMC est une « boîte noire » à apprentissage global dans laquelle aucune interprétation physique ou logique n'est attribuable aux paramètres à optimiser. Par contre un SIF est un système de nature locale (seules quelques règles sont activées pour un vecteur d'entrée donné) dans lequel la signification des paramètres est très forte. Deux attitudes peuvent alors être suivies : considérer que l'objectif de l'étape d'optimisation est uniquement d'obtenir la meilleure commande possible du processus, quitte à ce que le système de commande devienne une boîte noire; considérer, au contraire, que cet objectif ne doit pas se faire au détriment de ce qui est l'essence de la commande floue, c'est-à-dire en s'imposant la contrainte que cette optimisation ne détruise pas la lisibilité et la cohérence logique des règles de décision. Nous nous inscrivons clairement dans une démarche du second type.

Nous avons tout d'abord analysé de façon systématique les mécanismes d'apprentissage par descente de gradient appliqués à un SIF sous différentes contraintes visant à préserver la lisibilité des règles, afin de dégager un certain nombre de principes méthodologiques. Un problème majeur est lié au contrôle de la dérive des paramètres (ou poids) du SIF, en particulier pour ceux correspondant aux conclusions des règles. Nous avons pour cela développé un algorithme utilisant une méthode d'optimisation basée sur la minimisation d'un critère contenant à la fois un terme lié à la tâche à accomplir et un terme de pénalité qui va assurer un comportement de convergence des poids vers des valeurs faibles et quasi-constantes. On peut alors extraire une table de règles du SIF optimisé, vérifier sa cohérence et son interprétabilité et comparer éventuellement sa logique à celle extraite du comportement d'un expert (L99-01-[MAA99L], C00-17-[MAA00C]).

Cette méthode a été validée dans le cadre applicatif d'un système de navigation réactive de robot mobile utilisant plusieurs blocs de commande floue. Les différents modules flous ont été optimisés et une technique d'apprentissage a été mise au point qui évite les « pertes de mémoire » lorsque l'information reçue par le système est pauvre. On peut ainsi effectuer un apprentissage totalement en ligne, avec ou sans introduction de connaissance a priori, et en laissant l'algorithme actif en permanence (C99-12-[MAA99],C01-20- [MAA01]). Cette capacité d'apprentissage progressif permet de passer, sans aucune étape de modélisation et de simulation, de la commande d'un mobile à celle d'un autre (ou plus généralement de celle d'un processus à un processus voisin) avec seulement une très courte phase de complément d'apprentissage en ligne (R02-07-[MAA02]).

Ces travaux sur la commande floue et l'optimisation des SIF ont été étendus, en collaboration avec le LARP de l'INT, à la modélisation et la commande de systèmes non linéaires multi-entrées et multi-sorties (MIMO) [SOR99Thèse]. Ceci pose tout d'abord le problème de la mise en oeuvre de méthodes de découplage pour lesquelles des solutions originales basées sur le concept de relation floue ont été proposées. Les démarches d'optimisation décrites précédemment peuvent ensuite s'appliquer efficacement et nous les avons évaluées très favorablement par rapport à des méthodes stochastiques telles que les algorithmes génétiques.

Les travaux précédents ont été réalisés en étroite collaboration avec les activités du thème III du laboratoire. Nous suivons donc logiquement actuellement l'évolution de ce thème qui s'oriente fortement vers la robotique 3D. C'est ainsi qu'une thèse [ZEM-Thèse] en co-encadrement (H. Maaref, L. Beiji) a débuté en 2002 sur la commande de dirigeables souples

par retour visuel. Les dirigeables souples et autres véhicules aériens sont actuellement équipés de caméra et d'émetteur pour la surveillance et l'émission visuelle. Dans ce travail, on compte aboutir à des nouveaux algorithmes de commande par retour visuel afin de les appliquer au dirigeable du laboratoire. Les techniques neuro-floues (basées sur les SIFO) seront largement employées pour de tels systèmes, non-linéaires, et comparées aux méthodes classiques.

2.2.3. Analyse par intervalles

L'arithmétique par intervalles, définie par R. Moore dans les années 1960, apporte une solution fiable à la représentation des données imprécises. L'arithmétique par intervalles, pour laquelle tout nombre est représenté par un intervalle le contenant offre des résultats garantis. Tout calcul fournit un intervalle qui encadre le résultat. Nos travaux ont cherché à étendre et à appliquer les techniques du calcul par intervalle à la résolution des problèmes de séparation de sources (C03-41-[VIG03]), à l'optimisation (R03-18-[VIG03R]) et à l'approximation certaine de fonctions floues (C02-48-[VIG02], C02-49-[VIG02]).

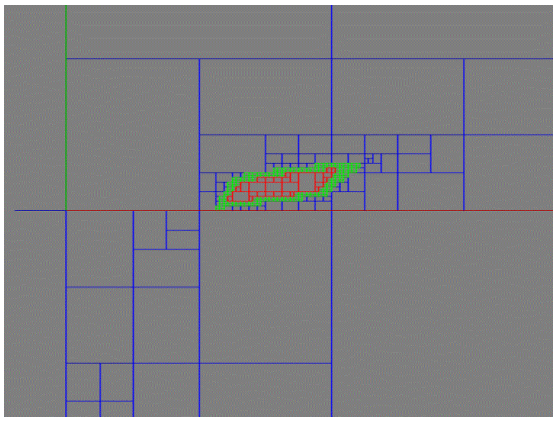

Figure I-7 Représentation de l'espace des solutions paramétriques fournie par calcul.

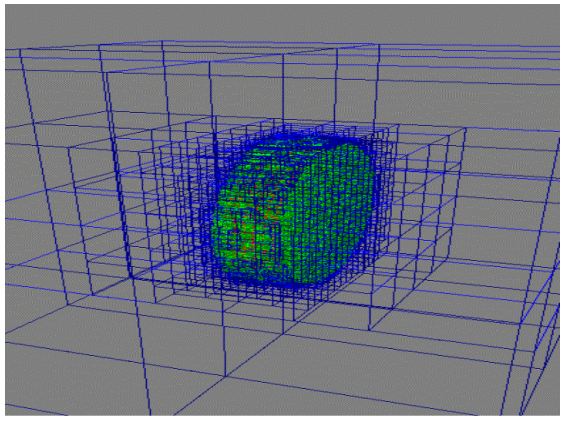

Figure I-8 Sous-pavage 3D (généré par le solveur) et solution d'une équation elliptique tridimensionnelle.

En effet, s'il est nécessaire de revoir la plupart des algorithmes usuels, il est possible, en utilisant l'analyse par intervalle de résoudre certains problèmes pour lesquels les autres arithmétiques ne fournissent que des solutions partielles. Citons le cas de l'optimisation globale d'une fonction continue pour lequel les algorithmes itératifs du type gradient conjugué ou Gauss-Newton retournent un optimum local : on peut non seulement déterminer toutes les solutions, mais également prouver leur existence ou leur unicité, par exemple pour les solutions stationnaires stables de l'algorithme de séparation aveugle de sources de Herault-Jutten. Plusieurs librairies d'algorithmes numériques ont été écrites pour ces travaux.

Les relations entre la logique floue et le calcul par intervalle sont étroites et nous avons montré qu'on peut trouver une solution simple à l'approximation de fonctions floues, le résultat le plus important étant la caractérisation de la fonction d'appartenance floue des paramètres à partir de ses alpha-coupes (cf Figure I-8). La représentation peut aisément être étendue à trois dimensions.

2.2.4.Fusion de données

Cette activité porte essentiellement sur le développement d'une méthode originale de fusion de données basée sur l'emploi de la théorie des possibilités.

Le travail effectué concerne, d'une part, l'extraction de distributions de possibilités représentatives des données (R00-08-[OUS00], (R00-09-[OUS00]) et, d'autre part, le développement, l'analyse et la justification de différentes variantes de règles de fusion adaptative. Le point central de la méthode possibiliste développée est l'utilisation d'une formulation modifiée de la règle de combinaison adaptative proposée par D. Dubois et H. Prade pour fusionner les différentes données. Deux modes de combinaison fondamentaux sont utilisables en théorie des possibilités : le mode conjonctif (intersections généralisées) et le mode disjonctif (réunions généralisées). Le mode conjonctif utilise comme opérateurs des normes triangulaires (t-normes, par exemple : minimum, produit etc.) et s'applique dans le cas où les sources sont considérées comme toutes fiables. Le mode disjonctif est basé sur les opérateurs de t-conorme (maximum, somme probabiliste etc.) et correspond aux cas où seulement certaines sources (non identifiées) sont fiables. Le choix du mode de combinaison dépend donc du degré de cohérence entre les sources. Une règle de combinaison adaptative permet alors de passer continûment du mode conjonctif au mode disjonctif en fonction de ce dernier. Nous avons ainsi proposé (C03-29-[MAA03]) une règle de fusion progressive qui possède des caractéristiques importantes absentes dans la formulation standard : elle est robuste par rapport à la forme des distributions de possibilités; elle tient compte de façon explicite de la distance séparant la zone de consensus de chaque point du support et permet une élimination progressive et contrôlable d'une information en contradiction avec les autres ; elle gère la situation où une zone de consensus est représentée par une distribution multimodale.

La méthode possibiliste que nous avons mise au point n'impose pas en théorie de forme particulière aux distributions. Elle est donc de ce point de vue plus souple et éventuellement plus réaliste qu'une méthode probabiliste. Cependant cette souplesse se paye par une augmentation de la complexité, car l'enregistrement d'une distribution requiert soit plusieurs intervalles (forme alpha-coupe) soit une suite de points (forme fonctionnelle). Nous travaillons actuellement à l'amélioration de ce point en lien avec les travaux sur le calcul par intervalles (cf. section 2.2.3). La règle de combinaison adaptative utilisée dans la méthode possibiliste privilégie la redondance des différentes sources en accordant plus de poids aux informations qui se répètent. Il s'agit donc d'une fusion par « concordance », au lieu d'une fusion par « minimisation de la variance » dans la méthode standard du filtrage de Kalman (R01-13-[OUS01]).

Sur ces bases, une chaîne complète de fusion possibiliste a été réalisée et validée sur deux problèmes de localisation d'un robot mobile dans un environnement partiellement connu (R03-12-[OUS03]). La première application a été réalisée avec un robot miniature disposant de capteurs infrarouges et d'un odomètre. Il évolue dans un environnement muni de balises actives repérables par les capteurs infrarouges. Le but des expériences réalisées était ici de comparer la méthode possibiliste à celle du filtrage de Kalman considérée comme la référence pour de tels problèmes (R99-04-[MAA99]). On peut en tirer les conclusions suivantes :

- dans les situations d'informations riches, le filtrage de Kalman est sans conteste supérieur ;
- par contre, dans le cas de situations pauvres, la méthode possibiliste peut parvenir à de meilleurs résultats ;
- une procédure de redondance (rebouclage) permet une amélioration sensible des résultats.

Par ailleurs, la méthode possibiliste permet de gérer les conflits (cas qui n'a pas été explicitement traité dans cette application), n'impose aucune contrainte sur les bruits et la linéarité du processus et n'est pas sensible à l'ordre dans lequel les observations sont traitées. La deuxième application porte sur un robot d'exploration d'intérieur, muni d'un odomètre et de capteurs ultrasonores, qui évolue dans un environnement connu, mais susceptible de présenter

des obstacles non modélisés. Nous avons pu mettre en évidence l'efficacité de la méthode et sa robustesse par rapport aux obstacles non modélisés et par rapport aux caractéristiques des distributions de possibilités associées aux capteurs. Nous avons montré également l'effet positif des modifications apportées à la règle de combinaison dans le cas d'informations conflictuelles (R03-13-[OUS03]).

3. Apprentissage prédictible et fiable d'actions réflexes

3.1. Contexte théorique et expérimental

Au cours des années précédentes, nous nous sommes beaucoup intéressés aux techniques d'apprentissage à partir de données, en particulier dans le cadre des réseaux neuromimétiques. Cependant, un problème fondamental que posent ces méthodes est l'aspect global de l'apprentissage qui rend difficile l'introduction de connaissance a priori et quasi-impossible l'incrémentalité de l'apprentissage. Il faut que toutes les situations potentielles auxquelles aura à faire face le réseau au cours de son « existence » aient été présentes dans la base d'apprentissage. Il est clair que, face à des problèmes complexes, il est beaucoup plus judicieux de pouvoir apprendre progressivement, en fonction des situations rencontrées (C99-06[DAV99]). Les techniques d'apprentissage par renforcement (AR) nous sont apparues a priori comme une des rares voies pouvant déboucher sur cette propriété. Mais ces techniques, qu'elles soient basées sur les méthodes d'AHC ou de Q-Learning, souffrent d'une explosion de l'espace de recherche (états et actions) qui est un sérieux handicap pour traiter des problèmes de taille réaliste.

C'est pourquoi nous nous sommes tout d'abord attachés à qualifier cette technique dans le cadre applicatif de la robotique mobile autonome, dans des environnements non modélisés et pouvant changer au cours du temps. Le schéma de comportement réactif, introduit par Brooks dans les années 1980, est adapté à ce contexte très général. L'idée est de construire une fonction de coût qui permet de sélectionner la meilleure action parmi les possibles du robot, en fonction des données capteurs, pour atteindre un objectif. Cette fonction doit pouvoir être apprise grâce à l'exploration de l'environnement et être modifiée si ce dernier change.

Théoriquement, les techniques d'apprentissage par renforcement sont bien adaptées à cette problématique. Elles permettent d'établir de façon incrémentale une relation perception/action par essais/erreurs successifs, à partir d'un signal de renforcement fourni à chaque instant (Figure I-9). Ce signal indique à chaque moment si l'objectif global du robot est atteint ou non.

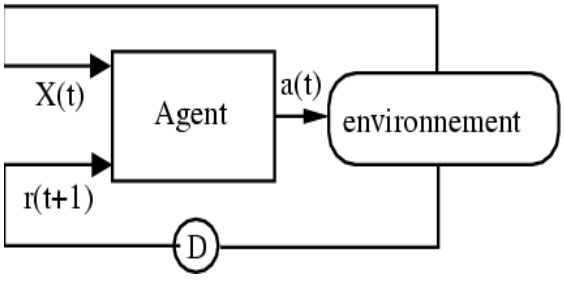

Figure I-9 Principe de l'apprentissage par renforcement

Cependant, l'expérience montre que l'hypothèse markovienne nécessaire pour l'AR n'est pas respectée dans le cadre de la robotique mobile réelle. Cela conduit à des résultats non prédictibles et non fiables car la validité de l'hypothèse markovienne ne peut pas être vérifiée au cours de l'expérience du robot par l'algorithme d'apprentissage lui-même, voir [DAV02Thèse].

En réponse à ce constat, nous nous sommes efforcés de développer une démarche scientifique originale qui permette intrinsèquement un contrôle de la validité des hypothèses formant le modèle d'apprentissage des relations perception/action. L'idée fondamentale est d'abandonner la maîtrise a priori de la précision au profit de celle de la fiabilité, à la fois dans le cadre de l'établissement de la politique d'action du robot et dans celui du traitement de ses données capteurs. L'avantage de cette démarche est de remplacer une contrainte très forte d'optimalité du comportement, par une contrainte plus douce de viabilité, à travers le contrôle a priori de la fiabilité.

La démarche explorée est calquée sur l'analyse d'un système physique en interaction avec son environnement. Elle se compose de deux étapes :

1. construction d'un modèle paramétrique basé sur un ensemble d'hypothèses d'évolution satisfaisant un ensemble de contraintes internes au système. Cette construction est validée si on peut montrer avant l'expérience que les contraintes peuvent toujours être respectées, quel que soit l'environnement de celui-ci, en modifiant de manière univoque les paramètres internes du modèle[5] ;
2. sélection d'un sous-ensemble d'hypothèses validées à partir des données expérimentales, qui permet de déterminer l'ensemble des paramètres internes admissibles (d'après les contraintes).

3.2. Principaux résultats

Nous avons appliqué cette démarche à l'étude de deux problèmes distincts :

- la navigation réactive d'un robot mobile dans un environnement inconnu ;
- le traitement des signaux du robot en vue d'établir ces états internes.

Pour a), notre démarche se traduit par une création incrémentale de bassins d'attraction (Figure I-10) centrés sur les lieux-cibles de l'environnement et de bassins de répulsion autour des lieux à éviter (comparable à la méthode des bubble-band développée par O. Khatib). Nous spécifions un algorithme original, appelé CbL (Constraint based Learning), dont nous donnons une caractérisation théorique (preuve de convergence, incrémentalité) et une comparaison très avantageuse avec une technique usuelle d'AR (Q-Learning) [DAV02Thèse]. Dans (C99-08-[DAV99]) nous avions déjà montré que cet algorithme est applicable à l'apprentissage de tâches de navigation d'un robot Khepera.

Pour b), nous développons un formalisme qui devrait permettre, à terme, de générer un ensemble d'états possibles, non pas a priori (comme dans la Théorie de l'Information), mais grâce à l'expérience. L'objectif est de prédire les évolutions possibles du signal dans une fenêtre temporelle déterminée, en utilisant une nappe paramétrique dont la forme doit être apprise. Un mécanisme de sélection utilisant l'analyse par intervalles permet de déterminer à chaque instant un sous-ensemble de cette nappe (Figure 10), qui est associé à un état. La contrainte que nous nous imposons pour former les états n'est plus le codage/décodage le plus fidèle possible, mais la plus grande discriminabilité possible des états formés par apprentissage. Nous avons obtenu un premier résultat théorique qui donne, dans un cas particulier, un équivalent du théorème de Shannon sur l'échantillonnage (voir [DAV02Thèse]). Nous centrons actuellement nos efforts sur ce problème de la discriminabilité. Il est intéressant car il pose explicitement la question suivante: comment prédire les performances d'un robot (ou plus généralement d'un système complexe) pour accomplir une certaine tâche, connaissant ses propriétés matérielles (capteurs [nature, disposition sur le robot, etc.], effecteurs) ?

[5] Il s'agit d'un analogue des propriétés de stabilité d'une loi de commande en automatique.

Des travaux dans des disciplines des sciences humaines (psychophysique, neurophysiologie) donnent un début de réponse pour l'homme. C'est pourquoi nous collaborons avec des chercheurs de ces disciplines pour réfléchir sur des pistes possibles concernant le problème de la discriminabilité appliqué à la robotique. Cela est concrétisé par le travail accompli dans le cadre de l'ACI Cognition et traitement de l'information intitulée « Apprentissage perceptif et contingences sensori-motrices – Des compétences humaines aux performances artefactuelles »[6]. L'idée est de tester les capacités de discrimination d'un environnement par un robot mobile qui utilise les mesures de dimension intrinsèque d'un ensemble de données récupérées au cours du temps (cf. section 0). Nous nous intéressons plus particulièrement à l'évolution des capacités discriminantes en fonction du bruit des mesures capteurs.

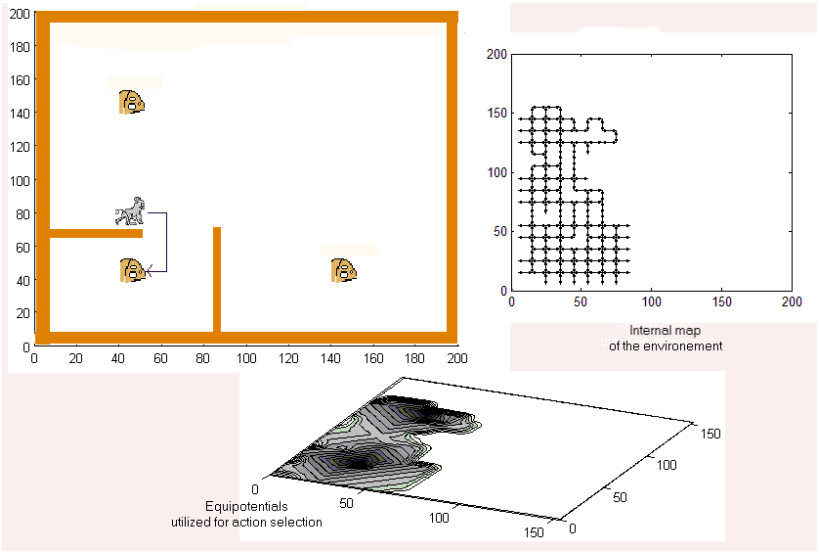

Figure I-10 Algorithme CbL. Bassins d'attraction créés grâce à l'exploration de l'environnement.

[6] Ce projet d'une durée de deux ans a débuté en 2002, en partenariat avec six autres laboratoires français: LPPA, CNRS– Collège de France; LPS – ENS, LNPSM – CNRS Univ. Paris V; COSTECH Univ. Compiègne, LPE – Institut de psychologie; CMAP - Polytechnique

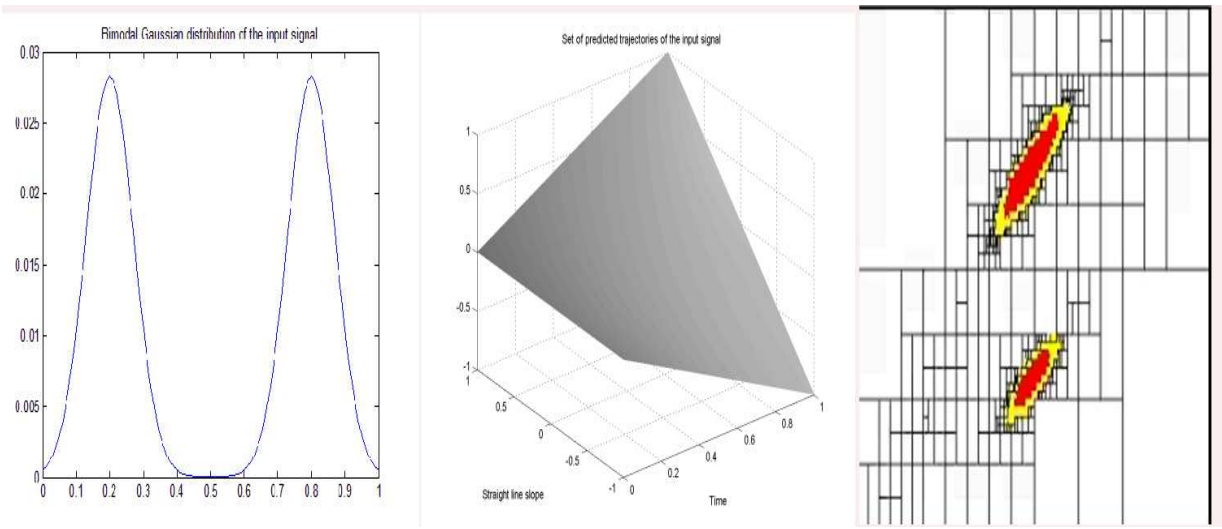

Figure I-11 Résultat du processus de sélection (à droite) lorsqu'un signal gaussien bimodal est appliqué en entrée et qu'une nappe linéaire est utilisée comme prédicteur. L'ensemble des droites sélectionnées est représenté dans l'espace de Hough associé aux paramètres de la nappe.

4. Traitement et analyse d'images

Un grand nombre de méthodes efficaces ont été développées dans le domaine du traitement et de l'analyse d'images, mais le plus souvent les méthodes sont adaptées à une catégorie d'images et il est difficile de généraliser leur utilisation. Sans viser à l'exhaustivité, nous voulons prendre en compte un certain nombre de variations dans l'image de manière à rendre plus flexibles les traitements proposés. L'idée de base consiste à avoir plusieurs traitements et un certain nombre de règles de décision pour le choix de mise en œuvre de chacun d'eux. Cette approche implique une bonne connaissance du comportement des traitements, elle nécessite également l'extraction de caractéristiques pertinentes à partir des données images. C'est cette connaissance que nous visons à travers les différents travaux présentés dans ce qui suit. Ils combinent des études théoriques et des travaux plus appliqués.

Suite à la restructuration du thème I ces questions sont devenues très pertinentes puisque une seule et même équipe regroupe les problématiques du traitement de données, de la prise de décision, de la vision et du traitement d'images. C'est pourquoi certaines thématiques fédératrices sont en train d'émerger comme nous le mentionnerons dans les perspectives.

4.1. Analyse de textures

Le travail sur l'analyse de texture commencé dans les années 1995 a été poursuivi dans le cadre de la thèse de L. Boutté [BOUT00Thèse]. La problématique abordée dans ce cadre porte sur le calcul de l'orientation d'un plan texturé à partir de l'analyse des fréquences locales de l'image. L'algorithme mis au point utilise les trois déformations que subit une texture lorsqu'elle est projetée sur un plan incliné :
- un effet de distance, qui est responsable du changement d'échelle de la texture dans l'image ;
- un effet de raccourci qui est responsable du changement de forme des texels dans l'image ;
- un effet de position qui est responsable de la variation de répartition des texels dans l'image.

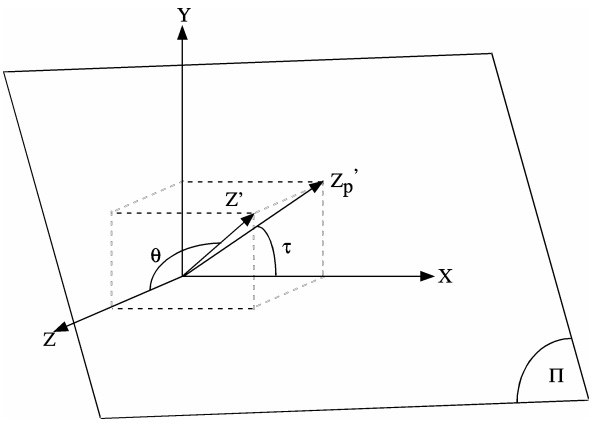

Figure I-12 Représentation par les angles de tilt (τ) et de slant (θ).

La fréquence locale étant un paramètre qui est affecté simultanément par ces trois effets, l'algorithme que nous avons mis au point permet de remonter aux angles de tilt (τ) et de slant (θ) définissant l'orientation du plan (Figure I-12), en procédant à une interpolation de la carte des échelles locales. Cette carte est obtenue après une décomposition en ondelettes de l'image d'origine. Les fonctions utilisées pour la décomposition sont du type « Différence de Gaussiennes (DOG) ». Puis, à travers les différentes échelles de décomposition utilisées, nous recherchons, pour chaque pixel de l'image, celle qui a conduit à la réponse maximum. C'est cette échelle, qui correspond à l'inverse de la fréquence locale, qui sera retenue comme caractéristique du pixel. La Figure I-13 présente un exemple de construction de carte des échelles locales calculées sur une scène complexe.

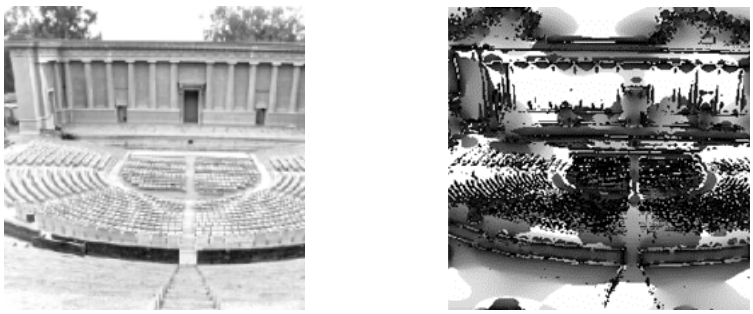

Figure I-13 Image originale (à gauche) et carte des échelles locales (à droite).

Le problème d'une telle méthode, comme la plupart des méthodes de « Shape From Texture », réside dans la fiabilité des résultats obtenus. Une étude exhaustive sur la précision, incluant les problèmes de calibration, est donc venue compléter ce travail. Une étude bibliographique sur la perception des textures a montré que les résultats obtenus par notre algorithme étaient du même ordre de grandeur que ceux fournis par le système visuel humain. Le passage à des images réelles a permis, à travers une centaine d'expérimentations, de vérifier les résultats obtenus sur les images de synthèse. Certaines applications, découlant de ce travail, ont été développées, comme l'extraction des éléments de base de la texture (texels), la recherche de défauts ou encore le calcul de la ligne de fuite. Plusieurs publications ont permis de montrer l'intérêt de ce travail : (R02-06-[LEL02], R02-10-[PLA02]).

Par ailleurs, nous avons réactivé des travaux antérieurs menés sur l'analyse multirésolution des textures pour faire une étude exhaustive des méthodes de classification adaptées à la segmentation d'images texturées (C03-07-[BAR03]). La méthode initialement proposée était

basée sur une décomposition de l'image en paquet d'ondelettes incomplet. Cette décomposition était guidée par l'utilisation d'attributs statistiques d'analyse de texture (matrice de co-occurences et de longueur de plages). Une fois les sous-images, jugées les plus significatives parmi celles retenues dans le paquet d'ondelettes, remises à la taille initiale, un algorithme de classification permet de proposer l'affectation de chaque pixel à une classe de texture. Pour évaluer le comportement des méthodes de classification, nous avons implanté quatre techniques : « Hard C-Means », « Fuzzy C-Means », « Possibilistic C-Means » et les cartes auto-organisées de Kohonen. Les premières expérimentations ont montré un comportement différent de ces méthodes. D'autres évaluations sont prévues avec pour objectifs, d'une part la formulation de règles pour le choix de méthodes de classification, d'autre part le complément des caractéristiques fréquentielles extraites de l'image par d'autres paramètres permettant d'améliorer les résultats de la segmentation.

4.2. Localisation d'une base mobile par vision stéréoscopique couleurs

Suite au travail réalisé par H. Loaïza dans le cadre de son doctorat et qui portait sur le développement et l'analyse de la robustesse d'un capteur stéréoscopique pour la robotique mobile (Figure I-14), nous avons décidé de généraliser au traitement des images couleurs les méthodes mises au point sur des images de niveaux de gris (R01-10-[LOA01]).

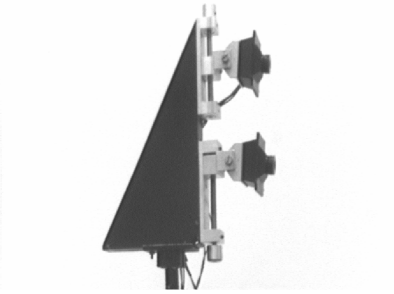

Figure I-14 Tête stéréoscopique munie de deux caméras.

Ce travail est réalisé en collaboration avec le thème III du LSC dans le cadre d'une action portant sur le développement d'une base mobile autonome pour l'aide aux handicapés moteurs [MON-Thèse]. Dans cette optique, il paraît évident que le déplacement d'une telle base devra utiliser les informations intrinsèques liées au domicile de la personne handicapée : papier peint, mobilier, tapis, carrelage… Ces informations vont être riches en couleurs et textures. Après une analyse portant sur l'intérêt de la couleur dans le processus d'extraction des segments (C03-33-[MON03]), notre objectif actuel est d'extraire des indices visuels discriminants qui seront utilisés pour l'appariement des segments obtenus dans les images stéréoscopiques. Pour cela nous développons une méthode automatique de sélection d'axe couleur basée sur l'utilisation de la logique floue.

Par ailleurs, C. N'Zi (enseignant-chercheur à Yamoussoukro, Côte d'Ivoire) a développé un algorithme d'appariement épipolaire des segments dans le cadre d'un stage de recherche effectué au LSC de novembre 2001 à avril 2002. L'objectif de ce travail était de comparer l'algorithme d'appariement paramétrique des segments développé précédemment avec cette technique plus classique. Une publication a été réalisée sur ce travail (C02-35-[NZI02]) qui devrait maintenant être appliqué sur les images couleurs dans le cadre de la thèse de C. Montagne.

4.3. Vision et réalité augmentée

Cette activité transverse avec le thème II porte sur l'intégration des techniques de vision dans une application de réalité augmentée en temps réel. C'est le sujet de doctorat de D. Merad [MER-Thèse]. Après une première étude portant sur l'apport de la réalité augmentée pour la reconnaissance de pièces à usiner, nous travaillons maintenant sur la détermination de signatures invariantes permettant de reconnaître un objet en mouvement dans une scène et, par la suite, conduisant à un recalage aisé de l'objet et de son modèle. Une approche de squelettisation mixte utilisant carte des distances et triangulation de Delaunay est en cours d'expérimentation (C03-30-[MER03], C03-31-[MER03]).

4.4. Applications industrielles de la vision

Mais il faut également trouver des débouchés industriels aux études menées. Cela permet de valider certaines idées et de tester la robustesse des solutions proposées sur des données en grand nombre et présentant des caractéristiques variables. Une première étude menée avec le CEA portait sur le calcul de l'orientation d'une surface pour guider un manipulateur téléopéré. En 1999, un contrat Renault Automation-COMAU portait sur les capteurs permettant de trouver et suivre un joint de soudure. Un autre contrat, toujours avec cette même société, a eu lieu durant l'été 2000. L'objectif était de valider une approche de type traitement d'images pour mesurer le parallélisme des roues d'une voiture et estimer la précision que l'on peut attendre d'une telle méthode. Puis, à l'automne 2000, nous avons réalisé une étude pour la société ADDS-Concept, portant sur des images de capsules de bouteilles de gaz. L'objectif étant d'améliorer la binarisation de ces images de manière à faciliter la reconnaissance des chiffres présents sur la capsule. Enfin, en 2002, nous avons travaillé sur une application du traitement des images couleurs pour le service essais de la SNECMA. L'objectif du travail consistait à rechercher des isothermes sur des pièces enduites de peintures thermosensibles.

4.5. Etude du changement des occupations de sol sur des données de télédétection

Ce travail s'effectue dans le cadre d'une collaboration avec l'INRIA Rocquencourt (projet AIR). L'objectif de l'étude consiste à élaborer une méthode permettant la détection de changements au niveau de la couverture végétale en utilisant des données Basse Résolution Spatiale pluriannuelles, telles que des séquences d'images fournies par le capteur NOAA/AVHRR. La disponibilité et la gratuité de ces données permettent de suivre les occupations de sol avec une bonne fréquence temporelle (quotidienne) au moindre coût. Néanmoins, la résolution spatiale grossière des données NOAA/AVHRR (un pixel représente 1km^2 au sol) engendre une hétérogénéité de l'information (C00-06-[BOUZ00]). Pour modéliser ces pixels mixtes, nous considérons un modèle linéaire dans le visible et le Proche Infrarouge (PIR). La réflectance d'un pixel est alors considérée comme la somme des réflectances des différents types d'occupation pondérés par leurs proportions de surfaces dans ce pixel :

$$r_i(t) = \sum_{j=1}^{N} \rho_{ij} R_j(t)$$

- réflectance du pixel NOAA i à la date t ;
- N nombre d'occupation de sol du site d'étude ;
- réflectance du type d'occupation j dans le pixel i ;
- proportion de l'occupation de sol j dans le pixel i.

Le principe de la méthode proposée est le suivant :

- Sur une année de référence, on considère une séquence d'images NOAA-AVHRR, ainsi que les proportions de chaque type d'occupation de sol dans les pixels NOAA (cette information peut provenir d'une classification thématique sur des données Haute Résolution Spatiale). L'inversion du modèle linéaire de composition du pixel sur la séquence de plusieurs dates, localement au voisinage de chaque pixel, permet d'estimer des profils temporels locaux liés au comportement de chaque occupation de sol sur la période considérée. Les courbes obtenues dans les canaux visible et PIR permettent de calculer des profils temporels d'indice de végétation (NDVI) décrivant le comportement phénologique des différents types de surfaces végétales. Figure I-15 représente deux profils de NDVI de deux plantes ayant des cycles végétatifs différents (céréales d 'été et céréales d'hiver). Les courbes obtenues sont étudiées afin d'extraire leurs paramètres caractéristiques. Les vecteurs de paramètres sont ensuite projetés dans un espace de représentation.

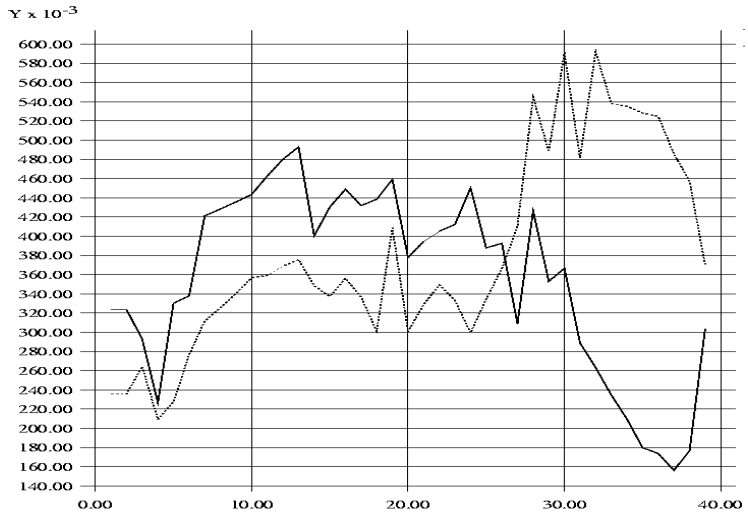

Figure I-15 Comparaison entre deux profils de NDVI : céréales d'hiver et céréales d'été.

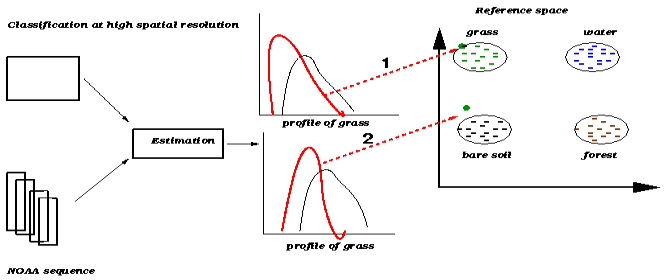

Figure I-16 Scénario de détection du changement d'occupation du sol.

- Les années suivantes, nous considérons les nouvelles séquences d'images de la même zone d'étude pour laquelle nous supposons que les proportions des occupations de sols restent constantes. Nous recalculons les profils locaux de refléctance et de NDVI et nous

projetons leurs caractéristiques dans le même espace de représentation correspondant à l'année de référence (Figure I-16). La position de ces nouveaux profils permet de détecter des éventuels changements, par exemple un profil d'herbe qui se rapproche de la classe sol nu peut être interprété par un problème d'érosion.

Pour l'élaboration de cette méthode, l'étape de la détermination de l'espace de représentation est primordiale. Cette étape utilise des outils d'analyse de données et de classification dans l'objectif d'obtenir une meilleure représentation et discrimination des profils relatifs aux différents types d'occupation de sol. On cherche à déterminer les paramètres minimisant la variation entre les profils représentant le même type d'occupation de sol et la maximisant entre les profils relatifs à des occupations différentes.

Cette étude fait l'objet de plusieurs travaux en cours. Différentes alternatives sont étudiées :

- La caractérisation des profils d'indice de végétation (NDVI) par des paramètres tels que la valeur maximale, la valeur minimale ainsi que les dates correspondantes. Ces paramètres sont liés à deux étapes importantes dans un cycle végétatif : la maturité et la sénescence des plantes. Ils renseignent également sur la forme des courbes. D'autres paramètres liés au comportement phénologique comme la pente de la courbe de NDVI, la moyenne temporelle sont aussi considérés. Pour représenter les vecteurs de paramètres obtenus, une ACP est appliquée afin de réduire la dimension de l'espace de travail (Figure I-17). L'espace des composantes principales est alors utilisé pour mieux comparer les courbes (C03-15-[BOU03]).

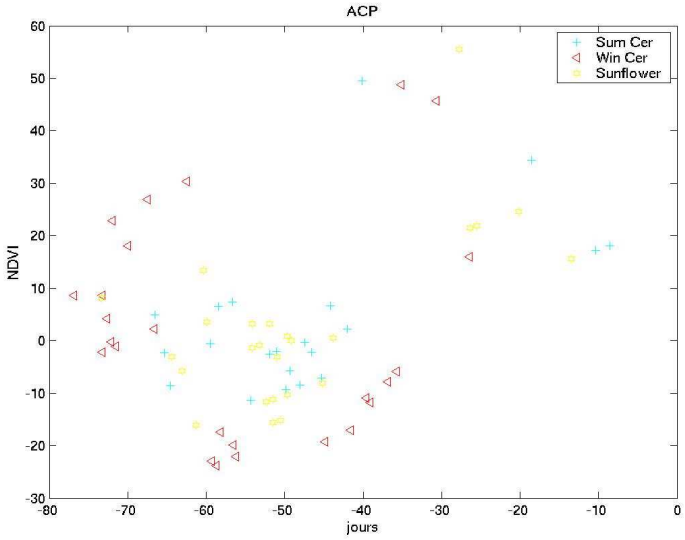

Figure I-17 Exemple d'espace obtenu après application de l'ACP.

- La décomposition en ondelettes des signaux de réflectance afin de filtrer le bruit et chercher les coefficients d'ondelettes offrant une meilleure classification des courbes de réflectance (C03-13-[BOU03], C03-15-[BOU03]).

4.6. Perspectives

L'incorporation dans le thème I du laboratoire des activités de traitement d'images nous a amenés à réfléchir au développement de travaux communs au sein du groupe en s'appuyant

sur les acquis à la fois en traitement de données et en traitement d'images. Ceci concerne actuellement plusieurs sujets.

- Dans le cadre des activités du laboratoire portant sur la « route intelligente » et en collaboration avec le LIVIC, nous nous intéressons à la localisation d'une voiture sur une route, et en particulier au suivi en ligne de la morphologie routière (C03-27-[LEI03] C03-28-[LEI03]). Reconnaître une route droite, un virage, une intersection, un rond-point… en s'affranchissant des contraintes habituelles d'ensoleillement, de tracés… et sans autre information a priori qu'une image 128×128 pixels (Figure). Il s'agit d'un problème complexe de reconnaissance de formes qui fait appel aux techniques habituelles de traitement d'images (segmentation, filtrage…), et aux techniques ad hoc d'apprentissage. Ce travail fait l'objet de la thèse en cours de A.P. Leitao [LEI-Thèse].

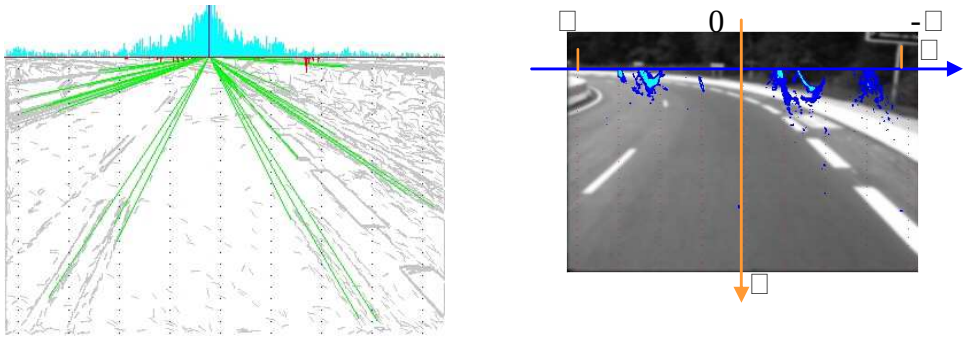

Figure I-18 Extraction de lignes sur une route. Histogramme obtenu par la transformée de Hough de l'image de fond.

- La reconnaissance biométrique à l'aide de variables multiples (C03-44-[VIG03]). Dans ce cadre, nous débutons une collaboration avec A. Smolarz (LM2S – UT Troyes) portant sur la recherche de la signature de l'iris. Un doctorat ainsi qu'une collaboration avec l'Université de Biskra, en Algérie, commenceront durant l'été 2003 et porteront sur l'authentification de visages. Ces deux axes permettront de d'acquérir un savoir-faire sur différentes modalités biométriques et d'envisager la mise en œuvre de l'utilisation de variables multiples pour permettre l'authentification ou l'identification robuste d'un individu à partir de caractéristiques biométriques variées.
- L'indexation d'images couleurs soit en prenant en compte les informations couleurs et textures, soit en utilisant la logique floue, pour la segmentation des images couleurs.
- En collaboration avec l'IMASSA, nous travaillons sur le développement d'une méthode de segmentation fondée sur l'analyse des fréquences locales caractéristiques des objets présents dans l'image et sur l'interaction entre le fond de l'image et ces objets. Ce type de recherche s'inscrit dans le cadre de travaux d'aide à l'amélioration de la vision des pilotes par l'utilisation de la réalité augmentée.

5. Travaux divers

Nous avons regroupé dans ce paragraphe un certain nombre de travaux ayant donné lieu à des publications et/ ou à des soutenances de thèse, mais qui soit portent sur des points singuliers, soit correspondent à des activités arrêtées aujourd'hui.

Processeurs spécialisés pour l'imagerie bas-niveau
Ces travaux comprennent essentiellement les recherches effectuées par D. Hanifi dans le cadre de la préparation de son doctorat [HAN99Thèse]. Le thème principal était l'intégration du traitement bas niveau au capteur visuel (caméra).Le travail effectué a d'une part porté sur l'implantation matérielle du traitement dit de bas niveau et, d'autre part, il a eu pour but de remonter la barrière bas-haut niveau en intégrant également l'implantation de fonction plus élaborée telle que l'étiquetage des points de contour.

Aide au contrôle de four verrier
Dans le cadre d'un contrat CIFRE avec la société Stein-Heurtey, nous avons travaillé sur le problème de l'automatisation de la commande de fours à verre qui est délicat en raison des retards très élevés, des contraintes fortes sur la température en sortie du four, des difficultés d'obtention de mesures in situ et de la complexité des réactions physico-chimiques se produisant dans le four. Le rôle des opérateurs est ici à la fois très important et très empirique. Les principaux résultats obtenus portent sur :

- l'amélioration de l'extraction de données pertinentes à partir des capteurs ;
- la réalisation d'un système d'aide à la décision pour l'opérateur à base de règles floues ;
- la mise au point d'un modèle prédictif simplifié permettant d'évaluer la température future du verre en sortie de four à partir des conditions actuelles.

Reconstruction d'environnement domestique
L'objectif est ici d'effectuer une cartographie d'un environnement de type intérieur de bâtiment à partir d'un système de perception se résumant à un télémètre ultrasonore monté sur une tourelle rotative. Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'activité robotique mobile du thème III du laboratoire. Nous avons élaboré une démarche ascendante, partant d'une carte de segments et aboutissant à un modèle où la nature des objets identifiés est mise en relation avec les actions liées à la stratégie de navigation et d'exploration.

L'environnement étant reconstruit pas à pas, nous avons étudié des méthodes de fusion et de mise à jour des différents modèles (cartes de segments, primitives, modèle sémantique). Les résultats obtenus ont démontré la possibilité d'extraire une connaissance de niveau d'abstraction élevé à partir d'un système sensoriel minimaliste (R00-04-[CON00R]).

Etude de la topographie du cortex cérébral
En collaboration avec l'équipe CEA basée à l'hôpital F. Joliot d'Orsay, ce travail [RIV00Thèse] a porté sur le développement de méthodologies cohérentes pour l'apprentissage de modèles de reconnaissance de la topographie du cortex. La difficulté du problème réside dans la construction d'un système de reconnaissance suffisamment robuste face à la variabilité interindividuelle des structures du cortex. Pour cela, des méthodes d'apprentissage statistique supervisé ont été utilisées. La représentation de la topographie corticale est définie par un graphe dont les noeuds représentent les caractéristiques locales des sillons corticaux. A partir d'une base d'exemples de graphes étiquetés, le principe retenu est d'adapter des modèles de reconnaissance locale afin d'assurer l'optimisation de la probabilité a posteriori de la cohérence globale du graphe analysé (C00-29-[RIV00]). Les résultats obtenus sont, de l'avis des experts médicaux, de toute première qualité (C00-30-[[RIV00]).

Diagnostic à base de modèles

Ces travaux sur la représentation des systèmes complexes permettant de construire des modèles servant de supports aux raisonnements utilisés pour comprendre et prévoir leur fonctionnement, ont porté sur l'amélioration et l'adaptation aux systèmes physiques de l'approche multi-modèles. Cette approche vise à exploiter la contribution de différents modèles (structurel, comportemental, fonctionnel et téléologique) dans le raisonnement global sur un système. Les concepts de cette approche ont été validés, en collaboration avec le CEA, en les appliquant à la représentation du circuit primaire d'un réacteur à eau sous pression. Une autre exploitation de ce type de modélisation est le diagnostic. En effet, l'approche dite « Model Based Diagnosis » (MBD) utilise les modèles structurel et comportemental du bon fonctionnement du système dans un raisonnement de type hypothétique. Les modèles fonctionnel et téléologique de la représentation multimodèles fournissent des mécanismes de focalisation qui peuvent être exploités par le Système de Maintien de la Cohérence que nous avons développé. Cette approche apparaît comme complémentaire de l'approche dite « abductive » du diagnostic qui utilise des modèles de pannes. Le dernier volet de cet ensemble de travaux dans le domaine du diagnostic est d'établir comment ces approches pourraient se compléter et coopérer pour fournir des outils d'aide aux diagnostics plus robustes et plus efficaces [THE99Thèse].

Modélisation des connaissances dans les processus industriels complexes

Dans le cadre de cette activité, nous nous sommes intéressé aux processus subis par un produit tout au long de son cycle de vie (conception, fabrication…). Les systèmes prenant en charge ces processus complexes présentent des dysfonctionnements dus à l'absence de modèles permettant d'intégrer connaissances, savoir et savoir-faire. Notre travail associe une démarche conceptuelle pour l'extraction, la formalisation et la représentation des connaissances basée sur la notion de modèles objets et une logique de raisonnement pour l'implémentation de règles gérant la connaissance des objets. Les modèles proposés sont alors implémentés dans des systèmes aidant l'opérateur dans sa conception ainsi que sa prise de décision [GOU00Thèse].

II. REALITE AUGMENTEE – REALITE VIRTUELLE

Thèmes scientifiques

Réalité augmentée et télétravail collaboratif
mots clés : réalité augmentée, Calibration de caméras et de télémètres, modélisation et recalage 3D, appariement 2D/3D, suivi d'objets, téléopération via Internet, travail collaboratif.
Entreprise virtuelle intelligente
mots clés : réseau informatique, qualité de service, entreprise virtuelle.
Réalité virtuelle et rendu haptique
mots clés: téléopérateurs basés sur les techniques de réalité virtuelle, interfaçage haptique, détection de collision, infohaptie, conception et commande de dispositifs à retour haptique, simulateurs interactifs.

Responsables Florent Chavand
Malik Mallem (Réalité augmentée et télétravail collaboratif)
Nazim Agoulmine (Entreprise virtuelle intelligente)
Abderrahmane Kheddar (Réalité virtuelle et rendu haptique)

Participants

Nazim Agoulmine PR U. Evry	(depuis Octobre 2000)
Hichem Arioui MCF U. Evry	(depuis 2003)
Florent Chavand PR U. Evry	(depuis 1992)
Abderrahmane Kheddar PR U. Evry	(depuis 1998) – actuellement détaché au CNRS
Malik Mallem PR U. Evry	(depuis 1992)
David Roussel MCF IIE-CNAM	(depuis Septembre. 2000)
Samir Otmane MCF U. Evry	(depuis 2001)
Jean Triboulet MCF IUFM Versailles	(de Septembre 1992–Septembre 2002) –mutation

Doctorants

Danielo Gomez Goncalves	10/00	Bourse brésilienne
Djamel Merad	10/00	Allocation U. Evry
Narjès Khézami	10/02	Bourse Tunisienne
Jean-Yves Didier	09/02	CDD contrat de recherche
Mohamed Benali–Khoudja	12/01	Bourse CEA
Johann Citérin	07/03	CDD contrat de recherche
Abdelhafid Drif	10/02	CDD contrat de recherche
Christian Duriez	09/01	Bourse CEA
Hakim Mohellebi	09/01	Bourse INRETS

Thèses soutenues

Sébastien Rougeaux	03/99	Ingénieur (Australie)
Mudar Shaheen	04/99	Ingénieur (France)
Samir Otmane	12/00	MCF U. Evry
Stéphane Redon	10/02	Post doctorant à UNC (USA)
Fakhreddine Ababsa	12/02	ATER
Hichem Arioui	12/02	depuis sept. 03 MCF U. Evry

HDR soutenues

Malik Mallem	01/99	PR	Univ. Evry
Abderrahmane Kheddar	12/03	PR	IUT Evry

Coopérations et groupes de travail

GDR ISIS
Renault Automation : Supervision d'une machine à usinage rapide par vision (jusqu'en 02).
ADDS-Concept : Prétraitements et binarisation d'images de pastilles de bouteilles de gaz.
ALSTOM, CEA/SRSI, CEA/LCEI : Projet RNTL 2002-2004 AMRA

Waterford Institute of Technology, Irlande, Projet CNRS Ulysse sur l'entreprise virtuelle
Fokus Franhofer Institute, Allemagne, Programme européen LEONARDO
Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Projet européen, ITEA, sur le multimédia
Université Fédérale du Céara, Brésil, Projet CAPES/COFECUB, étude des aspects systèmes et réseau large bande pour les applications multimédias.

LRP - Laboratoire de Robotique de Paris (thèse A. Lécuyer)
CEA/FAR DTSI/SRSI (financement de deux thèses de doctorats : C. Duriez et M. Benali-Khoudja)
INRIA Rocquencourt (thèse S. Redon, Expertise commune pour RENAULT (15,2 K€)…).
INRETS SIM² (thèse H. Mohellebi. Architectures de plates-formes de restitution de mouvement à bas coûts : contrat d'expertise18,3 K€).
AP - Hôpital Tenon (projet MATEO cf. thème III), simulateur interactif pour la planification et l'entraînement du geste chirurgical lors de pose de prothèses.
Institut Français du Pétrole (financement de deux DEA : quantifier l'apport du rendu haptique dans les possibilités de perception et de manipulation. Rendu haptique volumique (99-01).
AP - Hôpital Robert Debré (simulateur interactif d'un accouchement avec retour haptique).
Mechanical Engineering Laboratory, Tsukuba, Japon (Téléopération, Dr Kazuo Tanie)
Institute of Automatic Control Engineering (LSR), Teschnische Universitaet Munchen, Allemagne, Professeur Güenther Schmidt.
Teschnishe Universität Berlin, Berlin Allemagne, Professeur Martin Buss.
Collaborations dans le cadre du projet européen FRP5 TOUCH-HAPSYS (Towards a Touching Presence: High-Definition Haptic Systems) N° IST 2001-38040. Le budget total du projet s'élève à 2,8 M€ dont 401,8 K€ (ventilé sur 3ans du 1er octobre 2002 au 30 septembre 2005) reviennent au groupe RV haptique LSC.

- Université de Berlin : Prof. M. Buss (coordinateur)
- Institut Max Planck Tübingen, Prof. H. Buelthoff et Dr M. Ernst
- Université de Pise : Prof. A. Bicchi
- Université de Birmingham : Prof. A. Wing
- Université de Zurich : Prof. G. Szekely

Université d'Athènes : Prof. K. Tzafestas
Université de Pise, PERCRO : Prof. M. Bergamasco
Réseau d'excellence européen (REX) INTUITION (thematIc NeTwork on virtUal reality and virtual environments applicaTIONs for future workspaces). Déposé dans le cadre du 6ème PCRD ce réseau d'excellence regroupe plus de 100 partenaires européens (industriels du secteur de l'automobile et du spatial, diverses universités et laboratoires de recherche).
Membre du comité de pilotage du RTP 17 « Interfaçage médiatisé et réalité virtuelle »

1. Introduction

L'interactivité de systèmes complexes avec l'homme nécessite la mise en œuvre d'interfaçage, assez souvent, interactif. Il s'agit notamment de mettre en œuvre des solutions permettant de faciliter à l'homme le contrôle direct ou à distance de ces systèmes que l'on qualifiera alors de « téléopérateurs ». Ces systèmes peuvent prendre la forme de robots distants tels que ; des bras robotiques classiques, des drones, des véhicules terrestres, des outils de téléchirurgie ou des systèmes de télétravail « physique »… on parlera alors de systèmes télérobotiques. Ils peuvent aussi prendre la forme de ressource distribués qu'il faudra exploiter à travers un « réseau de communication intelligent » avec des contraintes de réactivité à distance, donc de délai. Il s'agit dans ce cas « d'entreprises virtuelles ». Ils peuvent aussi prendre la forme de systèmes complexes complètement virtuels qu'il faudra simulé ou avec lequel il faut mettre en œuvre des stratégies d'interactivité proches du réel. Il s'agit dans ce cas de « téléopérateurs virtuels » ou de « simulateurs interactifs ».

L'objectif de ce thème est de mener des recherches, d'une part, dans la création, la mise à jour et l'exploitation d'environnements virtuels mis en correspondance ou non avec un environnement réel, et, d'autre part, dans la mise en œuvre de modalités d'interaction multi-sensorielles innovantes permettant à l'homme une meilleure exploitation des systèmes complexes. Ce thème est constitué de trois sous-thèmes complémentaires :

- la description des interfaces homme-machine à base de techniques de réalité augmentée réalisées pour le contrôle et la supervision à distance de systèmes mécatroniques ;
- l'étude des techniques de réalité virtuelle dans le cadre des interfaces haptiques pour le pilotage et la manipulation dans des environnements virtuels ou augmentées ;
- l'étude des environnements multi-agents intelligents distribués permettant le travail collaboratif via un réseau informatique en satisfaisant les contraintes de qualité de service.

2. Réalité augmentée et télétravail collaboratif

2.1. Introduction

La base de la réalité augmentée est la superposition de l'environnement réel et de l'environnement reconstitué (virtuel). C'est une des techniques de la réalité virtuelle (RV). Les problèmes de fonds traités sont :

1. les aspects recouvrement, au sens récupération des erreurs et incidents imprévus et aussi ceux issus du désaccord entre la représentation virtuelle et l'environnement de travail réel. Par conséquent développer un formalisme et une méthodologie de description des tâches permettant de laisser au système de commande de la machine exécutrice une liberté suffisante pour s'adapter aux incidents rencontrés ;
2. les aspects transformations bilatérales et de représentation proprement dite de l'environnement de travail en un environnement synthétique avec la possibilité d'un travail collaboratif entre opérateurs pour la réalisation de tâches complexes et de passer instantanément, d'une représentation virtuelle à une représentation réelle ou réelle augmentée, sans altérer la tâche en cours.

Les apports de l'approche RA sont multiples :

- la possibilité de représenter l'environnement de travail uniquement par un aspect fonctionnel. Le but recherché est alors une transformation du site de travail en un environnement virtuel où les tâches à effectuer sont simples à réaliser pour un opérateur non-spécialiste de la téléopération ;

- la possibilité de préparer et de planifier des missions de télétravail hors ligne afin (i) d'acquérir une expertise (entraînement) (ii) de parer à d'éventuels accidents (prédiction) ;
- la possibilité de concevoir des interfaces de commande ergonomiques permettant une interaction multimodale avec l'environnement virtuel ;
- l'assistance à l'opérateur pour augmenter ses performances lors d'un télétravail par l'utilisation des guides virtuels passifs ou actifs ;
- l'assistance de plusieurs opérateurs afin de le permettre de collaborer pour une même tâche de télé travail.

Nous présentons les deux systèmes de réalité augmentée développés. Le premier est constitué des outils nécessaires à un système de RA et le second est dédié au télétravail collaboratif via l'internet. Le second système fait appel, bien entendu, aux services du premier.

2.2. Réalité augmentée et téléopération de robots

Dans le cadre de cette thématique de recherche, un système Multimédia de Contrôle et d'Interface en Téléopération (MCIT) est développé dans notre laboratoire. Il est basé sur l'approche réalité augmentée et a pour but d'apporter à l'opérateur humain, en situation de téléopération ou de supervision de tâche, une assistance à la perception en vision indirecte sur écran vidéo de la scène et une assistance à la commande en désignant un objet directement sur l'écran vidéo. Les méthodes développées constituant ce système sont décrites plus loin.

Ces assistances s'appuient sur deux architectures spécifiques, l'une matérielle et l'autre logicielle. L'architecture matérielle géographiquement répartie est constituée d'un ensemble de capteurs (télémètre et caméra) et de trois calculateurs en réseau. Cette architecture permet l'acquisition du monde réel par le biais de capteurs et la superposition à celui-ci du monde virtuel. La partie logicielle permet de créer, de mettre à jour ce monde virtuel et de le mettre en correspondance avec le monde réel.

MCIT offre à l'opérateur humain une interface graphique conviviale et lui permet d'effectuer une téléprogrammation de niveau tâche. Le monde réel sert d'interface entre l'opérateur humain et le monde virtuel représenté par une BD 3D. La désignation d'un objet, à manipuler par le robot, sur écran vidéo revient alors à le désigner dans le monde virtuel. L'exécution de la tâche peut être simulée en utilisant le monde virtuel avant d'être appliquée au monde réel. Après l'exécution de la tâche, le monde virtuel est superposé au monde réel. C'est l'approche de la réalité augmentée (RA) désignée ainsi car le monde réel est l'interface entre l'opérateur et le monde virtuel.

L'approche de la réalité augmentée permet d'avoir une vue, en permanence, du monde réel. Contrairement à l'approche réalité virtuelle intégrale, la RA ne nécessite pas un graphique réaliste, une représentation fil de fer suffit. Car, les deux mondes étant superposés, il faut masquer le moins possible l'image vidéo. Par ailleurs, cette représentation fil de fer permet à l'opérateur de percevoir l'image vidéo même quand celle-ci est partiellement dégradée et donc, de continuer la tâche. De plus, cette approche permet de réaliser une commande de niveau objet car elle associe à un objet réel sa BD 3D (R01-20-[SHA01]).

2.2.1. Architecture générale du système MCIT

Dans la station de contrôle commande, l'opérateur humain utilise un seul écran vidéo. Sur celui-ci est superposée une représentation graphique de la scène sur son image caméra. A partir de cet écran, l'opérateur humain peut percevoir la scène distante et agir à distance sur celle-ci. En effet, il commande les capteurs pour réaliser le relevé 3D -nécessaire à la création de la base de données 3D- ou le recalage 3D, et le robot pour l'exécution de tâches.

Le site distant est équipé de capteurs extéroceptifs, dispositif de relevé 3D (DR3D) et caméra, et proprioceptifs qui renseignent en ligne sur la configuration du robot. Cette architecture permet l'acquisition du monde réel par le biais de capteurs et la superposition à celui-ci du monde virtuel. La partie logicielle permet de créer, de mettre à jour ce monde virtuel et de le mettre en correspondance avec le monde réel (Figure II-1).

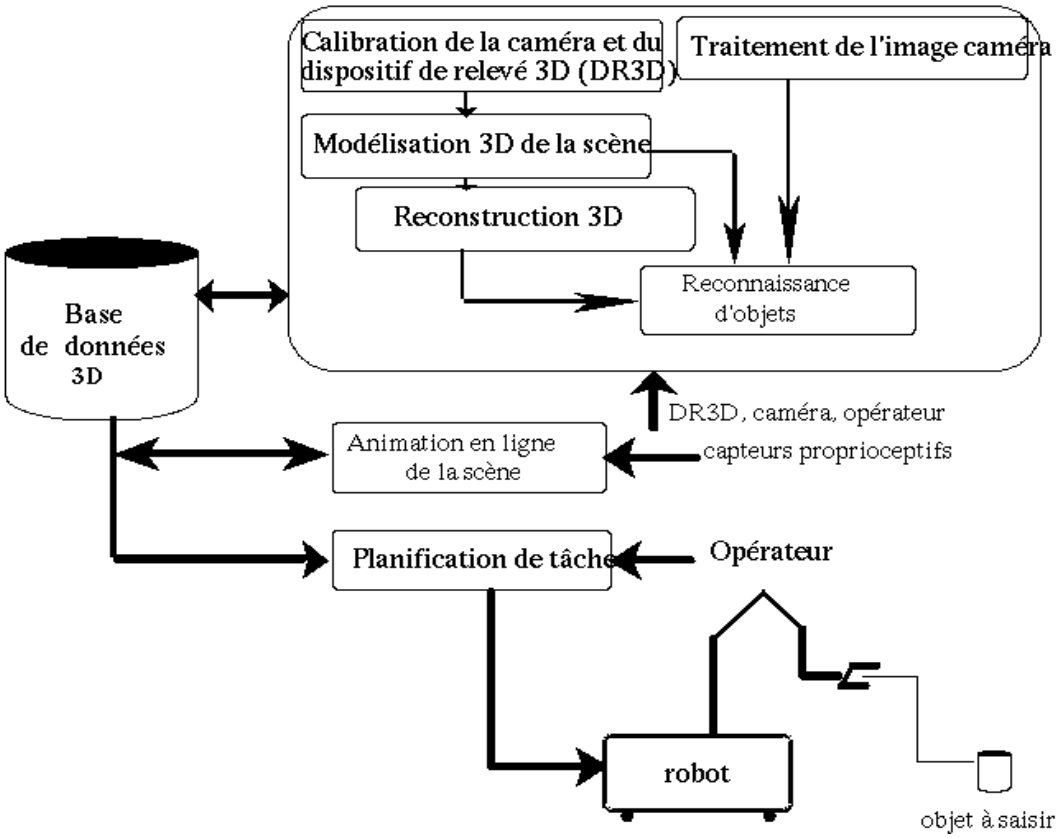

Figure II-1 Architecture fonctionnelle du système MCIT. Les principales méthodes et algorithmes constituant les modules logiciels sont présentés brièvement.

2.2.2. Modélisation, recalage et suivi d'environnements 3D

La reconnaissance d'objets 3D nécessite la modélisation 3D de ceux-ci pour les incorporer dans une base de données 3D, le recalage 3D afin de calculer leur nouvelle situation en cas de mouvement de ceux-ci et l'appariement 2D/3D afin de réaliser une reconnaissance automatique. Nous présentons les méthodes que nous avons développées pour modéliser, reconstruire, apparier et suivre les objets 3D avec leur image 2D.

Modélisation 3D

Dans cette partie, deux méthodes de calcul du graphe d'aspects, nécessaire à l'appariement 2D/3D, ont été développées. L'une géométrique et l'autre analytique.

La méthode géométrique a été développée pour servir à l'appariement basé sur le hachage géométrique, utilisant les sommets du modèle 3D. Un aspect est alors représenté par un ensemble de sommets visibles simultanément.

On considère une sphère de Gauss centrée sur l'objet que l'on discrétise selon les longitude et latitude pour obtenir une série de points repartis sur la surface de cette sphère. Un point P

représente ainsi un point de vue adopté pour projeter le modèle. Cette méthode a le mérite d'être rapide et de fournir un graphe correspondant uniquement à ce que l'observateur peut voir. De plus elle s'applique à n'importe quel type de polyèdre immédiatement avec la même complexité algorithmique. Cependant le graphe d'aspects est généralement incomplet et sa précision de celle de la discrétisation et du rayon de la sphère.

La méthode analytique a été développée pour servir à l'appariement basé sur un graphe. Elle fournit le graphe complet d'un objet polyédrique. Le problème a été abordé en deux étapes de complexité croissante ; il s'agissait tout d'abord de traiter les polyèdres convexes, puis de traiter le cas général incluant les polyèdres concaves. Afin d'obtenir l'ensemble des aspects d'un polyèdre, un graphe d'incidence est crée.

Le graphe d'incidence (GI) est la représentation d'une parcellisation de l'espace. Pour le construire, la liste des plans support des faces de l'objet est calculée. L'intersection entre trois plans, supports de faces de l'objet, constitue le noyau du graphe d'incidence. A chaque itération, un nouveau plan de la liste subdivisera les plans antérieurs. En exploitant toute la liste des plans, le graphe d'incidence est entièrement construit. Chaque cellule du graphe représente une parcelle de l'espace, contenant tous les points de vue à partir desquels on voit toujours le même aspect du polyèdre. Un codage est attribué à la cellule. Celui-ci est représenté par n bits où n est le nombre de faces du polyèdre. L'état d'un bit définit la visibilité d'une face. Une face n'est considérée visible, d'un point de vue donné, que si ce celui-ci est situé du bon côté du plan support de la face, c'est-à-dire du côté où se trouve la normale à la face (la normale à une face est orientée vers l'extérieur de la matière).

Les feuilles du GI représentent les différents aspects, les nœuds constituent les codages intermédiaires et les arcs les évènements visuels représentant le passage d'un aspect à un autre.

La parcellisation de l'espace est complétée pour le cas concave en ajoutant celle obtenue par des plans auxiliaires. Ceux-ci sont issus des événements visuels de type segment/point (Thèse de M. Shaheen), [SHA99Thèse].

Recalage 3D

Le recalage3D consiste à réactualiser la base de données 3D de l'environnement en se basant uniquement sur les indices 2D fournis par l'image caméra. L'approche utilisée consiste à déterminer la transformation rigide (rotation et translation) subie par l'objet dont la géométrie est à priori connue.

La méthode utilisée se déroule en deux étapes. Dans la première étape, on utilise une méthode géométrique valable quel que soit l'angle de rotation, basée sur la connaissance de trois arêtes L1, L2, L3 du modèle d'un objet, défini dans un système d'axes (Rm) lié au modèle, et de trois segments l1, l2, l3 détectés dans une image et définis dans le système d'axes (Rc) lié à la caméra. L'objectif est de déterminer la rotation R et la translation T à appliquer à Li (i=1..3) afin que leurs images coïncident avec celles des li. Nous avons adapté la méthode développée par M. Dhome (LASMEA) en proposant un formalisme plus direct.

L'objectif de la seconde étape est d'affiner le recalage à grande amplitude à l'aide d'une méthode de recalage appliquée aux petites rotations. Dans ce cas, il est possible de linéariser le système à résoudre, ceci présente le grand avantage de pouvoir utiliser des informations redondantes et ainsi de délivrer un résultat plus précis. Les paramètres trouvés par cette méthode sont les coordonnées du vecteur translation et du vecteur rotation instantanée.

Une autre approche a été testée. Elle est basée sur la connaissance des distances entre certains sommets de l'objet à reconstruire. L'idée est de positionner directement dans l'espace 3D les points qui définissent les sommets de l'objet à reconstruire. Ces points sont situés sur une droite connue (le rayon optique associé à ce point) et le principe de la méthode consiste à définir la distance entre le point recherché et un point arbitraire du rayon optique qui peut être le centre optique. Les paramètres de la rotation et de la translation sont déterminés alors par un algorithme d'optimisation non linéaire.

Un algorithme de recalage mixte, utilisant trois méthodes : la méthode analytique décrite, ci-dessus, et deux méthodes numériques l'une non linéaire (valable quelque soit l'amplitude du mouvement de l'objet) et l'autre linéaire (valable pour un mouvement de faible amplitude). L'idée de ce mixage est de pallier le cas où l'application de la méthode analytique suivie de la méthode linéaire ne donne pas de résultat. Dans ce cas, la méthode de Levenberg–Marquart est appliquée pour tenter de trouver une solution. L'application de cet algorithme donne un résultat plus robuste et plus précis, (R01-20-[SHA01R]).

Appariement 2D/3D
Nos travaux dans ce domaine ont porté aussi bien sur des objets polyédriques que sur des objets de forme libre :

Objets polyédriques

Pour appliquer les méthodes de recalage décrites précédemment, il est nécessaire d'apparier les indices 2D extraits de l'image comportant l'objet avec les primitives correspondantes de son modèle 3D.

Les méthodes d'appariement étudiées au laboratoire sont applicables aux objets polyédriques. La transformée de Hough est appliquée pour la segmentation de l'image. L'élaboration du modèle 2D est basée sur l'organisation perceptive des indices 2D extraits de l'image. Le modèle 3D est de type B-Rep (« Boundary Representation »), un graphe d'aspects, valable pour des objets polyédriques convexes et concaves, qui décrit la topologie du modèle 3D est créé automatiquement, il est représenté par l'ensemble des vues d'un objet. Nous nous limitons aux aspects dits « topologiquement différents », c'est-à-dire des aspects dont les éléments géométriques visibles sont différents.

Dans la méthode du graphe d'appariement, un graphe de compatibilité entre le modèle 2D et le graphe d'aspects est élaboré. Les arcs du graphe de compatibilité représentent les hypothèses d'appariement entre une chaîne de segments 2D et une face d'un aspect du modèle 3D. Ensuite, la transformation précise entre le modèle 3D et le repère de l'environnement est calculée dans la phase de vérification durant laquelle on applique les invariants géométriques, basés sur des rapports de surfaces de l'objet dans le modèle 3D et dans l'image 2D, pour éliminer les hypothèses invalides (Figure II-2). Ceci constitue l'originalité forte apportée par le laboratoire dans cette méthode.

Cette méthode est tributaire de la qualité de l'image caméra. Si celle-ci est dégradée, le résultat du traitement de l'image s'avère insuffisant - difficulté d'extraction des chaînes de segments - pour appliquer la méthode du graphe d'appariement. Ce problème est traité en utilisant une méthode de hachage géométrique basée sur les sommets des objets [SHA99T]. Toutes les méthodes décrites sont validées en utilisant le banc d'expérimentation représenté sur la Figure II-3.

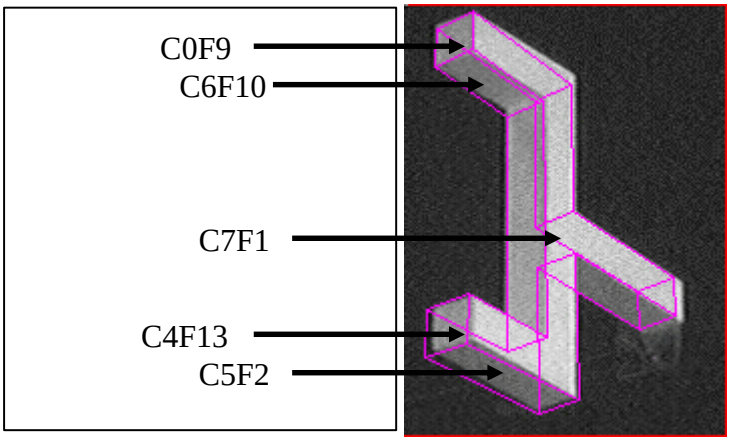

Figure II-2 Le modèle de l'objet Pince est superposé sur son image avec erreur moyenne de 2.6 pixels, les hypothèses chaîne/face sont marquées.

- Objets de forme libre

La reconnaissance d'objets 3D de forme libre est un problème qui est loin d'être résolu en vision par ordinateur. Nous nous sommes intéressés, dans la thèse de F. Ababsa, au problème particulier de recalage automatique de ce type d'objets dans le contexte de la vision monoculaire associée à une lumière non structurée ainsi que celui de la stéréovision active. Le but recherché dans le cadre de notre étude est de démontrer que l'utilisation de la clinométrie de l'objet de forme libre, sous certaines conditions, est suffisante pour réaliser un système de recalage automatique simple et précis. Nous avons ainsi élaboré deux approches :

La première approche, que nous avons appelé approche photoclinomtrique, exploite une seule image de luminance de l'objet à partir de laquelle elle extrait un invariant projectif de type photométrique (non géométrique) qu'elle utilise pour apparier des zones de l'image de l'objet avec celles du modèle. Nous proposons une méthode originale basée sur ce que nous avons appelé les aspects photométriques pour construire une base de données discriminante du modèle 3D de l'objet. Par ailleurs, nous avons élaboré une méthode de mise en correspondance qui s'inspire de la technique de prédiction/vérification d'hypothèses pour réaliser les appariements image/modèle. Ces derniers sont exploités par l'algorithme de l'itération orthogonale (IO) pour calculer la transformation rigide qu'a subi l'objet (C02-01[ABA02]).

La deuxième approche, nommée approche clinométrique, utilise des points 3D acquis de la surface visible de l'objet grâce à un capteur stéréo actif (caméra CCD + projecteur d'une grille laser) que nous avons conçu. A partir de ces points 3D, elle construit un invariant géométrique local pour identifier, dans une table d'indexation du modèle, la région (patch) de l'objet ainsi reconstruite. L'indexation permet d'établir des appariements entre des zones de l'objet détecté dans la scène avec celles du modèle de la base de données. Nous formulons d'une manière différente le problème du recalage 3D car dans ce cas nous utilisons des appariements de type 3D/3D (C03-01-[ABA03]).

Les deux approches élaborées sont testées sur des images synthétiques pour la première et réelles pour la deuxième, nous avons évalué les performances de chacune d'elles et donné leurs limites d'utilisation. Finalement, nous avons essayé de mener une étude critique sur les

méthodes implantées et les résultats obtenus afin d'exposer les perspectives et améliorations à développer dans le futur (Thèse de F. Ababsa, 2002) [ABA02Thèse].

Une nouvelle technique pour la reconnaissance d'objets de forme libre est proposée, elle est basée sur des méthodes de squelettisation 2D et 3D. En effet l'exploitation des squelettes 3D d'un objet et 2D de son image permet d'extraire des informations géométriques, utiles pour la reconnaissance et le recalage, de cet objet quelque soit sa complexité. Le squelette 3D utilisé est géodésique et le squelette 2D est déterminé par une méthode mixte basée sur celles des distances et celle utilisant le diagramme de Voronoi. Les informations extraites de l'image seront appariées avec celles du modèle de l'objet, ceci nous permet de déterminer la rotation et la translation qu'a subit ce même objet.

L'avantage d'une telle approche par rapport à celles déjà utilisées réside dans sa simplicité, sa généralité puisque elle s'utilise pour des objets aussi bien polyédrique que de forme libre et enfin sa robustesse face aux occultations que peut subir l'objet. Ce travail fait l'objet de la thèse de D. Merad [MER-Thèse].

Suivi d'objets

Nos recherches en RA se poursuivent pour une assistance en vision directe (augmenter ce que voit l'opérateur et non pas ce qui est vu par la caméra). L'objectif de ce travail de recherche (Thèse de J-Y. Didier) [DID-T] est d'aboutir à un système de RA, semi immersif, utilisant un dispositif (lunettes « see through » associée à une ou plusieurs caméras) permettant à l'opérateur une vue directe de son environnement de travail augmentée par des informations visuelles pertinentes vis-à-vis de la tâche.

L'intérêt scientifique consiste à lever un verrou important qui est celui du recalage 3D/2D temps réel du monde virtuel sur le monde réel. Ce recalage suppose une calibration des points de vues réel et virtuel et une reconnaissance automatique de l'environnement réel, basée sur une connaissance à priori de celui-ci. Par ailleurs, ce travail pose un problème ergonomique de présentation des informations à l'utilisateur (quand et comment utiliser la RA).

L'objet de cette recherche est d'aboutir à un système utilisant des techniques de réalité augmentée en vision directe permettant de laisser à l'opérateur une vue directe de son environnement de travail. Les dispositifs de réalité augmentée de type « see through », composés de lunettes transparentes dans lesquelles viennent se projeter les informations supplémentaires proposées à l'utilisateur, présentent un atout ergonomique important qui est celui de laisser à l'opérateur une vue directe de son environnement.

Cette vue directe enrichie nécessite d'inclure dans le processus d'augmentation une prédiction du point de vue à l'instant t à partir de données obtenues à l'instant $t-\Delta t$. Par ailleurs, il est difficile de modéliser les mouvements du point de vue lorsque ceux-ci sont liés à un observateur humain. En effet, ses mouvement ne peuvent être considérés comme étant à accélération constante, ou même à vitesse constante.

Les expérimentations menées au LSC ont montré qu'un modèle de prédiction du mouvement du point de vue uniquement basé sur des données de position/orientation telles qu'elles pourraient être fournies par un capteur de type Polhemus ou une localisation à partir de caméras se heurte au problème de la modélisation des vitesses et accélération calculées uniquement par dérivation des données de position/orientation dans un modèle de prédicteur utilisant par exemple un filtre de Kalman.

Ces expérimentations nous ont donc mené à envisager soit l'utilisation de capteurs inertiels pouvant fournir une mesure de l'accélération instantanée qui pourrait ainsi compléter l'état interne d'un prédicteur de Kalman. Ou bien, à défaut de pouvoir compléter les données acquises, nous pouvons envisager l'utilisation d'estimateurs plus robustes ou au moins plus adaptatifs tels que ceux utilisant les filtres particulaires.

Cet axe de recherche peut couvrir un large éventail de domaines d'application, à savoir :
assistance à la maintenance,
assistance du médecin au geste chirurgical,
etc.
Ce travail de recherche se poursuit dans le cadre du projet RNTL AMRA

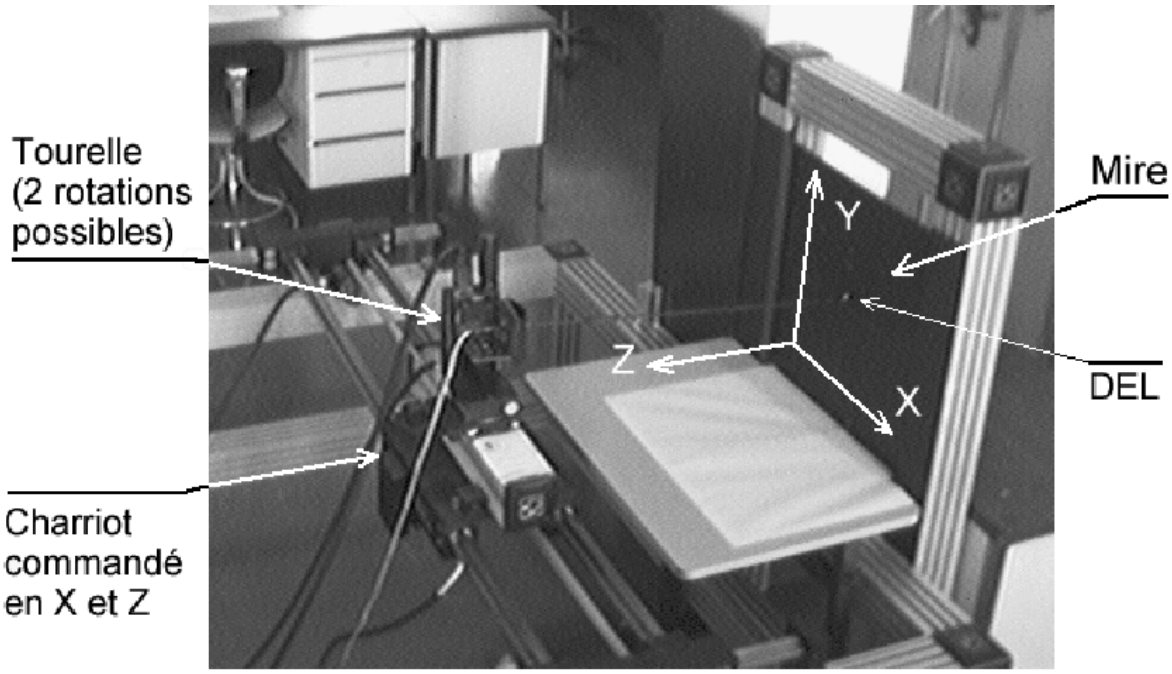

Figure II-3 Banc d'expérimentation.

2.2.3. Architecture informatique du système MCIT

La station de contrôle commande est constituée de deux calculateurs reliés en réseau Ethernet. Cette architecture répartie est indispensable pour supporter l'ensemble des modules logiciels décrits précédemment. En effet, certains doivent s'exécuter en parallèle tels que les modules de perception de l'environnement et ceux de commande du robot.

Les différents logiciels organisés en client/serveur communiquent entre eux via Internet, en utilisant les sockets selon les protocoles TCP/IP.

2.2.4. Application

Ce système à fait l'objet, actuellement, d'une application dans le cadre d'un contrat de recherche développement avec l'entreprise Renault - Automation. Ce contrat est intitulé « Surveillance par vision d'une machine à usinage rapide de type Urane 20 ou Urane 25 » et a servi de base à la thèse de D. Merad. Ce travail consiste en la vérification de l'adéquation entre le modèle virtuel de CAO de la pièce à usiner ou d'un outil et son image caméra, avant de lancer l'usinage. Les trois phases accomplies afin de réaliser ce travail sont :

- la calibration d'une caméra de supervision de la culasse F9-CR ;
- la visualisation du modèle CAO de cette culasse ;
- le recalage 3D du modèle CAO de la culasse afin d'obtenir une superposition des modèles virtuel et réel (Figure II-4).

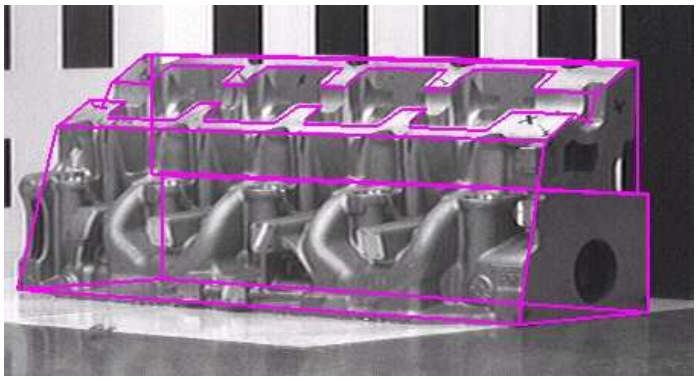

Figure II-4 Recalage 3D d'un objet industriel

2.3. Le Télétravail Collaboratif en Réalité Augmentée via Internet

Afin de traiter le second problème évoqué dans la section 0, des travaux ont été réalisés d'une part, pour la téléopération en RA via Internet dans le cadre de la thèse de S. Otmane [OTM00Thèse] et d'autre part, la conception d'une architecture logicielle basée sur les Systèmes Multi-Agents (SMA) pour la téléopération collaborative dans le cadre d'une thèse en cours avec N. Khezami (C03-34[OTM03]). Dans ce qui suit, nous décrirons ces deux travaux.

2.3.1. La Téléopération en Réalité Augmentée via Internet (ARITI)

Dans la thèse de S. Otmane, est présenté l'étude et la conception d'un système pour la téléopération de robots en réalité augmentée via le réseau Internet. Les recherches réalisées concernent principalement le développement de méthodes et d'outils pour l'interfaçage efficace d'un opérateur dans le cadre de la « téléopération d'un robot via le réseau Internet ».

Les travaux de recherches menés sur la problématique du télétravail en réalité augmenté ont permis de mettre en place le système expérimental de télétravail ARITI (Augmented Reality Interface for Teleoperation via Internet) (C00-24[OTM00]). Il s'agit du premier système en France de téléopération de robot via le réseau Internet, accessible sur le site Web du laboratoire LSC depuis 1998 au http://lsc.cemif.univ-evry.fr:8080/Projets/ARITI/ et sur le site de la NASA depuis janvier 2000 au http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/realrobots.html.
Les techniques utilisées ont permis d'apporter à l'opérateur en situation de télétravail, une assistance à la perception de l'environnement et à la commande d'un robot (en mettant en œuvre un concept nouveau de guides virtuels (C00-25[OTM00]). Ces assistances ont pour objectif l'amélioration de la précision et de la sécurité du déroulement de la tâche.

L'architecture informatique du système ARITI (Figure II-5) permet à un opérateur distant d'accéder au système via le serveur Web du laboratoire et de retrouver d'une part toutes les informations concernant le système ARITI (description du système, fonctionnement, publications résultantes des différents travaux réalisés pour la validation du système, etc.). D'autre part, ARITI permet de téléopérer le robot et de réaliser des tâches de manipulation ou tout simplement faire de la simulation.

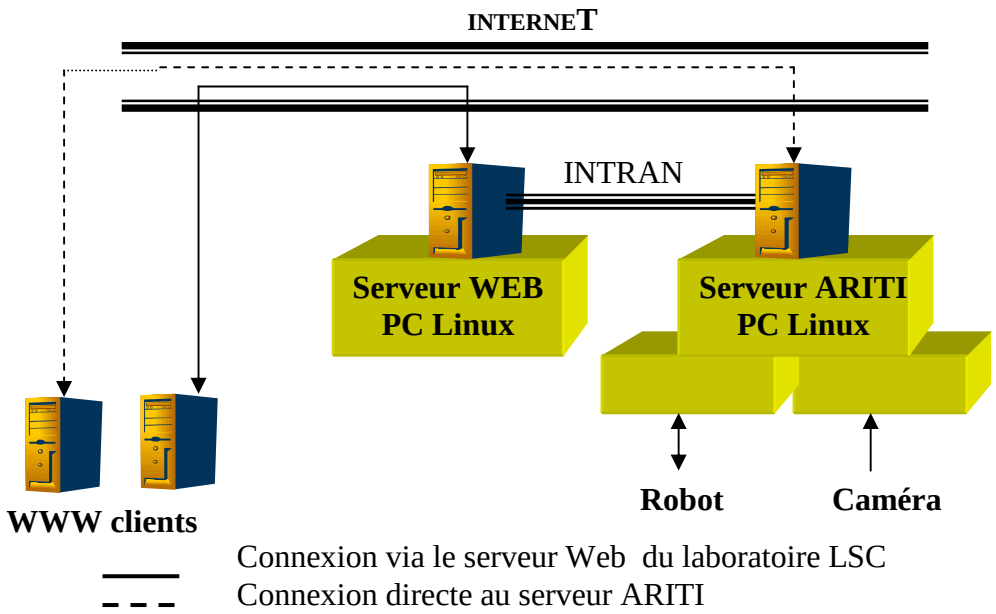

Figure II-5 Architecture informatique du système ARITI

La modularité et la conception objet du système ARITI permettent son adaptation à plusieurs applications. En effet, deux applications ont été réalisées, l'une utilisant un robot manipulateur à 4 degrés de liberté accessible par Internet. L'autre application utilise un robot mobile autonome dans le cadre du projet ARPH (Assistance Robotique aux Personnes Handicapées), développé dans le thème III du laboratoire et utilisé actuellement en connexion locale.

Application avec un robot manipulateur

Il s'agit du premier robot utilisé pour valider le premier système de téléopération de robot via Internet réalisé en France. Le robot manipulateur se trouvant au LSC est utilisé grâce au système ARITI (C00-24-[OTM00]) voir Figure II-6 par de nombreux opérateurs dans le monde. Les tâches de télémanipulation sont facilitées par l'utilisation des guides virtuels(C00-25-[OTM00]) fournit par le système en mode de téléopération. En effet, ces guides virtuels améliorent les performances des opérateurs en sécurisant les manipulations, en réduisant les imprécisions et enfin en minimisant le temps d'exécution des tâches.

Application avec un robot mobile

Cette deuxième application est destinée à étudier l'apport de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée (interface graphique, guides virtuels, superposition d'informations 2D/3D sur une image vidéo, etc.) pour améliorer les performances d'une personne handicapée contrainte d'utiliser un robot mobile muni d'un bras manipulateur (C00-26-[OTM00]). Cette application est développée en collaboration avec l'équipe du thème III.

Nous présentons dans la Figure II-7 l'interface de contrôle – commande du robot mobile avec utilisation de deux guides virtuels actifs pour aider l'opérateur à faire traverser au robot une porte.

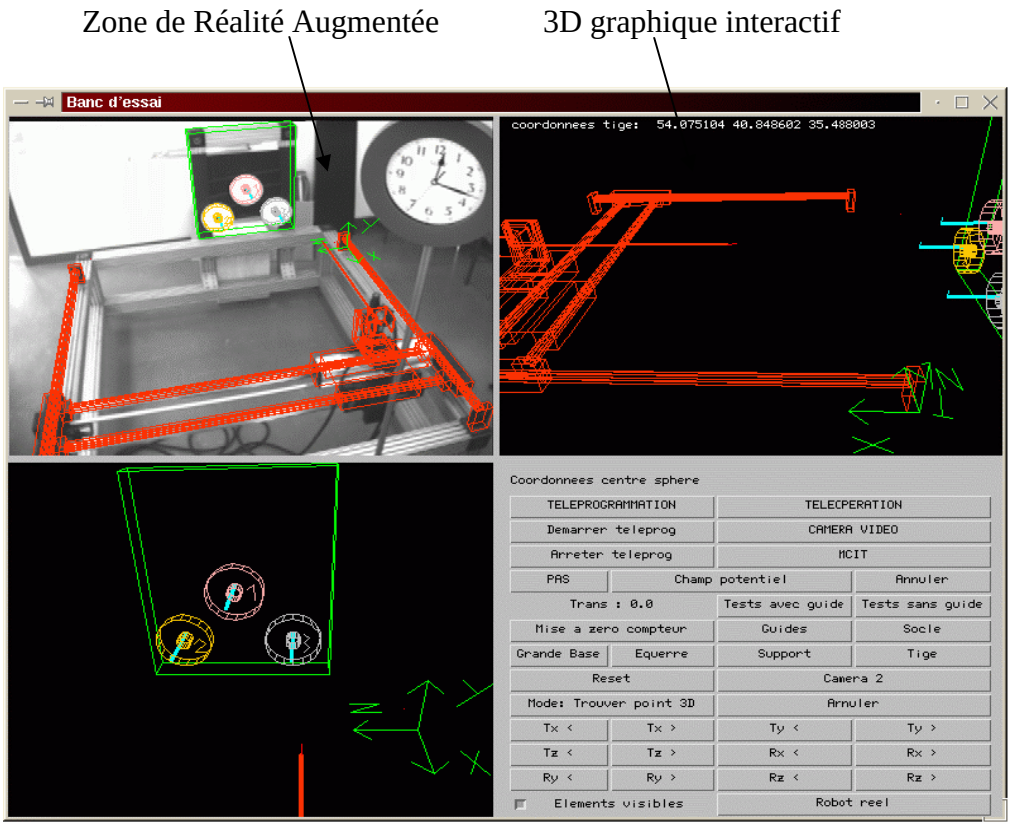

Figure II-6 Interface du système ARITI

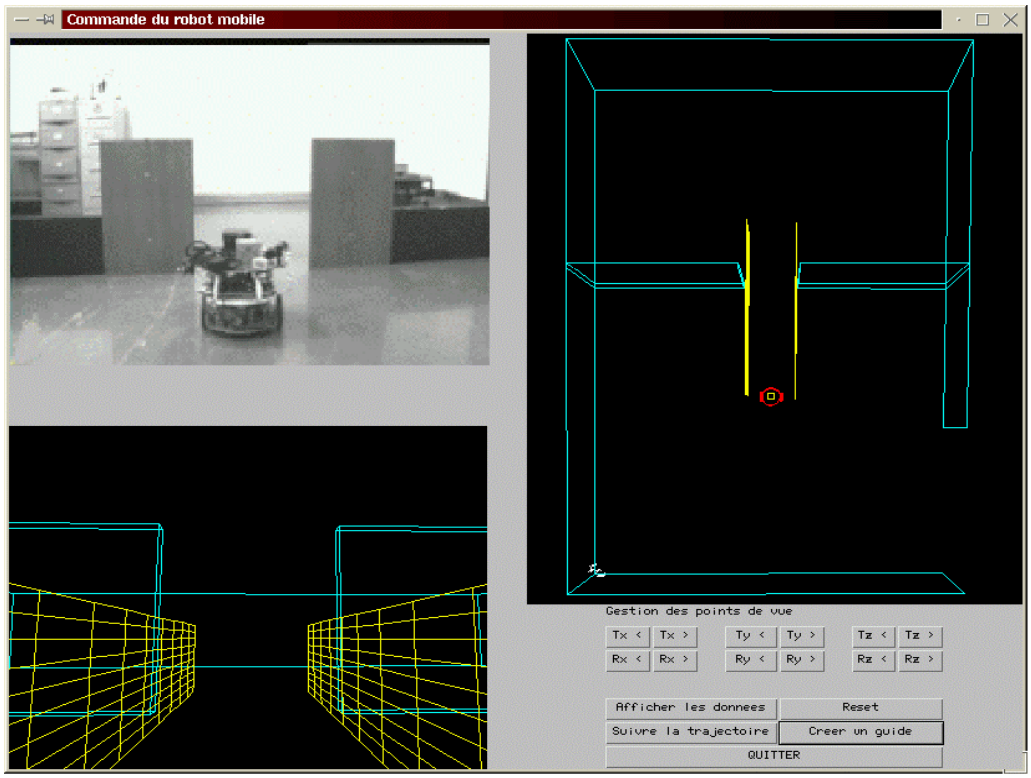

Figure II-7 Interface de contrôle-commande d'un robot mobile avec utilisation de deux guides virtuels formant un couloir pour le robot

2.3.2. Le télétravail collaboratif en réalité augmentée

Actuellement, la plupart des missions complexes sont réalisées soit, sur site (maintenance industrielle, conception de produits complexes, intervention chirurgicale délicate, etc.) soit depuis un site distant dans le cas du télétravail assisté par ordinateur (téléopération en milieux hostile, téléchirurgie, télémaintenance, télédiagnostique, etc.). Le succès de certaines missions exige souvent une collaboration (travail coopératif) avec d'autres personnes (notamment des experts) possédant des compétences et des rôles différents.

L'objectif de ce travail réalisé est la conception d'un système de collaboration suffisamment générique capable de transformer un système de télétravail mono-utilisateur (cas du système ARITI) en un système multi-utilisateur collaboratif (vers la téléopération collaborative).

Spécification fonctionnelle du système de collaboration

Afin de concevoir une architecture logicielle du système de collaboration, il est essentiel de définir clairement ce que nous entendons par collaboration (coopération). Pour cette raison, notre étude dans une premier temps a consisté à caractériser la collaboration en utilisant une approche appelée le trèfle fonctionnel utilisée par la plus part des chercheurs du domaine du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO) en anglais CSCW (Computer Supported Cooperative Work) ou encore Collecticiels (systèmes interactifs multi-utilisateurs). Cette approche, représentée dans la Figure II-8 précise les objectifs principaux concernant la spécification fonctionnelle de notre système de collaboration à savoir:

- la conversation Homme-Homme et la communication Homme-Machine ;
- le partage des ressources virtuelles (zone de réalité augmentée, indicateurs de navigation) et également des ressources réelles (degrés de liberté d'un robot) illustrées dans la Figure II-9.

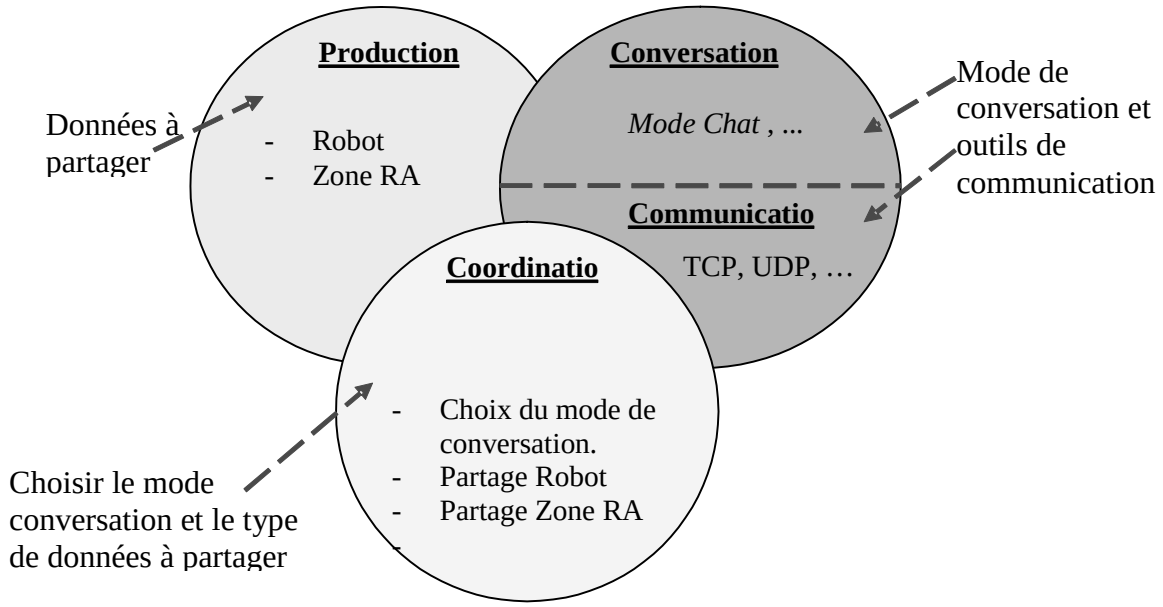

Figure II-8 Spécification fonctionnelle du système de collaboration

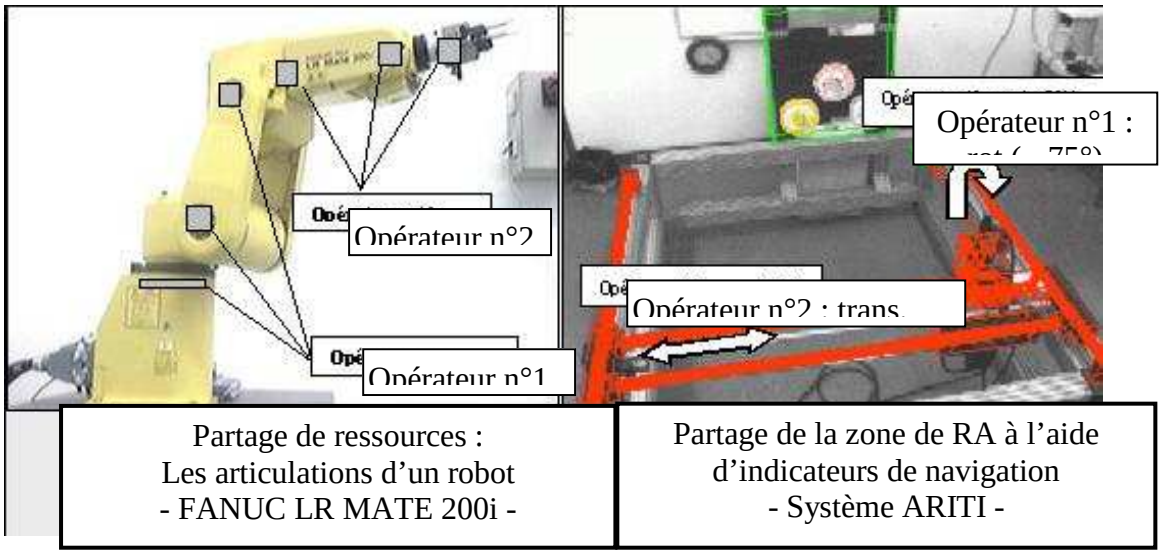

Figure II-9 Illustration du partage de ressources virtuelles (à droite) et réelle (à gauche).

Modélisation Multi-Agents du système de collaboration

La caractérisation de la collaboration par l'approche du trèfle fonctionnel présentée précédemment est utilisée pour la modélisation et la conception du SMA de collaboration. En effet, l'architecture logicielle issue de cette conception est représentée par trois super agents représentant les trois espaces de collaboration et chaque super agent gère un ensemble d'agents possédants des rôles et des fonctionnalités différentes :

- *Agent_Espace_Production* : Concerne essentiellement les données à partager, comme le robot ou encore la zone de réalité augmentée du système ARITI. Dans notre cas cet agent gère deux sous agents (Agent_Articulation, Agent_Indicateur), correspondants à chacune des ressources à partager, à savoir les articulations du robot et les indicateurs de navigation à utiliser dans la zone de réalité augmentée.
- *Agent_Espace_Communication* : Cet espace est séparé en deux sous espaces qui sont modélisés en agent : Agent_communication pour l'échange de données informatiques et Agent_conversation pour la communication entre utilisateurs.
- *Agent_Espace_Coordination* : gère les outils permettant d'organiser le processus de travail. En effet, ces outils, sont limités pour l'instant au choix du mode de conversation et à la désignation du type de ressources à partager entre les différents utilisateurs.

3. L'entreprise virtuelle intelligente

3.1. Introduction

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) sont en train de bouleverser de manière importante les rapports de travail dans les entreprises. Grâce aux nouvelles technologies de réseaux à hauts débits, les applications multimédias, les techniques de réalité virtuelle, etc., le concept de travail dans l'entreprise traditionnelle et de rapport entre entreprises est en train d'évoluer vers une forme virtuelle de travail. Potentiellement, l'entreprise peut devenir complètement virtuelle au même titre que le travail, devenu immatériel.

Cette virtualité de l'entreprise se distingue selon deux aspects : d'une part la possibilité de faire collaborer virtuellement un ensemble d'entités via les réseaux à hauts débits et les outils de collaboration (CSCW) et d'autre part la possibilité de mobilité (nomadisme) à l'intérieur de l'entreprise virtuelle.

Ces deux aspects vont permettre non seulement d'augmenter la productivité par un travail plus efficace mais aussi de créer de nouvelles richesses au travers de la création de nouveaux services à forte valeur ajoutée inconnus à ce jour.

Néanmoins la mise en place de telles structures pose un ensemble de problèmes qui ne sont pas encore totalement résolus et auxquels il faut trouver des solutions théoriques et pratiques. Les principaux problèmes auxquels nous nous intéressons sont :

- la gestion et le contrôle de la qualité de service du réseau exprimée en terme de délai, de gigue (c'est-à-dire la variation du délai) et de perte de paquets ;
- la gestion et le contrôle du nomadisme dans l'entreprise virtuelle, c'est-à-dire gérer le fait que les entités puissent se déplacer de manière importante et donc ne plus avoir accès au réseau par les même canaux.

Une présentation schématique de l'environnement que nous souhaitons mettre en œuvre est le suivant (Figure II-10) :

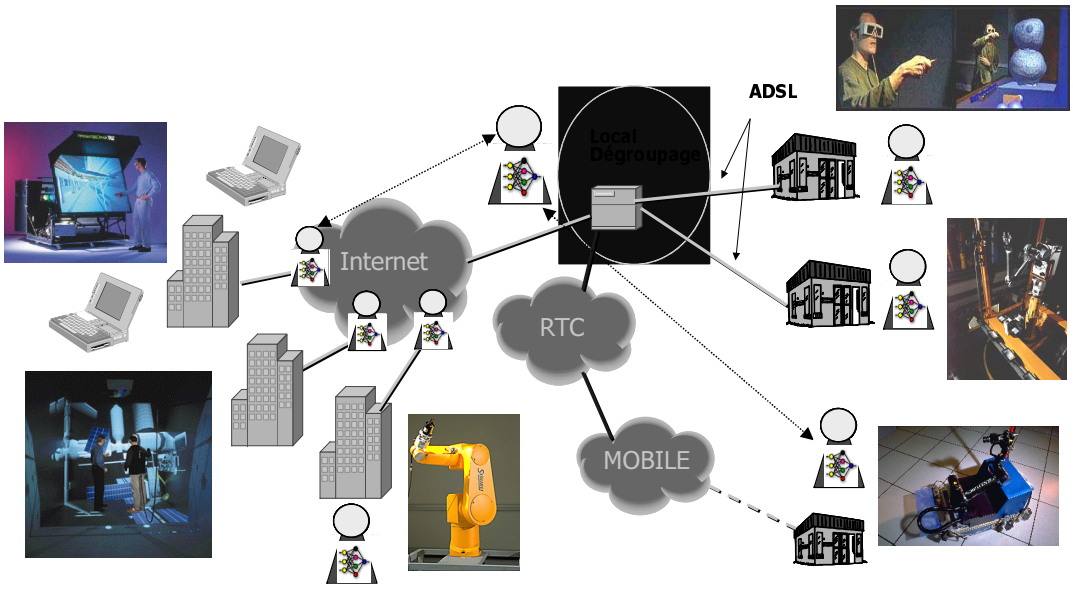

Figure II-10 Exemple d'entreprise virtuelle.

Cet environnement montre différentes technologies de communication fixes et mobiles, plusieurs technologies d'accès à 'infrastructure réseau via des lignes ADSL, des liaisons spécialisées ou encore des accès sans fils. Autour de cette infrastructure réseau un ensemble d'entités gravitent et travaillent en collaboration étroite. Devant cette complexité de l'environnement et de l'hétérogénéité qu'il introduit, on met en place un ensemble d'agents logiciels qui vont permettre d'aider et de simplifier ces interactions. On peut penser à différents types d'agents fixes ou mobiles, intelligent ou statiques, cognitifs ou pas, etc.

3.2. Approches Intelligentes de Gestion et Contrôle des Ressources

Dans le contexte des réseaux larges bandes, les applications multimédias et de réalité virtuelle constituent un cadre de recherche très riche et très important pour les entreprises communicantes. En effet, ces applications posent une problématique particulière pour la gestion et le contrôle des ressources, notamment lorsqu'on essaye d'intégrer cette gestion au niveau réseau. La problématique concerne les aspects de qualité de la transmission et notamment les problèmes de réservation des ressources, de la synchronisation et de

l'orchestration qui ont un impact important sur les applications multimédias et de réalité virtuelle.

Il s'agit dans cet axe d'étudier les architectures et les mécanismes à mettre en œuvre dans les équipements du réseau pour supporter la qualité de service. On se place dans le contexte d'entreprises qui souhaitent collaborer via des services multimédia ou de RV (Video on Demand, Collaborative Design, etc) via un réseau Internet et qui essayent d'optimiser l'utilisation de la bande passante et des coûts associés.

Dans le cadre de la thèse de doctorat de D. Gomes, les caractéristiques propres à ces applications ont été étudiées notamment lorsqu'elles mettent en œuvre des retours vidéo. Ce travail a montré l'intérêt d'utiliser des agents intelligents à base de réseau de neurones pour modéliser le trafic entre une source vidéo et des destinations vidéo. Ce travail montre dans le contexte de l'Internet la difficulté à estimer la bande passante utilisée par les flux vidéo.

Néanmoins grâce à certains travaux qui ont montré la nature self-similaire de ces flux, il a été possible de construire des modèles de réseaux de neurones qui permettent de calculer rapidement le paramètre de Hurst de ces flux. En effet, un besoin très important dans le cadre de ces communications et la possibilité de modéliser rapidement la tendance des flux afin de détecter des congestions éventuelles. Ces travaux ont montré l'apport des approches d'apprentissage à base de réseaux de neurones pour la prédiction et la réservation de ressources afin d'optimiser statistiquement l'utilisation de la bande passante. Cet aspect de réservation est important dans un contexte d'évolution du réseau Internet vers un réseau Internet avec réservation statistique de ressources notamment par l'introduction de protocoles de type IntServ et DiffServ. Par ailleurs, pour rendre plus réaliste ces approches, nous étudions les aspects négociation de services entre une entreprise et un ou plusieurs ISPs via les SLA/SLS (Service Level Agreements/ Service Level Specification) pour la mise en place de l'environnement virtuelle.

3.3. Protocoles de Gestion et Contrôle du nomadisme

Une entreprise nomade est une entité économique ayant des locaux à superficie limitée comparée au nombre d'employés. Ces entreprises basent en effet leurs activités sur la notion de 'Small Office Home Office (SOHO)' et tiennent des réunions périodiques autre part que dans l'enceinte de leurs locaux. Généralement, aucune infrastructure réseau propre à l'entreprise n'est disponible aux endroits ou les employés tiennent leurs réunions. Dés lors, l'idée est d'utiliser les terminaux des employés comme des nœuds d'un réseau ad hoc qui leur permette, de communiquer, de partager des documents, de travailler d'une manière coopérative. Cet espace de communication rendu possible par le réseau ad hoc est appelé zone virtuelle de l'entreprise. Cette zone n'est pas de dimension fixe, elle peut évoluer rapidement en fonction du nombre de machines existante mais doit rester maîtrisée et maîtrisable à l'instar d'un réseau fixe.

Contrairement aux réseaux ad hoc libre, les réseaux ad hoc d'entreprises sont contrôlés par la même autorité de gestion. Dés lors, il est possible de penser à des solutions et des stratégies de gestion réalistes.

L'idée introduite dans le travail de doctorat de Yacine Ghamri-Doudane (C03-21-[GHA03]) en collaboration avec le laboratoire d'Informatique de Paris 6 est donc d'introduire des mécanismes de gestion et de configuration des terminaux ad hoc de telle sorte que n'importe quel réseau ad hoc mis en place dans la zone virtuelle de l'entreprise suive un ensemble prédéfinie de directives en terme de fonctionnement lesquelles doivent être conformes aux

objectifs de l'entreprise (par exemple, le directeur peut communiquer à haut-débit avec ses employés). Dans ce travail de recherche, l'objectif est d'utiliser une approche de gestion par politiques pour le contrôle de la QoS voire de la sécurité telle qu'introduite par le DMTF et l'IETF. Cependant, les caractéristiques spécifiques des réseaux ad hoc nous obligent à repenser la notion de déploiement des règles de politique dans un tel réseau. En effet, cette approche, dans sa définition actuelle, peut être en contradiction avec la nature auto-configurable et auto-gérable des réseaux ad hoc. Dans ce contexte, notre but est de proposer une nouvelle architecture PBM (Policy Based Management) qui s'adapte aux réseaux ad hoc de manière à maintenir la caractéristique de spontanéité de cette technologie.

4. Réalité virtuelle et interface haptique

Les systèmes à contrôle par l'homme deviennent de plus en plus complexes. Pour maîtriser cette complexité, réduire les coûts de formation et minimiser les conséquences d'un contrôle maladroit, la conception du contrôle passe en tout premier lieu par celle des interfaces homme-machine, qui doivent prendre en compte l'ensemble du système sensoriel humain.

Même si ce problème suscite, depuis longtemps, l'intérêt des concepteurs de divers systèmes complexes, c'est la genèse des techniques dites de réalité virtuelle, avec le lot d'applications et de technologies qui lui sont associées ainsi que celles qui sont envisagées, qui a accentué le phénomène. On s'est alors aperçu de l'importance majeure de mettre en contribution les sens autres que le sens visuel. Si ce dernier permet d'interpréter une partie essentielle des phénomènes à contrôler, le second sens important dans toute manipulation physique est le sens haptique qui inclut le sens des efforts et toute la complexité du sens tactile.

Ce thème de recherche s'est créé sous l'impulsion de F. Chavand suite au recrutement de A. Kheddar en 1998. Les travaux originels du thème concernaient la mise en œuvre des techniques de réalité virtuelle en téléopération.

4.1. Téléopération assistée par les techniques de réalité virtuelle

L'exploitation des techniques de réalité virtuelle dans le domaine de la téléopération (R01-09-[KHE01], L01-01-[KHE01], L02-03-[KHE02], L02-02-[COI02]), du télétravail « physique » ou plus généralement pour le contrôle à distance de machines complexes (engins terrestres, drones, humanoïdes…) offre d'innombrable opportunités de développements. Ces derniers requièrent néanmoins la maîtrise et la mise en œuvre d'un interfaçage, au sens large du terme, capable de satisfaire à la fois les contraintes fonctionnelles dictées par l'application et les aspects ergonomiques, sensoriels et technologiques nécessaires pour garantir une synergie homme-système la plus optimale possible.

Les fondements des concepts que nous avons développés (« robot caché », « programmation graphique ») sont issus du souci de mettre en œuvre des systèmes de téléopération munis de stratégies de contrôle/commande permettant d'assurer une bonne convivialité entre l'homme et le système. Pour se faire, une représentation fonctionnelle intermédiaire du site de téléopération est utilisée. Cette dernière se matérialise sous forme d'un environnement complètement virtuel où apparaissent seulement les aspects fonctionnels liés aux tâches à réaliser et les métaphores d'aide à l'opérateur. L'opérateur effectue alors les tâches au sein de cette représentation qui est, d'une part, bien adaptée à l'opérateur et, d'autre part, utilisée afin d'exploiter au mieux (grâce à l'introduction du puissant paradigme de « guides virtuels ») les capacités d'autonomie de la machine exécutrice. On introduit alors la notion de télétravail physique pour les systèmes multimédia du futur.

Dans le cadre d’une collaboration avec le CEA, nous avons entrepris de développer de nouveaux outils symboliques proposant de nouvelles fonctionnalités. En particulier, des outils de mise en œuvre de modes réflexes de protection du télémanipulateur ou de recouvrement automatique d’erreur (en cas d’interruption du retour visuel par exemple). Grâce aux diverses métaphores développées, on a pu formaliser de façon plus souple les procédés (essentiellement de maintenance utilisés sur site réel). Le but est d’explorer différents outils d’assistance à la téléopération pouvant être intégrés à un superviseur graphique. Le développement d’outils symboliques tels que le module de reprise automatique sur incident, les guides virtuels actifs et les zone de positionnement flexibles, ont permis d’assouplir la programmation graphique de procédés de téléopération et ont pu être intégré au système de programmation graphique du CEA, TAO 2000 (stage d’ingénieur de T. Loubrieu Figure II-11.

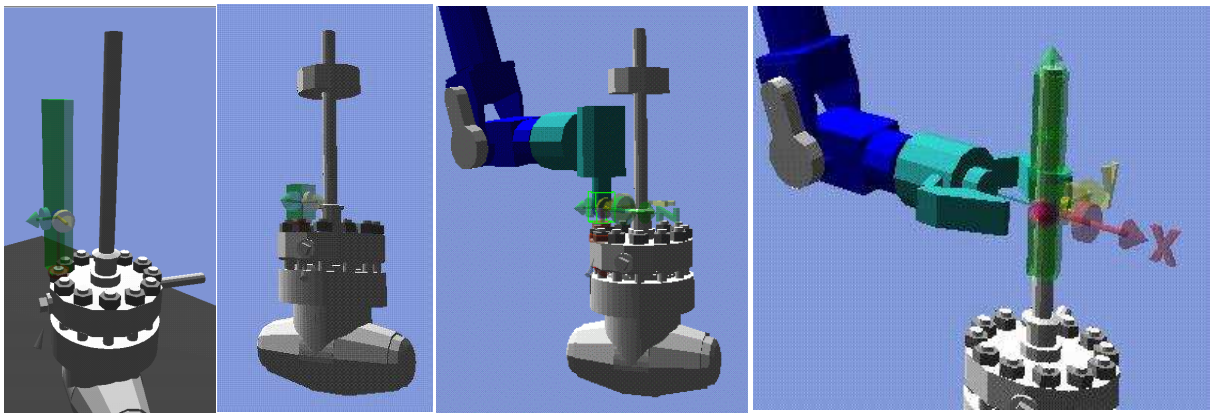

Figure II-11 Expérimentation dans le cadre d'une mission d'inspection d'une vanne avec TAO2000, CEA.

Pour mettre en œuvre bon nombre de tâches l'utilisation de métaphores d’assistances virtuelles augmente l'efficacité de la manipulation. Certains artefacts d’assistance sont partagées et permettent de combiner les consignes manuelles venant de l'opérateur et celles, autonomes, qui sont liées à la tâche désirée. Dans le contexte de la commande bilatérale, le bras maître comme le robot esclave sont affectés par les consignes manuelle et autonome. Ainsi, l'opérateur est assisté par des fonctions autonomes des guides et le robot réel bénéficie de la réactivité offerte par l'intervention manuelle de l'opérateur.

Ces développements peuvent très bien s’appliquer à d’autres systèmes et peuvent s’inscrire dans un domaine plus vaste qui est celui de l’interfaçage homme – systèmes complexes. De toutes les architectures recensées, il ne se dégage pas de véritable standard dans la manière dont les techniques de RV doivent être employées pour améliorer les téléopérateurs. Ce qui peut laisser sceptique quelques chercheurs avides de méthodologies claires pouvant être réduites à de simples équations, constitue paradoxalement toute la puissance de ces techniques. Certaines applications que l'on peut qualifier de spectaculaires ne sont désormais envisageables que grâce aux techniques de téléopération et de réalité virtuelle.

Par la suite l’intérêt pour la téléopération assistée par les techniques de réalité virtuelle s'est focalisé plutôt sur les aspects interfaçage homme - machine et notamment le rendu haptique. En effet, les assistances potentielles qu'offrent les techniques de RV appliqués à la téléopération ne seront performantes en termes d'utilisation et de transfert de dextérité que lorsque l'on aura bien maîtrisé les problèmes posés par l'interaction entre l'opérateur humain et la représentation intermédiaire, c'est-à-dire l'environnement virtuel. Cette interactivité, voulue

multimodale et intuitive, nécessite à son tour une bonne conception des interfaces et des dispositifs ergonomiques adaptés aux modalités sensorielles de l'opérateur humain. Dans ce vaste problème, on a choisi de s'intéresser à la modalité haptique (c'est-à-dire la kinesthésie et le tactile) (L99-02-[TZA99L]). Si bien que l'interaction haptique avec un environnement virtuel rentre dans un domaine d'application plus large que celui de la téléopération.

4.2. Interfaçage haptique

Comparativement aux modalités visuelle et auditive, la difficulté de la conception de l'interfaçage haptique pour interagir avec des environnements de synthèse (rendu haptique en réalité virtuelle), réels ou mixte (rendu haptique en réalité augmentée) réside dans le fait que ce sens soit « actif ». Quotidiennement, l'acquisition de l'information haptique (notamment tactile) se fait durant l'interaction physique (contact) entre l'homme et son environnement. Le fonctionnement perceptif haptique (notamment kinesthésique) est intimement associé à la fonction motrice chez l'être humain, et a des caractéristiques particulières qui le distinguent des autres modalités perceptives. Concevoir une interface haptique, capable de restituer fidèlement les phénomènes haptiques requiert un support matériel et une approche de conception spécifiques. Ceci est par exemple différent de la vision ou de l'audition pour lesquelles le prélèvement d'information ne modifie pas physiquement son support (respectivement écran ou écouteurs). La matérialisation de l'interfaçage haptique nécessite donc des modules actifs capables de contraindre le mouvement de l'opérateur ou de stimuler ses capteurs haptiques (mécanorécepteurs par exemple). Comme pour l'interfaçage visuel et auditif, les connaissances sur la perception haptique permettent d'optimiser et d'améliorer la conception de l'interfaçage haptique. Toutefois, la perception haptique met en jeu des phénomènes psychophysiques et physiologiques complexes, et encore mal compris d'échange d'information de natures physiques diverses entre l'homme et les objets de son environnement.

L'interfaçage haptique est connu depuis longtemps dans les applications de téléopération en robotique, de conduite automobile (les forces d'interaction roues/sol transmises au volant du conducteur), de pilotage d'avions (manches à retour d'effort). Ce n'est cependant qu'avec l'arrivée des techniques de réalité virtuelle et l'éventail d'applications particulières qu'elles apportent, que l'on a pris conscience de la problématique de « l'interfaçage haptique » et que l'on s'est aperçu de l'importance majeure des retours sensoriels autres que le retour visuel. Si la vision permet d'interpréter une partie importante des phénomènes et joue de ce fait un rôle essentiel dans le contrôle des systèmes, le sens haptique, qui inclut la perception des efforts et du toucher, y tient probablement une place non négligeable, par le rôle qu'il joue dans toute manipulation physique.

Dans le problème posé par la mise en œuvre de l'interfaçage haptique entre un utilisateur et un environnement informatisé, nous distinguons trois parties fortement liées et étroitement interdépendantes, (voir Figure II-12) :

- le système matériel de manipulation ;
- le système informatique ;
- le système de relation entre le système mécanique et le système informatique.

Ainsi, il apparaît clairement que la problématique théorique posée par l'interfaçage haptique concerne à la fois l'informatique, l'automatique et la mécatronique. Par ailleurs, comme l'homme est dans la « boucle » du système d'interfaçage complet, la psychophysique ainsi que les aspects de la perception et de la physiologie liés à l'haptique doivent guider les choix et les développements de l'interfaçage dans sa globalité et concernent donc les trois aspects précédemment définis. En effet, il s'agit d'établir les bases pour l'interconnexion d'un

opérateur humain, avec soit un environnement virtuel de nature discrète, soit un environnement réel ou mixte de nature continue, via des dispositifs mécatroniques actifs.

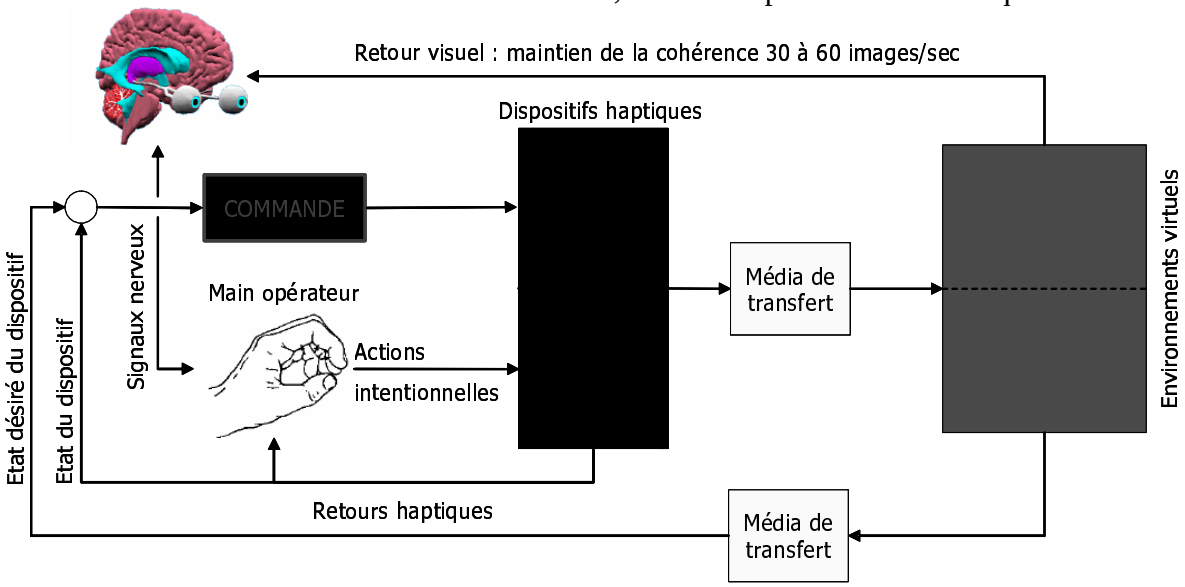

Figure II-12 Exemple de systèmes à interaction haptique

On entend par système matériel, toute interface matérielle, active ou passive, nécessaire pour restituer avec une bonne fidélité les informations haptiques de l'environnement virtuel (ou augmenté) vers l'opérateur, et pour transmettre les intentions d'action de l'opérateur vers l'environnement virtuel. Ce transfert bilatéral de données est réalisé par le système de communication grâce à « l'aspect liaison ». Restituer une force ou, de manière équivalente, contraindre le mouvement de l'opérateur, nécessite une interface active, c'est à dire motorisée.

Cependant, les travaux réalisés dans le cadre de la thèse de A. Lécuyer, montrent que certains dispositifs passifs combinés au rendu visuel peuvent restituer une information haptique (C00-15-[LEC00]). Plusieurs tests ont montré que l'opérateur était capable de distinguer des raideurs de ressorts virtuels avec le même JND que dans la réalité par la simple combinaison du rendu visuel et d'une « SpaceBall™ » (interface isométrique dont le fonctionnement est similaire à un capteur d'effort compliant). Plusieurs expériences ont mis en exergue la notion d'un rendu « pseudo-haptique » et « d'illusion haptique ». Cette thèse et d'autres travaux récents (V. Hayward de l'université de McGill au Canada ou M. Ernst de l'Institut Max Planck de Tübingen) viennent conforter et compléter cette tendance. Ces travaux ouvrent la voie vers une autre façon de concevoir l'interfaçage haptique, ne découlant pas forcément de la technologie de la téléopération. Nos études récentes, menées conjointement avec l'Institut Max Planck du Tübingen, montrent que l'on peut créer des illusions haptiques on combinant le rendu haptique avec le retour sonore. Ces études sont faites dans le but de mieux comprendre la meilleure façon d'intégrer le rendu haptique à un système de réalité virtuelle interactif et multimodale. Nous avons aussi entrepris d'inclure le retour sonore 3D dans le démonstrateur de prototypage virtuel que nous développons.

Un autre challenge que nous poursuivons concerne la réalisation d'interfaces à rendu tactile capable de restituer des informations liées au toucher (rugosités, échanges thermiques, formes, etc.) Dans ce cas une approche purement technologique conduirait à tenter de réaliser « une surface universelle ». De nos jours cette voie est techniquement impossible car il faudrait un nombre élevé de micro-actionneurs travaillant sur une large gamme de fréquence. Il apparaît donc nécessaire de bien comprendre les mécanismes de perception et de prélèvement de

l’information tactile afin de surmonter ces limitations. Sur ce sujet, nous collaborons avec le service microélectronique du CEA Fontenay-aux-Roses (notamment pour ce qui est des technologies de réalisation et de micro-assemblage). Deux thèses sont actuellement en cours. La première (M. Benali-Khoudja) [BEN-Thèse], concerne la réalisation d’une matrice tactile à base d’aiguilles avec un actionnement électromagnétique. Cette matrice sera montée sur un dispositif kinesthésique qui permettra de tester les algorithmes de rendus de textures et de rugosité en cours de développement. La deuxième thèse (M. A. Drif) [DRI-Thèse] concerne le développement d’un concept de rendu « haptique » proposé au LSC. Il s’agit d’un dispositif qui prend la place d’un clavier d’ordinateur afin de traquer la main de l’opérateur et qui viendra au contact de sa main lorsqu’un contact est établi au sein de l’environnement virtuel. L’originalité du concept vient de la décomposition en trois étage du rendu haptique : un étage « basse fréquence » pour le rendu de forme, de frottement et de force, un étage « passe bande » pour le rendu de rugosité et aspérité de surface, et finalement un étage « haute fréquence » consistant en une membrane flexible laquelle comportera des « vibreurs » en grande densité. La réalisation du démonstrateur et de l’interface est financée dans le cadre du projet européen TOUCH-HAPSYS. Plusieurs études sont aussi menées pour restituer la composante thermique du contact (C03-09-[BEN03], C03-10-[BEN03]), notamment à base d’actionneur thermique à effet Peltier.

Concernant des aspects informatique et contrôle de l’interfaçage haptique, ils relèvent de l’algorithmique et des techniques du temps réel. Tout comme en infographie (image de synthèse) ou du retour sonore, il est nécessaire de définir un noyau et une méthodologie sur lesquels peuvent s’appuyer les développements de l’ingénieur ou du chercheur afin de vulgariser l’interfaçage haptique dans le cadre d’applications diverses.

4.3. Infohaptie et simulations physiques interactives

Contrairement à ce qui a été entrepris par les développeurs d’API haptiques (notamment les deux leaders sur le marché mondial : l’américain GHOST de Sensable technologies et MAGMA du suédois ReachIn) nous sommes convaincu que le rendu haptique par graphe de scène ne survivra pas aux demandes des applications futures. Nous avons donc entrepris une autre voie consistant à intégrer le rendu haptique comme partie intégrante de la simulation dynamique [KHE03HDR]. Ce choix est guidé par le souci d’avoir des fondements mathématiques et physiques solides aux développement d’algorithmes de rendu haptique. Dans ce cas le problème peut s’exprimer comme une reconsidération des algorithmes d’animation physiques on prenant tout simplement en compte les contraintes liées au rendu haptique.

Parmi les résultats permettant de répondre au problème particulier de l'animation comportemental en temps réel, on peut noter une nouvelle approche pour la détection de collision (DdC) élaborée dans le travail de thèse de S. Redon [RED02Thèse], dans le cadre d'une collaboration avec l'action I3d de l'INRIA Rocquencourt. Il a été constaté que la majorité des algorithmes de DdC utilisés dans les environnements virtuels (EV) sont discrets, c'est-à-dire que la détection, en chaque pas discret de l'évolution de l'EV, se fait sur la base d'une recherche rapide des interpénétrations potentielles entre objets virtuels. Lorsqu'une interpénétration est décelée, il est assez souvent difficile de la quantifier et de trouver l'endroit et le temps précis de la collision. Il devient alors nécessaire d'effectuer un retour arrière afin de déterminer le temps de collision entre deux pas de temps et de corriger l'état des objets virtuels pour obtenir un état « cohérent ». L'approche proposée est continue [RED02Thèse], (CO1-32-[RED01], C00-28-[RED00]). Elle repose sur une idée simple consistant à utiliser un mouvement arbitraire pour interpoler le mouvement entre deux positions discrètes des objets en mouvement.

Dans un premier temps, l'objectif était d'avoir une solution analytique à ce problème. L'interpolation se fait alors par des mouvements relatifs de vissage entre chaque paire de primitives graphiques. Les paramètres de vissage (l'axe de vissage et les vitesses) sont calculés pour une paire choisie d'objets à chaque pas de la simulation. Pour des objets polyédriques (représentation largement adoptée en infographie) la détection d'interférence est réduite à deux détections élémentaires : segment-segment et point-triangle. Une première formulation développée du problème se réduit, pour chacun des deux cas, à la résolution d'un polynôme d'ordre au plus trois. L'algorithme permet de déterminer le temps précis (continu) et le lieu géométrique de la collision. Cette méthode comporte néanmoins quelques points faibles. Aussi, dans une autre approche, on se passe de la contrainte exigeant une solution analytique du problème. Les mouvements intermédiaires sont toujours des vissages. Dans ce cas, la technique de subdivision en hiérarchies de boîtes englobantes orientées, structurées en arbre (OBB-tree) est combinée avec l'arithmétique d'intervalles pour éliminer les cas de non recouvrement pendant chaque intervalle de temps (RED02Thèse], R02-11-[[RED02]).

Pour les deux approches plusieurs optimisations pour accélérer la détection de collision ont été développées. En effet, les algorithmes de détection de collision peuvent être considérés comme des algorithmes en deux temps. Le premier niveau consiste à détecter les zones les plus probables pour une collision et élimine donc les zones où un test fin s'avère inutile. C'est une technique accélératrice qui peut s'effectuer selon plusieurs techniques adaptées au cas discret ou continu. Par exemple, une comparaison des vitesses relatives entre deux objets pourrait renseigner sur le fait que l'on avance ou que l'on recule. Dans ce dernier cas, et pour une paire d'objets candidats à une collision, il n'est pas nécessaire d'effectuer des détections fines entre les segments ou triangles relativement reculants (C02-40-[RED02]).
Une extension des approches continues aux objets déformable est en cours, thèse de Ch. Duriez [DUR-Thèse]. Une solution consistant à faire des interpolations linéaires des nœuds libres a été développée dans le cadre du stage de C. Devine.

Avec Ph. Meseure du LIFL et François Faure d'iMAGIS, nous sommes porteur de l’AS « détection de collision et réponse », dans le cadre du RTP réalité virtuelle (B. Pérôche) pour étudier plus en détails ce problème. Plusieurs laboratoires sont concernés. L'idée de l'AS est de faire un consortium autour de ce sujet qui constitue le goulot d'étranglement des calculs d'animation physique.

Le problème de réponse aux collisions et l'animation dynamique est abordé différemment de ce qui est fait traditionnellement. En effet, pour l'animation dynamique en EV, les approches proposées par d'autres chercheurs sont essentiellement basées sur une formulation LCP (problème de complémentarité linéaire) en terme des forces exercées. Contrairement à ces approches (basés sur les travaux virtuels pour la prise en compte des contraintes), le principe de Gauss a été utilisé dans la formulation du même problème en terme de mouvements, et se sont les accélérations qui sont directement calculées. L'animation dynamique (incluant la réponse aux collisions) est réduite à un problème purement géométrique et consiste dans la majorité des cas en la résolution d'un problème d'optimisation où le critère est quadratique pour les accélérations et où les contraintes d'inégalité sont linéaires. Enfin, on montre que même si les deux formulations sont équivalentes, une approche dans l'espace des mouvements donne lieu à des allègements intéressants dans le cadre d'une implémentation numérique (C02-41-[RED02]). Ces algorithmes ont pu être testés sur des exemples industriels [RED02Thèse], (C01-17-[LEC01]) comme le montre la Figure II-13.

Figure II-13 Prototypage virtuel et essai de montage de véhicule automobile

Pour ce qui est des objets déformables, nous sommes partie de formulation à base d'éléments finis [DUR-Thèse]. Les recherches en cours concernent la formulation des comportements d'objets déformables en interaction durant une manipulation interactive. Il s'agit donc de développer des algorithmes de détection de collision adéquats, la formulation de la dynamique dans l'espace des contacts avec un rendu physiquement plausible et le calcul des paramètres haptiques pour restituer les efforts durant la manipulation. Un travaille préliminaire à consister à s'inspirer de la formulation de Signorini pour l'interaction corps un rigide et un corps déformable. Pour accélérer les calculs le maillage est adapté à la caractérisation de la zone de contact et les équations du mouvement et de la déformation sont compactées sous forme d'un problème de complémentarité linéaire que l'on résout à chaque pas de simulation (Figure II-14).

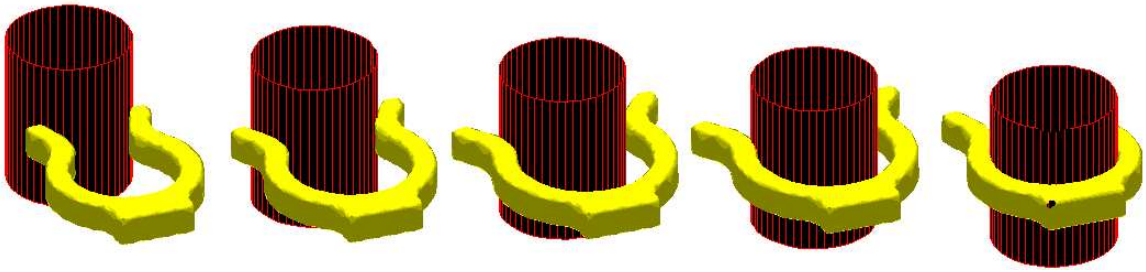

Figure II-14 « Clipsage » interactif d'un objet déformable et d'un rigide avec rendu haptique.

Du point de vue de l'automatique, les dispositifs à retour haptique bénéficient d'un prégnant héritage de l'automatique des systèmes maître-esclaves à couplage bilatéral asservis numériquement. Nous avons testé plusieurs de leurs lois de commande. Le problème que pose ces dispositifs est plus lié aux périodes d'échantillonnage fluctuantes ou du retard de transmission dans les applications d'ingénierie concourante (travail collaboratif à distance), retour haptique sur Internet, rendu haptique distribué.

Dans un premier temps, on s'est focalisée sur les problèmes de stabilité du rendu haptique en présence de retard de transmission. Ce travail a fait l'objet d'une thèse de H. Arioui [ARI02Thèse], (R03-01-[ARI03], C02-09-[ARI02], C02-10-[[ARI02], C02-11-[[ARI02], C02-12-[[ARI02]) ayant abouti à une approche prédictive (inspirée du contrôleur de Smith). L'algorithme développé s'applique aussi bien aux retards constants que variables sans modification de la commande. Par rapport aux approches par variable d'onde, appréciées pour leur passivité, l'originalité de cette commande est qu'elle ne requiert que le modèle (même simplifié) de l'interface haptique (qui est en général connu). Une étude de robustesse a montré

que la commande est valide même en présence de petites erreurs d'estimation des paramètres du dispositif haptique. Pour chaque paramètre, un intervalle d'erreur est donné.

Une amélioration des approches à base de variables d'ondes (empruntant à la théorie des lignes en hyperfréquences) est donnée pour le cas de retards variables. Une comparaison est aussi établie entre notre approche et les approches à variable d'onde. Plusieurs expériences de rendu haptique sur Internet avec Berlin, Rio de Janeiro et Athènes ont conforté les développements théoriques.

L'intégration de ces développement théorique se fait grâce à un benchmark capable d'intégrer divers algorithmes de détection de collision, divers formalisme d'animation dynamique (pénalités, contraintes, impulsions…), divers schémas d'intégration, divers interface matérielle haptique dans des scénarios types Ce benchmark nous permet actuellement de mener des tests avec des bases de données industriels pour tester et évaluer quantitativement et qualitativement les algorithmes développés (précision, robustesse, fluctuation du pas d'échantillonnage…).

Nous avons entrepris aussi une étude prenant en compte des représentations à base de « volumes ». En imagerie médicale, principalement, les donnée sont acquises de façon volumique (IRM, scanner, microscopie confocale, etc.). Pour l'instant lors de modélisation d'organes par exemple il faut tout d'abord repasser par un modèle surfacique, via par exemple un maillage de Delaunay. De plus avant même cette opération il faut grâce à une opération de filtrage et de seuillage de l'image extraire l'organe en lui-même pour ne conserver que ce dernier sur l'image. On perd ainsi l'information volumique de l'image de départ. De plus ce procédé est gourmand en calcul il faut donc un certain temps de pré calcul avec d'utiliser l'image IRM par exemple. De plus la modélisation d'un muscle de façon surfacique est moins exacte car elle ne tient pas compte de la structure réelle du muscle. L'approche volumique présente donc deux grands avantages : (1) une représentation physique plus adéquate et plus exacte et (2) l'économie de pré calculs coûteux en temps de calcul. Le démonstrateur idéal serait une interface haptique en interaction direct avec des données acquis par IRM pour simuler des interventions.

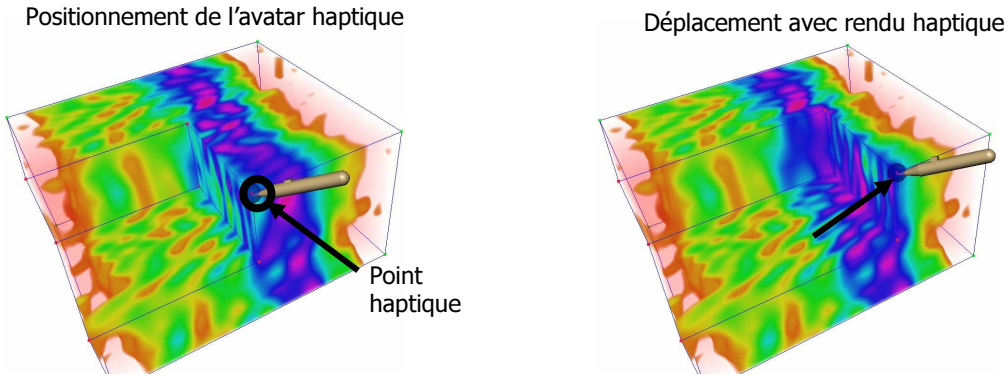

Figure II-15 Exploration haptique de données volumique (données sismiques IFP).

Une première étude dans le domaine de l'exploration pétrolière a montré la possibilité d'exploiter la composante haptique comme partie intégrante de l'interface des applications de visualisation scientifiques. Le but des travaux futurs est de parfaire les algorithmes de rendu haptique volumique (grâce à la transformation de certains gradients en forces) et de quantifier l'apport du rendu haptique dans les possibilités de perception et de manipulations offertes par

cette visualisation multimodale (Figure II-15) Ces recherches ont montré que le rendu haptique n'est efficace que localement et, contrairement au rendu visuel, il ne permet pas une perception « globale » de l'information. Cependant le rendu haptique s'avère être très approprié pour le rendu de ligne de flux dans un champ de vecteur et allège ainsi le rendu visuel. Le rendu haptique volumique est une nouvelle voie d'investigation dans d'autres domaines et notamment le domaine médical..

4.4 Application

L'industrie Française montre un intérêt certain pour les technologies de RV, notamment dans le prototypage de maquettes virtuelles, les systèmes de simulation, les systèmes d'apprentissage et d'entraînement, le perfectionnement du geste, etc. La CAO du futur comprendra désormais un système de maquettage rapide permettant d'effectuer en ligne les premiers essais d'intégration, de montage (assemblage) / démontage (désassemblage) et mettra l'opérateur en interaction directe avec une représentation virtuelle du produit durant sa phase de conception, donc avant sa production et commercialisation. Les industries qui se sont actuellement manifestées sont essentiellement les grandes et moyennes entreprises (automobile, aérospatiale). Il a été constaté qu'une maquette numérique rend plus efficace le travail multimétiers. Certes les techniques de conception 2D/3D des maquettes numériques par la CAO sont aujourd'hui au point. Cependant, les moyens d'interagir avec ces maquettes virtuelles restent limités comme dans le cas des industries automobile ou aérospatial par exemple. Or c'est bien de cette possibilité dont ont le plus besoin les opérationnels aujourd'hui, pour optimiser l'ingénierie concourante. La possibilité de disposer d'un modèle du produit à la fois intégral, à jour, et sur un support portable, permet aux différents métiers de pouvoir travailler conjointement plus tôt, et plus simplement.

Les simulateurs de conduite automobile destinés à la recherche et au développement sont utilisés depuis plusieurs années par les laboratoires concernés par la sécurité routière ainsi que chez les constructeurs et équipementiers automobiles. Malgré l'impression favorable que peuvent donner les réalisations techniques récentes, ces simulateurs sont des outils aux performances encore médiocres pour étudier le comportement du conducteur. A titre d'exemple, les tâches liées au maintien de la trajectoire ou celles liées à la conduite en file sont beaucoup plus difficiles à réaliser sur simulateur de conduite que dans la réalité même pour des conditions normales de circulation. Les raisons principales en sont les suivantes :

- insuffisance du retour visuel ;
- absence de mouvements ou pilotage « non adapté » de celui-ci ;
- absence de sensations acoustiques, haptiques, etc.

Pour certains points les limites sont techniques. Pour d'autres points elles semblent plutôt concerner une conception « non optimale » des dispositifs de pilotage et des dispositifs de retour haptique. La conception de ces dispositifs s'est jusqu'à présent focalisée sur une approche « physiquement réaliste » plus adaptée au prototypage de véhicule. Pour les études sur le comportement conducteur, il semble plus pertinent de les concevoir dans une « psychologiquement réaliste » dans laquelle l'objectif est de donner l'illusion au conducteur qu'il est, au volant de son véhicule, dans une situation routière « plausible ». Cette illusion ne s'appuie pas obligatoirement sur l'utilisation de modèles « physiquement réalistes ». Elle est produite en prenant en compte l'ensemble des capacités et limites des outils de simulation afin d'obtenir des effets « réalistes ». C'est toute l'étude des facteurs humains qui est concerné.

Figure II-16 Simulateur de conduite automobile du LSC.

Dans ce cadre, nous collaborons avec l'INRETS pour la mise en œuvre de tels simulateurs avec une forte contrainte pour la réduction des coûts. Notre contribution se fait sur le volet des interfaces à rendu haptique (volant, pédalier…) thèse de H. Mohellebi (C01-24-[MOH01], C03-19-[ESP03]) avec une étude technique des protocoles de partage de commande entre conducteur et système de braquage autonome par exemple. Le deuxième point concerne l'étude de structure mécanique de restitution de mouvement à bas coût ainsi que leur loi de contrôle (« washout » et « tilt coordination ») à base du signal jerk (dérivée d'accélération), voir aussi la Figure II-16.

Sur le registre de l'enseignement, l'étudiant (ou l'expert) est aujourd'hui submergé par l'information. Il manque de temps et l'ampleur de connaissance à acquérir empêche assez souvent tout effort personnel de réflexion et de synthèse. Cet effet de « saturation » entraîne une mémorisation très fugace de notions jugées cependant essentiels pour réussir et innover. La plupart des connaissances, fautes d'avoir été intégrées d'emblée dans leur contexte, étaient oubliées au moments où elles devenaient utiles (au cours des stages d'ingénieurs maître, ou de DESS en entreprises). Trop de notions sont parfois apprises sans être comprises et, dans nombre des spécialités, un jargon pseudo-scientifique remplace une vision claire des phénomènes mis en œuvre. C'est ainsi qu'il devient urgent de repenser l'enseignement en « 3D » moyennant des supports pédagogiques plus direct et intuitifs. Par exemple, dans le domaine médical, l'entraînement et l'assistance à l'acte chirurgical moyennant des bases de données de modèles virtuels correspondant à des cas cliniques vont permettre à terme une formation plus accomplie des chirurgiens. Nous accordons une attention particulière aux simulateurs interactifs médicaux. A titre d'exemple, nous avons entamé la réalisation d'un simulateur interactif d'accouchement (collaboration avec l'hôpital Robert Debré) Figure II-17.

La fonctionnalité principale des simulateurs interactifs (chirurgicaux, de pilotage, etc.) concerne l'enseignement et ses diverses formes d'apprentissage, de perfectionnement du geste, d'entraînement, etc. Le rendu haptique est utilisé alors pour convoyer des paramètres haptiques tels que la force, le poids, l'inertie… L'apparition de dispositifs à rendu haptique de bureau et la baisse des prix envisagée par une demande croissante rendraient alors possibles leur utilisation et un interfaçage facile avec un ordinateur de façon identique à une souris ou un clavier. Un projet récent développé conjointement entre le Department of mechanical engineering de l'université de l'Ohio et la NASA, centre de Longley a permis de mettre en avant la facilité avec laquelle des étudiants de physique arrivaient à comprendre les

phénomènes physiques tels qu'une force, une inertie, un frottement, les phénomènes magnétiques, la dynamique du mouvement, la raideur… Pour se faire, une interface visuo-haptique interactive permet aux étudiants non seulement de schématiser visuellement mais de « ressentir » par le sens haptique les phénomènes induits par leurs actions. En chimie, certains chercheurs ont développé des logiciels à retour haptique pour l'enseignement des phénomènes d'attractions/répulsions et vibrations au niveau moléculaire. Cependant ces approches ne font au fait que restituer des paramètres physiques qui trouvent facilement une expression en termes de forces.

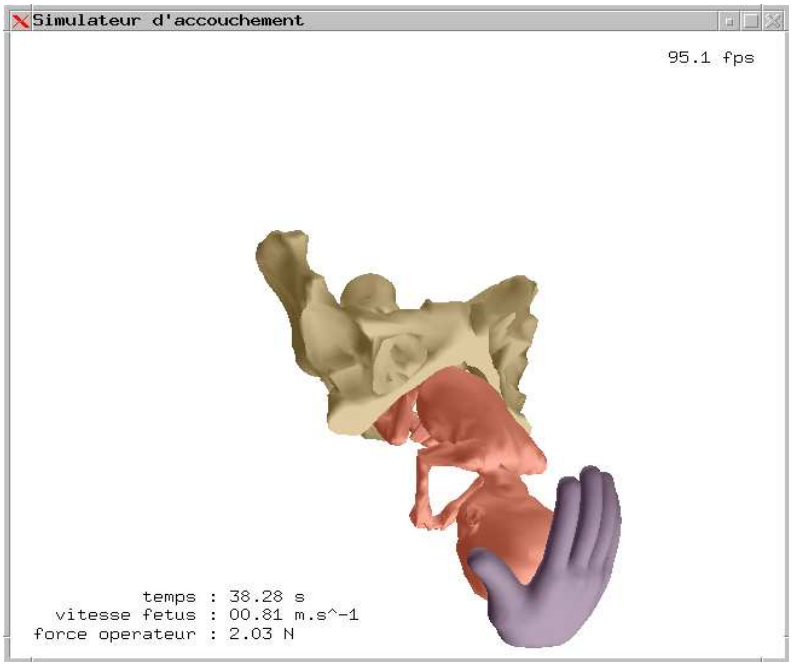

Figure II-17 Apprentissage au dosage des forces durant l'accouchement

L'autre approche consiste à trouver des métaphores haptiques combinées au rendu visuel afin de « schématiser » des phénomènes dont la grandeur physique ne s'exprime pas nécessairement en termes de forces. Ainsi, par exemple il peut être difficile de comprendre, pour certains étudiants, la notion de champs de scalaire en 3D (température dans un volume, champ magnétique dans un actionneur basé sur les forces de Lorenz des champs de vecteur (vitesse du flux d'un fluide dans un volume), les champs de tenseurs, les ondes de chocs et bien d'autres exemples. L'université de Colorado (équipe de D. Lawrence) est très active dans la recherche des métaphores haptiques pouvant être combinés avec le rendu visuel pour l'enseignement dans le but de faciliter la « schématisation » de ces phénomènes. On peut pousser le raisonnement plus loin dans le domaine des mathématiques ou toutes sciences de l'ingénieur nécessitant beaucoup d'aptitudes en terme d'abstraction.

Logiciels déposés : (conjointement avec l'INRIA Rocquencourt)
CONTACT (détection de collision)
CONTACT Toolkit (simulation dynamique)
CONTACT Prototyping (programme de prototypage à caractère industriel)

Participation aux RTP CNRS :
Porteur avec le LIFL et iMAGIS de l'AS « Détection de collision et réponse »
Porteur de l'AS « Interfaces haptiques »

III. MODELISATION ET CONTROLE DES MACHINES COMPLEXES

Thèmes scientifiques

Contrôle de véhicules

mots clés : planification de mouvement, commande réactive, commande robuste, contrôle de véhicules routiers, route automatisée, transport intelligent, contrôle de véhicules aériens,.

Coopération entre entités intelligentes

mots clés : assistance aux personnes dépendantes, robotique semi-autonome, modes de commande, comportement de type humain, capteur intelligent, coopération multirobot, intelligence collective, systèmes multi-agents.

Mécatronique

mots clés : conception généralisée, prototypage virtuel, robot parallèle, analyse modale, corps déformables, microrobotique appliquée à la chirurgie, modélisation de véhicules aériens.

Responsables Etienne Colle
Tarek Hamel (Contrôle de véhicules terrestres et aériens)
Etienne Colle (Coopération entre entités intelligentes)
Madeleine Pascal (Mécatronique)

Participants

Francis Artigue PR U. Evry	(depuis 1992)
Naoufel Azouz MCF U. Evry	(depuis 1996)
Lotfi Béji MCF U. Evry	(depuis 1998)
Laredj Benchikh MCF U. Evry	(depuis 1998)
Yasmina Bestaoui HdR, MCF U. Evry	(depuis 1999)
Etienne Colle PR IUT. Evry	(depuis 1992)
Gilney Damm MCF IUT Evry	(depuis 2002)
Tarek Hamel MCF U. Evry	(depuis 1997) depuis sept. 03, PR IUT Nice
Philippe Hoppenot MCF IUT Evry	(depuis 1998)
Pierre Joli MCF U. Evry	(depuis 1998)
Saïd Mammar PR U. Evry	(depuis 1995)
Madeleine Pascal PR U. Evry	(depuis 1992)
Gilbert Pradel MCF (ENS Cachan)	(détaché du LESiR – ENS-C depuis Sept. 1997)

Doctorants

Djaber Boukraa	10/02	CDD sur contrat
Ahmed Chaïbet	10/02	Bourse sur projet
Sébastien Glaser	10/00	Bourse INRETS
Salim Hima	10/00	Vacataire enseignement
Alexis Mouhingou	10/02	Bourse congolaise
Khiar Naït-Chabane	10/02	ATER
Yves Rybarcsyk	01/00	Allocataire MRT
Khalil Saïdi	10/02	Allocataire MRT
Nicolas Séguy	10/98	CDD Fanuc
Mohamed Trabelsi	10/02	ATER

HdR soutenues

Bestaoui Y.	12/2000	MC U Evry

Mammar S.	11/2001	PU U Evry
Hamel T.	12/2002	PU U Nice

Thèses soutenues

Omar Aït-Aider	12/02	Post Doc LASMEA Clermont Ferrant
Naima Aït-Oufroukh	12/02	Post Doc LSC
Vincent Artigue	11/02	Entreprise
Vahé Baghdassarian	04/01	Entreprise
Abdelhamid Chriette	10/01	depuis sept. 03, MCF à l'EC Nantes

Coopérations et groupes de travail

GDR Automatique
Monash University (Australie) : Contrôle d'engins volant
IRISA : Commande référencée vision
UTC : Contrôle d'hélicoptère à modèle réduit (une thèse en co-encadrement)
LAAS CNRS : Contrôle d'engins volants
INRETS : Systèmes de transport intelligents
GDR STIC Santé : sous-thème Handicap
IFRATH : Institut fédératif d'assistance aux personnes handicapées
Université Rennes II : Laboratoire de psychologie expérimentale
INPC CNRS : Institut de Neurosciences Physiologiques et Cognitives
AFM : Assistance pour les personnes handicapées
CERMA : Robot de nettoyage de conduites d'aérations
Université Simon Frazer (Burnaby, Canada) : Application de la modélisation des structures à la micro-chirurgie.
Hopital Tenon, LERISS, LIIA : Assistance par ordinateur pour le traitement des anévrismes de l'aorte.
CNRS STIC RTP « Handicaps » Animation du réseau thématique pluridisciplinaire
CNRS STIC RTP « Véhicules Intelligents » Membre du comité de pilotage
CNRS STIC RTP « Engins volants » Membre du comité de pilotage

1. Introduction

Le thème « modélisation et contrôle des machines complexes » a la volonté d'aborder le contrôle et modélisation des machines intelligentes dans sa globalité en incluant les aspects automatique, mécanique et humain. Il est complémentaire et transversal des deux autres thèmes et par conséquent fortement transdisciplinaire. Son objectif est la conception et la réalisation de machines en mesure de percevoir et d'agir dans un environnement variable plus ou moins bien connu. Les tâches ou la mission sont réalisées de façon autonome ou en coopération avec un opérateur humain ou, d'autres machines. Afin d'atteindre cet objectif tout en restant pragmatique, la démarche scientifique et technique suivie par les groupes de recherche de ce thème mène en parallèle des développements théoriques et pratiques. Les activités de ce thème favorisent les interactions à l'intérieur du LSC en intégrant ou en initiant certaines recherches des thèmes I et II. Les activités à l'origine essentiellement centrées autour de la robotique, qui constitue toujours pour le laboratoire, au-delà du cadre applicatif, un support de réflexion et une structure d'accueil pour le développement des concepts et d'outils, se sont étendues aux véhicules routiers et aériens. Ces deux dernières tendent à occuper à l'heure actuelle une place prépondérante.

Notre activité se décline suivant trois axes principaux : le contrôle de véhicules routiers et aériens, la coopération entre entités intelligentes, la « mécatronique ». Le contrôle permet à la machine de se localiser, de construire son environnement, de planifier sa tâche et de mettre en œuvre, pour son exécution, des processus décisionnels bouclés sur la tâche et sur l'environnement. La coopération s'intéresse à l'interaction entre cette machine et d'autres entités intelligentes: humains et/ou robots. La coopération humain-machine est étudiée dans le cadre de l'assistance robotisée à des personnes handicapées moteur ou âgées. Les actions du LSC dans le domaine du handicap – co-animation du réseau fédérateur IFRATH (Institut Fédératif de Recherche sur l'Assistance Technique pour les personnes Handicapées), organisation de conférences, participation à la rédaction d'ouvrages– ont abouti à la reconnaissance de ce domaine comme un thème de recherche qui s'est traduite par la création du réseau thématique pluridisciplinaire (RTP) « Handicaps » par le département STIC du CNRS dont le LSC est co-animateur.

La présence de la « mécatronique » dans ce thème s'explique par l'approche globale adoptée pour aborder le contrôle des systèmes complexes notamment incluant les aspects automatique et mécanique. La problématique de la conception, dite « mécatronique », est centrée sur la modélisation des structures articulées déformables, l'identification des paramètres mécaniques (inertiels, frottement), et le contrôle de ces mêmes structures à partir d'un état totalement ou partiellement observé. Cette approche s'est maintenant étendue à la modélisation plus fine des phénomènes physiques mis en jeu dans les véhicules aériens.

2. Contrôle de véhicule terrestres et aériens

Cet axe est divisé en deux sous-thèmes : l'un orienté contrôle de véhicules terrestres, l'autre orienté contrôle des véhicules aériens.

2.1. Contrôle de déplacements des véhicules autonomes

Parmi les facultés nécessaires à l'autonomie d'un véhicule mobile, celle de gérer ses déplacements est primordiale. En d'autres termes, le véhicule doit être capable de percevoir, de modéliser son environnement, de planifier et d'exécuter ses mouvements. C'est principalement autour du dernier sous-problème que se sont articulés nos travaux de recherche pendant les trois premières années au LSC. La majeure partie de notre activité dans ce thème a été consacrée à l'étude du problème de commande des véhicules à roues, et nous a conduit à

développer plusieurs méthodes. Nous nous proposons de les décrire ci-après très succinctement, en suivant l'ordre chronologique.

La difficulté du problème de commande des véhicules mobiles à roues a plusieurs sources. La plus caractéristique est la contrainte non holonome, de roulement sans glissement des roues sur le sol, qui interdit les mouvements latéraux instantanés. Il est apparu que cette contrainte cinématique invalide un grand nombre de techniques classiques d'automatique. En particulier, le théorème de Brockett a montré qu'il n'était pas possible de stabiliser un tel véhicule en une configuration fixe au moyen d'un retour d'état continu.

Le problème de commande a suscité l'intérêt de beaucoup de chercheurs en automatique pendant les quinze dernières années. Il recouvre classiquement trois sous-problèmes : la poursuite de trajectoire, le suivi de chemin et la stabilisation en une configuration fixe. Les deux premiers problèmes ont été résolus à l'aide de techniques classiques de commande non-linéaire mais, dû à la non-existence de retour purement de l'état qui soit continu permettant la stabilisation du véhicule en une configuration fixe, deux grandes approches ont été proposées et consistent à synthétiser des lois de contrôles non-stationnaires ou continues par morceaux.

Une autre source de difficulté provient des phénomènes de dérive qui sont inhérents à l'ensemble des véhicules mobiles. Contrairement aux manipulateurs fixes, pour lesquels il est possible de calculer assez précisément la position de l'organe terminal à partir des mesures angulaires successives, la configuration courante d'un véhicule à roues ne peut pas être déterminée de manière fiable sur la seule base de données provenant de capteurs proprioceptifs. Il est nécessaire de considérer l'information provenant de capteurs extéroceptifs pour localiser le robot. De nombreuses techniques ont été développées à cette fin ; elles se répartissent en deux catégories : les approches probabilistes et les approches ensemblistes et font souvent appel à la fusion de données multi-sensorielles. Dans tous les cas, le résultat donne une estimation plus ou moins précise de la configuration du véhicule et il apparaît nécessaire que les lois de commandes utilisées soient robustes à l'égard de ces erreurs de localisation. C'est principalement là que se situe la majeure partie de nos derniers travaux de recherche dans ce thème. Après avoir étudié la robustesse d'un ensemble de lois de contrôle significatives développées ces dernières années et qui sont obtenues par synthèse de fonctions de Lyapunov, nous avons montré que tout système bouclé dont la stabilité est prouvée par l'intermédiaire d'une fonction de Lyapunov dont la dérivée est semi-définie négative, ne permet pas de résoudre le problème posé.

La réponse proposée et faisant l'originalité de nos travaux, consiste à définir des domaines d'attraction entourant l'objectif visé en élaborant des fonctions de Lyapunov dont la dérivée est définie négative dans le cas nominal. Ceci a été rendu possible via une heuristique consistant en l'utilisation d'une variable auxiliaire tenant compte des modélisations établies pour les véhicules. Sur cette base, nous avons proposé des lois de contrôle originales permettant d'exhiber de telles fonctions de Lyapunov (dans le cadre de poursuite de trajectoire, du suivi de chemin et de la régulation autour d'une configuration fixe) et un algorithme générique d'évaluation de cette précision (en terme de taille et de forme).

Nos derniers travaux dans ce thème concernent l'amélioration des résultats obtenus et la résolution de quelques problèmes théoriques jusqu'alors existants. Il s'agit principalement : de décomposer la tâche assignée au robot en sous-tâches élémentaires. Le principe de la réalisation consiste à suivre une séquence de chemins référencés chacun par rapport à une carte locale. La définition de buts locaux intermédiaires et la réinitialisation de l'incertitude associée à la localisation à chaque nouvelle tâche élémentaire permettent d'atteindre le but

final d'une façon plus précise que lors du suivi d'un unique chemin (ou trajectoire) défini dans la carte globale de l'environnement. Prendre en compte la précision du suivi de chemin ou de trajectoire, si on a une connaissance a priori sur l'imprécision de la localisation, lors de la planification ;
de faire le lien entre l'évitement d'obstacle et la commande par retour d'état.

Le premier de ces trois points a été résolu, de manière pratique, afin d'obtenir de meilleur résultat au niveau expérimental. Les principales publications liées à cette thématique sont (R01-03-[HAM01], R01-04-[HAM01]).

Evolution du thème
Après avoir passé six ans dans ce domaine de recherche, nous avons volontairement arrêté ces activités. Bien entendu, les travaux réalisés sont loin d'être achevés et il reste certains points théoriques à examiner et bien plus de problèmes pratiques à améliorer qu'il n'en a été ici résolu. Toutefois, notre volonté de découvrir d'autres domaines de recherches d'une part et de nous démarquer des laboratoires limitrophes d'autre part, ont fait disparaître la cette thématique du LSC au profit de la modélisation et le contrôle des véhicules routiers et aériens qui sont nos principaux domaines de recherche depuis septembre 1999.

2.2. Dynamique et contrôle-commande des véhicules routiers

La problématique du groupe concerne les dispositifs d'aide à la conduite avec deux actions principales : l'augmentation de la capacité et l'amélioration de la sécurité. L'activité s'est d'abord centrée sur la modélisation et le contrôle latéral automatique. Elle s'est progressivement élargie pour s'articuler autour de trois points essentiels :
- le contrôle latéral et l'évitement de sortie de route ;
- le contrôle longitudinal et l'automatisation basse vitesse ;
- la détection et la correction de défauts

Pour chacune de ces activités, les objectifs du groupe englobent à la fois des travaux de modélisation et de compréhension des phénomènes physiques mis en jeu et des travaux sur les aspects contrôle et synthèse de l'action. Ces recherches sont menées autant que possible en association avec des partenaires des instituts de recherche et des industriels et avec le souci de réaliser des prototypes expérimentaux permettant de valider en pratique les concepts théoriques développés.

2.2.1. Le mode latéral

L'activité sur le contrôle latéral des véhicules comprend donc trois volets principaux :
- le contrôle latéral automatique ;
- l'assistance au contrôle latéral qui contient 2 sous parties :
  - l'assistance au conducteur pour l'aide à la manœuvrabilité et le maintien de cap ;
  - l'assistance en situations limites de perte de trajectoire.

Les activités actuelles s'orientent de plus en plus vers l'assistance active à la conduite en vue d'une meilleure manœuvrabilité du véhicule et d'une assistance en situation limite de perte de trajectoire. Les solutions à rechercher doivent gérer les problèmes de partage des tâches entre l'automate et le conducteur et satisfaire un engagement fort au sein de l'action de recherche sur la conduite sécurisée (PREDIT-ARCOS 2004).

Le contrôle latéral en mode automatique
Les objectifs primaires du contrôle latéral automatisé sont de pouvoir prendre en charge les deux manœuvres principales que sont le maintien de voie et le changement de voie, chacune

de ces manœuvres pouvant se faire en ligne droite ou en courbe. Nous avons proposé une méthodologie de génération automatique du profil de changement de voie à partir d'un simple signal de consigne, en utilisant le formalisme des correcteurs à deux degrés de liberté. Nous nous sommes attachés de plus à imposer le suivi robuste d'un modèle de référence.
L'assistance au contrôle latéral.

La caractérisation des possibilités de partage des actions de conduite avec le conducteur est de première importance pour la réalisation de toute fonction d'assistance. Dans le cas du mode latéral, la réalisation de certaines fonctions nécessite une modification profonde des systèmes de direction.

Les systèmes de direction des véhicules peuvent être classés selon la présence ou pas d'une liaison mécanique entre le volant et le dispositif de direction des pneus, ces derniers sont appelés steer-by-wire et rentrent dans la catégorie des dispositifs x-by-wire. Notre approche consiste à développer le concept du conducteur virtuel, qui est bien approprié aux systèmes où l'humain interagit avec un automate. Un conducteur virtuel est un automate associé au véhicule, dont les entrées sont une ou plusieurs données de capteurs de la physique du véhicule, de l'environnement et du conducteur. Il fournit un angle de braquage des pneus et/ou des couples. Notons que si la sortie est angulaire, alors une boucle interne est nécessaire pour réaliser l'asservissement sur cette valeur angulaire désirée.

Rappelons que le succès des fonctions d'assistance active orientées sécurité dépend largement des performances et de la robustesse des moyens de perception. L'usage des systèmes steer-by-wire nécessite une redéfinition complète du quadruplet (conducteur, conducteur virtuel, contact pneus-chaussée et environnement). Les assistances au contrôle latéral peuvent être classées selon deux grandes catégories : l'aide à la manœuvrabilité et l'aide au maintien de voie. Ces deux catégories sont traitées par le groupe depuis maintenant 2 ans.

L'aide à la manœuvrabilité
On restreint l'équipement en capteurs aux seuls capteurs proprioceptifs. En dehors de l'exemple extrême précédent, les objectifs de la commande peuvent aussi concerner :
- le rejet des forces et perturbations pouvant créer des couples de lacet ou de roulis intempestifs. Le correcteur doit donc agir très rapidement, et ce, pendant le temps de réaction du conducteur.
- l'amélioration de l'amortissement des réponses du véhicule aux sollicitations du conducteur en vitesse de lacet et de roulis. En effet, comme cela a été souligné dans le chapitre précédent, l'augmentation de la vitesse engendre toujours une réduction de l'amortissement des pôles.

Les assistances en lacet et en roulis peuvent être envisagées ensemble ou séparément. L'assistance en roulis est tout aussi importante que l'assistance en lacet. Son intérêt devient capital quand il s'agit de véhicules à centre de gravité élevé et à charge mobile tels que les poids lourds transportant les bestiaux.

Nous avons proposé un formalisme général basé sur le concept des correcteurs à deux degrés de liberté, il permet de traiter simultanément les deux objectifs de commande. On impose aussi que le véhicule contrôlé présente un régime permanent (au-delà du temps de réaction du conducteur) identique à celui du véhicule conventionnel (sans contrôle). Ces contraintes sont aussi liées aux problèmes de l'interaction avec le conducteur.

L'aide au maintien de voie
Les pertes de trajectoire sont en cause dans 30% des accidents, principalement sur le réseau routier national et départemental français ainsi que dans les zones où les règles de construction des routes ne sont pas respectées (contraintes économiques, géotechniques, emprise). Aujourd'hui les constructeurs et équipementiers automobiles travaillent sur des systèmes d'aide à la conduite améliorant principalement la coopération véhicule-conducteur. Par contre, ils semblent plus réticents à développer des systèmes faisant explicitement intervenir l'infrastructure.

Pour fournir une aide fiable au conducteur qui améliore la sécurité, on doit s'intéresser à la fois à la dynamique des véhicules et aux origines mécaniques des pertes de trajectoire. Dans un premier temps, cette assistance peut être simplement informative, sa fonction principale est de retourner une quantification des risques encourus par le véhicule compte tenu du comportement du conducteur, de l'état de la portion de chaussée considérée et de la dynamique du véhicule.

La mise au point d'une telle aide nécessite de la prédiction-anticipation et passe nécessairement par une étape de modélisation du comportement dynamique du véhicule. Cette modélisation est représentative des effets intervenant dans les pertes de trajectoire et utilisera des informations directement mesurées ou communiquées par l'infrastructure.

2.2.2. Méthodes développées et résultats pour le contrôle latéral

Modélisation et commande robuste Dans un premier temps, il nous a fallu recenser les études mondiales dans le domaine. Nous avons aussi mis un effort important sur la modélisation non linéaire et linéaire des véhicules. Les modèles développés permettent de reproduire les mouvements de lacet et de roulis du véhicule ainsi que des différents contacts roues-sol.

Dans un deuxième temps, les méthodes de contrôle robuste développées et les résultats obtenus dans le cas du contrôle automatisé ont été bien accueillis par la communauté scientifique. Nous avons donc choisi de renforcer nos recherches sur ce thème en privilégiant les commandes robustes de type H_∞ et multi-critères par inégalités matricielles linéaires (LMI). L'utilisation de cet outil a permis d'intégrer de manière simple les différents objectifs contradictoires de performance et de confort pour le conducteur. Les résultats obtenus ont abouti à plusieurs communications dans des congrès internationaux.

Les approches de commande robuste précédemment développées ont été étendues pour le contrôle des véhicules à remorque. Ce résultat a été amélioré et élargi au contrôle intégré. Par ailleurs la thématique de recherche sur les véhicules lourds et leurs besoins en assistance est renforcée cette année par la participation au thème poids lourd du projet PREDIT ARCOS.

Commande par séquencement de gains
En opposition avec les méthodes classiques, nous avons montré qu'un correcteur unique peut difficilement remplir l'ensemble des objectifs de performance et de robustesse imposés sur la totalité du domaine de fonctionnement du véhicule. Or plusieurs paramètres du véhicule sont mesurables ou peuvent être estimés. Ces paramètres peuvent donc être utilisés pour adapter ou séquencer plusieurs correcteurs synthétisés pour différentes valeurs de ces paramètres. Il est clair que cette approche engendre un gain important en performance et en stabilité. Nos travaux combinent les techniques de contrôle H_∞ par facteurs premiers et les LMI. Nous avons proposé une méthode de séquencement de correcteur en fonction de la vitesse qui garantit,

sous certaines conditions réalistes, l'amélioration des performances et la stabilité dans l'ensemble du domaine opératoire. Sur ces points, une thèse a été soutenue le 06 avril 2001.

Correction à deux degrés de liberté
Enfin, nous avons aussi proposé de décomposer le contrôle latéral d'un véhicule sous forme d'un problème de rejet de perturbation pour le suivi de voie et d'un problème de poursuite pour le changement de voie. Cette décomposition fait appel au concept de contrôle à deux degrés de liberté avec suivi de modèle de référence. Il est alors possible de synthétiser un correcteur scindé en deux parties permettant le suivi de modèle de référence robuste aux différentes variations de paramètres. Nous avons alors remarqué que ce concept peut aussi bien être utilisé dans le cas de l'automatisation complète du mode latéral que pour l'assistance à la conduite où un couple additionnel permet de donner au conducteur une impression de véhicule toujours sûr. Pour le cas de l'automatisation complète, cette approche a été utilisée avec succès. Le cas de l'assistance à la conduite constitue maintenant le cœur de notre activité. Les résultats obtenus sont très encourageants pour le traitement des problèmes de manœuvrabilité et de sorties de voies. Ils ont été publiés. Les travaux de thèse de Sébastien Glaser s'inscrivent aussi dans cette problématique. Ces travaux portent plus particulièrement sur la caractérisation des pertes de trajectoires et les méthodes d'informations au conducteur et de contrôle permettant de les éviter. L'approche explorée intègre les trois acteurs de la conduite automobile ainsi que leurs interactions.

Détection et correction de défauts
L'axe de recherche privilégié est basé sur la synthèse de lois de commandes robustes et n'a de sens que si ces lois sont tolérantes aux défauts. Le terme "tolérante" doit être pris au sens où les véhicules doivent disposer d'un mode de fonctionnement dégradé ou non, permettant la poursuite des objectifs fixés (suivi de voie, maintien de la distance de sécurité, du temps de parcours) et dans le pire des cas, permettre un arrêt en sécurité. Il est donc nécessaire d'établir une procédure de contrôle / commande sûre de fonctionnement, c'est-à-dire qu'il faut pouvoir détecter, localiser le ou les défauts et reconfigurer la loi de commande suite au(x) défaut(s) réellement présent(s) sur le système.

Ce thème de recherche est mené en collaboration avec M. Damien Koenig chercheur à l'INPG. Nous avons à ce jour développé deux approches compétitives :
- une première approche est basée sur l'estimation d'état par observateurs à entrées inconnues d'ordre réduit en vue de générer des résidus ;
- une seconde approche réalise l'intégration du contrôle ainsi que la détection et l'isolation des défauts. Dans ce cas le correcteur est synthétisé sous la triple contrainte de performance de la loi de commande, de l'estimation des défauts et de l'isolation.

Nous renforçons actuellement nos réflexions communes sur ce thème avec un doctorant sur l'application de ces méthodes aux systèmes singuliers et aux systèmes non-linéaires.

Développements pratiques
Les développements pratiques sont réalisés en collaboration avec le LIVIC. Le véhicule d'essai est un monospace de type Renault Scenic, doté d'une boîte de vitesses automatique à 4 rapports. Les différents modules de l'application (Capteurs, commande, interface et sécurité) ainsi que l'actionneur de commande au volant et les capteurs proprioceptifs sont assemblés autour de l'unité centrale d'un PC bureautique.

Les usages de la plate-forme sont multiples, ils concernent à la fois la validation de modèles véhicules, l'étude de la précision de la localisation, le test des lois de commande et l'étude de scénarios d'assistance.

2.2.3. Contrôle longitudinal et Automatisation basse vitesse

Ces recherches initiées en collaboration avec le Laboratoire de Robotique de Versailles ont pour objectif de démontrer, prototype à l'appui, la faisabilité d'un concept d'automatisation basse vitesse. Ces travaux constituent le thème de recherche de Mademoiselle Lydie Nouvelière, doctorante, dont la thèse a été soutenue en décembre 2002.

Aujourd'hui, différents systèmes d'aide au contrôle longitudinal commencent à apparaître chez certains constructeurs. Cependant, les systèmes proposés ne sont que des systèmes de confort et peuvent difficilement réaliser la fonction de contrôle longitudinal en automatisation basse vitesse. En effet, ces systèmes présentent certaines limitations pénalisantes :
- vitesse minimale de fonctionnement élevée de l'ordre de 60Km/h ;
- temps inter-véhiculaire supérieur à la seconde ;
- limitation de la décélération maximale à 0.2g (sauf en arrêt d'urgence).

L'originalité de nos travaux réside dans le fait qu'on décide de prendre le problème dans un ordre qui ne correspond pas à la démarche habituelle des constructeurs automobiles. Dans un premier temps, on cherche à qualifier les différentes situations de congestion afin de modéliser le véhicule et son environnement. On synthétise alors des lois de commande aussi bien longitudinale que latérale permettant l'automatisation complète des mouvements du véhicule. Finalement des tests de faisabilité sont menés sur un prototype.

Analyse de la congestion
De manière à obtenir des informations sur la congestion, nous avons analysé le comportement des principales variables telles que la distance inter-véhiculaire, la vitesse du véhicule, le temps inter-véhiculaire intervenant dans l'évolution d'une congestion. Dans le but de décrire cette situation particulière, nous avons réalisé plusieurs séries de mesures sur les autoroutes péri-urbaines parisiennes. Ces campagnes de mesures nous renseignent donc sur la façon dont les automobilistes gèrent la distance inter-véhiculaire ainsi que le temps inter-véhiculaire en fonction de leur vitesse. A partir de ces données réelles, des études, aussi bien au niveau macroscopique que microscopique, ont été réalisées.

Ayant à notre disposition ce modèle paramétrique de la distance inter-véhiculaire, nous avons utilisé les données réelles issues des campagnes de mesures pour estimer les paramètres de manière à connaître leur comportement (variation en fonction du temps ou non, variation en fonction des conditions de circulation...). Le modèle étant fortement non linéaire à paramètres variants, nous sommes orienté vers des méthodes non linéaires d'identification et d'estimation.

Modélisation et contrôle longitudinal
La modélisation et le contrôle longitudinal constituent le second volet de cette recherche. Les modèles du mode longitudinal que l'on peut trouver dans la littérature sont soit trop simplistes soit très complexes. Dans le premier cas les principaux phénomènes transitoires qui seront forcément présents dans une situation de congestion sont rarement reproduits; dans le deuxième cas les modèles font apparaître des paramètres que l'on peut difficilement fixer. Dans un premier temps, nous avons développé un modèle de simulation de la chaîne moteur (voir figure ci-dessous) pour bien comprendre le mécanisme de transmission de puissance. Ce module a été combiné à la dynamique du véhicule développée au LRV et permet de déduire des modèles simplifiés qui conservent les phénomènes les plus représentatifs dans les

conditions de congestion. L'ensemble constitue aussi un modèle complet de validation de lois de contrôle.

Après avoir obtenu un modèle satisfaisant pour le mode longitudinal, les phénomènes mis en jeu étant fortement non-linéaires, nous avons privilégié des approches de commande optimales ainsi que les méthodes de contrôle par modes glissants d'ordre 2 qui offrent une bonne robustesse et de bonnes performances vis à vis des non-linéarités. Dans l'optique de l'automatisation basse-vitesse, nous nous sommes intéressés aux aspects :

1- commande d'un véhicule seul ;
2- commande d'un flot de véhicules.

C'est la méthode par modes glissants d'ordre 2 a été intégrée et validée sur la base de plusieurs scénarios dans le simulateur développé. Elle a été par la suite implantée sur le véhicule prototype du LIVIC.

2.2.4. Les systèmes de transport intelligent / la route automatisée

Ce projet a pour cadre une collaboration entre plusieurs centres de recherche : l'INRETS, le LCPC, le LSC, l'ENSMP, l'INRIA et l'ENST. L'objectif est la mise en oeuvre de systèmes d'aide à la conduite et la création de concepts de route automatisée. Depuis 1995, des réflexions approfondies et des évaluations a priori sont menées sur le thème de la route automatisée. Ceci a permis de dégager des thèmes centraux de recherche sur lesquels la France pourrait prendre l'initiative sur le plan européen. Un rapport concernant l'état de l'art et les réflexions relatifs à la route automatisée a été réalisé par notre équipe pour le compte de la DRAST. Ce rapport très apprécié des lecteurs a été édité sous forme de livre.

Le groupe de recherche mène également des réflexions sur la conception de scénarios pour des sites appropriés ainsi que l'évaluation de leur faisabilité technique mais aussi économique. Des études en simulation permettent aussi de démontrer les gains en capacité et en sécurité. Actuellement quatre scénarios ont été définis dans les communications. Ces scénarios sont :

- l'autoroute automatique péri-urbaine (pour les réseaux de type A86 ou boulevard périphérique) ;
- l'automatisation basse vitesse ;
- l'autoroute poids lourds ;
- les déplacements de proximité en mode guidé.

Sur la base de modèles simples, nous avons montré que l'automatisation de la conduite permet des gains sensibles en capacité et sécurité. Outre notre participation à ce groupe de réflexion, les recherches sur ce thème concernent l'établissement de modèles et de stratégies d'optimisation permettant l'évaluation de scénarios. Plus particulièrement, nous avons développé une procédure d'optimisation des entrées et des sorties d'un réseau automatisé permettant de minimiser les pertes de capacités aux échangeurs.

Nous traitons maintenant depuis un an le problème de l'automatisation des poids lourds dans le cadre du contrat RAPL.

2.3. Contrôle de véhicules aériens

2.3.1. Pilotage automatique d'engins volants à voilures tournantes

Après avoir traité les problèmes de contrôle de véhicules mobile à roues en général, nous nous sommes lancés, depuis quatre ans déjà, dans la commande de systèmes plus complexes en l'occurrence la commande des engins volants. En effet, les avions, les dirigeables et les hélicoptères sont des systèmes très peu abordés dans la littérature et très peu de résultats en commande non linéaire ont été apportés. La raison principale expliquant cela est qu'une représentation simple de la dynamique du comportement complet d'un hélicoptère, par exemple, comportant tous les modes de vol n'existe pas car la dynamique du système résulte principalement de la nature différente des diverses forces aérodynamiques dans les différentes conditions de vol. Par ailleurs, une approche raisonnable du problème du contrôle consiste à considérer chaque condition de vol comme un problème à part. La dynamique d'un hélicoptère pour des manœuvres proches du vol plané est probablement la plus simple.

Plusieurs raisons expliquent cela : les forces aérodynamiques dues à la vitesse du vent relatif sont négligeables, les angles de battement qui produisent les moments de rotation pour le tangage et le roulis sont des fonctions algébriques des angles du plateau cyclique. Ceci n'est pas vrai en présence de vent relatif. L'étude du système pour des manœuvres proches du vol plané est importante pour des missions telles que le vol stationnaire, le suivi de trajectoire lente, le décollage ou encore l'atterrissage. Dans ce nouveau thème, nous avons proposé quelques résultats originaux. Ils sont décrits dans la liste suivante :

- Nous avons élaboré un modèle simplifié de la dynamique d'hélicoptères de petites tailles pour des manœuvres proches du vol plané. Dans cette approche de modélisation, nous avons considéré la dynamique du système comme étant la combinaison de la dynamique du rotor et de la dynamique du corps rigide associé au fuselage. Nous avons présenté, également, une loi de contrôle non-linéaire basée sur une extension dynamique du modèle approximatif (en négligeant les petites forces dans la dynamique de translation, appelés couramment *Small body forces*) et nous avons montré que, malgré la présence permanente des Small body forces, la stabilité peut toujours être assurée. Ces résultats ont été testés et validés en simulation sur la base de données que le Laboratoire ETH de Zürich nous a fournie. La principale référence liée à ces résultats est (L01-02-[MAH01]).

- Nous avons mis en place une stratégie de contrôle adaptative basée sur les techniques du *Backstepping*. Comme nous l'avons indiqué plus haut, l'une des préoccupations de tels engins est la détermination précise des forces aérodynamiques associées aux pales des rotors. Nous avons montré que, si on utilise directement la commande du couple moteur (plutôt que celle du pas collectif dans le but de commander le pas collectif associé au rotor principal), il est possible de décrire une forme de loi de contrôle adaptative permettant de contrôler la position de l'hélicoptère et par la même occasion d'identifier en ligne les forces aérodynamiques (C00-07-[CHR00]). Ce résultat n'était qu'une première étape, nous l'avons étendu au cas où la dynamique de rotation serait prise en compte. Bien sûr, les résultats ont été validés en simulation (C00-18-[MAH00] et un article de revue R01-11-[MAH01]).

- - Nous avons élaboré une nouvelle stratégie de contrôle permettant la stabilisation d'un hélicoptère autour d'un point fixe ou autour d'une trajectoire de référence quelle que soit la taille des *Small body forces*. La technique de contrôle est différente de celles proposées

dans la littérature dans le sens où notre technique se place entre deux catégories de commande bien connues à savoir les techniques d'extension et de réduction dynamique. Son avantage réside dans le fait qu'elle est robuste par rapport aux erreurs de mesure en comparaison avec les techniques de réduction dynamique ; elle présente une dynamique rapide en comparaison avec la technique de l'extension dynamique. En stabilisant la vitesse du lacet au lieu de la stabilisation de l'angle de lacet, on évite totalement les problèmes liés aux *Small Body Forces*. Ce résultat a été testé et validé en simulation sur les mêmes données paramétriques fournies par le Laboratoire ETH de Zürich (C01-10-[DZU01])

- Nous avons développé une technique de régulation des engins volants, en général, en se basant sur la représentation des équations de la dynamique dans le repère mobile. Ce travail a été motivé par le fait qu'il importe moins de contrôler l'attitude de l'engin par rapport au repère inertiel que de réguler la distance de l'engin par rapport à l'objectif. Cette motivation se traduit également en termes de coût par le fait que les capteurs inertiels (GPS, Campas...) sont excessivement chers en comparaison avec les capteurs non-inertiels (gyros, accéléromètres, télémètres, caméra…). Dans notre démarche, nous avons montré que la structure passive des équations de la dynamique, nécessaire à l'élaboration d'une loi de contrôle basée sur les techniques du *Bakstepping* est toujours conservée. Le résultat a été validé en simulation sur le modèle dynamique que nous avons élaboré pour l'hélicoptère de petite taille du Laboratoire Heudiasyc de l'UTC (C00-19-[MAH00])

- Le dernier résultat (pour le moment) concerne la commande référencée vision pour les systèmes dynamiques en général et sous-actionnés en général. Nous considérons ce résultat comme une grande contribution dans le domaine de la commande référencée vision. Notre théorie est complètement différente de celles existantes dans la littérature. En effet, les méthodes classiques d'asservissement visuel nécessitent une connaissance parfaite de la cible, supposent que le motif visuel ne dégénère pas au cours de la réalisation de la tâche et enfin, que le nombre de degrés de mobilité restreint par la tâche, à réaliser, soit égal au nombre d'actionneur du robot disponible pour la réalisation de la tâche. Elle nécessite également un difféomorphisme entre l'espace de la tâche et l'espace des degrés de liberté du système considéré. Les utilisateurs de ces méthodes tendent principalement à exploiter de façon explicite ce difféomorphisme qui se traduit par l'utilisation de la matrice Jacobienne dans la définition de la commande. Des lois de contrôle à retour d'état statique (ou commande cinématique) sont alors développées afin de réguler l'erreur, spécifiée directement dans l'espace image (ou espace de la tâche), à zéro. L'outil privilégié permettant de relier les études de la commande cinématique avec les études de la commande dynamique est la théorie des perturbations singulières applicable au cas de commande à grands gains. Des succès considérables ont été obtenus en utilisant ces techniques classiques dans le cas de robots mobiles à roues ou manipulateurs. Toutefois, malgré les résultats obtenus jusqu'à ce jour, ceux-ci ne restent applicables que sur des systèmes complètement actionnés et caractérisés par des dynamiques lentes. Les systèmes plus complexes tels que les engins volants ou les sous-marins sont sous-actionnés et caractérisés par des dynamiques très fortes et pour lesquelles les techniques classiques de l'asservissement visuel ne peuvent être appliquées. En effet, le sous-actionnement du système fait que les tâches de positionnement, par exemple, sont impossibles à réaliser. La raison principale expliquant cela est l'impossibilité de passage de la commande cinématique à la commande dynamique d'une part, et la non-existence de difféomorphisme liant la tâche et les degrés de liberté de l'engin, d'autre part. En ce qui concerne notre résultat, il s'agit d'une technique d'asservissement visuel permettant de commander les systèmes sous-actionnés en général et les engins volants en particulier. La

stratégie consiste en la création d'un difféomorphisme entre la position du véhicule et l'image du motif visuel et la création d'une structure passive de la dynamique dans cet espace. En supposant que des informations non-inertielles (mesures gyroscopiques et la mesure de la direction de la gravité, par exemple) sont disponibles, nous avons mis en place deux algorithmes généraux de commande : l'un pour la commande des systèmes complètement actionnés prenant en compte toute la dynamique du système (C00-09-[HAM00]) ; le second destiné à la commande des systèmes sous-actionnés. Ce dernier a été testé et validé sur le modèle dynamique de l'hélicoptère de Heudiasyc-UTC (C00-10-[HAM00]) Le regroupement des deux résultats a fait l'objet d'une publication dans le Tutorial T1 de ICRA'2000 et d'un papier long dans Transactions on Robotics and Automation IEEE (R02-02-[HAM02]).

Tout récemment nous avons proposé des extensions à cette technique. Il s'agit principalement de la :

- Proposition d'une commande d'un robot manipulateur assurant que le motif ne sort pas de l'espace image. Cette commande a été expérimentée sur le robot 6 axes de l'IRISA/Rennes et publiée dans ICRA'2002 (C02-30-[MAH02]).
- Extension du résultat (R02-02-[HAM02]), au cas où le modèle complet (prise en compte du phénomène de la dynamique des zéros) est utilisé. L'idée principale de cette contribution est la détermination de la position optimale de la caméra par rapport au centre de masse qui minimise les effets de la dynamique des zéros. Ce résultat a fait l'objet d'une communication (C01-09-[CHR01]) et d'un article de revue.
- Proposition d'une commande de poursuite de trajectoire référencée par rapport à une cible immobile. Cette technique permettra à l'engin de réaliser la tâche qui lui a été assignée tout en gardant le motif visuel dans l'espace image. Cette idée a été développée pour un drone à 4 rotors et a fait l'objet d'une publication (C02-27-[HAM]).
- Extension de la stratégie de contrôle initiale (R02-02-[HAM02]) au suivi de lignes droites. Nous avons montré que la structure passive, nécessaire à l'élaboration de lois de contrôle basées sur les techniques du *backstepping*, est conservée si et seulement si les coordonnées *pluckeriennes* des droites sont utilisées. Une loi de contrôle a été ainsi développée, puis validée en simulation (C01-21-[MAH01]).

2.3.2. Pilotage automatique de dirigeables souples

Le LSC est l'un des premiers laboratoires en France à s'être investi dans l'étude des dirigeables automatisés de faible dimension. L'objectif est de développer des méthodes et algorithmes permettant d'effectuer de manière autonome des vols à faible altitude, pour mener à bien des missions de surveillance ou d'exploration. La plupart des robots aériens sont des systèmes sous-actionnés (le nombre d'entrées de commande est inférieur au nombre de degrés de liberté) et leur zone d'évolution peut être grande. En conséquence, les robots aériens ne se commandent pas et ne se localisent pas de la même façon que les manipulateurs. Ce problème n'a à notre connaissance été que très peu abordé dans la littérature.

Modélisation

En terme de modélisation, un dirigeable se distingue d'autres types d'engins aériens du fait de :
- l'important volume d'air déplacé qui fait que sa masse et ses moments d'inertie sont sensiblement plus importants que ceux dus à la masse physique du véhicule lui-même ;
la masse du dirigeable qui varie en fonction de l'altitude et de l'état des ballonnets d'air dans l'enveloppe jouant un rôle similaire au ballast des sous-marins. On suppose toutefois que ces variations sont lentes ;

- la position du centre de gravité qui est variable en fonction des conditions de vol.

Le dirigeable du LSC : AS200 est doté de propulseurs vectorisés permettant de contrôler la direction et la force de poussée afin d'effectuer un vol stationnaire ou de reculer. Cette particularité n'est pas sans conséquence sur la modélisation et la commande puisqu'elle va induire des modes de vol - vectorisés ou avec portance - ayant des comportements et des entrées de commande différents. Les premières études concernent principalement la recherche d'un modèle dynamique incluant les principaux phénomènes aérodynamiques pour le vol aérostatique et tenant compte du type d'actionnement. En effet, selon le mode de propulsion, les modèles ont des propriétés différentes. On aboutit en général à des systèmes sous-actionnés. Les premiers résultats de ce travail ont fait l'objet d'une publication invitée Le modèle dynamique que nous proposons est exprimé dans le repère du véhicule, et son origine se trouve au centre de gravité. Les équations des forces longitudinale et verticale et du moment de tangage sont reliées. La force latérale est égale à une constante près au moment de lacet. Le moment de roulis n'est pas actionné. Nous nous occupons d'intégrer les déformations du dirigeable dans la modélisation dynamique du dirigeable en considérant des degrés de liberté supplémentaires non actionnés, pour les différents modes de vol et de propulsion – actionnement (C02-14-[AZO02]). L'identification des paramètres de ce système fait également partie de nos préoccupations.

Génération de trajectoires
Nous nous intéressons à la génération de trajectoires équilibrantes et de trajectoires généralisées selon un critère temps-énergie (R01-01-[BES01]). Nous avons d'abord étudié les spirales à rayon et pas constants, ensuite nous avons généralisé notre approche en considérant des spirales à rayon et pas variant de façon polynomiale par rapport à la variable curviligne. Le modèle dynamique est utilisé pour un dirigeable reliant certaines situations données dans l'espace. Les équations de mouvement du dirigeable sont représentées par des équations différentielles qui sous certaines conditions, présentent des conditions de non holonomie sur l'accélération. De plus, les limitations technologiques dues à l'ensemble propulsion-actionnement doivent être prises en compte sous forme de contraintes sur les variables dynamiques du dirigeable. Les premières trajectoires étudiées sont les trajectoires dites équilibrantes, pour lesquelles les accélérations dans l'espace local, sont nulles. Dans le cas d'un robot mobile terrestre, les trajectoires équilibrantes se résument à des droites ou des arcs de cercle. Pour les mouvements en 3D, les trajectoires équilibrantes, en général, sont des hélices à rayon et pas constants. Les trajectoires peuvent être calculées dans le repère inertiel ou dans celui de Frénet – Serret, ce qui permet de caractériser la courbure et la torsion de la trajectoire de référence. On peut ensuite calculer les paramètres nécessaires à ce type de trajectoires en faisant appel aux équations de mouvement (C03-12-[BES03],C03-24-[HIM03]).

Suivi de trajectoires
Un autre objectif de cette recherche est la conception d'algorithmes de commande prenant en compte la spécificité du dirigeable du laboratoire. En effet, il s'agit d'un système sous-actionné pour lequel les commandes classiques ne sont pas opérationnelles. Une commande non linéaire basée sur la technique de linéarisation entrée – sortie a été utilisée pour le suivi de trajectoires d'un dirigeable volant à altitude très haute et constante. Le déplacement du véhicule a lieu dans un plan. Un point situé à l'avant du dirigeable peut suivre une trajectoire. Par ailleurs, nous avons analysé l'application de la commande dynamique avec un PID à gains variables pour le suivi de trajectoires d'un dirigeable dans le plan. En effet, en phase neutre, la flottabilité annule l'effet de la gravité et le vol est plan. En 3D, notre étude sur les commandes instationnaires en est encore à ses débuts. Nous avons développé une technique de stabilisation de cet engin volant, autour d'une situation donnée, en utilisant une commande instationnaire et en nous basant sur la représentation des équations de la dynamique dans le

repère mobile (C02-15-[BEJ02], C03-08-[BEJ03]). Une méthode de suivi de trajectoires est également étudiée. Une partie de ce travail fait l'objet d'une convention en cours de signature avec L'Ecole Polytechnique de Tunis (Professeur Azgal Abichou).

3. Coopération entre entités intelligentes

L'assistance technique pour les personnes dépendantes, handicapées ou âgées, est une activité en pleine évolution et en pleine croissante. On assiste à une prise de conscience de la nécessité de développer la recherche dans ce domaine qu'on peut expliquer notamment par l'émergence de besoins dus au vieillissement de la population. L' implication du LSC dans ce domaine, outre ses activités de recherche, a pour objectifs de fédérer au niveau national l'activité des acteurs très dispersés de la recherche et aussi de faciliter les interactions avec des industriels, généralement de taille modeste, et les réseaux d'utilisateurs. Ceci se traduit par la co-animation du réseau fédérateur IFRATH, GIS actif dont l'activité a consisté en réunions thématiques, en organisation de conférences, en rédaction de livres, par la prise en charge de l'organisation de conférences Ce travail qui s'est inscrit dans la durée a abouti à la reconnaissance de ce domaine comme un thème de recherche par la création par le département STIC du CNRS du réseau thématique pluridisciplinaire RTP « Handicaps » dont le LSC est co-animateur l'IRIT de Toulouse.

A partir de 1994, le LSC a repris une activité dans le domaine du handicap –à savoir le développement de la téléthèse Spartacus fin des années 80– en s'intéressant aux systèmes d'assistance robotisés semi-autonomes. Ce domaine qui fait partie intégrante de la robotique de service, s'articule autour de trois axes de recherche : capteurs intelligents pour la robotique de service, robotique semi-autonome d'assistance, coopération entre entités intelligentes. L'équipe de recherche est composée d'un professeur, deux maîtres de conférences et de quatre doctorants. Le résumé suivant précise les axes traités et leurs interactions.

Le domaine applicatif concerne l'assistance robotisée aux personnes dépendantes. Notre approche s'appuie sur le concept d'assistant semi-autonome, c'est à dire qui possède des capacités d'autonomie et de communication avec son environnement et notamment l'utilisateur qu'il a pour rôle d'assister. L'autonomie d'un robot est dépendante de ces capacités notamment perceptives. On rencontre ici un premier verrou. Pour rendre le système d'assistance suffisamment autonome mais abordable financièrement, on ne peut utiliser les solutions appliquées dans le cadre de la robotique industrielle. Il faut donc développer des composants perceptifs adaptés en terme de coût et de performances au domaine de l'assistance. C'est l'objet du thème « capteurs intelligents ». Le thème « robotique » a pour but de développer les fonctions d'autonomie. Le thème « coopération homme machine » vise à impliquer l'utilisateur dans le service que lui rend le robot, pour deux raisons. La première est de réduire la complexité de la machine en profitant des compétences de la personne. La deuxième est due à une condition fixée par le corps médical qui veut que la personne reste la plus active possible. Le dernier thème envisage la coopération de plusieurs robots pour cette assistance à l'aide d'une approche multi-agent.

3.1. Capteurs intelligents

La robotique de service ne peut se développer qu'à la condition que les produits commercialisés répondent à un besoin donné tout en restant dans des limites financièrement acceptables. Certaines fonctions, nécessaires à l'autonomie du robot, doivent être repensées pour respecter cette contrainte forte. C'est notamment le cas de la fonction perception. Dans le cadre de la robotique mobile, qui est le domaine d'application de ce thème, la perception joue

plusieurs rôles. En effet, elle intervient à différents niveaux du déplacement : de la navigation avec évitement d'obstacles à la localisation en passant par la recherche ou le suivi de cibles.

L'éventail de compétences demandées ne peut être assuré que par un système de perception présentant plusieurs modes de fonctionnement, chacun bien adapté au service à rendre. Les travaux s'étant recentrés depuis quelques années sur la technologie ultrasonore, seul cet aspect sera développé.

3.1.1. Généralités

Le projet « *système ultrasonore multimodal* » (C02-06-[AIT02], C02-07-[AIT02]), a pour objectif le développement d'un système présentant plusieurs modes de fonctionnement utilisant la technologie ultrasonore. Cette dernière offre l'avantage d'être une technologie bon marché tant au niveau des composants que des moyens de traitement. En effet les caractéristiques du signal ultrasonore n'imposent pas des contraintes temps réel requérant une informatique de traitement spécifique. Les modes de fonctionnement du système de perception qui découlent des services attendus par le robot, sont a priori les suivants : *détection de la présence* d'objets pour l'évitement d'obstacles, *balayage avec une précision variable* pour le relevé d'environnement, *reconnaissance de cibles* pour la localisation, *reconnaissance de cibles* pour le suivi. Les travaux ont été centrés autour de 4 points permettant de mettre en place les modes de fonctionnement énumérés précédemment :

- la détermination des modèles pertinents mis en jeu dans le système ;
- l'acquisition et le prétraitement des signaux ultrasonores permettant l'extraction de paramètre pertinents par des techniques issues du traitement de signal ;
- l'interprétation sémantique de l'environnement en utilisant des méthodes de traitement de données ;
- les échanges entre le module de perception et une entité extérieure telle que le robot.

En ce qui concerne la réalisation, nous avons adopté la tendance actuelle qui consiste à déporter des traitements, de plus en plus complexes, au niveau du capteur. Ce choix pose des problèmes de traitement temps réel et d'architecture locale des moyens de calcul. La solution que nous proposons est une architecture multiprocesseur à base de circuits dédiés (DSP TMS320C50) et basé sur un réseau de terrain (CAN). Après validation des algorithmes écrits en MATLAB, ceux-ci sont ensuite implantés sur la structure d'exécution DSP.

3.1.2. Travaux actuels

La première étape a été consacrée au développement des moyens de mesures de la distance de vol, de l'orientation et de la distance entre la cible et le système multicapteur. Une évaluation des performances de ces moyens de mesures en termes de précision, de complexité des méthodes, de leurs limites a été validée par des mesures expérimentales. La deuxième étape utilise des méthodes de classification pour reconnaître des primitives ou des objets de l'environnement. Différentes méthodes ont été appliquées et comparées en terme de taux de classification et de temps de traitement. Ce dernier a été évalué en nombre d'opérations. La base de données, que nous avons conçue, est constituée d'objets simples et complexes –par exemple une chaise, un bras manipulateur– et partiellement occultés.

Les objets ne sont reconnus qu'à partir d'une seule mesure et non pas d'un relevé comportant plusieurs mesures successives. Les résultats présentés dans la thèse de N. Aït Oufroukh ont montré que le dispositif multiaural de la Figure III-1 constitué de capteurs ultrasonores considérés comme frustes, permet la reconnaissance d'un environnement d'intérieur constitué d'objets simples ou complexes [AIT02.Thèse].

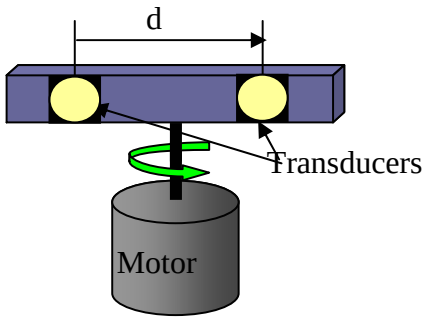

Figure III-1 Dispositif ultrasonore multiaural.

En premier lieu, nous avons effectué une extraction d'un certain nombre de paramètres censés caractériser la signature des objets. L'originalité par rapport à la littérature, avec pour objectifs d'accélérer le processus de classification mais aussi de le rendre plus discriminant, a été de réduire l'espace de représentation en sélectionnant parmi les paramètres initiaux un certain nombre de paramètres pertinents en fonction du but à atteindre: un meilleur taux de classification. Cette étape a permis d'obtenir une liste de paramètres ordonnés en fonction de leur pouvoir discriminant.

Après la phase de sélection de paramètres, nous avons effectué la dernière étape du processus de reconnaissance des objets à savoir la classification avec un dispositif à 2 capteurs. Cette phase a été réalisée à l'aide de différentes méthodes statistiques et neuronales qui ont été comparées en fonction du taux de reconnaissance. Les classifieurs retenus sont basés sur deux types de réseaux: le réseau global et le réseau spécialisé. Ce dernier a montré sa supériorité sur l'approche globale en terme de taux de classification et de capacité de généralisation.

Nous avons appliqué cette méthode des réseaux spécialisés à l'analyse de scène (Figure III-2), à l'aide de deux capteurs.

Figure III-2 Environnement composé d'objets simples de type plan, coin et cylindre.

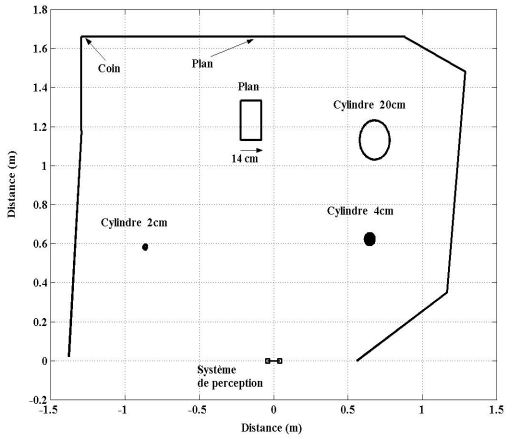

Figure III-3 Environnement expérimental correspondant à la scène précédente.

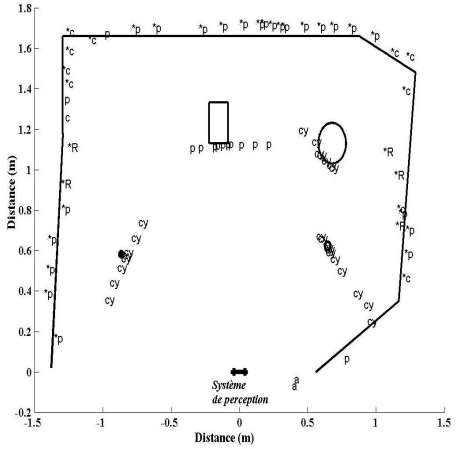

Figure III-4 Classification des objets de l'environnement.

Le résultat de classification superposé à la Figure III-3 est représenté sur la Figure III-4. Les lettres « p », « cy », « c » et « a » désignent respectivement les primitives plan, cylindre, coin et arête.

Les résultats de classification font apparaître les problèmes dus à l'ouverture du cône d'émission et à l'occultation. Le cône d'émission induit des zones de reconnaissance élargie. Ainsi, les objets occultant (les trois cylindres et le plan de forme cubique) sont reconnus sur une large zone (Figure III-4) ce qui entraîne certaines zones de rejet au niveau des objets occulté si l'axe de l'onde ultrasonore n'est pas perpendiculaire à ces objets (voir zone au niveau des 3 cylindres). Le taux d'erreur obtenu de la classification de l'environnement est de 4.9% et le taux de rejet est de 6.2%. Le fait d'analyser le deuxième écho permet de détecter deux objets se trouvant à des profondeurs différentes situées le long de l'axe de mesure du capteur.

Le résultat de classification sur l'ensemble des éléments de l'environnement expérimental est très prometteur, il montre la possibilité de faire une reconnaissance d'objet dans un environnement quelconque à l'aide de capteur ultrasonore. A notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature de résultats expérimentaux portant sur le balayage d'un environnement réaliste.

A cours terme les résultats obtenus justifient la réalisation d'un système de perception multimodal tel que décrit au début du chapitre. De nouveaux travaux qui viennent de débuter qui s'intéressent à l'apport potentiel des données ultrasonores brutes ou traitées à la méthode de localisation monovision décrite au paragraphe suivant.

3.2. Assistance robotisée aux personnes handicapées

L'objectif est la restauration partielle ou complète de la fonction manipulation de la personne handicapée par un système robotisée semi-autonome constituée d'un bras manipulateur monté sur un robot mobile. Cette assistance s'adresse à des personnes handicapées des membres supérieurs, paraplégiques ou tétraplégiques par exemple, capables ou non de se déplacer à l'aide d'un fauteuil roulant.
Le robot d'assistance se pilote à distance. La personne dispose de modes de commande qu'on peut regrouper en trois grands types :

1. le mode automatique pour lequel la machine atteint automatiquement l'objectif désigné par la personne ;
2. le mode manuel qui correspond à la téléopération ou contrôle à distance du robot ;
3. le mode partagé dans lequel le contrôle des degrés du liberté du robot est partagé entre la machine et la personne.

Nous avons cherché à privilégier l'usage de cette dernière catégorie afin de favoriser la coopération homme machine d'où l'intégration à l'équipe d'un thésard issu des neurosciences suivi en cotutelle avec Daniel Mestre DR, INPC CNRS, Marseille.

La machine se compose d'un robot d'assistance et d'une station de contrôle (voir Figure III-5). Le robot d'assistance est constitué :

- d'un bras manipulateur mobile « commandable » à distance,
- d'un module de perception extéroceptif composé d'une ceinture ultrasonore dont le rôle est limité actuellement à la détection d'obstacles et d'une caméra pour la localisation,
- d'un module de perception proprioceptif pour la localisation relative,
- d'un calculateur embarqué.

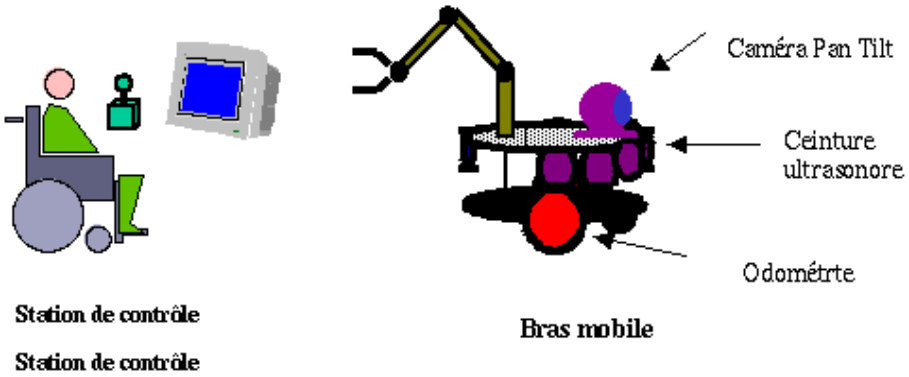

Figure III-5 Le système d'assistance ARPH

Les communications entre le bras mobile et la station de contrôle se font par une liaison Ethernet sans fil. L'architecture informatique est de type client serveur. La caméra orientable en site et azimut joue plusieurs rôles :

- assistance à la perception en fournissant un retour vidéo à l'utilisateur quand le robot se trouve dans une autre pièce que celle de l'utilisateur (vision indirecte) ;

- assistance à la commande. Par analogie avec le comportement d'une personne qui se déplace dans la direction de son regard, l'utilisateur pilote le déplacement du robot indirectement via la caméra ;
- localisation du porteur dans son environnement par appariement entre une ou plusieurs vues données par la caméra et un modèle de l'environnement. Cette approche peut être étendue à la recherche et la saisie automatique d'objets usuels pré-modélisés.

La Figure III-6 présente le prototype du robot d'assistance.

Figure III-6 Prototype du bras mobile

Le choix de développer une machine semi-autonome impose de suivre en parallèle deux axes de recherche. Le premier est destiné à donner au robot le maximum d'autonomie en respectant les contraintes imposées par le champ d'application, et correspond au domaine de la robotique. Le deuxième axe concerne la coopération homme machine, il est inhérent à la présence de l'homme dans la boucle de contrôle-commande.

3.2.1. Autonomie du bras mobile

L'autonomie concerne à la fois le déplacement du robot mobile et la saisie d'objets par le bras manipulateur. Il faut dans un premier temps résoudre le problème technologique et architecturale de l'interaction de réseaux hétérogènes (voir Figure III-7) puis dans un deuxième temps concevoir des fonctions permettant l'autonomie.

Dans l'état actuel des travaux, l'aspect technologique a été résolu que ce soit pour le robot mobile ou le bras manipulateur. Nous nous sommes focalisés sur les fonctions nécessaires au déplacement autonome du robot mobile, la saisie d'objets par une commande coordonnée du bras mobile a été abordée à la rentrée 2002-2003.

Parmi les tâches nécessaires au déplacement vers un objet donné, du point de vue de la recherche, seule la localisation n'est pas actuellement résolue correctement, en témoigne le nombre de publications récentes sur ce sujet.

Le problème est de calculer, avec une fiabilité suffisante et un temps de calcul raisonnable, la position du mobile dans un environnement partiellement connu et ceci avec un système de perception le plus simple possible afin de limiter la complexité et les coûts (R02-01-[AITA02], C01-02-[AITA01]).

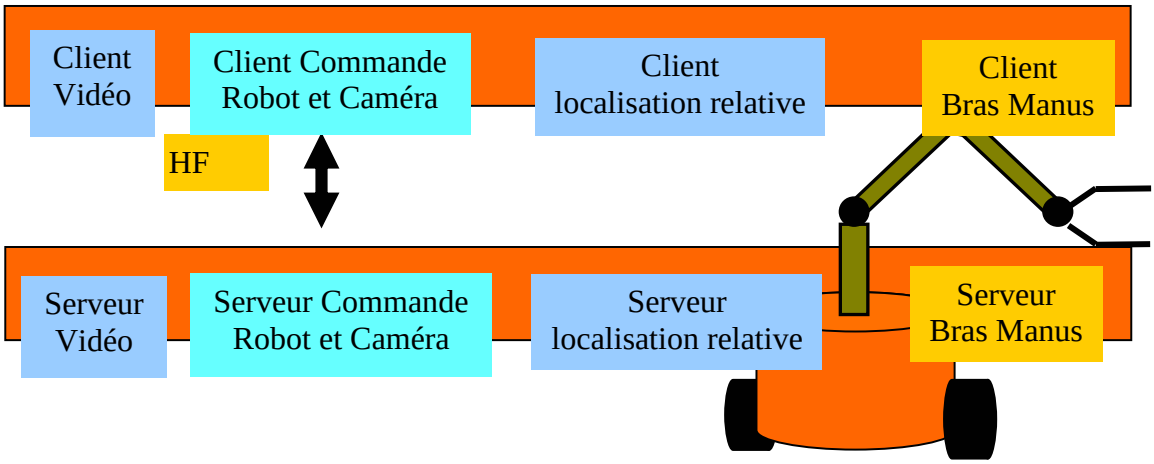

Figure III-7 Architecture client serveur et interaction de réseau hétérogène.

L'approche que nous avons retenue exploite les images de la caméra embarquée sur le robot mobile avec l'apport possible mais pas obligatoire de l'odométrie. Dans ce cadre nous avons abordé les problèmes de calibration, de mise en correspondance et de localisation proprement dite pour aboutir à des solutions adaptées au cas spécifique de la robotique mobile et respectant les contraintes imposées par le champ d'application. Ce travail a fait l'objet de la thèse d'Omar Ait aider [AIT02Thèse].

3.2.2. Localisation par vision monoculaire

Parmi les fonctions nécessaires au déplacement du robot mobile : planification, navigation, la localisation n'est pas fiable si on se limite aux seuls capteurs odométriques et ultrasonores. Nous développons actuellement un algorithme monovision basé sur un modèle partiel de l'environnement. Deux cas sont traités. Le premier considère que l'odométrie donne la situation du robot connue par rapport au repère de travail de manière imprécise. Il est donc nécessaire d'effectuer un recalage régulièrement. Dans le deuxième cas le robot est perdu et doit se localiser sans l'aide des données odométriques. L'environnement est partiellement modélisé (mur, coin arête, gros meubles). La caméra est modélisée. La précision recherchée en position est d'une dizaine de centimètres et en orientation de l'ordre du degré. Après acquisition et traitement de l'image pour en extraire les primitives, l'étape d'appariement entre le modèle de l'environnement et les primitives permet de constituer un ensemble de paires (coordoonnées 3D dans le modèle, coordonnées 2D dans l'image). La connaissance du modèle de la caméra et de cet ensemble de paires permet d'évaluer la situation de la caméra puis du robot. Mis à part les deux premières étapes, la difficulté provient essentiellement du faible nombre de paires.

Nous avons adopté la méthode classique composée de quatre étapes: acquisition d'une image à partir de la position courante du robot, extraction des primitives 2D observées (dans notre cas les segments), mise en correspondance des primitives de l'image avec celles du modèle et calcul de la situation de la caméra. En ce qui concerne le calcul de la situation de la caméra, les motivations de notre travail étaient de réduire les configurations singulières, d'assurer une bonne précision de localisation et garantir une bonne insensibilité aux conditions d'initialisation. Sur la mise en correspondance les objectifs qui ont été atteints visaient à prendre en compte les contraintes propres au domaine d'application: vues partielles des segments (occultation), effets de la perspective, segments parasites -non modélisés-,

algorithme temps réel et faible influence de l'imprécision de l'estimation initiale de la situation (30 degrés, 1,5 m). Cette dernière propriété permet de réduire la fréquence de mise à jour de la localisation voire même de la reporter si les conditions de calculs sont susceptibles d'entraîner une augmentation de l'erreur - données en nombre insuffisant -.

La Figure III-8 illustre les étapes de l'algorithme de localisation pendant le déplacement du robot mobile dans un couloir.

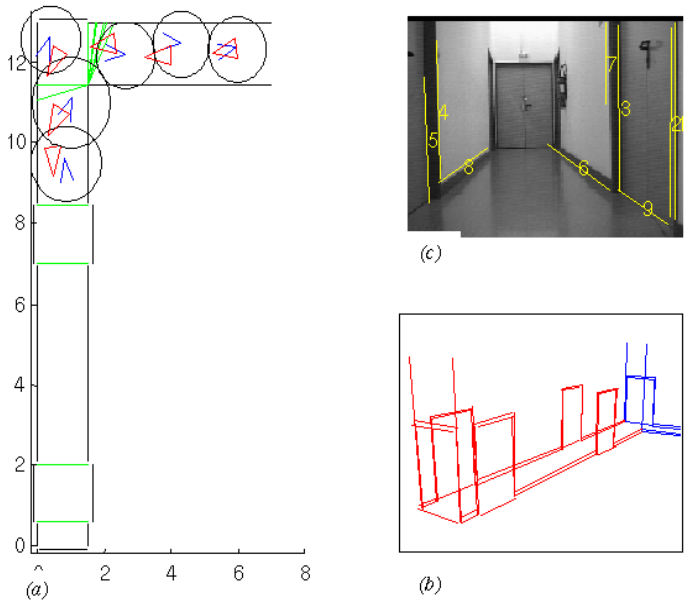

Figure III-8 Démarche de localisation : (a) updating the robot pose (red triangle) starting from an initial position (black circle) and orientation estimate(blue angle), (b) selection of a subset of model features using VIR's, (c) viewed image and correctly matched features

Le donne Tableau III-1 la précision de localisation à chaque acquisition d'une nouvelle image, précision qui reste inférieure à 3° en orientation et 20 cm en position avec une erreur sur l'estimation initiale de 75 cm en position et 20° en orientation.

L'utilisabilité et l'adaptabilité du système d'assistance dépend en partie de la richesse des modes de commande mis à la disposition de la personne afin qu'elle puisse suivant les conditions d'exécution de la tâche, son désir et son état, construire ses propres stratégies de commande. Les modes peuvent être automatiques ou manuels ou encore partagés - la personne et la machine se répartissent les opérations-. Par exemple, pour commander le déplacement du robot, l'opérateur pilote la direction à suivre tandis que le robot évite les obstacles automatiquement.

Tableau III-1 Résultats des tests sur images réelles.

numéro image	Erreur de localisation δT (m)	δϕ (°)	Nbre. hypoth.	Nbre. mise corr.
1	2.1	0.15	65	5
2	1.8	0.12	55	4
3	1.5	0.19	24	5
4	2.5	0.13	120	6
5	2.0	0.16	65	5
6	2.1	0.09	180	4
7	2.3	0.13	121	4
8	-	-	-	-
9	0.5	0.08	560	4
10	1.8	0.20	591	9

3.2.3. Coopération humain-machine (R00-05-[HOP00])

La source des difficultés que rencontre une personne dans le cadre d'une Coopération Homme-Machine (CHM) réside dans l'écart fonctionnel existant entre l'homme et la machine. En effet, les mécanismes de contrôle sensori-moteurs, qui d'ordinaire sont naturellement automatisés chez l'individu, nécessitent maintenant une prise en charge intentionnelle de la part de l'opérateur. Ainsi, les capacités du système robotique sont loin de permettre une analogie de mouvement avec les modes opératoires humains « naturels ». Les utilisateurs sont, en particulier, surpris par le retard et l'écart entre leur geste et les mouvements du robot qui engendre des trajectoires selon ses propres règles de fonctionnement.

Nous avons cherché dans une première étude à évaluer le niveau et la nature de l'adaptation de l'opérateur au système de téléopération, en fonction du caractère « anthropomorphe » versus « non anthropomorphe » du fonctionnement de ce système [RYBThèse]. Pour cela, nous avons suivie une démarche « bionique », qui a consisté à implémenter des mécanismes de type biologique sur un robot mobile téléopéré. Ceci revient à créer des modes partagés dans lesquels les opérations automatiques prises en charge par le système sont de type « *human like behavior* ». (R03-15[RYB03]).

Nous avons évalué cette approche dans une tâche de pilotage de la base mobile en s'appuyant sur le mécanisme d'anticipation visuo-motrice observé chez l'animal lors du contrôle des déplacements. Cette implémentation a été effectuée suivant deux modes de couplage : orientation de caméra asservie à la direction du déplacement (modèle « plate-forme ») ou bien, direction du déplacement asservie à l'orientation de la caméra (modèle « caméra »). Le premier mode couplage assurant l'anticipation ne suit pas une architecture motrice de type humaine, pour cette raison il est définit comme « écologique ». Le second, au contraire, copiant plus fidèlement l'organisation spatio-temporelle d'anticipation visuo-motrice de l'homme, il est dit de nature « anthropomorphique ». Les résultats montrent (a) qu'un téléopérateur s'adapte plus facilement au pilotage d'un véhicule lorsque celui-ci est pourvu d'un mécanisme biologique d'anticipation et (b) que cette adaptation s'effectue par un processus à dominante d'assimilation dans le cas du modèle « caméra » versus d'accommodation avec le modèle « plate-forme ». Ceci confirme que la coopération homme–machine bénéficie de l'implantation sur l'engin téléopéré de comportements de type humains et que l'adaptation de l'opérateur au système se verra favorisée par des modes de couplages visuo-moteurs proches de ceux de l'homme.

Nous allons poursuivre cette approche pour le développement d'autres modes de commade partagés en s'appuyant sur la méthodologie classique suivante :

- étude des stratégies humaines pour effectuer une opération (neurosciences) ;

modélisation de ces stratégies, c'est à dire en extraire les principes fondamentaux (neurosciences) ;

- mise en oeuvre d'un comportement automatique du robot basé sur ces principes. C'est généralement le résultat d'un compromis entre le réalisme et les contraintes notamment technologiques (robotique) ;
- évaluation de l'apport dans la conduite du système (psychologie expérimentale) par des expériences réalistes permettent d'obtenir des résultats statistiquement exploitables.

Une deuxième étude plus fondamentale s'intéresse aux capacités d'appropriation d'un système téléopéré par un opérateur humain et notamment l'influence de la structure du robot d'assistance dans le mécanisme d'appropriation. Par exemple, l'analogie anthropomorphique humain-robot est-elle plus efficace que le respect de conditions écologiques qui par définition sont adaptées à la tâche à réaliser. Ces travaux en cours ne seront pas développés dans ce document (R03-16- [RYB03]).

L'interface homme-machine est basée sur les concepts du système ARITI (voir équipe RA) (C00-26-[OTM00]).

3.2.4. Evaluation du système ARPH

A chaque étape, le système a été évalué avec des utilisateurs. Une première étude a montré qu'après apprentissage, il n'y avait pas de différences significatives entre un groupe de sujets handicapés et un groupe de sujets non handicapés. Ce résultat a permis d'alléger la procédure d'évaluation. Nous avons pu ainsi comparer certains modes de commande, l'influence de l'analogie œil-bras et caméra-bras manipulateur. Les évaluations ont été menées soit localement soit en collaboration avec le laboratoire de psychologie expérimental de Rennes 2.

3.3; Coopération de robots

La problématique de ce thème est liée à l'utilisation d'un groupe de robots mobiles par un utilisateur humain. Ce dernier adresse une requête au groupe, expression d'un besoin de service, qui sera réalisée de manière collective et coopérative. Notre but est de concevoir et de réaliser l'ensemble des fonctions qui vont de l'expression de la requête à sa réalisation par les robots.

Un des aspects de l'utilisation d'un système multi-robot est la coopération. Qui dit coopération dit répartition des tâches entre les robots en fonction de leurs capacités à effectuer ces tâches, de leurs possibilités, de l'environnement de façon à optimiser la charge du système.

Un des modèles les plus étudiés est un modèle appelé robotique en essaim. Cette approche inspirée des modèles sociaux a montré qu'une certaine coopération pouvait émerger d'interactions entre individus dont les comportements semblent innés et l'environnement. La plupart des études mettent en oeuvre un nombre important de robots homogènes, ce qui permet de bénéficier d'une certaine redondance dans les capacités des robots à effectuer des tâches. On peut se demander si cette approche convient bien à une utilisation liée à un ou plusieurs utilisateurs humains. Dans les domaines d'application envisagés, le groupe de robots ne comprend que quelques éléments. De plus, les robots sont hétérogènes : ils ne sont pas tous équipés de la même façon. Certains disposent d'une pince associée à un bras manipulateur, d'autres ne disposent que d'une zone permettant le transport d'objets. La fourniture de services

par ce groupe de robots ne peut être basée que sur une coopération intentionnelle entre les divers éléments du groupe et non plus sur l'émergence.

Dans ce modèle, la coopération pour la réalisation des tâches est explicite et les communications entre les robots dépendent de la tâche à réaliser. On peut également penser que ce type d'approche satisfera mieux la nécessaire interaction entre l'utilisateur humain et le système. Ce point devient d'autant plus crucial si l'utilisateur ne peut évoluer dans l'environnement des robots, si l'utilisateur est, par exemple, un handicapé.

3.3.1. Architecture ARMAGRA

Pour étudier cette approche, nous développons une architecture appelée ARMAGRA, acronyme de Architecture Réseau Multi Agent pour Groupe de Robots Autonomes. Dans ce système, l'opérateur humain est supposé dépourvu des moyens de déplacement. Il dispose d'une équipe de 5 robots mobiles. Cette équipe évolue dans un environnement de type intérieur de bâtiment qu'on peut qualifier de pseudo statique : tous les changements intervenants sont connus du système. De plus, l'environnement est doté d'une installation domotique permettant la commande des appareils ménagers (exemple : ouverture de la porte du réfrigérateur).

Un des scénarios retenus est celui dans lequel l'utilisateur requiert un service du système au moyen d'un interface humain système (IHS). L'utilisateur a à sa disposition :
- la connaissance de l'appartement ;
- les robots ;
- un nombre de missions de déplacement susceptibles d'être exécutées comme aller à, aller vers, revenir, prendre, poser, stopper, faire, rapporter, porter, et de missions domestiques comme prendre, poser.

L'IHS utilisant une formulation graphique proche du langage courant, la requête doit être décomposée en missions, elles mêmes décomposées en tâches, etc. jusqu'au niveau contrôle-commande des capteurs et des effecteurs. Cette décomposition doit notamment tenir compte de la disponibilité des robots, de leur utilité pour la satisfaction de la requête, de l'environnement et d'un critère de qualité de cette décomposition. Ce problème est étudié sous la forme d'une allocation des robots aux tâches par diverses équipes de recherche aus USA et au Japon. L'allocation consiste alors à trouver un ensemble de doublets <Ti,Rj> de tâches et de robots et d'un critère permettant d'en évaluer la qualité. Ce critère fait intervenir l'utilité su robot pour la tâche et aussi de l'importance relative d'une tâche par rapport à une autre.

Une autre question également en suspend est bien connue dans la communauté multi-agent sous le nom de "coalition formation". Elle concerne le partitionnement du groupe en diverses équipes pour optimiser la répartition des tâches. Une proposition faite par cette communauté est de remplacer robot par équipe et d'utiliser un raisonnement semblable à celui de l'allocation de tâches.

Notre projet va dans cette voie. La démarche que nous adoptons tend à décomposer la requête initiale en un ensemble de doublets <S,I> dans lesquels S est une séquence de la mission, I est l'ensemble des informations nécessaires à l'accomplissement de cette séquence. La partition de la mission en séquences n'est pas unique, Il détermine les agents nécessaires à l'accomplissement de cette séquence ainsi que leurs relations.

Ce paragraphe s'intéressera surtout aux aspects matériel et logiciel de cette architecture. Les travaux présentés dans cette partie ont débuté en 1999 par la conception de la nouvelle plate-forme mobile. Cette conception s'est faite à la fois à l'ENS de Cachan et au LSC. La plate-forme mobile choisie pour ce projet est de dimensions réduites (Figure III-9): 0,20m de diamètre pour une masse de 2,75kg. Ce choix se justifie par la volonté de s'affranchir le plus possible des contraintes liées à l'autonomie énergétique et à l'électronique de puissance et de concentrer l'effort sur l'architecture multi-agent.

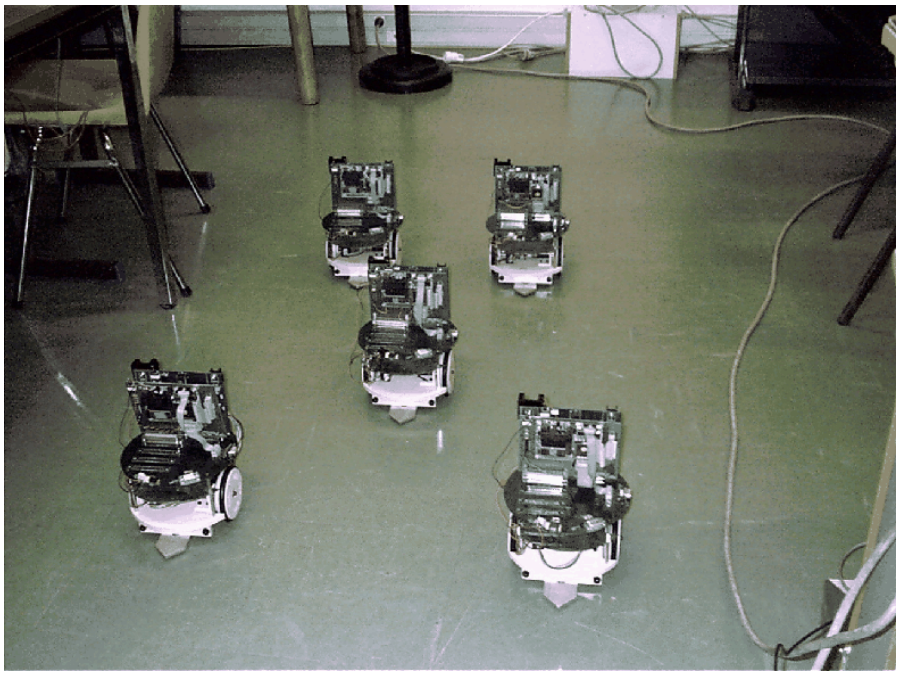

Figure III-9 Vue des robots constituant le démonstrateur ARMAGRA

Nous avons choisi une architecture client-serveur décentralisée et distribuée [CA20] s'appuyant sur un réseau et suffisament flexible pour :

- mettre en commun des ressources notamment celles demandant une certaine puissance de calcul ;
- permettre la mise en oeuvre de la structure multi-agents de manière distribuée ;
- fournir un accès pour des opérations de télésurveillance, de maintenance, de contrôle à distance, de configuration ;
- assurer la liaison vers une installation domotique au travers d'une passerelle ;
- permettre de coupler le système à d'autres applications dont certaines restent encore à découvrir liées à l'ouverture du système vers l'extérieur.

3.3.2. Travaux autour de l’architecture ARMARGRA

Nous avons principalement travaillé sur cette architecture en 2001 et 2002. Un simulateur graphique multi-robots a été le développé sous linux au cours du stage magistère EEA de C. Bernez et E. Entringer. La réalisation des serveurs a été effectuée par F. Tardy, également au cours de son stage magistère EEA.

Les travaux en cours portent d'une part sur l'évolution de l'architecture :

- Télémétrie à ultrasons autonome, N. Le Blanc, T. Moreau, stagiaires ingénieurs,
Portage sous linux de la reconstruction d'environnement, critère des ouvertures, N. Lagunas, H. Trojani, stagiaires ingénieurs.

- Architecture réseau, multi-serveurs, distribution linux dédiée pour embarquement sur les robots, F. Tardy, stage magistère EEA, M. Sarin stagiaire ingénieur,
- Intégration d'un serveur multi-agents dans serveur d'applications, G. Pradel, chercheur Exécutif multitâches temps réel, trajectoires des robots, J. Hebert, A.C. Hessemans, F. Mulot, F. Ray, stagiaires ingénieur,
- Simulateur multi robots graphique, comportements de groupe, C. Bernez, E. Entringer, stage magistère EEA,

Et d'autre part sur les stratégies d'action collectives et notamment de prise de décision et la description qualitative de l'environnement.

a) Actions et décisions collectives
Nous avons mis en place divers comportements collectifs notamment déplacement en file indienne, regroupement en un point, dispersion autour de la position courante, rassemblement en un point avec gestion des situations d'interblocage dans les passage étroits. D'autres travaux ont permis dégager un modèle d'exploration d'un environnement basé sur des équipes constituées de 'un chef et de sentinelles. Les sentinelles sont posées par les chefs d'équipe aux points de choix (aux carrefours). Un modèle de communication hiérarchisé a été établi permettant la reconnaissance de l'appartenance des sentinelles aux diverses équipes d'exploration. Un autre modèle d'exploration de l'environnement a été étudié et propose un algorithme basé sur la communication entre deux robots explorateurs envoyés par un chef d'équipe pour vérifier la possibilité de passer de part et d'autre d'un obstacle situé, par exemple au centre d'un corridor.

Les deux stages de DEA d'O. Comfaits et de F. Saidi ont permis de voir quelles sont les possibilités offertes par des méthodes issues de la vie artificielle pour concevoir un système de décision dans ces deux études nous avons mis en évidence la possibilité de créer un système mettant en oeuvre des créatures dontle gemome évolue en fonction des décisions prises. Les missions confiées au système sont restées simples : recherche et déplacement d'objets élémentaires, franchissement d'obstacles caractéristiques (contournement, porte, cuvette). Les comportements élémentaires ont été programmés ainsi que les divers comportements de groupe déjà évoqués. La principale contrainte est une contrainte de temps liée au nombre d'itérations à effectuer avant d'atteindre une convergence vers une solution. Néanmoins, des phénomènes intéressants ont pu être observés comme des tentatives faites par des créatures à s'éclipser d'un groupe en forçant des comportements individuels. Même, si des moyens de calculs importants sont nécessaires pour ce type d'approche, cela semble être une voie intéressante à explorer. Les travaux en cours actuellement

b) Description qualitative de l'environnement
Parallèlement, des travaux sur un agent de description qualitative de l'environnement et sur un agent de détermination des changements pertinents dans l'environnement continuent suite au stage de magistère de S. Avrillon. Un portage de ces agents en environnement linux a été effectué. A cette occasion, deux critères pour la détermination des changements pertinents, dits « critère du barycentre » et « critère de ressemblance » ont été testés. Ces deux critères agissent sur des représentations panoramiques purement symboliques de l'environnement appelées « fresques ». Une fresque est une suite valide d'amers. La fresque est établie à partir des informations issues des capteurs extéroceptifs. L'ensemble des traitements ultérieurs ne fait plus appel aux informations quantitatives données par les capteurs. L'objectif de cette recherche est de trouver un moyen de répondre à la question suivante : Est il possible, en ne prenant en compte que les fresques de décrire un chemin et, si la mission le demande, de le retrouver comme dans le cas d'une mission de type « rapporter ». Les premier résultats

montrent que les deux critères mentionnés ci-dessus sélectionnent correctement un ensemble de fresques correctement réparties sur le chemin suivi par le robot et, surtout, situées aux endroits les plus importants (exemple : croisements, tournants). Il faut maintenant tester la robustesse de ces deux critères si l'on fait subir à la trajectoire du robot de légères variations. Il pourra être intéressant, pour cela, de faire coopérer ces deux agents avec un agent de classification de l'environnement.

4. Mécatronique

L'activité de ce groupe de recherche a porté initialement sur la modélisation et la commande de systèmes mécaniques complexes avec comme application principale la robotique. Le recrutement de deux maîtres de conférences (L. BEJI et L. BENCHIKH) nous a permis d'acquérir des compétences pluridisciplinaires comportant à la fois un volet mécanique (60° section) et un volet automatique (61° section).
Depuis, les synergies avec les autres composantes du laboratoire se sont fortement développées autour de deux thèmes : le contrôle de véhicules aériens et l'assistance au geste chirurgical. D'autre part, dans la continuité des travaux portant sur la dynamique des systèmes multicorps, qui reste un thème majeur de l'équipe, il faut signaler l'organisation depuis quelques années, d'un symposium consacré aux systèmes multicorps flexibles dans le cadre des « ASME International Design Technical Conferences ». A ce jour, trois colloques de ce type ont été organisés (responsables : A. Shabana et M. Pascal), le dernier en date aura lieu en septembre 2003, à Chicago.

4.1. Dynamique des systèmes multicorps : application à la modélisation et à la commande des robots.

Ces études concernent à la fois les robots série, les robots parallèles et les robots flexibles.

- *Robots parallèles* : ce travail concerne l'étude d'un modèle particulier de robot parallèle à 6 degrés de liberté (robot SPACE). Après avoir établi les modèles géométriques et cinématiques directs et inverses, un modèle dynamique direct est obtenu à partir duquel les lois de commande pour le suivi de trajectoires sont élaborées. Celles-ci prennent en compte la dynamique des actionneurs en utilisant une approche par perturbations singulières (R99-01-[BEJ99R]).
- *Robots mobiles* : une première étude concerne un prototype de robot mobile développé à Evry (le RT903), destiné au nettoyage de gaines d'aération. Le robot comprend un corps central équipé de 6 bras terminés par des roues qui grâce à un système de ressorts et de vérins, s'appuient sur les parois de la gaine. L'ensemble est téléopéré. L'étude comprend la construction du modèle cinématique inverse et la planification de trajectoires en vue d'éviter le blocage du robot dans le cas du franchissement d'un coude ou d'une bifurcation entre deux gaines ([ART02Thèse], C03-05-[ART03], C03-06-[ART03]). D'autres études, en collaboration avec Yasmina Bestaoui, porte sur l'élaboration d'une commande adaptative pour un véhicule autonome (C01-06-[BEJ01],C01-07-[BEJ01]. Enfin en collaboration avec A. ABICHOU, une loi de commande non linéaire pour la conduite de voitures autonomes a été proposée (C03-08-[BEJ03], C03-03-[ABI03]).
- *Modélisation dynamique de mécanismes*. On propose une approche modulaire de résolution dynamique des systèmes multicorps. Le but est de mettre en évidence les propriétés de flexibilités apportées par cette modélisation ainsi que les avantages d'une programmation orientée objet. Ce travail constitue une première étape pour le développement d'un outil de prototypage rapide pour la création et la manipulation de mécanismes virtuels (C03-37-[SEG03], C03-37-[[SEG03]). Sur la base d'un logiciel entièrement développé en C++ (Figure III-10) en collaboration avec le Laboratoire de

Mécanique d'Evry (C03-20-[FENG03]) des maquettes virtuelles ont été développées, validant en 2D et 3D les concepts d'interactivité entre l'opérateur et le modèle virtuel, tout en assurant une bonne stabilité numérique(R03-05-[FENG03]).

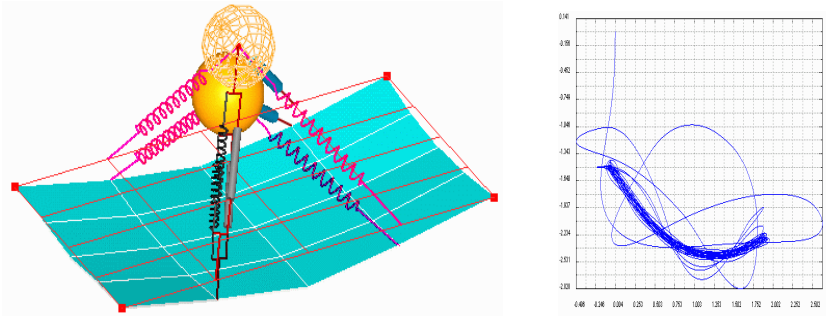

Figure III-10 Couplage sphère-plaque flexible (à gauche), et trajectoire sphère (à droite).

- *Systèmes multicorps flexibles* : Il s'agit d'un des thèmes fondateurs du groupe Mécatronique, plusieurs études ont complété les résultats obtenus dans le passé pour ces systèmes dans lesquels chaque composant effectue des mouvements d'ensemble de grande amplitude couplés à des déformations structurelles supposées faibles. Un article de synthèse (R01-15-[PAS01]) recense quelques problèmes soulevés par l'analyse dynamique de ces systèmes, où on utilise en général une discrétisation des vibrations élastiques et une linéarisation des équations du mouvement par rapport aux déformations. Une autre étude montre que dans certains cas de mouvements rapides, une linéarisation prématurée des équations dynamiques peut entraîner des erreurs importantes (R01-18-[SAM01]). Dans le but de minimiser les temps de calcul lors de la résolution numérique des systèmes multicorps, on a pu montrer dans le passé que l'utilisation de codes formels était préférable à celui de codes entièrement numériques. Si plusieurs codes formels sont maintenant disponibles pour la simulation des systèmes polyarticulés rigides, il n'en est pas de même pour les systèmes comportant des corps déformables. Une étude montre que l'on peut utiliser n'importe quel code de simulation dynamique de corps rigides articulés pour modéliser le mouvement des mécanismes flexibles dans lequel les déformations sont discrétisées. Pour cela, on introduit un modèle rigide virtuel, ayant les mêmes degrés de liberté et les mêmes énergies cinétique et potentielle que le mécanisme déformable (C99-19-[PAS99], R99-05-[PAS99]). Enfin un autre thème de recherche, déjà envisagé dans le passé, concerne les satellites amarrés. La dynamique des satellites reliés par câbles a fait l'objet de nombreuses études et plusieurs missions ont été envisagées, qui consistent à déployer à partir d'un satellite principal, un câble de plusieurs dizaines de kilomètres, et comportant à son extrémité un satellite secondaire. Une première étude utilise un modèle simple de satellites amarrés constitué par deux masses ponctuelles reliées par un câble élastique sans masse et placées dans le champ d'attraction d'une troisième masse ponctuelle. On montre que si le coefficient d'élasticité du câble est faible, les solutions d'équilibres relatifs sont stables (R00-02-[BUR00]). Cependant, les phases cruciales sont évidemment celles du déploiement ou de l'enroulement du câble, car ces opérations peuvent provoquer des oscillations importantes des systèmes. Une série d'articles, en collaboration avec un chercheur de l'Université de Tétouan (Maroc) propose plusieurs stratégies de choix des lois de déroulement ou d'enroulement du câbles, afin de préserver la stabilité d'ensemble du système (R99-02-[DJE99], R01-16-[PAS01], R03-03-[DJE03]).

4.2. Modélisation et commande d'engins volants.

Il s'agit d'un thème relativement nouveau et qui se situe dans le cadre d'une collaboration avec d'autres groupes du laboratoire ainsi que de collaborations internationales.

Modélisation dynamique d'un hélicoptère en tenant compte de la flexibilité des pâles, des effets gyroscopiques et des charges aérodynamiques. Le modèle dynamique qui est élaboré en utilisant une technique de sous structuration et de synthèse modale, pourra être utilisé pour la commande et la génération de trajectoire du véhicule : ce travail fait l'objet d'une thèse en préparation (A. Mouhingou ; encadrement : M. Pascal, N. Azouz).

Modélisation dynamique et commande d'un dirigeable, en tenant compte des déformations de celui-ci. Contrairement à la plupart des études faites sur ce sujet, on modélise le dirigeable comme un corps élastique déformable se déplaçant dans un fluide parfait (Figure III-11). Le modèle utilise une théorie adaptée au comportement du dirigeable qui effectue de grands déplacements mais de petites déformations. La méthode propose aussi la prise en compte du couplage mouvement d'ensemble/déformations ainsi que l'interaction avec les fluides intérieur et extérieur (C02-14-[AZO02]). D'autres simulations seront entreprises en incluant des données relatives au dirigeable AS-200 du LSC.

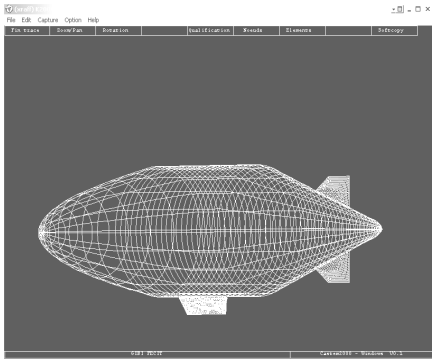

Figure III-11 Modélisation par éléments finis du dirigeable.

Du point de vue de la commande, le dirigeable est un système sous actionné, non linéaire, dont l'identification des paramètres n'est pas aisée. Une première étude, qui fait l'objet d'une thèse en collaboration avec le professeur Abichou de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT), concerne la poursuite de trajectoires équilibrantes, à partir de lois de commande non linéaires tenant compte d'éventuelles perturbations extérieures (forces aérodynamiques) ou intérieures (déformations de l'engin) ; Les résultats seront validés sur le dirigeable du laboratoire.(Thèse de S. Samaali; encadrement : M. Pascal et L. Beji). D'autres études plus générales sur la commande des systèmes sous actionnés, concernent d'une part une thèse intitulée « Commande orientée vision par techniques neuro-floues de systèmes sous actionnés » (Zemalache ; encadrement : H. Maaref, L. Beji) et d'autre part la stabilisation de véhicules aériens en collaboration avec Y. Bestaoui et A. Abichou (C02-15-[BEJ02]).

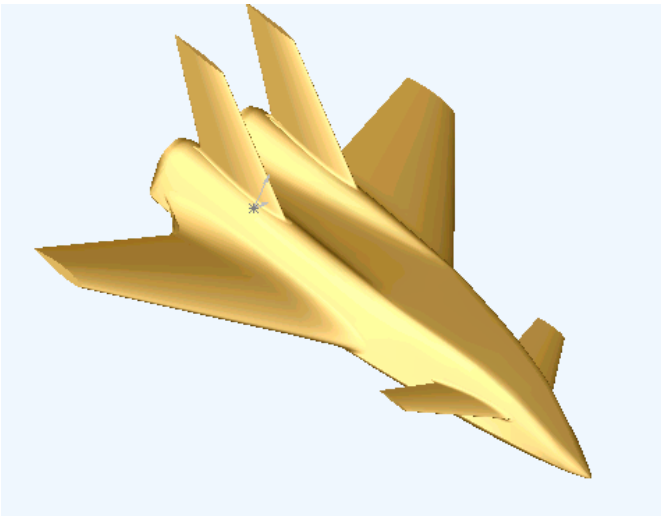

Figure III-12 Vue en 3d du drone NISR.

Etude d'un drone : les avions sans pilotes ou drones permettent de réaliser diverses tâches dans le domaine civil (et bien sur aussi militaire), telles des missions de surveillance (trafic routier, feux de forêts, ouvrages d'art.) et ceci avec un coût de fabrication et d'entretien très inférieur à celui d'un avion classique. L'étude concerne un projet particulier de drone : le NISR (Figure III-12), élaboré en collaboration avec la société XCELL. La première étape comporte l'élaboration d'une maquette à échelle réduite pour la réalisation d'essais en soufflerie permettant, à partir de ces données aérodynamiques d'optimiser un certain nombre de caractéristiques de l'engin. Cette étude sera ensuite suivie par une étude statique et dynamique afin de dimensionner les éléments mécaniques du véhicule. Une dernière phase concernera la stabilité du drone ainsi que la planification de trajectoires.

4.3. Micro-robotique appliquée à la chirurgie.

Ces activités de recherches ont de fortes interactions avec le thème Réalité Virtuelle.
- *Retour d'effort haptique* : Ce travail qui résulte d'une collaboration avec le Professeur Payandeh (Université S.Frazer, Canada), concerne l'analyse mécanique du retour d'effort des outils de microchirurgie dans les opérations courantes d'incision, de pinçage… de structures humaines simulées. Ce retour d'effort doit être déterminé avec une précision optimale pour reproduire assez fidèlement la sensation d'effort ressentie par le chirurgien qui agit virtuellement sur un modèle d'organe. Une série d'études « hors lignes » basée sur un modèle éléments finis a été effectuée (C01-03-[AZO01]).

- *Modélisations Artérielles et Thérapeutiques Endovasculaires Assistées par Ordinateur* (projet MATEO). MATEO est groupe de travail qui s'est constitué en réponse à une ACI blanche du MENRT qui a pris fin en 2002. Le groupe poursuit son travail d'investigation en se concentrant essentiellement sur les deux objectifs suivants :

1. l'aide à la réalisation du geste de mise en place de l'endoprothèse afin d'améliorer sa qualité globale en terme à la fois d'efficacité et de sécurité pour le malade, en optimisant le positionnement ;
2. l'aide à l'apprentissage des opérateurs à la fois en terme de formation initiale, et de perfectionnement sur une banque de cas plus ou moins difficiles, y compris en validant le geste en pré-opératoire chez un malade à traiter.

Pour répondre à ces deux points un prototype de cathéter actif a été développé en collaboration avec l'IUT de Cachan (Figure III-13), sous la direction de Christian François, ainsi qu'un endotraineur (mannequin expérimental) (C02-29-[JOL02]). Par ailleurs des

travaux élémentaires de modélisation de la partie active du cathéter ont été réalisés (C01-14-[GAG01]) et d'autres plus complexes (grands déplacement, grande déformation) sur le comportement global du cathéter en insertion dans l'aorte abdominale. Ces derniers travaux sont en cours et ne font pas encore l'objet d'une publication en préparation.

Actuellement le LSC collabore toujours étroitement avec l'IUT de Cachan (Ch. François) et l'hôpital Tenon (F. Boudghène).

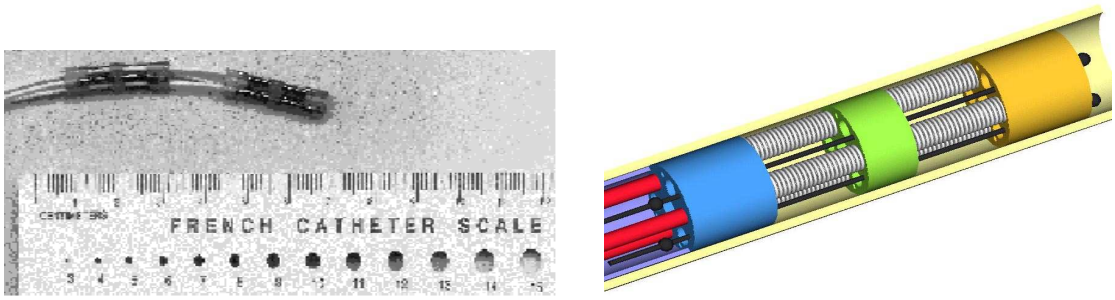

Figure III-13 Extrémité du cathéter (échelle : 1.1) à gauche, et dessin de conception du mini-actionneur, à droite.

4.4. Dynamique et contrôle de structures

a) Méthodes analytiques en mécanique des structures

Les travaux effectués portent sur l'utilisation de méthodes analytiques en analyse modale de structures. La méthode proposée qui fournit une alternative aux méthodes traditionnelles d'analyse par éléments finis est particulièrement bien adaptée aux structures composées de barres ou de poutres. L'analyse modale s'effectue à partir de la matrice d'impédance qui relie dans le domaine fréquentiel les forces appliquées sur les frontières aux déplacements de ces frontières. Le concept de matrice d'impédance est étendu au cas d'un milieu tridimensionnel en supposant que les données aux limites en déplacement s'expriment en fonction d'un nombre fini de paramètres ne dépendant que du temps. Cette méthode est ensuite adaptée au cas des plaques rectangulaires (R01-08-[KEV01]).Comme alternative à la méthode modale utilisée dans l'analyse dynamique et le contrôle des structures, une stratégie de contrôle actif distribué est ensuite développé. Cette méthode utilise la fonction de transfert exacte obtenue pour une structure en treillis composée de deux cellules. Les performances du système en boucle fermée sont comparées en fonction des gains du contrôle (C01-16-[KEV01], R03-09-[KEV03]).

b) Réponse dynamique d'un avion avec turbofan par suite d'une perte d'aubes

Ce travail effectué dans le cadre d'un contrat CIFRE avec l'Aérospatiale concerne la modélisation des effets non linéaires observés dans une turbo machine par suite d'une perte d'aubes. Le balourd qui en résulte provoque, suite de contacts multiples rotor-stator, un phénomène de « *jump* » de vibrations qui peut endommager gravement la structure. L'étude a permis d'élaborer un modèle simplifié permettant de mettre en évidence les paramètres essentiels influençant le phénomène. Les résultats sont par la suite comparés à ceux fournis par un modèle éléments finis complet du système ainsi qu'à des mesures effectuées sur un montage expérimental (C01-08-[BER01], R03-14-[PAS03]).

C. PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES

I. HDR et THESES

1. Thèses soutenues entre 1999 et 2002

Loiza H.
Capteur de vision stéréoscopique multiconfiguration pour la localisation d'un robot mobile
18 novembre 1999
Jury : F. Artigue (Dir.), M. Benjelloun (Rap.), J. Pontnau (Rap.), M. Rombaut (Prés., Rap.) ; F. Chavand , S. Lelandais-Bonadé, J. Triboulet.

Rougeaux S.
Interaction visuelle en temps réel par stéréovision active sur scène dynamique.
4 Mars 1999, mention Très Honorable avec les Félicitations du jury
Jury : P. Coiffet (Prés.), F. Chavand (Dir), E. Pissaloux, A. Mallem, Y. Kuniyoshi, G. Sandini (Rapporteurs), M. Benjelloun.

Shaheen M.
Appariement d'indices 2D d'images réelles avec les indices 3D d'une base de données 3D correspondant au même environnement.
2 Avril 1999, mention Très Honorable
Jury : W. Khalil (Prés.), F. Chavand (Dir), E. Colle, M. Benjelloun, M. Devy (Rapporteurs), R. Fournier, A. Mallem.

Soria-Lopez A.
Contribution à la mise au point des contrôleurs flous multivariables.
8 Décembre 1999, Mention Très Honorable
Jury : F. Chavand (Prés.), C. Barret (Dir.), I. Hamam (Rap.), J. Pontnau (Rap.), P. Siarry (Rap.), J-C. Lafont.

Thetiot R.
Utilisation de l'approche multi-modèles pour l'aide au diagnostic d'installations industrielles
10 Septembre 1999, Mention Très Honorable
Jury : M-O. Cordier (Prés., Rap.), C. Barret (Dir.), P. Dague (Rap.), J-M. Martinez (Rap.), M. Porcheron, M. Dumas.

Boutte L.
Extraction des échelles locales appliquée au calcul de l'orientation d'un plan texturé
15 novembre 2000
Jury : F. Chavand (Dir.), M. Dhome (Rap.), A. Guerin-Dugue (Rap.), A. Smolarz (Rap.), D. Barba, S. Lelandais-Bonadé, J. Louchet, J. Plantier.

Hanifi D.
Générateur d'architecture pour plate-forme reconfigurable dédiée au traitement d'images.
6 Mars 2000
Jury : F. Chavand (Prés.), C. Barret (Dir.), D. Demigny (Rap.), D. Meizel (Rap.), E Pissaloux (Rap.), J-M. Delosme, J-B. Choquel, M. Shawky .

Otmane S.
Télétravail robotisé et réalité augmentée : Application à la téléopération via Internet.
13 décembre 2000
Jury : F. Chavand (prés.), M. Mallem (Dir.), P. Coiffet, P. Fuchs, M. Soto, N. Agoulmine (rapporteurs), P. Even, A. Kheddar.

Rivière D.
Apprentissage de la variabilité inter-individuelle de l'anatomie corticale cérébrale pour la reconnaissance automatique de sillons.
15 Sept. 2000, Mention Très Honorable avec Félicitations
Jury : N. Ayache (Prés.), C. Barret (Dir.), C. Barillot (Rap.), F. Chavand (Rap.), M. Revenu (Rap.), J. Régis, J-F. Mangin, J-M. Martinez.

Moazemi Goudarzi A.
Contribution du raisonnement par analogie à la capitalisation des connaissances en conception des systèmes mécaniques.
4 décembre 2001
Jury : R. Duchamp (Dir., Rap.), F. Artigue (Dir.), M. Carrard, (Rap.), H. Drif (Rap.), C. François, Y. Sadi.

Chriette A.
Contribution à la modélisation et à la commande des hélicoptères: asservissement visuel et commande adaptative.
7 décembre 2001
Jury: D. Meizel (Prés.), F. Chavand (Dir.), F. Chaumette (Rap.), B. Brogliato, P. Sourese, A. Micaelli, T. Hamel.

Baghdassarians V.
Commandes robustes pour le contrôle latéral d'un véhicule routier
16 avril 2001
Jury : H. Abou-Kandil, J-M. Blosseville, F. Chavand, D. Geoges (rap), S. Hayat (rap), S. Mammar, D. Meizel (rap), M. Parent.

Ababsa F.
16 décembre 2002
Recalage automatique d'objets 3D de forme libre en utilisant la clinométrie
Jury : P. Fuchs (Prés.), M. Mallem (Dir.), P. Even (Rap.), M. Devy (Rap.), E. Colle, D. Roussel.

Aït-Aider O.
Localisation référencée modèle d'un robot mobile d'intérieur
19 décembre 2002
Jury : J. Droulez (Prés.), E. Colle (dir), M-J. Aldon (Rap.), M. Mouaddib (Rap.), M. Mallem, Ph. Hoppenot.

Aït-Oufroukh N.
Recalage automatique d'objets 3D de forme libre en utilisant la clinométrie, Spécialité: Robotique et Traitement de données.
18 décembre 2002
Jury : S. Mammar (Prés.), L. Foulloy (Rap.), J-L. Zarader (Rap.), E. Colle (Dir), C. Barat.

Davesne F.
Etude de l'émergence de faculté d'apprentissage fiables et prédictibles d'actions réflexes, à partir de modèles paramétriques soumis à des contraintes internes
19 avril 2002
Jury : J. Droulez (Prés.), C. Barret (Dir), F. Chavand (Rap), P. Gaussier (Rap), P.Y. Glorennec (Rap), J. Herault.

Arioui H.
Commande de dispositifs à retour haptique en présence de retards de transmission
6 décembre 2002
Jury : J. G. Fontaine (Prés.), A. Kheddar (Dir), S. Mammar (Dir), P.A. Bliman (Rap.),P. Coiffet (Rap.), K. Youcef-Toumi (Rap), J. F. Manière, F. Chavand (Dir).

Artigue V.
Etude du comportement d'un robot mobile d'inspection de gaine à l'aide de méthodes d'optimisation combinatoire.
6 décembre 2002
Jury : J-P. Merlet (Prés.), M. Pascal (Dir.) J-G. Fontaine (Rap.), P. Joli (Rap.), J. Pontnau (Rap.), A-M. Charles, R. Manuel.

Redon S.
Algorithmes de simulation dynamique interactive d'objets rigides.
10 octobre 2002
Jury: P. Fuchs (Prés), S. Coquillart (Dir), A. Kheddar (Dir), M-P. Cani (Rap.), P. Coiffet (Rap.), M-C. Ling (Rap.), C. Andriot, C. Dureigne.

2. HDR

Mallem M.
Sur la réalité augmentée pour la téléopération.
19 Janvier 1999
Jury : C. Laurgeau (Président), P. Coiffet (Rapporteur), E. Colle (Rapporteur), M. Dhôme (Rapporteur), F. Chavand, J.M. Détriché, F. Artigue.

Maaref H.
Traitement de données imparfaites dans le cadre de la théorie du flou : contribution à la navigation et à la localisation d'un robot mobile.
24 Janvier 2000
Jury : D. Meizel (Président), P. Borne (Rapporteur), F.Chavand (Rapporteur), P.Y. Glorennec (Rapporteur), J. De Schutter, L. Foulloy, C. Barret.

Bestaoui Y.
Génération et suivi de trajectoires des robots manipulateurs et mobiles
18 décembre 2000
jury : C. Laurgeau (président), D. Meizel (Rapporteur), M. Renaud (Rapporteur), K. Kozlowski (Rapporteur), F. Chavand, C. Barret, C. Samson.

Mammar S.
Contrôle latéral assisté et automatisé des véhicules: approches par commandes robustes
12 novembre 2001
jury : H. Abou-Kandil (Président.), C. Canudas-de Wit (Rapporteur), G. Garcia (Rapporteur), D. Mehdi (Rapporteur), J.M. Blosseville, F. Chavand, Michel de Mathelin, G. Duc, M. Papageorgiou.

Kheddar A.
Interfaçage haptique en réalité virtuelle
16 décembre 2002
Jury : P. Coiffet (Président.), R. Caubet(Rapporteur.), A. Fournier (Rapporteur), G. Schmidt (Rapporteur), F. Chavand, F. Jutand, K. Tanie.

Lelandais–Bonadé S., Quelques contributions en analyse de textures et en vision
15 novembre 2002
Jury : B. Zavidovique (Président), P. Barba (Rapporteur), P. Bonton (Rapporteur), M. Rombaut (Rapporteur), F. chavand, E. Colle, P. Gorria.

Hamel T.
Contribution à la commande des robots mobiles: terrestres à roues et volants à voilures tournantes
22 novembre 2002
Jury : J. Bernousou (Président), J.P. Laumond (Rapporteur), B. Espiau (Rapporteur), B. De Luca (Rapporteur), F. Chaumette, M. de Mathelin, D. Meizel, F. Chavand.

II. PUBLICATIONS

Ce chapitre donne la liste des publications de 1999 à 2002 et celle incomplète de 2003

1. Ouvrages

L99-01 - [MAA99L] H. Maaref, C. Barret
Optimization of a Fuzzy Controller for a Reactive Navigation
Computational Intelligence and Applications , N.E. Mastorakis, Ed. , World Scientific, 1999, pp. 193-198, ISBN : 960-8052-05-X

L99-02 - [TZA99L] C.S. Tzafestas, A. Kheddar, Ph. Coiffet
Kinesthesic feedback on the human hand interacting with virtual environment.
Progress in System and Robot Analysis and Control Design. Part V (Industrial Robot Analysis, Design and Control), Chapter 32, pp. 397-422. Lecture Notes in Control and Information Sciences 243, S.G. Tzafestas & G. Schmidt Eds. Springer Verlag, 1999. ISBN 1-85233-123-2.

L01-01 - [KHE01L] A. Kheddar, R. Chellali, Ph. Coiffet
Virtual environment–assisted teleoperation
Chapter 48, pp. 959–1026, Hand Book of Virtual Environments. Edité par Kay M. Stanney, Lawrence Erlbaum Associates, USA. ISBN 0–8058–3270–X.

L01-02 - [MAH01L] R. Mahony, T. Hamel, A. Dzul. et R. Lozano
Modelling and Traking Control for Autonomous Helicopter.
Control of nonlinear mechanical under-actuated systems.
Fontoni I. et Lozano R. Lecture notes de Springer Verlag (2001).

L02-01 - [AGO02L] J.N. de Souza, N. Agoulmine (sous la direction)
Multimedia management
Août 2002, Kogan Page Science, ISBN: 1903996236

L02-02 - [COI02L] Ph. Coiffet, & A. Kheddar (sous la direction)
Téléopération et télérobotique
Chapitre 4: Retours haptiques (A. Kheddar)
Octobre 2002, Collection I2C Hermès – Lavoisier, ISBN 2-7462-0447-9.

L02-03 - [KHE02L] A. Kheddar, & Ph. Coiffet (sous la direction)
Téléopération et réalité virtuelle
Chapitre 3 : A. Kheddar, Téléopération assistée par les techniques de réalité virtuelle
Chapitre 5 : F. Chavand, M. Mallem, Modélisation d'environnements 3D
Octobre 2002, Collection I2C Hermès – Lavoisier, ISBN 2-7462-0448-7.

L02-04 - [VIG02L] V. Vigneron, H. Maaref, C. Barret, L. Jaulin
Fuzzy function approximation with guaranteed error bounds estimate
Advances in system Endineering, Signal Processing and communications, N.E. Mastorakis, Ed. World Scientific, 2002, PP212-220, ISBN 960-69-6

L03-01 - [AGO03L] N. Agoulmine, O. Cherkaoui
La pratique de la supervision de réseaux : architecture, produits et études de cas
Edition Eyrolles, 2003 (à paraître).

L03-02 - [COL03L] E. Colle, P. Gaucher, P. Gorce, M. Mokhtari
Assistance technique au handicap
Chapitre 6 : E. Colle (sous la direction) Assistance aux actions sur l'environnement
Ouvrage collectif sous la direction d'Alain Pruski, Systèmes automatisés, information-commande et communication, Octobre 2003, ISBN 2-7462-0768-0

L03-03 - [FES03L] O. Festor (Eds.), A. Scharff (Eds.), N. Agoulmine, O. Cherkaoui, N. Ben Youssef, L. Andrey
Standards pour la gestion des réseaux et des services
Chapitre 3: N. Agoulmine, gestion de réseau par les politiques: protocole et modèle d'informations.
Ouvrage collectif, Traité IC2, Séris Réseaux et Télécoms, Hermès Science Publications 2003, 250 pages

L03-04 – [PAS03L] M. Pascal,
Numerical simulation of flexible multibody systems by using a virtual rigid body model
Proc. Of NATO ASI on Virtual Non Linear Multibody Systems
W. Scielen and M. Valasek eds., Kluwer Academy Press, 2003.

2. Revues avec comité de lecture

R99-01 - [BEJ99R] L. Beji, M. Pascal
The kinematics and the full minimal dynamic model of a 6 DOF robot manipulator
Non Linear Dynamics, Vol. 18, 1999, pp. 339-356.

R99-02 - [DJE99R] A. Djebli, M. Pascal, L. El Bakkali
Laws of deployement/retrieeval in tether connected satellites systems.
Acta Astronautica, Vol. 45, N°2, pp. 61-73, 1999.

R99-03 - [LOA99R] H. Loiza, J. Triboulet, S. Lelandais
Capteur vertical de vision stéréoscopique multi-configuration pour la robotique mobile,
Instrumentation, Interdisciplinarité et Innovation, Editions HERMES, Paris, 1999, pp.493-500.

R99-04 - [MAA99R] H. Maaref, M. Oussalah, C. Barret
Fusion de données capteurs en vue de la localisation absolue d'un robot mobile par une méthode basée sur la théorie des possibilités. Comparaison avec le filtre de Kalman
Traitement du Signal, Vol. 16, 1999, pp. 345-359

R99-05 - [PAS99R] M. Pascal, T.Gagarina
A pseudo rigid model for the dynamical simulation of flexible mechanisms.
Multibody system Dynamics, Vol. 3, N°4, 1999, pp. 303-331.

R99-06 - [VIG99aR] V. Vigneron, C. Barret
Approximation techniques for neuromimetics calculus
Int. Journal of Neural Systems, Vol. 9, 1999, pp. 227-234

R99-07 - [VIG99bR] V. Vigneron
Evaluating the impact of publicly-funded RTD Programmes.
IPTS Report, Special issue n°40 on "Evaluation", December 99

R99-08 - [ZOU99R] F. Zouaoui, R. Thetiot, M. Dumas
Behavioral interpretation according to multimodeling representation
Applied Intelligence, Vol. 10, 1999, pp. 211-224

R00-01 - [BOU00R] S. Bouzidi, V. Hochschild, H. Staudenrausch, F. Lahoche, I. Herlin
The development of an innovative computer-based integrated water resources management system for water resources analysis. Systems analysis modelling simulation Journal, 2000.

R00-02 - [BUR00R] A. Burov, S. Stepanov, M. Pascal
On gyroscopic stability in a generalized three-body problem.
Journal of applied Mathematics and Mechanics (P.M.M), Vol.64, N°5, 2000.

R00-03 - [COL00R] E. Colle, P. Hoppenot, J-P. Gaillard, L. Claquin
Assistance robotisée basée sur une coopération entre la personne handicapée et la machine
JESA, vol. 34, n°6-7, pp. 743-764, septembre 2000.

R00-04 - [CON00R] E. Connessons, C. Vasiljevic
Absolute location by landmark extraction
Robotica, Vol. 18, pp 487-493, février 2000.

R00-05 - [HOP00R] P. Hoppenot, E. Colle, C. Barat
Off line localisation of a mobile robot using ultrasonic measures
Robotica, Vol 18, pp. 315-323, 2000.

R00-06 - [MAA00R] H. Maaref, C. Barret
Sensors-based fuzzy navigation of an autonomous mobile robot in an indoor environment
Control Engineering Practice,Vol. 8, 2000, pp.757-768.

R00-07 - [OUS00aR] M.Oussalah
On the qualitative necessity/possibility measure. (I) Investigation in the framework of measurement theory.
Information Sciences, Vol. 126, 2000, pp. 205-275

R00-08 - [OUS00bR] M. Oussalah
On the probability/possibility transformations: A comparative analysis
Int. Journal of General Systems, Vol. 29, 2000, pp. 671-718

R00-09 - [OUS00cR] M. Oussalah
Study of some algebrical properties of adaptive combination rules
Fuzzy Sets and Systems, Vol. 114, 2000, pp. 391-409

R00-10 - [PAS00R] M. Pascal T. Gagarina
New method for dynamical simulation of flexible multibody systems.
Problems of investigations on stability and stabilization of motion: Computing Center of the Russian academy of sciences, pp. 24-33, 2000. (en russe).

R00-11 - [PET00R] S. Petit, V. Vigneron
The Evaluation of the Impact of technology transfers from public research laboratories to private firms : the case of the french Nuclear Authority (CEA)
IPTS Reports, Special Issue on Evaluation in Technical Management, n° 40, pp. 24-33.

R01-01 - [BES01R] Y. Bestaoui, S. Hima.
Some Insights in Path Planning of Small Autonomous Airships.
Archives of Control Sciences, Polish Academy of Sciences, Volume 11 (XLVII) 2001, N° 3-4, pp.139-166.

R01-02 - [DJE01R] A. Djebli, M. Pascal, L. El Bakkali
On deployment dynamics of tethered satellite systems
Revue de Mécanique Théorique et Appliquée, Vol.1, n°1, 2001, pp 13-19

R01-03 - [HAM01] T. Hamel et R. Mahony
Visual servoing of an under-actuated rigid body system: An image based approach.
Article accepté comme papier long dans IEEE-Transactions on Robotics and Automations.

R01-04 - [HAM01] T. Hamel, D. Meizel
On robustness and precision of wheeled mobile robots displacements control.
Automatica, Vol 37, Jan 2001, pp 437-444.

R01-05 - [HAM01R] Hamel T., Souères P. et Meizel D.
Path-following with security margin for mobile robots.
Dans "International Journal of Systems Science (IJSS)", vol 32, No 8, 2001.

R01-06 - [HOPP02] P. Hoppenot, E. Colle
Localisation and control of a rehabilitation robot by close human-machine co-operation
IEEE Transaction on Neural System and Rehabilitation Engineering, vol. 9, pp. 181-190, June 2001.

R01-07 - [KEV01] S. Kevorkian, M. Pascal,
An accurate method for free vibrations analysis of structures with application to plates.
J. of Sound and Vibrations, vol. 246, n°5,2001, 795, 814.

R01-08 - [KHE01] Kheddar
Teleoperation based on the hidden robot concept
IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, Part A, Vol. 31, N° 1, pp. 1–13, January.

R01-09 - [LOA01] H. Loaiza, J. Triboulet, S. Lelandais, C. Barat
A new method for matching segments in stereoscopic vision
IEEE Instrumentation and Measurement Magazine, Vol.4, n°1, 2001, pp.37-42.

R01-10 - [MAH01R] Mahony R. et Hamel T.
Adaptive compensation of aerodynamic effects during takeoff and landing manoeuvres for a scale model autonomous helicopter.
European Journal of Control (EJC), Vol 7, no 1, 2001, pp 43-58.

R01-11 - [MAM01R] S. Mammar
Two-Degree-of-Freedom H_∞ Optimization:and Scheduling, for Robust Vehicle Lateral Control
Vehicle Systems Dynamics journal.

R01-12 - [OUS01] M. Oussalah, H. Maaref, C. Barret
New fusion methodology approach and application to mobile robotics : investigation in the framework of possibility theory
Information Fusion ,Vol. 2, 2001, pp. 31-48.

R01-13 - [PAS01R] A. Djebli, M.Pascal, E.El Bakkali
On fast retrieval laws for tethered satellite systems.
Acta Astronautica, vol. 50, n°8, 2002, pp 461-470.

R01-14 - [PAS01R] M. Pascal
Some open problems in dynamic analysis of flexible multibody systems.
Multibody Systems Dynamics,vol.5, n°4, 2001,pp 315-334.

R01-15 - [PAS01R] M.Pascal, A. Djebli, E. El Bakkali
A new deployment /retrieval approach between crawler and conventionnal systems.
PMM, (J. of Applied Math. And Mech.), vol.65, n°4,2001, pp 689-696.

R01-16 - [PRA01R] G. Pradel, F. Bras
Cellular automata for environment representation and routes generation for autonomous mobile robot
JESA, Vol. 32, pp 939-863,2001.

R01-17 - [SAM01] Y. Mbono Samba, M. Pascal
Dynamical analysis and numerical simulation of flexible multibody systems.
Mechanics of Structures and Machines, vol. 29, n°3, 2001, pp 295-316.

R01-18 - [SEG1R] N. Seguy
Exemple de système de commande d'un manipulateur, S7 732
Traité Informatique Industrielle, Techniques de l'ingénieur, 2001.

R01-19 - [SHA01R] M. Shaheen, M. Mallem, F. Chavand
Visual command of a robot using 3D scene reconstruction in an augmented reality system
Control Engineering Practice Elsevier Sciences Ltd, Vol 9/4, pp 375-385, Apr. 2001.

R02-01 - [AITA02R] Omar Aït-Aider, Philippe Hoppenot, Etienne Colle
Adaptation of Lowe's camera pose recovery algorithm to mobile robot self-localisation
Robotica 2002, Vol. 20, pp 385-393, 2002.

R02-02 - [HAM02R] Hamel T. et Mahony R.
Visual servoing of an under-actuated rigid body system: An image based approach.
Regular paper, Transactions on Robotics and Automation, Vol 18, No 2, pp 187-198.

R02-03 - [HOPP02R] P. Hoppenot, E. Colle
Mobile robot command by man-machine co-operation - Application to disabled and elderly people assistance
Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 34, n°3, pp. 235-252, July 2002.

R02-04 - [KAL02R] R. Kallel , M. Cottrell, V. Vigneron
Bootstrap for model selection
NeuroComputing , Vol.48, pp.175-183, 2002.

R02-05 - [KOE02R] D. Koenig et S. Mammar
Design of Proportional-Integral Observer for Unknown Input Descriptor Systems
IEEE Transactions on utomatic Control, vol 47,No12, 2002.

R02-06 - [LELA02R] S. Lelandais, J. Plantier, L. Boutte
Précision et performances d'une méthode de calcul de l'orientation d'un plan texturé incliné
Traitement du Signal 2002, Vol.19, N°3, pp.1-19.

R02-07 - [MAA02R] H. Maaref, C. Barret
Sensor-based navigation of a mobile robot in an indoor environment
Robotics and Autonomous Systems, Vol. 38, 2002, pp. 1-18.

R02-08 - [MAM02R] S. Mammar et D. Koenig
Scénario Périurbain de route Automatisée. Recherche Transport et Sécurité
Elsevier, 2002

R02-09 - [MAM02R] S. Mammar et D. Koenig
Vehicle Handling improvement by Active Steering
Vehicle System Dynamics Journal, vol 38,No3, 211-242, 2002.

R02-10 - [PLA02R] J. Plantier, L. Boutte, S. Lelandais
Defect detection on inclined planes using the shape from texture method and the Delaunay triangulation,
EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Special Issue on Applied Visual Inspection, N°7, juillet 2002, pp.659-666.

R02-11 - [RED02R] S. Redon, A. Kheddar, & S. Coquillart
Fast continuous collision detection between rigid bodies
EUROGRAPHICS, Vol. 21, N° 3, Septembre.

R03-01 - [ARI03R] H. Arioui, A. Kheddar, & S. Mammar
A model-based controller for interactive force reflecting virtual environment under time-delay
Journal of Intelligent and Robotic Systems. , Vol. 37, n°2, pp 193-207, June 2003.

R03-02 - [DAM03R] G. Damm, R. Marino, F. Lamnabhi-Lagarrigue
Adaptive Nonlinear Output Feedback for Transient Stabilization and Voltage Regulation of Power Generators with Unknown Parameters
International Journal of Nonlinear and Robust Control, 2003. à paraître

R03-03 - [DJE03R] A. Djebli, M.Pascal
A new method for the orbital modification of a tether connected satellite system,
Acta Mechanica, 2003, à paraître

R03-04 - [DZU03R] Dzul-Lopez A., Hamel T. et Lozano R.
Modélisation et commande non linéaire pour un hélicoptère bi-rotor co-axial. JESA 2003. à paraître

R03-05 - [FEN03R] Z-Q. Feng, P. Joli, N. Seguy
FER/Mech - A software with interactive graphics for dynamic analysis of multibody system, Advances in Engineering Software, 2003. à paraître

R03-06 - [GAI03R] J.P. Gaillard, D. Freard, E. Colle, P. Hoppenot
Operator's self confidence to detect mobile robot trajectory errors
Le travail humain, tome 66, n°1, pp. 1-21, 2003.

R03-07 - [HAM03R] T. Hamel, R. Mahony
Robust Trajectory Tracking for a Scale Model Autonomous Helicopter - Intenatinal Journal of Robust Nonliear Control, 2003. à paraître

R03-08 - [KEV03R] S. Kevorkian, M.Pascal
Distributed control of truss structures,
Journal of Vibration and Control, vol 9, n° 1, 7-24, 2003.

R03-09 - [LEL03R] S. Lelandais, L. Boutte, J. Plantier
Results of a shape from texture method and improvements obtained for macrotexture
Int. J. on Image and Graphics, 2003. à paraître

R03-10 - [MAR03R] A. Marshall, N. Agoulmine (Eds.)
Management of multimedia networks and service, 6th IFIP/IEEE International coference, MMNS 2003, Belfast, UK, September 7-10, 2003, Lecture notes in computer Science 2839 Springer 2003, ISBN 3-540-20050-9

R03-11 - [OUS03R] M. Oussalah, H. Maaref, C. Barret
From adaptive to progressive combination of possibility distributions
IEEE Transaction on Fuzzy Sets and Systems, Vol. 133, n 9, pp. 559-582, 2003, 2003.

R03-12 - [OUS03R] M. Oussalah, H. Maaref, C. Barret
Possibilistic data fusion methodology with robotics application
IEEE Transaction on Fuzzy Sets and Systems, 2003. à paraître

R03-13 - [PAS03R] M.Pascal
Non linear vibrations of an unbalance rotor with radial clearance
Int. J. of Non linear Analysis in Eng. Systems, Vol.1,n 2,pp.127-137, 2003.

R03-14 - [RYB03R] Y. Rybarczyk, O. Aït-Aider, Ph. Hoppenot, E. Colle.
Remote control of a biomimetics robot assistance system for disabled persons,
Modelling Measurement and Control, 2003. à paraître

R03-15 - [RYB03R] Y. Rybarczyk, D. Mestre, P. Hoppenot et E. Colle
Implémentation télérobotique de l'anticipation sensorimotrice pour optimiser la Coopération Homme-Machine, à paraître
Le travail humain, 2003. à paraître

R03-16 - [SIN03R] D.Singh, I.Herlin, JP. Berroir, S. Bouzidi, F. Lahoche
Evapotranspiration estimation using remote sensing data
MAUSAM Quarterly Journal of Meteorology Hydrology & Geographics
Special issue on remote sensing applications in meteorology, Vol. 54, n°1, pp 247-252, Janvier 2003.

R03-17 - [VIG03R] V.Vigneron, C. Jutten, Bounded approximation for BSS algorithms - Neurocomputing, à paraître.

3. Congrès et colloques avec actes

C99-1 - [BEJ 99C] L. Beji, M. Pascal
Non linear feedback law for tracking control of dc-actuated robots.
Proceedings of DETC'99, ASME, Septembre 12-16, Las Vegas, Nevada, 1999.

C99-2 - [BES99Ca] Y. Bestaoui
Longitudinal front wheel drive vehicle maneuvers considering DC motors constraints
International Mechanical Engineering Congress and Exposition 99, Innovations in Vehicle design and Development, American Society of Mechanical Engineers, Nashville, TN, Nov. 1999.

C99-3 - [BES99Cb] Y. Bestaoui
Dynamics of a three-wheeled vehicle driven by DC-motors
IMECE99, ASME, Nashville,TN, Nov. 1999.

C99-4 - [BOU99C] L. Boutte , S. Lelandais, J. Plantier
Orientation d'une surface texturée: De la perception à l'analyse d'images
GRETSI 99, Vannes, France, 13-17 Septembre 1999.

C99-5 - [CHR99C] A. Chriette, S. Mammar., T. Hamel
Combined vehicle lateral and longitudinal Control. Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis ISAS'99, Orlando, USA.

C99-6 - [DAV99aC] F. Davesne, C. Barret
A reactive navigation method based on an incremental learning of task sequences
ROMOCO'99, Kiekrz, Pologne, 28-30 Juin 1999.

C99-7 - [DAV99bC] F. Davesne, C. Barret
Constraint based memory units for reactive navigation learning
8°Europ. Workshop on Learning Robots, EWLR8, pp. 56-65, Lausanne, Sept. 99

C99-8 - [DAV99cC] F. Davesne, C. Barret
Reactive navigation of a mobile robot using a hierarchical set of learning agents
IEEE Conf. on RObotics and autonomous Systems IROS'99, Kyongju, Corée, 17-21 Octobre 1999.

C99-9 - [DAV99dC] F. Davesne, C. Barret
Another approach to learning from reward : the CbMU algorithm
4° Europ. Workshop on Reinforcement Learning, EWRL'99, Lugano, 29-30 Octobre 1999.

C99-10 - [LEP99C] S. Lepert, C. Barret
Apport de la logique floue pour l'industrie verrière
Coll. Nat. Logique Floue et Applications, LFA'99, pp. 114-119, Valenciennes, 21-22 Octobre 1999.

C99-11 - [LOA99C] H. Loiza , J. Triboulet, S. Lelandais
A multi-configuration stereoscopic vision for domestic mobile robot localization
Robot Motion and Control, Poland, June 99, pp. 207-212.

C99-12 - [MAA99C] H. Maaref, C. Barret, A. AMAMOU
Optimization of a fuzzy controller for a reactive navigation
3° IEEE/IMACS World Multiconf. on Circuits, Systems, Communication and Computers, CSCC'99,
pp. 5781-5785, Athènes, 4-8 Juillet 1999.

C99-13 - [MAH99C] R. Mahony, T. Hamel, A. Dzul-Lopez
Hover control via an approximate Lyapunov control for a model helicopter. Proceedings of 38th Conference on Decision and Control, Phoenix, Arizona, 1999.

C99-14 - [MAL99C] M.Mallem, M. Shaheen, F. Chavand
Automatic camera calibration based on robot calibration
16th IEEE Instr. and Meas. Technol. Conf., Vol.3, pp. 1278-1282, Venice, Italy, May 24-26, 1999.

C99-15 - [MAM99C] S. Mammar
Robust Reduced Order Hinfini Control for Tractor-Semitrailer Lateral Control,
ACC'99, American Control Conference, 1999.

C99-16 - [MAM99C] S. Mammar
Simultaneous Vehicle Automatic steering and Fault Detection,
ECC'99, European Control Conference, 1999.

C99-17 - [MAM99C] S. Mammar, V. Baghdassarian, L. Nouvelière,
Speed Scheduled Vehicle Lateral Control, Second IEEE Intelligent
Transportation Systems Conference, Tokyo, 1999.

C99-18 - [MAT99C] S. Mathevet, L. Tressoudaine, P. Checchin, J. Alizon
Combination of image segmentation into regions.
11th Scandinavian Conference on Image Analysis, Kangerlussuaq Denmark, june 1999.

C99-19 - [PAS99C] M. Pascal, T. Gagarina
Dynamical Simulation of flexible multibody system by using a rigid body model.
17th Biennal ASME Conf. on Mechanical Vibration and Noise, Las Vegas, (USA), 12-15 septembre 1999.

C99 –20 - [RIC99aC] P. Richard, A. Kheddar, R. England, Ph. Coiffet
Human performance evaluation of two handle haptic devices in a dextrous virtual telemanipulation task,
IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems, IROS' 99, October 17–21, Taejon, Korea.

C99-21 - [RIC99bC] P. Richard, R. England, A. Kheddar, Ph. Coiffet
Effect of tactual feedback on performance in manipulation tasks
International Scientific Workshop "Virtual Reality and Prototyping", pp. 127-136, 3-4 Juin, Laval, France. ISBN 2-9513952-0-5.

C99-22 - [VIG99C] V. Vigneron, S. Petit
Kohonen qualitative maps: application to the evaluation of R.&D. collaborations between public research laboratories and industrial firms
ACSEG'99, Reus(Spain), dec 1999

C00-01 - [BAR00C] C. Barat, H. Loaiza, E. Colle, S. Lelandais
Neural and statistical classifiers. Can such approaches be complementary ?
IMCT2000, IEEE Instrumentation and Measurement Technologie Conf., Baltimore, USA, 1-4 may 2000.

C00-02 - [BES00] Y. Bestaoui
An optimal velocity generation of a rear wheel drive tricycle along a specified path
American Control Conference, Chicago, IL, June 2000, pp. 2907- 2911.

C00-03 - [BES00C] Y. Bestaoui, T. Hamel
Dynamic modelling of small autonomous blimps
Methods and Models in Automation and Robotics, Miedzyzdroje, Pl, Aug. 2000, vol. 2, pp 579 - 584.

C00-04 - [BLO00C] J-.M. Blosseville, S. Mammar
Update from the french program 'la route automatisée'

C00-05 - [BOU00C] L. Boutte , J. Plantier , S. Lelandais , P. Checchin
Texels extraction on inclined textures by adaptative thresholding of local scales
ICPR 2000, International Conference on Pattern Recognition Barcelone, Spain, September 2000.

C00-06 - [BOUZ00C] S. Bouzidi, F. Lahoche andI. Herlin

Land use classification at meso-scale using remotely sensed data
Proc. of 19th ISPRS Congress and Exhibition, Geoinformation for All, july , 2000, Amsterdam, Netherlands.

C00-07 -[CHR00C] A. Chriette, R. Mahony, T. Hamel
Evaluation adaptative des forces aérodynamiques pour la commande d'hélicoptère de petite taille en mode de vol proche du vol stationnaire.
CIFA'2000, Lille, Juillet 2000.

C00-08 - [DEV00] N. Devictore, J-M. Martinez
Nonlinear regression methods in uncertainty and reliability studies
ESREL'2000, Edinburgh, Scotland, Mai 2000

C00-09 - [HAM00Ca] T. Hamel , R. Mahony
Visual servoing of fully actuated dynamic systems using a robust backstepping design.
6th IFAC Symposium Robot Control SYROCO'2000, Vienne, Autriche.

C00-10 - [HAM00Cb} T. Hamel, R. Mahony.
Robust Visual Servoing for Under-Actuated Dynamic Systems.
39th Conference on Decision and Control CDC'2000 (CD-Rom), Sydney, Australia

C00-11 - [HOP00aC] P. Hoppenot, E. Colle
Robotique d'assistance aux personnes handicapées
Handicap'2000, Paris, pp. 11-16, juin 2000.

C00-12- [HOP00bC] P. Hoppenot, E. Colle
Assistance robot to disabled people
IMACS'2000, Lausanne, Session 170, abstract p.261, 21-25 August 2000.

C00-13 - [HOP00cC] P. Hoppenot, E. Colle
Human-like beaviour robot - Application to disabled people assistance
IEEE, SMC'2000, Nashville, abstract p. 204, 8-11 October 2000.

C00-14 - [LAH00C] F. Lahoche, S. Bouzidi, I. Herlin, J.P. Berroir
Fusion of Landsat TM and NOAA/AVHRR data for generating evapotranspiration maps in a semi-arid catchment
Proc. of 3rd Int. Conf. ``Fusion of Earth Data", jan. 2000, Sophia-Antipolis, France.

C00-15 - [LEC00C] A. Lécuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard, Ph. Coiffet
Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?
IEEE Int. Conf. on Virtual Reality, VR2000, pp. 83-90, March 18-22, New Jersey, USA.

C00-16 - [LOA00C] H. Loiaza, J. Triboulet, S. Lelandais, C. Barat
A new method for matching segments in stereoscopic vision, VIMS 2000, IEEE Int. Workshop on Virtual and Intell. Meas. Syst., Anapolis, USA, 29-30 April 2000.

C00-17 - [MAA00C] H. Maaref, C. Barret
Extraction automatique de connaissances et optimisation en ligne d'une base de règles floues : Application à la navigation réactive d'un robot mobile
Coll. Nat. Logique Floue et Applications, LFA'2000, pp 165-172, La Rochelle, 18-20 Octobre 2000.

C00-18 - [MAH00Ca] R. Mahony et T. Hamel.
Lyapunov Tracking Control for Unmanned Aerial Vehicles using Local Measurements.
39th Conference on Decision and Control CDC'2000 (CD Rom), Sydney

C00-19 - [MAH00Ca] R. Mahony, T. Hamel, . Chriette
Adaptive estimation of aerodynamic forces for hover control of a reduced scale autonomous helicopter
6th IFAC Symposium Robot Control SYROCO'2000, Vienne, Autriche.

C00-20 - [MAM00Ca] S. Mammar, D. Koenig,
Robust Control and Fault Detection with Application to Tractor-Semitrailer Automatic Steering,
IEEE CCA 2000.

C00-21 - [MAM00Cb] S. Mammar, V.B. Baghdassarian
Two-degree-of-freedom Formulation of Vehicle Handling Improvement by Active Steering,
ACC'2000, American Control Conference, 2000.

C00-22 - [MAM00Cc] S. Mammar, L. Nouvelière, N. K. M'Sirdi, J. Sainte-marie,
Contrôle intégré d'un véhicule en automatisation basse vitesse"
CIFA, 2000.

C00-23 - [MAR00C] J-M. Martinez, S. Noceir, H.I. Wong
PWR fuel management using artificial neural networks ICONE'8, Baltimore, USA, Avril 2000.

C00-24 - [OTM00aC] S. Otmane, M. Mallem, A. Kheddar, F. Chavand
ARITI : an Augmented Reality Interface for Teleoperation on the Internet
Advanced Simulation Technologies Conference 2000 "High Performance Computing HPC 2000, pp 254-261, April 16-20, Washington, D.C., USA.

C00-25 - [OTM00bC] S. Otmane, M. Mallem, A. Kheddar, F. Chavand,
Active virtual guide as an apparatus for augmented reality based telemanipulation system on the Internet
IEEE Computer Society "33rd Annual Simulation Symposium ANSS 2000", pp 185-191, April 16-20, 2000, Washington, D.C., USA

C00-26 - [OTM00cC] S. Otmane, E. Colle, M. Mallem, P. Hoppenot
Disabled people assistance by a semiautonomous robotic system : Use of Virtual Reality to enhance human performances
4th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, SCI2000
Vol 3 - Virtual Engineering and Emergent Computing" , pp 684-689, July 23-26, Orlando, USA.

C00-27 - [PRA00C] G. Pradel, S. Avrillon, L. Garbuio
Landmark interpretation by means of frescoes in mobile robotics
6th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR2000, pp585-592, Vol 2. August 28-31, 2000, Miedzyzdroye, Poland

C00-28 - [RED00C] S. Redon, A. Kheddar, S. Coquillart
An algebraic solution to the problem of collision detection for rigid polyhedral objects
IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA2000, Stanford, CA, USA.

C00-29 - [RIV00aC] D. Rivière, D. Papadopoulos, C. Poupon, F. Poupon, O. Coulon, V. Frouin, J. Régis, J-F. Mangin
A structural browser for human brain mapping, HBM'2000, SanAntonio, USA.

C00-30 - [RIV00bC] D. Rivière, J-F. Mangin, D. Papadopoulos, J-M. Martinez, V. Frouin, J. Régis
Automatic recognition of cortical sulci using a congregation of neural networks, MICCAI'2000, Pittsburgh, USA, 11-13 0ct. 2000

C00-31 - [TRI00C] J. Triboulet, G. Lepere, F. Chavand, S. Hayat, H. Bechart
Visual specification for trucks platooning
WAC 2000, Int Symp. on Intelligent Automation and Control., MAUI USA, June 2000.

C00-32 - [VIG00aC] V. Vigneron, C. Barret
Connecting fuzzy and statistical analysis with qualitative maps
15thInternational Computer Science Conventions, Berlin, 23-26 Mai, 2000.

C00-33 - [VIG00bC] V. Vigneron, R. Kallel, J-M. Martinez, M. Cottrell
Bootstrap for Model Selection
8th European Symposium on Artificial Neural Networks, ESANN'2000, pp. 61-68, Bruges, 26-28 Avril 2000.

C00-34 -[VIG00cC] V. Vigneron, C. Barret
Bootstrap pour la sélection de modèles neuronaux : application au positionnement des barres de combustible dans les réacteurs nucléaires
1° Conférence Internationale Francophone en Automatique, pp. 355-360, Lille, 3-5 Juillet, 2000.

C01-01 - [AIT01] N. Ait Oufroukh, C. Barat and E. Colle
Distinction between objects with ultrasonic biaural system and only amplitude
8th IEEE on emerging technologies and factory automation, EFTA, Antibes, Vol. 1, 2001, pp758-760.

C01-02 - [AITA01] O. Aït-Aider, P. Hoppenot, E. Colle
Localisation by camera of a rehabilitation robot
ICORR 7th Int. Conf. On Rehab Robotics, Evry, France, pp. 168-176, 25-27 avril 2001.

C01-03- [AZO01] N. Azouz, S. Payandeh
Fast Finite element tool for surgical simulation : contribution to the cutting problem.
International conference EUROHAPTICS '01, Birmingham, UK (2001).

C01-04 - [BAR01C] C. Barat, and N. Ait Oufroukh.
Classification of indoor environment using only one ultrasonic sensor.
IEEE Instrumentation and Measurement, Technology Conference, Budapest, Hungary, May 2001, pp 1750-1755.

C01-05 - [BAR01C] C. Barat, E. Colle and N. Ait Oufroukh.
Toward a versatile ultrasonic sensor. 8th IEEE on Emerging Technologies and factory automation, ETFA, Antibes, Vol. 1, 2001, pp. 383-391.

C01-06 - [BEJ01C] L. Beji, Y. Bestaoui.
An adaptive control method of automated vehicles with integrated longitudinal and lateral dynamics in road following.
International Workshop on Robot Motion Control, ROMOCO'01,.

C01-07 - [BEJ01C] L. Beji, Y. Bestaoui.
Control of integrated lingitudinal and lateral dynamics of automated vehicle in road following.
Euromech'01 Sept. 24-27, ENS Cachan, France.

C01-08 - [BER01] B. Bernay, M.Pascal
Non linear dynamics due to fan blade off in a turbomachinery
Proc. of ISROMAC9, Feb. 10-14, 2002, Honolulu, Hawai, USA.

C01-09 - [CHR01C] A. Chriette, T. Hamel et R. Mahony
Visual servoing for autonomous helicopter.
International Conference IEEE (CD-Rom), Robotics and Automation ICRA'2001', pp 1701-1706, Corée, mai 2001.

C01-10 - [DZU01C] A. Dzul-Lopez, T. Hamel et R. Lozano
A new control strategy based on dynamic reduction for an automous helicopter.
European Control Conference ECC'2001.

C01-11 - [FON01] M. Fonseca et N. Agoulmine
Dynamic Deployment of Value Added Management Services for Actives Networks
IEEE Latin American Network Operations and Management Symposium - LANOMS'01, Belo Horizonte, Brazil - September, 2001

C01-12 - [FON01] M. Fonseca, N. Agoulmine and O. Cherkaoui
Active Networks as a Flexible Approach to deploy QoS Policy Based Management
HP-OVUA'01, Berlin, Germany - June, 2001

C01-13 - [FON01] M. Fonseca, N. Agoulmine and A. Marshall
Multidomain Policy Based Management Using Mobile Agents
IEEE/ACM Mobile Agents for Telecommunication Applications - MATA'01, Montréal, Canada - August, 2001

C01-14 - [GAGA01] T. Gagarina , P. Joli, Ch. François
Modeling and experimental analysis of bellow type actuators,
ROMAN IEEE 2001, Paris

C01-15 - [HOPP01] Ph. Hoppenot, E. Colle, O. Aït-Aider, Y. Rybarczyk
ARPH - Assistant Robot for Handicapped People - A pluridisciplinary project
IEEE Roman'2001, Bordeaux and Paris, pp. 624-629, 18-21 Sept 2001.

C01-16 - [KEV01C] S. KEVORKIAN, M.PASCAL
Feeback control of truss structures with distributed flexibility
Proc. of the 18th Biennal Conference on Mechanical Vibration and Noise, [CDROM], Sept. 9-13, 2001, Pittsburg, USA.

C01-17 - [LEC01] A. Lécuyer, A. Kheddar, S. Coquillart, L. Graux, & Ph. Coiffet
A haptic prototype for the simulations of aeronautics mounting / unmounting operations
IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, September 18–21, Bordeaux -Paris, France.

C01-18 - [LEL01] S. Lelandais, C. Niermont, T. Lavallee, F. Le Ven, F. Lerique
Utilisation de jeux pédagogiques pour la formation en gestion industrielle et en qualité
Proc. of CETSIS'01, oct. 29-30, 2001, Clermont-Ferrand, France.

C01-19 - [LEL01] S. Lelandais, L. Boutte, J. Plantier
Defects detection on inclined textured plane
QCAV 2001, International Conference on Quality Control by Artificial Vision, Le Creusot, France, Mai 2001.

C01-20 - [MAA01] H. Maaref, C. Barret
Progressive optimization of a fuzzy inference system.
Proc. of IEEE Joint 9th IFSA World congress and 20th NAFIPS International Conference, July 25-28, 2001, Vancouver, Canada.

C01-21 - [MAH01C] Mahony R. et Hamel T.
Visual servoing using linear features for under-actuated rigid body dynamics.
Conference IEEE IROS'2001(CDRom), pp 1153-1158, Hawaii, USA, 2001.

C01-22 - [MER01] D. Merad, J. Triboulet, A. Chedebois, M. Mallem, C. Fioroni, J.R. Passemar
Diagnostic assistance using oriented vision system for high velocity tooling machines
IEEE ETFA'2001 8th International conference on emerging technologies and factory automation, vol. 2, pp. 791-794, Oct., 15-18, 2001, Antibes, France.

C01-23 - [MBO01C] Y. C. MBONO SAMBA, M.PASCAL
Non linear effects in dynamic analysis of flexible multibody systems
Proc. of the 18th Biennal Conference on Mechanical Vibration and Noise CDROM), Sept. 9-13, 2001, Pittsburg, USA.

C01-24 - [MOH01] H. Mohellebi, S. Espié, & A. Kheddar
Haptic feedback models for driving simulator– Vibrating seat and haptic feedback steering wheel
IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, September 18 – 21, Bordeaux – Paris, France.

C01-25 - [OTM01] S. Otmane, and M. Mallem
Augmented Reality System enabling cooperative Telework
in Inernational Symposium on Mixed Reality, Pages 135-136 , March 14-15, 2001, Pacifico Yokohama, Japan (short paper and demonstration).

C01-26 - [OTM01] S. Otmane, M. Mallem
Cooperative Remote Control Using Augmented Reality System based on the World Wide Web
1st IFAC Conference on Telematics Applications in Automation and Robotics, pp. 529-534, July 24-26, 2001, Weingarten, Germany

C01-27 - [PIM01] V.Pimentel, G.Hebuterne, N.Agoulmine
A partners system for exchange and collaboration in an Open Distance Education Environment
International Conference on Intelligent Multimedia and Distance Education- ICIMADE'01, Fargo - USA, juin 2001.

C01-28 - [PIM01] V.Pimentel, G.Hebuterne, N.Agoulmine
Cooperation in distance learning plateforms
20th World Conference on Open Learning and Distance Education, Duesseldorf, Germany, 01-05 Avril 2001.

C01-29 - [PLAN01aC] Plantier J. - Lelandais S. – Boutte L.
Applications du calcul de l'inclinaison d'un plan texturé
GRETSI 01, Toulouse, France, Septembre 2001.

C01-30 - [PLAN01bC] Plantier J. - Lelandais S. – Boutte L.
A shape from texture method based on local scales extraction : precision and results
ICIP 2001, International Conference on Image Processing, Thessalonique, Grèce, Octobre 2001.

C01-31 - [PRA01C] G. Pradel, O. Comfaits
A framework for a web-supervisory control of mobile robots. Application to an assistance system for disabled persons
10 th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, Roman'01, pp. 249-255, September 18-21, 2001 Bordeaux-Paris

C01-32 - [RED01] S. Redon, A. Kheddar, & S. Coquillart
CONTACT: Arbitrary in-between motions for collision detection
IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, September 18–21, Bordeaux – Paris, France.

C01-33 - [RYBA01] Y. Rybarczyk, S. Galerne, P. Hoppenot, E. Colle, D. Mestre
The development of robot human-like behaviour for an efficient human-machine co-operation
AAATE, Ljubjana, pp. 274-279, 3-6 September 2001.

C01-34 - [TRI01] J.Triboulet, M. Shaheen, M. Mallem, C. Fioroni, J.R. Passemard
Finding 3D polyhedral Object attitude using a virtual model for industrial machining
IEEE ETFA'2001 8th International conference on emerging technologies and factory automation, vol. 1, pp. 57-65, Oct., 15-18, 2001, Antibes, France.

C01-35 - [VIG01] V. Vigneron
Bootstrap, réseaux de neurones et identification
Proc. of JIME'2001, Journées Identification et Modélisation Expérimentale, march 8-9, 2001, Vandoeuvre-les-Nancy, France.

C01-36 - [VIG01] V. Vigneron, L. AUBRY
More on stationnary points in Independent Component Analysis
Proc. of ESANN'01, 9th Eur. Symp. on Artificial Neural Networks, apr. 25-27, 2001, Bruges, Belgium.

C02-01 - [ABA02] F. Ababsa, D. Roussel, M. Mallem
3D Free Form Object Recovery Using AnAccurate 3D Low Cost Vision System Based on Structured Light
Proceedings of The 7th IEEE International Conference on Control, Automation, Robotics and Computer Vision (ICARCV 2002). Singapore, December 2-5, 2002. pp. 120-125.

C02-02 - [ABA02] F. Ababsa, D. Roussel, M. Mallem
An Optimal Low Cost Solution For The3D Free Form Object Recovering Pose Problem
Proceeding of the 8th IAPRInternational Workshop on Machine Vision Applications (MVA2002). Nara, Japan, December 11-13, 2002. pp. 136-139.

C02-03 - [ABA02] F. Ababsa, D. Roussel, M. Mallem, J. Y. Didier
3D free form objects recognition technique using photoclinometry
Proceedings of the 4th International Workshop on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS 2002). Ghent, Belgium, September 9-11, 2002. pp. 130-135.

C02-04 - [ABA02] F. Ababsa, D. Roussel, M. Mallem, J.Y. Didier
2D/3D Automatic Matching Technique for 3D Recovering of Free Form Objects
Proceeding of the 16th IAPR-IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2002). Quebec City, Canada, August 11-15, 2002, Vol. II, pp. 430-433. IEEE Computer Society Press.

C02-05 - [ACH02] Achir Nadjib, Agoulmine Nazim, Fonseca Mauro, Ghamri Doudane Yacine and Pujolle Guy
Active Technology as an efficient approach to control DiffServ networks
IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia Networks and Services - MMNS 2002, University of California, Santa Barbara - October, 2002

C02-06 - [AIT02C] N. Ait Oufroukh and E. Colle
Pattern recognition with ultrasonic sensor using classification methods
Hybrid Intelligent System (HIS2002), Chili, Décembre 2002.

C02-07 - [AIT02C] N. Ait Oufroukh, C. Barat and E. Colle
Ultrasonic multi-transducer processing for pattern recognition
1st IEEE Sensor, Orlando, Juin 2002

C02-08 - [AITA02] O. Ait Aider, P. Hoppenot, E. Colle
A Model to Image Straight Line Matching Method for Vision-Based Indoor Mobile Robot Self-Location
In Proc. of the 2002 IEEE/RSJ international Conference on Itelligent Robots and Systems, IROS'2002, Lausanne, pp. 460-465, 30 September - 4 October 2002.

C02-09 - [ARI02] H. Arioui, A. Kheddar, S, Mammar
A Master-Model-Based Stable Time-Delayed Force Feedback Interaction
10th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), Lisbon, Portugal, 9-12 juillet 2002, pp 233-241.

C02-10 - [ARI02] H. Arioui, A. Kheddar, S, Mammar
A Predictive Wave-Based Approach for Time Delayed Virtual Environment Haptics Systems
11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN), Berlin, Germany, 25-27 September 2002, pp 552-556

C02-11 - [ARI02] H. Arioui, A. Kheddar, S, Mammar
Master-Model Based Time-delayed Force Feedback Interaction: Experimental Results
17th IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC), Vancouver, British Columbia, Canada, 23-30 October 2002, pp 896-901.

C02-12 - [ARI02] H. Arioui, A. Kheddar, S, Mammar
Stable shared virtual environment haptic interaction under time-varying delay
8th IEEE Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), Szczecin, Poland, 2-5 septembre 2002, pp 1145-1150

C02-13 - [ARI02] H. Arioui, S, Mammar; T. Hamel
A Smith-prediction based Haptic Feedback Controller for Time Delayed Virtual Environments Systems
American Control Conference (ACC), Alaska, USA, pp 4303-4308, 8-12 mai 2002.

C02-14 - [AZO02] N. Azouz, Y. Bestaoui, O. Lemaitre
Dynamic Analysis of Airships with small deformations
ROMOCO'02. Bukowy, Poland, 2002.

C02-15 - [BEJ02] L. Beji, A. Abichou, Y. Bestaoui
Stabilisation of a nonlinear underactuated autonomous airship- A combined averaging and backstepping approach
International Workshop on Robot Motion Control, ROMOCO 02.

C02-16 - [BER02] B. Bernay, M.Pascal
Non linear dynamics due to fan blade off in a turbomachinery
Proc. of ISROMAC9, Feb. 10-14, 2002, Honolulu, Hawai, USA.

C02-17 - [BUR02] Jan van der Burg, A. Kheddar, & P. Blazevic
Integration of a terrain–adaptive traction control system in the hierarchy of locomotion control system
IASTED International Conference on Control and Applications, May 20–22, Cancun, Mexico.

C02-18 - [CHR02C] Chriette A., Simler J. et Hamel T.
Suivi de trajectoires par vision et commande adaptative : Application à un hélicoptère miniature.
CIFA'2002.

C02-19 - [COLL02] Etienne Colle, Yves Rybarczyk, Philippe Hoppenot
ARPH: An assistant robot for disabled people
SMC'2002, Hammanet, Tunisia, abstract p.5, 6-9, October 2002.

C02-20 - [DZU02C] Dzul-Lopez A., Hamel T. et Lozano R.
Modeling and Nonlinear Control for a Coaxial Helicopter.
IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC'02.

C02-21 - [DZU02C] Dzul-Lopez A., Hamel T. et Lozano R.
Modélisation et Commande non-linéaire pour un hélicoptère bi-rotor coaxial.
CIFA'2002.

C02-22 - [DZU02C] Dzul-Lopez A., Hamel T. et Lozano R.
Nonlinear Control for a Tandem Rotor Helicopter.
Dans le 15ème IFAC World Congress'2002.

C02-23 - [FON02] Fonseca M. and Agoulmine N.
End to end IP QoS assurance using policy based multi-agent SLA management systems
IEEE International Telecommunications Symposium - ITS2002, Natal/RN - Brazil - September, 2002

C02-24 - [GHA] Ghamri Doudane Y., Munaretto fonseca A. and Agoulmine N.
Policy Control for Nomadic Enterprise Ad Hoc Networks
International Conference on Telecommunication Systems - ICTS2002, Monterey, CA, USA - October, 2002.

C02-25 - [GOM02] D. Gomes, N. Agoulmine and J.N. De Souza
IP Bandwidth Allocation Management using Agents and Neural Network Approach
IEEE Workshop on IP Operations and Management (IPOM 2002), October 29-31, 2002. Dallas, Texas, USA.

C02-26 - [GOM02C] D. Gomes, N. Fonseca, N. Agoulmine and J.N. De Souza
Neurocomputation of the Hurst Parameter IEEE International Telecommunications Symposium (ITS2002), September 8-12, 2002 – Natal, Brazil.

C02-27 - [HAM02] T. Hamel, R. Mahony and A. Chriette
Visual Servo trajectory tracking for a four VTOL aerial vehicle.
ICRA'2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Washington D.C. May 11-15, pp 2781-2786, 2002.

C02-28 - [HAM02] Hamel T., Mahony R., Lozano R. et Ostrowski J.
Dynamic Modelling and Configuration Stabilization for an X4-flyer.
15ème IFAC World Congress'2002.

C02-29 - [JOL02] P. Joli, Ch. François, T. Gagarina
Modeling and process design of a new type of catheter for special endovascular treatments of abdominal aortic aneurysms
CARS 2002, Paris

C02-30 - [MAH02C] Mahony R., Hamel T. et Chaumette F.
A Decoupled Image Space Approach to Visual Servo Control of a Robotic Manipulator.
International conference IEEE, Robotics and Automation ICRA'2002, pp 3781-3786.

C02-31 - [MAU02] M. Fonseca and N. Agoulmine
Policy Based Mobile Agents as a Solution for Inter carriers SLA Negotiation to support End-to-End IP QoS
IEEE GLOBECOM 2002, TAIPEI - November, 2002

C02-32 - [MON02] C. Montagne, S. Lelandais, J. Triboulet, C. N'ZI
How to choose the best color space for the guidance of an indoor robot?
Proc. of CGIV'02, apr. 2002, Poitiers, France.

C02-33 - [MUN02] Munaretto Fonseca A., Agoulmine N. and Fonseca M.
Policies and Active Code to Improve Quality of Service in Ad Hoc Networks
IT&T Conference 2002, Waterford - Ireland - October, 2002

C02-34 - [MUN02] Munaretto fonseca A., Agoulmine N. and Fonseca M.
Policy-based Management of Ad-hoc Enterprise Networks
HP Openview University Association 9th Annual Workshop, June, 2002

C02-35 - [NZI02] C. N'Zi, H. Loiaza, J. Triboulet, S. Lelandais, C. Barat, C. Montagne
Matching stereoscopic segments : comparison between epipolar, bayesian and neural approaches
Proc. of ISMCR2002, Int. Symp. on Measurement and Control in Robotics, june 20-22, 2002, Bourges, France.

C02-36 - [OTM02] S. Otmane, N. Khezami and M. Mallem
Distributed Predictive Display for Collaborative Teleoperation on the Internet
4th Virtual Reality International Conference (VRIC2002), p. 111-116, 19-21 june 2002, Laval, France.

C02-37 - [PAY02] S. Payandeh, H. Zhang, N. Azouz
Toward modelling and simulation of tearing and cutting in laparoscopic training environment
Computer Assisted Radiology and Surgery. CARS, Paris, 2002.

C02-38 - [PLA02] J. Plantier, S. Lelandais, L. Boutte
Orientation computation of an inclined textured plane: Study of results for regular macro textures
Proc.of ICIP'02, Int. Conf. on Image Processing, sept. 2002, Rochester, USA.

C02-39 - [PRA02] G. PRADEL, O. COMFAITS
Group Behaviour for the web teleoperated control of mobile robots. Application to an assistance system for disabled persons
8th Mechatronics Forum International Conference, Mechatronics'02, 24th - 26th June 2002, University of Twente, Enschede, Netherlands.

C02-40 - [RED02] S. Redon, A. Kheddar, & S. Coquillart
Gauss' least constraints principle and rigid body simulations
IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 11-15, Washington DC, USA.

C02-41 - [RED02] S. Redon, A. Kheddar, & S. Coquillart
Hierarchical back-face culling for collision detection
IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems, Sept. 30-Oct. 4, Lausanne, Suisse.

C02-42 - [RYBA02] Yves Rybarczyk, Etienne Colle, Philippe Hoppenot
Contribution of neuroscience to the teleoperation of rehabilitation robot
SMC'2002, Hammanet, Tunisia, abstract p.75, 6-9 October 2002.

C02-43 - [RYBA02] Yves Rybarczyk, Omar Aït-Aider, Philippe Hoppenot, Etienne Colle
Commande d'un système d'assistance robotique aux personnes handicapées
Handicap'2002, Paris, pp. 81-87, 13-14 juin 2002.

C02-44 - [SIN02] D. Singh, I. Herlin, J-P. Berroir, S. Bouzidi, F. Lahoche
An approach to estimate the evapotranspiration over vegetative an bare field using NOAA/AVHRR data, NSSS, 2002.

C02-45 - [SIN02] D. Singh, I. Herlin, J-P. Berroir, S. Bouzidi, F. Lahoche
Semi empirical approach to assess the evapotranspiration using NOAA/AVHRR data COSPAR, 2002

C02-46 - [SUT02] Suter D. , Hamel T. et Mahony R.
Visual servo control using homography estimation for the stabilization of an X4-flyer.
Dans la 41th Conference on Decision and Control, CDC'02, Las Vegas, 2002.

C02-47 - [VIG02] V. Vigneron, F. Davesne
La densité de dimension comme invariant d'un système dynamique
Proc. Journées Neurosciences pour l'Ingénieur, sept. 15-18, 2002, La Londe, France.

C02-48 - [VIG02] V. Vigneron, H. Maaref, C. Barret, R. KALLEL
Approximation de fonction floue à erreur bornée garantie
Proc. of LFA'2002, Coll. Nat. Logique Floue et Applications, oct. 2002, La Rochelle, France.

C02-49 - [VIG02] V. Vigneron, H. Maaref, C. Barret, R. Kallel
Guaranteed fuzzy function approximation using interval analyis.
Proc. of SMC'02, IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, oct. 6-9, 2002, Hammamet, Tunisia.

C03-01 - [ABA03] F. Ababsa, D. Roussel, M. Mallem
Photometric Aspects : A New Approach for 3D Free Form Object Recognition Using a Single Luminance Image
Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Video And Signal Based Surveillance, AVSS 2003, Published by: IEEE Computer Society Press, pp. 131-136, , 2003, Miami, USA.

C03-02 - [ABA03] F. Ababsa, D. Roussel, M. Mallem
Recalage Automatique D'objets 3D de Forme Libre En Utilisant la Clinométrie
Actes Des Journées Francophones Des Jeunes Chercheurs En Vision Par Ordinateur, ORASIS'2003, p. 305-314, 2003, Gérardmer, France.

C03-03 - [ABI03] A. Abichou, L. Beji, R. Slilm
Exponential stabilization of some equilibria of automated vehicles
ICAR 2003, 1-3 Juin 2003, Portugal.

C03-04 - [ARI03] H. Arioui, T. Hamel, A. Kheddar, S, Mammar
A Passive Wave-Based Approach under Time Varying Delay
4th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), June 10-12, 2003, Montreal, Canada.

C03-05 - [ART03] V. Artigue, P. Joli et M. Pascal
Nouvelle approche pour la détection de zones de blocage d'un robot mobile dans une gaine
16ème congrès français de mécanique, 1-5 sept. 2003, Nice.

C03-06 - [ART03] V. Artigue, P.Joli, M. Pascal
A new method for the path planning of an in-pipe inspection robot
Fourth Symposium on Multibody Dynamics and Vibration of the 19th Biennal Conference on Mechanical Vibration and Noise, Sept.2-6, 2003, Chicago, USA.

C03-07 - [BAR03] C. Barret, S. Bouzidi, B. Gallay, S. Lelandais, H. Maaref, C. MONTAGNE, V. Vigneron
Clustering methods for texture segmentation
Informatica 2003, march 17-22, 2003, La Havanne, Cuba.

C03-08 - [BEJ03] L. Beji, A. Abichou, R. Slilm
Longitudinal and steering stabilization of an underactuated autonomous vehicle
SYROCO 2003, , Sept. 1-3, 2003, Pologne.

C03-09 - [BEN03] M. Benali-Khoudja, M. Hafez, J-M. Alexandre et A. Kheddar
Electromagnetically driven high-density tactile interface based on a multi-layer approach,
IEEE International Symposium on Micromechatronics and Human Science, Oct. 19-22, 2003, Nogoya, Japan (Best parper award).

C03-10 - [BEN03] M. Benali-Khoudja, M. Hafez, J-M. Alexandre et A. Kheddar
Thermal feedback interface requirements for virtual reality
EUROHAPTICS, July 5-9, 2003, Dublin, Ireland.

C03-11 - [BEN03] M. Benali-Khoudja, M. Hafez, J-M. Alexandre, J. Benachour et A. Kheddar
Thermal feedback model for virtual reality
IEEE International Symposium on Micromechatronics and Human Science, Oct. 19-22 2003, Nogoya, Japan 2003.

C03-12 - [BES03] Y. Bestaoui, S. Hima, C. Sentouh
Motion Planning of a Fully Actuated Unmanned Air Vehicle
AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 11-14 Août, 2003, Austin, USA.

C03-13 - [BOU03] S. Bouzidi, A. Habbani, I. Herlin
Land cover detection on low resolution data
ISESS 2003, 27-30 mai 2003, Vienne, Autriche.

C03-14 - [BOU03] S. Bouzidi, S. Belhadj, I. Herlin, J-P. Berroir
An approach for land cover change detection using low spatial resolution data
IGARSS 2003, 24-28 juillet 2003, Toulouse.

C03-15 - [BOU03] S.Bouzidi, I. Herlin
An approach using wavelet transform for land cover changes detection on remote sensing data
SETIT 2003, 17-21 mars 2003, Sousse, Tunisie.

C03-16 - [CHR03] A. Chriette, T. Hamel, R. Mahony
An analysis of the zero-dynamics for image based visual servo control of under-actuated rigid body dynamics
SYROCO 2003, 1-3 septembre 2003, Pologne.

C03-17 - [DID03] J-Y. Didier, S. Otmane, D. Roussel, M. Mallem
Architecture Logicielle Modulaire adaptée au recalage Dynamique dans un système de Réalité Augmentée en Vision Directe
17ème Journées des Jeunes Chercheurs en Robotique, JJCR'03, pp. 102-106, 2003, Versailles, France.

C03-18 - [DUR03] C. Duriez, C. Andriot et A. Kheddar
Interactive haptics for virtual prototyping of deformable objects: snap-in tasks case
EUROHAPTICS, July 5-9 2003, 2003 Dublin, Ireland.

C03-19 - [ESP03] S. Espié, H. Mohellebi et A. Kheddar
A high performance / low-cost mini driving simulator alternative for human factor studies
Driving Simulator Conference, Oct. 8-10 2003, Dearborn.

C03-20 - [FEN03] Z.-Q. Feng, P. Joli, N. Seguy,
FER/Mech - Logiciel interactif d'aide à l'analyse des systèmes articulés
6ème Colloque National en Calcul des Structures,Giens, 20-23 mai, 2003.

C03-21 - [GHA03] Ghamri Doudane Y., Munaretto Fonseca A. and Agoulmine N.
Une nouvelle architecture de gestion par politiques pour les réseaux ad hoc d'entreprises nomades
Colloque Francophone sur la Gestion de Réseaux et de Services, Fortaleza, Brésil - February, 2003

C03-22 - [GOM03] D. Gomes, N. Agoulmine and J-N. de Souza
A Neuronal Agent Approach to Support Bandwidth on Demand VoD Service Provider Traffic
Colloque Francophone sur la Gestion de Réseaux Et de Services, p. 315-327, , 24 au 27 Février 2003, Fortaleza, Brésil.

C03-23 - [GOM03] D. Gomes, N. Agoulmine and J-N. de Souza
VoD Service Traffic Monitoring with Neural Agent
E2EMON Workshop of 6th IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia Networks and Services, 7th - 10th September 2003, Belfast, UK.

C03-24 - [HIM03] S. Hima, Y. Bestaoui
Time-Optimal Paths for Lateral Navigation of an Autonomous Underactuated Airship
AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 11-14 Août, Austin, USA.

C03-25 - [HOP03] Philippe Hoppenot, Gilbert Pradel, Catalin Caleanu, Nicolas Perrin, Vincent Sommeilly: Towards a symbolic representation of an indoor environment
IEEE CESA'2003, Abstract p.69, CD ROM S1-R-00-0048, 9-11 july 2003, Lille.

C03-26 - [KHE03] N. Khezami, S. Otmane, M. Mallem
Modélisation Multi-Agent d'un système de Téléopération Collaborative via Internet
17ème Journées des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR'03), p. 107-108, Versailles, 2003, France.

C03-27 - [LEI03] A. P. Leitao, S. Tilie, M. Mangeas, J-P. Tarel, V. Vigneron, S. Lelandais
Road singularities detection and classification
ESANN'03, 11th Eur. Symp. on Artificial Neural Networks, p. 301-306, , April 2003 Bruges, Belgium.

C03-28 - [LEI03] A.P. Leitao
Detecting and classifying road turn direction from a sequence of images
CAIP 2003, p25-27, aout 2003, Groningen, Hollande.

C03-29 - [MAA03] H. Maaref, M. Taïleb, C. Barret
Fusion de données imparfaites dans le cadre de la théorie des possibilités
SETIT 2003, 17-21 Mars, 2003, Sousse, Tunisia.

C03-30 - [MER03] D. Merad, S. Lelandais, J. Triboulet , M. Mallem
Automatic object recognition for an augmented reality vision system
Informatica 2003, march 17-22, 2003, La Havanne, Cuba.

C03-31 - [MER03] D. Merad, S. Lelandais, M. Mallem, J. Triboulet
Adaptive vision for high velocity tooling machine
ISSPA 2003, 1-4 juillet, 2003, Paris.

C03-32 - [MET03] N. Metni, T. Hamel, I. Fontoni
Visual servoing with orientation limits of a X4-FLYER
ECC 2003, 0, UK, 2-5 sepmtebre, 2003.

C03-33 - [MON03] C. Montagne, S. Lelandais, H. Loaiza, C. N'Zi, J. Triboulet
Is color information useful for extraction of segments
SETIT 2003, 0, a, 17-21 Mars, 2003, Sousse, Tunisia.

C03-34 - [OTM03] S. Otmane, N. Khezami et M. Mallem
La réalité augmentée via internet : méthodes et architectures pour la téléopération collaborative
CORESSA'03, COmpression et REprésentation des Signaux Audiovisuels, 16 et 17 janvier 2003, Lyon, France, 22/12/03

C03-35 - [PIM03] Pimentel V., Agoulmine N., Hebuterne G. and Oliveira M.
Introducing Rules in Content Exchange P2P Networks
Colloque Francophone sur la Gestion de Réseaux et de Services, Fortaleza, Brésil - February, 2003

C03-36 - [PIM03] Pimentel V., Agoulmine N. and Hebuterne G.
A partners system for exchange and collaboration in an Open Distance Education Environment
ICIMADE', January, 2003, Fargo USA.

C03-37 - [SEG03] N. Seguy, P. Joli et M. Pascal
Modélisation modulaire pour prototypage rapide
16ème congrès français de mécanique, 1-5 sept. 2003, Nice.

C03-38 - [SEG03] N.Seguy, P.Joli, Z.Q.Feng, M.Pascal
A modular dynamic model for multibody system adapted to interactive simulation
ASME 2003 Design Engineering Technical Conference, September 2-6, 2003, Chicago, USA.

C03-39 - [VIG03] V. Vigneron, C. Jutten
Bounded approximation for score function selection
ICA'2003, Int. Conf. on Ind. Comp. Analysis, 3-7 apr., 2003, Nara, Japon.

C03-40 - [VIG03] V. Vigneron, C. Jutten
Guaranteed nonlinear parameter estimation from error bounded data from NaI detectors
ESARDA 2003, may 2003, Stockholm, Sweden.

C03-41 - [VIG03] V. Vigneron, C. Jutten, S. Lagrange
Acceptability conditionsfor BSS problems
ESANN'03, 11th Eur. Symp. on Artificial Neural Networks, april 2003, Bruges, Belgium.

C03-42 - [VIG03] V. Vigneron, H. Maaref, S. Lelandais
Poor man vote with M-ary classifiers. Application to iris recognition
AVBPA'03, 4th Int. Conf. on Audio-Video based Biometric Person Authentification, june 9-11, 2003, Guildford, UK.

C03-43 - [VIG03] V. Vigneron, C. Jutten, S. Lagrange
Conditions d'acceptabilité dans les problèmes de séparation de sources
35° Journées de Statistique, 2-6 juin 2003, Lyon, France,.

C03-44 - [VIG03] V. Vigneron, A. Paraschiv-Ionescu, A. Azancor, C. Jutten, O. Sibony:
Fœtal ECG extraction based on non-stationary ICA and wavelet denoising
ISSPA 2003, 1-4 juillet 2003, Paris.

4. Brevets et Logiciels

B01- B00-1 - [FBJ00B] C.FRANÇOIS, F.BOUDGHENE, P.JOLI
Description d'un dispositif de positionnement, d'exploration et/ou d'intervention notamment dans le domaine de l'endoscopie et/ou de la chirurgie mini-invasive. Déposé à l'INPI-France le 21 avril 2000 sous le numéro 00-05179

B02 - B00-2 - [ART00B] F. ARTIGUE.
Prothèse active modulaire pour bras et avant bras. 4 Juillet 2000. N°8657

B03 - B03-1 - [ART01aB] F. ARTIGUE.
Main adaptative hyraulique. En cours de dépôt

L01 - L00-1 - [KHE01] Logiciel déposé IDDN.FR.001.450018.00.R.P.2000.000.21000
Titulaire des droits: INRIA, Université d'Evry Val d'Essonne

5. Liste des thèses en cours

Thème I

C. MONTAGNE (**collaboration Thème III**)
Extraction d'indices visuels pour le guidage d'une base mobile dans un environnement domestique coloré
Dir. S. Lelandais, co-encadrement E. Colle

A. P. LEITAO (**collaboration Thème III**)
Détection et reconnaissance de marquage routier.
Dir. C. Barret, encadrement V. Vigneron

A. DJOUAK
Fusion de données pour l'indexation d'images
Dir. H. Maaref, encadrement K. Djemal

K. ZEMALACHE (**collaboration Thème III**)
Commande orientée vision des systèmes sous actionnés par des techniques neuro-floues
Dir. H. Maaref, co-encadrement L. Béji

Nouveaux inscrits en septembre 2003

A. HAZAN
Interaction perception-action
Dir : H.Maaref, encadrement V. Vigneron

S. GUERFI-ABABSA
Authentification de visages par reconnaissance d'indices biométriques
Directeur de thèse : Sylvie LELANDAIS-BONADE
Dir. Sylvie LELANDAIS-BONADE (70%) - Jean-Pierre GAMBOTTO (30%)

J. BENHAMED
Analyse de données imparfaites par calcul ensembliste
Dir : H. Maaref, encadrement K. Djemal

R. HADJ-MOKHNECHE
Estimation de paramètres adaptatifs de systèmes variants dans le temps et détection de rupture
Dir : H. Maaref, encadrement S. Femmam

Thème II

D. MERAD (**collaboration Thème I**)
Reconnaissance d'objets de forme libre par vision monoculaire
Dir. M. Mallem , co-encadrement S. Lelandais

J-Y. DIDIER
Recalage dynamique par vision directe
Dir. M. Mallem, co-encadrement D. Roussel

N. KHEZAMI
Téléopération collaborative en réalité augmentée via Internet
Dir. M. Mallem, encadrement S. Otmane

D. GONCALVES
Etude des environnements multiagent intelligents distribués pour la téléopération en réalmité virtuelle.
Dir. N Agoulmine

M. BENALI KOUDJA
Conception et réalisation d'une matrice à rendu de texture à base de micro-actionneurs électromagnétiques
Dir. A. Kheddar, co-encadrement M. Hafez (CEA - LIST)

J. CITERIN
Dispositifs à rendu de texture à base de polymères
Dir. A. Kheddar

A. DRIF
Conception et réalisation d'une interface haptique à rendu mult-niveaux
Dir. A. Kheddar

C. DURIEZ
Rendu haptique pour objets déformables
Dir. A. Kheddar, co-encadrement C. Andriot (CEA - LIST)

H. MOHELLEBI
Rendu haptique en simulateur de conduite automobile
Dir. A. Kheddar, co-encadrement S. Espié et P. Gaurriat (INRETS)

Nouveaux inscrits en septembre 2003

B. LEMERCIER
Algorithme de restitution de texture pour les applications de RV
Dir : A. Kheddar, encadrement H. Femmam .(**thèse commune Thème I et II**)

Maher HATAB
Algorithme de détection de collision unifié pour corps rigides et déformables
Dir. A. Kheddar

A. POCHEVILLE
Algorithmes de prototypage virtuel de corps rigides avec retour haptique
Dir. A. Kheddar

V. LE LIGEOUR
Architecture informatique pour le prototypage rapide d'un système de réalité augmentée
Dir. M. Mallem, encadrement S.Otmane

M. MAIDI
Prédiction de point de vue dans un système de réalité augmentée
Dir. M. Mallem, encadrement F. Ababsa

Thème III

Y. RYBARCSYK
Coopération humain machine pour la commande d'un bras embarqué sur un un robot mobile
Dir. E. Colle, co-encadrement P. Hoppenot

K. NAITSHABANE
Commande coordonnée d'un manipulateur mobile d'assistance à la personne exploitant la redondance des degrés de liberté.
Dir. E. Colle, co-encadrement P. Hoppenot

M. TRABELSI
Localisation d'un robot mobile par fusion d'information vidéo et ultrasonore multiaural.
Dir. E. Colle, co-encadrement P. Hoppenot, N. Ait Oufrouk

F. SADI
Coopération multirobot
Dir. E. Colle, Encadrement G. Pradel

D. BOUKRAA
Modélisation et commande d'engins volants autonomes'
Dir. Y. Bestaoui

S. HIMA
Génération de trajectories optimales d'un dirigeable automatisé'
Dir. Y. Bestaoui

A. CHAIBET
Contrôle de véhicule
Dir. S. Mammar

S. GLASER
Contrôle latéral et longitudinal de véhicule
Dir. F. Chavand

N. SEGUY
Modélisation distribuée d'un syst. mécanique en vue d'une résolution directe/inverse par la méth. multi-agents.
Dir. M. Pascal, encadrement P. Joli

A. MOUHINGOU
Modélisation dynamique d'un engin volant en tenant compte de ses déformations structurelles
Dir. M. Pascal

S. SAMAALI
Poursuite des trajectoires d'un dirigeable en tenant compte de ses déformations.
Dir. M.Pascal (thèse en cotutelle avec l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis)

Nouveaux inscrits en septembre 2003

S. CHOUKI
Route intelligente
Dir. Y. Bestaoui, S. Mammar