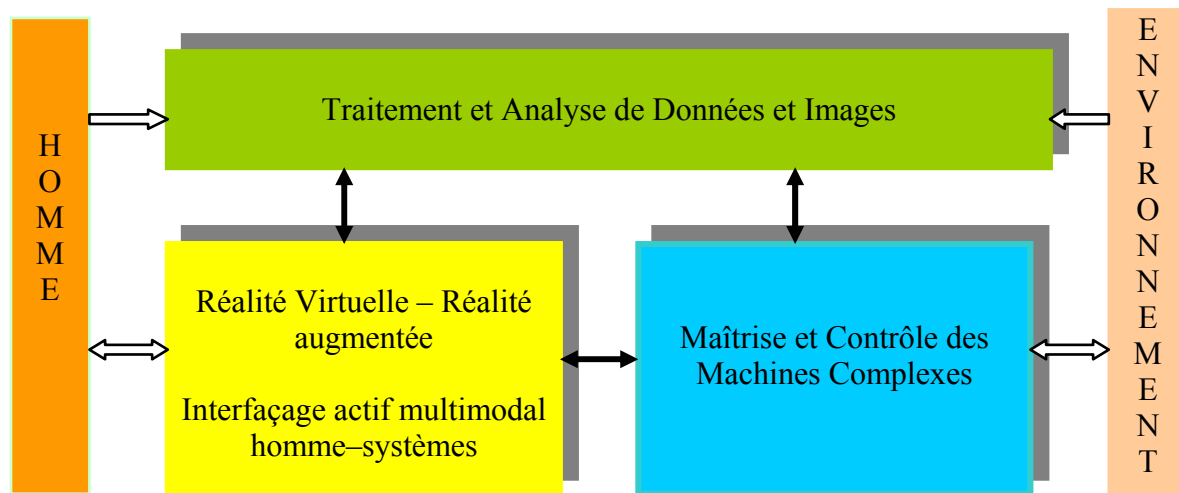


# Laboratoire Systèmes Complexes FRE 2494



## RAPPORT D'ACTIVITE

*2004*



# Table des matières

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>A. BILAN SYNTHETIQUE</b>                                                                               | <b>7</b>  |
| <b>I. POLITIQUE SCIENTIFIQUE DU LSC</b>                                                                   | <b>9</b>  |
| 1. Contexte et mutation                                                                                   | 9         |
| 2. Thématique générale 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)                                    | 13        |
| Points forts et rayonnement                                                                               | 14        |
| 3. Synergies inter-thèmes                                                                                 | 15        |
| 4. Conclusion des activités du LSC jusqu'en 2004                                                          | 18        |
| 5. Perspectives pour les quatre années à venir                                                            | 19        |
| 5.1. Perspectives du Thème I : TADI                                                                       | 21        |
| 5.2. Perspectives du Thème II : RVRA                                                                      | 23        |
| 5.3. Perspectives du Thème III : MCMC                                                                     | 24        |
| <b>II. BILAN CHIFFRE</b>                                                                                  | <b>27</b> |
| 1. Ressources humaines                                                                                    | 27        |
| 2. Bilans financiers                                                                                      | 27        |
| 3. Bilan des productions scientifiques                                                                    | 28        |
| 4. Visibilité et collaboration                                                                            | 30        |
| 5. Liste des équipements                                                                                  | 32        |
| <b>B. DESCRIPTION DES ACTIVITES DE RECHERCHE JUSQU'EN 2004</b>                                            | <b>35</b> |
| <b>I. TRAITEMENT ET ANALYSE DE DONNEES ET IMAGES</b>                                                      | <b>40</b> |
| Thèmes scientifiques                                                                                      | 40        |
| 1. Introduction                                                                                           | 42        |
| 2. Traitement de données numériques et symboliques                                                        | 42        |
| 2.1. Statistiques en grande dimension et séparation de sources                                            | 42        |
| 2.2. Traitement de données imprécises et incertaines                                                      | 49        |
| 3. Apprentissage prédictible et fiable d'actions réflexes                                                 | 53        |
| 3.1. Contexte théorique et expérimental                                                                   | 53        |
| 3.2. Principaux résultats                                                                                 | 54        |
| 4. Traitement et analyse d'images                                                                         | 56        |
| 4.1. Analyse de textures                                                                                  | 56        |
| 4.2. Localisation d'une base mobile par vision stéréoscopique couleurs                                    | 58        |
| 4.3. Vision et réalité augmentée                                                                          | 59        |
| 4.4. Applications industrielles de la vision                                                              | 59        |
| 4.5. Etude du changement des occupations de sol sur des données de télédétection                          | 59        |
| 4.6. Perspectives                                                                                         | 61        |

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5. Travaux divers                                                                                   | 62         |
| <b>II. REALITE AUGMENTEE – REALITE VIRTUELLE</b>                                                    | <b>66</b>  |
| 1. Introduction                                                                                     | 70         |
| 2. Réalité augmentée et télétravail collaboratif                                                    | 70         |
| 2.1. Introduction                                                                                   | 70         |
| 2.2. Réalité augmentée et téléopération de robots                                                   | 71         |
| 2.3. Le Télétravail Collaboratif en Réalité Augmentée                                               | 79         |
| 3. L'entreprise virtuelle intelligente                                                              | 84         |
| 3.1. Introduction                                                                                   | 84         |
| 3.2. Approches Intelligentes de Gestion et Contrôle des Ressources                                  | 85         |
| 3.3. Protocoles de Gestion et Contrôle du nomadisme                                                 | 85         |
| 4. Réalité virtuelle et interface haptique                                                          | 86         |
| 4.1. Téléopération assistée par les techniques de réalité virtuelle                                 | 86         |
| 4.2. Interfaçage haptique                                                                           | 88         |
| 4.3. Infohaptie et simulations physiques interactives                                               | 91         |
| 4.4 Applications et simulateurs de conduite                                                         | 96         |
| <b>III. MODELISATION ET CONTROLE DES MACHINES COMPLEXES</b>                                         | <b>100</b> |
| 1. Introduction                                                                                     | 104        |
| 2. Contrôle de véhicule terrestres et aériens                                                       | 104        |
| 2.1. Contrôle de déplacements des véhicules autonomes                                               | 105        |
| 2.2. Dynamique et contrôle-commande des véhicules routiers                                          | 106        |
| Mode correctif                                                                                      | 111        |
| 2.3. Contrôle de véhicules aériens                                                                  | 115        |
| 3. Coopération entre entités intelligentes                                                          | 119        |
| 3.1. Capteurs intelligents                                                                          | 120        |
| 3.2. Assistance robotisée aux personnes handicapées                                                 | 123        |
| 3.3. Coopération de robots                                                                          | 128        |
| 4. Mécatronique                                                                                     | 132        |
| 4.1. Dynamique des systèmes multicorps : application à la modélisation et à la commande des robots. | 133        |
| 4.2. Modélisation et commande d'engins volants                                                      | 134        |
| 4.3. Micro-robotique appliquée à la chirurgie.                                                      | 136        |
| 4.4. Dynamique et contrôle de structures                                                            | 136        |
| <b>C. HDR ET THESES</b>                                                                             | <b>138</b> |
| <b>I. HDR et THESES SOUTENUES</b>                                                                   | <b>140</b> |
| 1. Thèses soutenues entre 1999 et 2004                                                              | 140        |
| 2.HDR                                                                                               | 143        |
| <b>II. LISTE DES THESES EN COURS</b>                                                                | <b>144</b> |
| <b>D. RAPPORT D'ACTIVITE 2000-2004 DE L'EQUIPE INTERMEDIA-INT</b>                                   | <b>148</b> |
| <b>I. INTERACTIONS POUR LE MULTIMEDIA</b>                                                           | <b>150</b> |
| Objectifs                                                                                           | 151        |
| Thématiques scientifiques                                                                           | 152        |
| 1. Biométrie                                                                                        | 152        |

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| 2. Communication gestuelle dans des mondes virtuels        | 159        |
| 3. Télémédecine / Télésurveillance de patients à domicile  | 162        |
| 4. Télédiagnostique                                        | 165        |
| 5. Projets antérieurs                                      | 166        |
| <b>II. ELECTRONIQUE</b>                                    | <b>192</b> |
| 1. Activité en VLSI analogique pour la vision artificielle | 192        |
| 2. Activité en communication de proximité - Proxima        | 194        |



## **A. BILAN SYNTHETIQUE**





# **I. POLITIQUE SCIENTIFIQUE DU LSC**

## **1. Contexte et mutation**

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 2002.

Dans ce dossier est présentée une nouvelle et importante étape d'évolution du laboratoire qui a l'ambition de prendre une part active à la restructuration de la recherche dans le domaine des STIC sur Evry. Le LSC devient laboratoire commun entre l'Université d'Evry d'une part, l'INT et l'IIE (ENSIIE) d'autre part. Cette évolution entérine des coopérations qui se déroulent depuis plusieurs années autour : (1) du DEA RVMSC (INT et IIE) et qui vont se poursuivre avec la nouvelle offre des Masters de recherche (spécialité Réalité Virtuelle et Systèmes Intelligents), (2) de la participation de l'IIE au thème réalité virtuelle du LSC, (3) de projets communs entre le LSC et l'équipe Intermédia de l'INT (projet IV2 du programme national 'Techno vision'). L'IIE se transforme en Etablissement Public en 2005 et devient l'Ecole Nationale Supérieure d'Informatique pour l'Industrie et l'Entreprise (ENSIIE). L'IIE-ENSIIE va restructurer sa recherche et le LSC deviendra de manière officielle un des laboratoires d'accueil pour les enseignants-chercheurs de l'IIE de 61 section du CNU. Le fait le plus marquant est que l'équipe Intermédia de l'INT rejoint le LSC. Ce nouveau LSC garde toute sa cohérence tout en enrichissant ses thématiques par l'apport d'Intermédia.

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

L'arrivée de l'équipe Intermédia de l'INT ne modifie en rien la thématique générale de recherche du laboratoire. Le rapport d'activité qui est présenté dans les pages suivantes est celui du LSC dans sa configuration précédente, c'est à dire jusqu'en 2004. La nouvelle configuration du laboratoire (avec l'équipe Intermédia de l'INT) est présentée dans la partie perspective (§4. Perspectives pour les quatre années à venir). Afin de souligner l'importance et la cohérence de cette évolution, le rapport d'activité de l'équipe Intermédia a été mis en annexe.

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. La structure actuelle apparaît ainsi concernant :

- 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.

### ***Les 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 traduit 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)***

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<sup>1</sup>. Au delà de la réalisation technique, 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

---

<sup>1</sup>NASA Space telerobotics Program; [http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics\\_page/-realrobots.html](http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/-realrobots.html)

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 5<sup>ème</sup> 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 6<sup>ème</sup> 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 est opérationnelle et a été inaugurée le 6 Mai 2004 en présence du département STIC, de la déléguée régionale du CNRS, du Conseil Général de l'Essonne, de la Présidence de l'Université et de la presse.

### **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 jeu 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<sup>ème</sup> 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 parfaite 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 drones, le projet présenté par le LSC et l'UFR Sciences et Technologie 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<sup>2</sup>. 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). 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

---

<sup>2</sup> ARPH : Assistance Robotisée à une Personne Handicapée

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 nouveaux drones).

La micro-robotique appliquée à l'assistance au geste chirurgical se développe dans cette équipe en coopération avec l'Université Simon Fraser (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 ait 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 un rôle fédérateur au sein du Laboratoire Systèmes Complexes car y sont développées des compétences solides qui sont utilisées dans les deux autres thèmes.

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

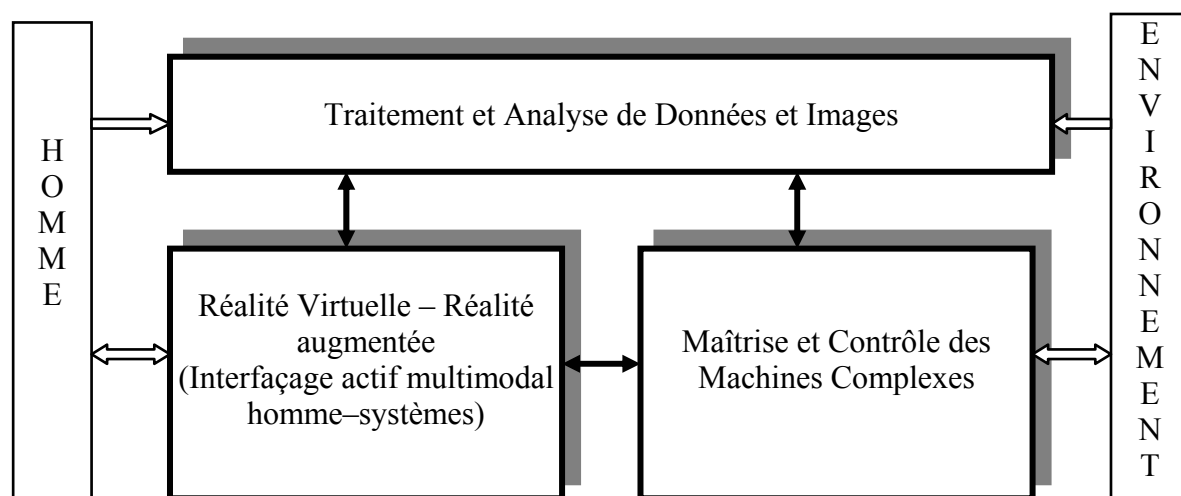
**Tableau 1 :** Axes prioritaires et projets fédérateurs du LSC



| 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 | [MER03aC],[MER03bC],[MER04cC],[MER04dC],[MER04eC]                    | 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     | [MON04bC]                                                            | 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    | [ARI03R],[ARI02bC],[ARI02cC],[ARI02dC],[ARI02eC],[ARI03aC],[ARI03bC] | II et III |
| S. OTMANE        | Télétravail robotisé et réalité augmentée via internet                                                 | M. Mallem          | E. Colle     | [OTM00cC]                                                            | II et III |
| H. LOIZA         | Capteur de vision stéréoscopique                                                                       | S.Lelandais        | J. Triboulet | [LOA01R],[LOA99L],[LOA99C],[LOA00C],[NZI02C]                         | 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 d'organisation des thématiques du LSC

## 4. Conclusion des activités du LSC jusqu'en 2004

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 5<sup>ème</sup> et du 6<sup>ème</sup> 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 Génomus 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.

## **5. Perspectives pour les quatre années à venir**

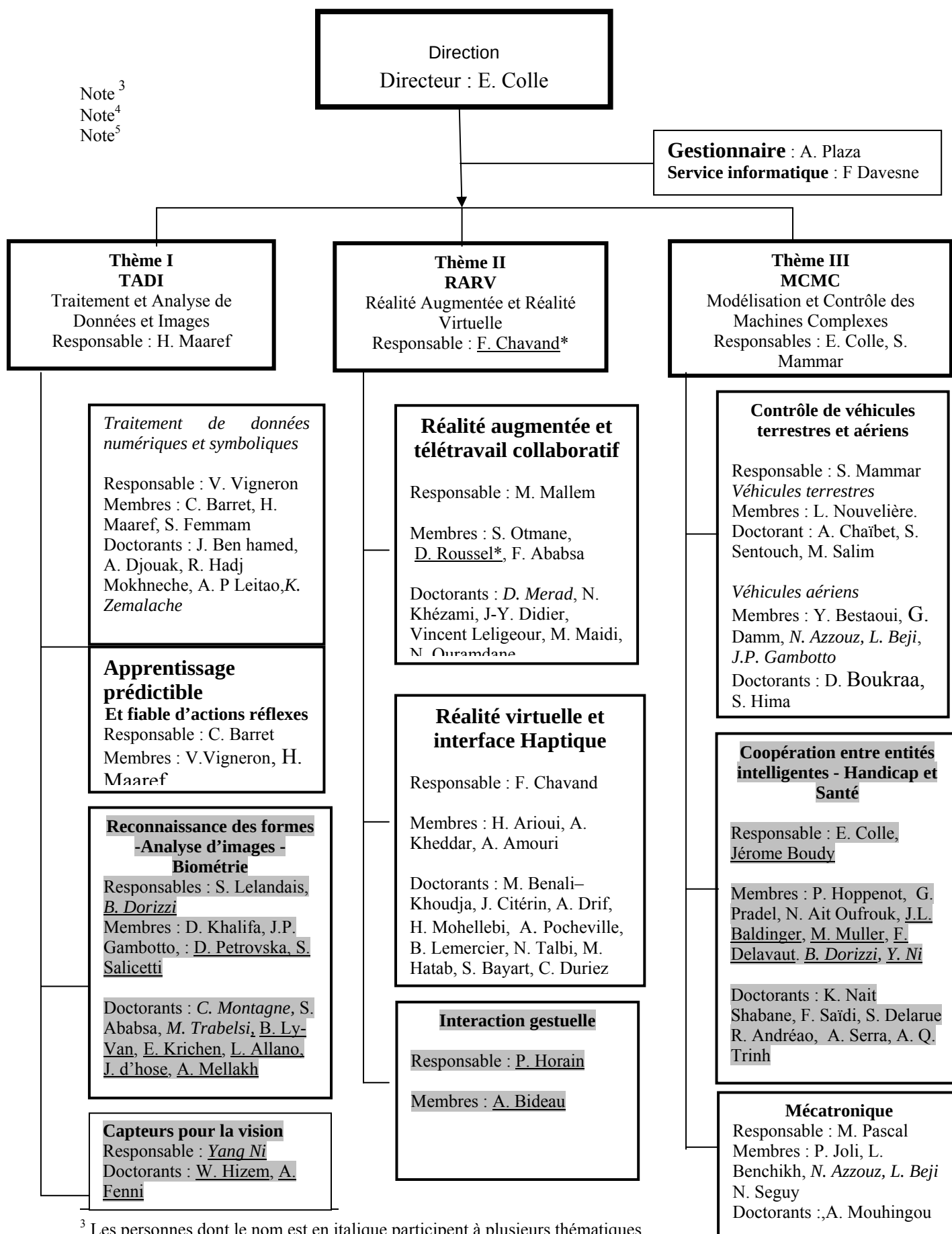
L'évolution thématique du laboratoire se fera avec l'objectif de renforcer les axes prioritaires de développement (réalité virtuelle et contrôle de véhicules) et les projets fédérateurs. L'objectif est d'améliorer la visibilité scientifique du LSC, de renforcer les synergies internes pour améliorer notre 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).

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. Elle 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 DS STIC, aux AS et ACI, au programme RNTL) et en Europe dans le cadre du 6<sup>ème</sup> PCRD, sera un des axes forts de développement des activités du laboratoire qui par ailleurs cherchera aussi à développer les coopérations extra-européennes.

L'arrivée de l'équipe Intermédia de l'INT, modifie sensiblement l'organigramme du laboratoire (voir page suivante).

Dans le thème TADI la transformation du sous-thème " Traitement et Analyse d'images " en " Reconnaissance de forme - Analyse d'image – Biométrie " traduit la synergie qui existe entre le LSC et l'équipe Intermédia autour notamment du projet IV2 du programme national " Techno Vision ", et du parcours " Traitement de Données Complexes et Bio-Identification " du Master recherche " Réalité Virtuelle et Systèmes Intelligents " (RVSI), porté par l'université d'Evry et avec l'INT et l'IIE en habilitation partagée. La création d'un sous-thème " Capteurs pour la vision " permet d'intégrer l'équipe correspondante de l'INT qui travaille sur des rétines intelligentes. Les membres de ce sous-thème pourront s'intégrer aisément dans des projets transversaux du LCS.



<sup>3</sup> Les personnes dont le nom est en italique participent à plusieurs thématiques

<sup>4</sup> Les personnes dont le nom est souligné sont membres de l'équipe INTERMEDIA de l'INT-GET ou IIE(\*)

<sup>5</sup> Personnes présentes à la date du 1/12/2004

Dans le thème RVRA, la création d'un sous-thème " Interactions gestuelles " apporte un complément naturel à ce qui se fait déjà dans le domaine de l'interfaçage actif homme-systèmes. Cette équipe va participer aussi à l'animation du parcours " Réalité Virtuelle et Augmentée " du Master recherche " RVSI "

L'activité télémédecine/télésurveillance de patients à domicile est intégrée dans le thème MCMC et plus particulièrement vient renforcer et illustrer les travaux actuellement menés dans le sous thème : Coopération entre entités intelligentes- Santé-Handicap.

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

### **5.1. Perspectives du Thème I : TADI**

Les activités de l'équipe TADI s'orienteront vers deux thématiques prioritaires :

- Interaction Perception-action ;
  - Reconnaissance des formes - Analyse d'images - Biométrie.
- a) **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.
- b) **Reconnaissance des formes-Analyse d'images-Biométrie :**  
A l'intérieur de cette thématique, nos efforts de recherche se concentreront sur trois axes, présentant des interactions entre eux.

#### Biométrie

Notre problématique est le développement d'algorithme de vérification et d'identification de personnes en utilisant diverses modalités (iris, visage, empreintes digitales) ainsi que l'étude de stratégies de fusion multi-modales (visage-signatures par exemple). Nos travaux s'effectuent aussi en étroite collaboration avec ceux de l'équipe capteur pour la vision. Plus précisément, nous nous intéresserons à la fusion multimodale dans un contexte de mobilité de l'utilisateur (utilisation d'un téléphone mobile ou d'un PDA par exemple). Ce contexte pose des problèmes spécifiques comme la variabilité des situations d'acquisition, la qualité dégradée des capteurs. Dans ce contexte la fusion de plusieurs modalités apparaît comme un moyen d'améliorer les performances des systèmes unimodaux, voire de pallier certaines déficiences et impostures. Une thèse est en cours sur ce sujet. Nous allons également poursuivre nos travaux sur l'iris en étudiant des stratégies de traitements couplés images d'iris et visage, ceci grâce à une caméra de haute résolution. Une thèse est en cours sur cette problématique.

Dans le cadre d'une collaboration avec Thales-TRT nous allons évaluer l'apport de la modélisation 3D du visage (modèle riche obtenu en phase d'enrollement) à la vérification en mode dégradé (image 2D du visage, modèle 3D dégradé etc...). Ceci devrait être particulièrement intéressant lorsque les conditions de vérification

induisent des variations de pose par rapport aux situations d'acquisition. Une thèse, dans le cadre d'un contrat Cifre va débiter sur ce sujet.

Les travaux entrepris sur la combinaison d'indices 2D et 3D pour l'authentification et l'identification de visages seront poursuivis (thèse en cours). L'intégration d'indices couleurs et textures en 2D pour renforcer la robustesse et l'efficacité des segmentations pratiquées est prévue dans ce cadre. Par ailleurs, pour donner suite à un premier travail sur l'indexation d'images couleurs, la problématique de l'indexation des images dans les bases de données biométriques constitue d'ores et déjà un axe de recherche.

Le projet Technovision IV<sup>2</sup>, qui devrait débiter avec l'année 2005, nous permettra de disposer de bases de données importantes pour évaluer les différents algorithmes que nous avons développés précédemment : vérification par l'iris, authentification et identification par combinaison d'indices 2D/3D, modèles de visages 3D, approche multi-modale type iris/visage ou voix/visage, etc...

#### Analyse d'images et reconnaissance de formes

De plus en plus de séquences d'images sont acquises dans nos environnements à travers des caméras de surveillance ou d'observation. Le problème du traitement de ces flux vidéos est très important aujourd'hui. Nous nous proposons de développer un travail pour aborder cette thématique. Il s'agit d'analyser des expressions dans des visages extraits de ces flux vidéos. Plusieurs applications sont envisagées qui seront menées en collaboration avec des laboratoires externes ou d'autres thèmes du LSC.

#### Capteurs pour la vision :

L'objectif de cette activité de recherche est d'étudier le couplage entre les traitements qui peuvent être réalisés in situ dans un capteur intelligent et d'autres, plus élaborés qui sont mis en œuvre dans l'unité de calcul numérique en aval d'une chaîne complète du système de vision. Un rapprochement de cette activité, conduite précédemment à l'INT, avec celle du LSC permettra d'envisager un plus grand spectre d'applications induisant une recherche pluridisciplinaires plus large (biométrie, réalité virtuelle, robotique, vision automobile, etc. ) et des réalisations innovantes et concrètes.

Dans le domaine de la biométrie, nous développerons les axes suivants. Les travaux réalisés précédemment sur l'implantation sur cartes à puce d'algorithmes de vérification par empreintes digitales (suite du projet BIOLAB), seront continués à travers , entra autre, les travaux d'une thèse qui vient de débiter. La problématique de couplage capteur-algorithme déjà explorée sera étendue aux capteurs de vision (caméra CMOS différentielle et la caméra IR permettant la suppression de la lumière environnante) et d'empreintes digitales. Le travail envisagé consiste dans la mise en oeuvre et l'évaluation d'algorithmes de traitement d'images et de vérification associés à ces capteurs.

## 5.2. 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 permettront 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.

Le sous-thème "Interaction gestuelle" comporte 2 volets scientifiques, l'un sur l'acquisition des gestes par vision artificielle, l'autre sur les applications de la communication gestuelle

dans les environnements virtuels habités, que nous compléterons ultérieurement par un 3ème sur la reconnaissance des gestes.

A notre connaissance, la modalité d'acquisition des gestes humains que nous avons développée (par vision monoscopique, en 3D, sans marqueur, sans limitation des gestes attendus et en temps réel) n'a pas d'équivalent au niveau mondial. Toutefois, la robustesse de nos techniques doit encore être améliorée en particulier par l'exploitation de primitives image supplémentaires, par un suivi statistique des gestes et par la mise en oeuvre d'heuristiques pour l'optimisation du recalage de notre modèle articulé. L'exécution en temps réel, essentielle au regard des applications potentielles, atteinte grâce à un début d'utilisation détournée des processeurs graphiques (GPU), sera renforcée et une bibliothèque logicielle libre de fonctions en temps réel pour la vision artificielle sera diffusée.

Par ailleurs, nous poursuivrons notre étude de la communication gestuelle médiatisée par des mondes virtuels habités. Nous avons intégré cette modalité de communication non verbale dans un environnement 3D virtuel collaboratif pour le partage d'applications. Nous explorerons les apports de la communication gestuelle pour des applications simples comme la révision de cours, ou comme palliatif virtuel au handicap physique en enseignement présentiel. Dans un contexte plus large, nous étudierons son importance du point de vue de latéléprésence dans des applications en travail collaboratif et en télé-enseignement.

Enfin, à plus long terme, nous aborderons la reconnaissance de geste de commande en IHM, voire de la langue des signes. Les techniques de reconnaissance neuro-markoviennes élaborées par exemple pour la reconnaissance de l'écriture cursive par l'équipe Intermédia seront transposées aux gestes.

Ces thèmes bénéficieront naturellement du rapprochement avec le LSC en particulier sur les thèmes analyse d'image et vision artificielle, réalité virtuelle et environnements collaboratifs, et aides pour le handicap.

### **5.3. Perspectives du Thème III : MCMC**

#### **5.3.1 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.

### 5.3.2. 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.

### 5.3.3. Coopération entre entités intelligentes-handicap et santé

- a) **Handicap** : L'assistance restant basée sur des moyens robotisée, nous allons poursuivre nos travaux sur l'interaction entre l'homme et la machine. L'assistance robotisée ne peut se limiter au système ARPH, il est primordial 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. Une première évaluation en hôpital de jour a permis d'une part de mettre en place un réseau de collaboration constitué de chercheur en neurosciences, d'une association de parents d'enfants autiste et d'un hôpital de jour et d'autre part de montrer l'intérêt de cette approche.

- b) **Santé** : Les objectifs de la télésurveillance de patients à domicile, notamment des personnes atteintes de pathologies cardiaques et/ou des personnes âgées, sont d'une part de permettre à ces personnes de pouvoir rester chez elles, d'autre part de procéder en cas d'urgence à une médicalisation à distance plus réactive. L'équipe Intermédia coordonne et contribue à un projet de recherche du programme RNTS (cf. annexe) visant justement un service de télésurveillance fiable et pratique. Nous avons conçu et réalisé un prototype de télésurveillance enregistrant en permanence des données physiologiques (actimétrie, fréquence cardiaque, position) depuis les capteurs du terminal placé sur le patient. La transmission via sa base domestique, est effectuée vers un serveur distant, rattaché au centre de télésurveillance médicale (coopération INT-ESIEE). Notre projet de recherche traite des aspects avancés de traitement des signaux physiologiques (débruitage, paramétrisation robuste par ondelettes), et de reconnaissance des formes pour la segmentation et la classification automatiques de signaux ECG pathologiques (Modèles de Markov Cachés, réseaux neuronaux). Nous avons étudié et conçu une architecture de traitements embarqués pour réaliser un terminal portatif de télésurveillance ainsi que ses capteurs de mesures physiologiques et le sous-système radio, considéré comme un axe crucial dans la mesure où il nous

permet de maîtriser toute la chaîne de traitements depuis le capteur jusqu'aux algorithmes de traitement du signal. Les travaux de recherche devraient porter vers d'une part une plus forte cohérence et intégration des différents modules de télésurveillance (actimétrie/ECG, lien avec la domotique), d'autre part vers les usages indispensables à leurs évolutions.

#### **5.3.4. Mécatronique**

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.

## II. BILAN CHIFFRE

### 1. Ressources humaines

#### Politique de recrutement

| Année                       | Professeur                         | Maître de conférences                                  | Total |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| 1999                        | 1 interne : thème 2                | 1 interne : thème 1<br>1 externe : thème 3             |       |
| 2000                        | 1 externe : thème 2                |                                                        |       |
| 2001                        |                                    | 1 interne : thème 2<br>1 externe : thème 1             |       |
| 2002                        | 2 internes :<br>thème 1 et thème 3 | 1 externe : thème 3                                    |       |
| 2003                        | 1 interne : thème 2                | 1 interne : thème 2<br>2 externes : thème 1 et thème 3 |       |
| 2004                        |                                    | 2 internes : thème 2 et thème 3                        |       |
| Externe /total<br>sur 6 ans | 20 %                               | 50 %                                                   | 40 %  |

### 2. Bilans financiers

#### RESSOURCES ANNUELLES HORS CREDITS RECURRENTS ET SPECIFIQUES

|               | 2000      | 2001     | 2002      | 2003      | TOTAL     | MOYENNE |
|---------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| CONTRATS      | 118820,00 | 87999,00 | 101447,00 | 104463,00 | 412729,00 | 103182  |
| FRT           | 0,00      | 0,00     | 81459,00  | 52120,00  | 133579,00 | 33395   |
| CEE           | 0,00      | 0,00     | 78421,00  | 133756,00 | 212177,00 | 53044   |
| COLLEC.TERRIT | 0,00      | 0,00     | 76000,00  |           | 76000,00  | 19000   |
| BQR           | 8385,00   | 9148,00  | 14600,00  | 10933,00  | 43066,00  | 10767   |
| TOTAL         | 118820,00 | 87999,00 | 337327,00 | 290339,00 | 877551,00 | 219388  |

#### RESSOURCES ANNUELLES CREDITS RECURRENTS ET SPECIFIQUES

|                       | 2000     | 2001     | 2002      | 2003     | TOTAL     | MOYENNE |
|-----------------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|---------|
| <b>FONCTIONNEMENT</b> |          |          |           |          |           |         |
| CNRS                  | 0,00     | 0,00     | 29503,00  | 36966,00 | 66469,00  | 16617   |
| MEN                   | 24622,00 | 24622,00 | 25500,00  | 25500,00 | 100244,00 | 25061   |
| <b>EQUIPEMENT</b>     |          |          |           |          |           |         |
| CNRS                  | 0,00     | 0,00     | 60000,00  | 0,00     | 60000,00  | 15000   |
| MEN                   | 10367,00 | 10367,00 | 10367,00  | 10367,00 | 41468,00  | 10367   |
| <b>AUTRES</b>         |          |          |           |          |           |         |
| CREDITS BAT.          | 0,00     | 0,00     | 190000,00 | 0,00     | 190000,00 | 47500   |
| TOTAL                 | 34989,00 | 34989,00 | 315370,00 | 72833,00 | 458181,00 | 114545  |

## RESSOURCES TOTALES

| 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | TOTAL   | MOYENNE |
|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 153809 | 122988 | 652697 | 363172 | 1292666 | 323167  |

### 3. Bilan des productions scientifiques

#### Production sur la période 2000-2003

|                               |         | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | Total | au 10/2004 |
|-------------------------------|---------|------|------|------|------|-------|------------|
| <b>Ouvrages</b>               | Thème 1 | 0    | 0    | 1    | 0    | 1     | 3          |
|                               | Thème 2 | 0    | 1    | 4    | 3    | 8     | 0          |
|                               | Thème 3 | 0    | 1    | 1    | 2    | 4     | 0          |
| Total                         |         | 0    | 2    | 6    | 5    | 13    | 3          |
| <b>Revues</b>                 | Thème 1 | 7    | 2    | 4    | 2    | 15    | 4          |
|                               | Thème 2 | 0    | 3    | 1    | 2    | 6     | 0          |
|                               | Thème 3 | 4    | 15   | 6    | 6    | 31    | 10         |
| Total                         |         | 11   | 20   | 11   | 10   | 52    | 14         |
| <b>Conférences avec actes</b> | Thème 1 | 13   | 6    | 8    | 16   | 43    | 10         |
|                               | Thème 2 | 7    | 12   | 24   | 21   | 64    | 32         |
|                               | Thème 3 | 18   | 17   | 25   | 14   | 74    | 6          |
| Total                         |         | 38   | 35   | 57   | 51   | 181   | 48         |
| <b>Total</b>                  |         | 49   | 57   | 74   | 66   | 246   | 65         |

## Liste des références bibliographiques par thème de 2000 à Octobre 2004

### Ouvrages et chapitres d'ouvrages Thème 1

[VIG02L] [LAG04L] [RIV04L] [VIG04L]

### Revues Thème 1

[BOU00R] [CON00R] [MAA00R] [OUS00aR] [OUS00bR] [OUS00cR] [PET00R]  
[LOA01R] [OUS01R] [KAL02R] [LELA02R] [MAA02R] [PLA02R] [OUS03R]  
[SIN03R] [LEL04R] [NZI04R] [OUS04R] [VIG04R]

### Ouvrages et chapitres d'ouvrages Thème 2

[KHE01L] [CHA02L] [DES02L] [KHE02aL] [KHE02bL] [AG003aL] [AG003bL]  
[FES03L]

### Revues Thème 2

[KHE01R] [LOA01R] [SHA01R] [RED02R] [ABA03R] [ARI03R]

### Ouvrages et chapitres d'ouvrages Thème 3

[MAH01L] [MAM02L] [COL03L] [PAS03L]

### Revues Thème 3

[BUR00R] [COL00R] [HOP00R] [PAS00R] [BES01R] [DJE01R] [HAM01aR]  
[HAM01bR] [HAM01cR] [HOPP01R] [KEV01R] [MAH01R] [MAM01R] [PAS01aR]  
[PAS01bR] [PAS01cR] [PRA01R] [SAM01R] [SEG01R] [AITA02R] [HAM02R]  
[HOP02R] [KOE02R] [MAM02bR] [RYB02R] [ARI03R] [DJE03R] [DZU03R]  
[GAI03R] [KEV03R] [PAS03R] [AIT04R] [BEJ04aR] [BEJ04bR] [DAM04R]  
[DJE04R] [FEN04aR] [FEN04bR] [MAH04R] [PRA04R] [RYB04R]

### Publications communes thèmes 1 et 2

[LOA01R] [LOA00C] [MON02C] [NZI02C] [MER03aC] [MER03bC] [FEM04aC]  
[FEM04bC] [FEM04cC] [FEM04dC] [MER04cC] [MER04dC] [MER04eC]

### Publications communes thèmes 2 et 3

[ARI03R] [OTM00cC] [ARI02bC] [ARI02cC] [ARI02dC] [ARI02eC] [ARI03aC]  
[ARI03bC]

## Bilan des habilitations à diriger les recherches et thèses soutenues

|        | 2000 | 2001 | 2002 | 2003-2004 | Total |
|--------|------|------|------|-----------|-------|
| HdR    | 2    | 1    | 3    | 0         | 6     |
| Thèses | 4    | 3    | 7    | 3         | 17    |

#### 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 |

| Présidence des 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   |
| AAATE                                                                | Octobre 2005    | Lille             | Vice Président du comité d'organisation                                       | III   |

## Participation à des actions Européennes

| Nom du projet                                                    | Cadre                                        | Montant                               | Début      | Fin        | Thème |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|-------|
| <b>TOUCH-HAPSYS</b>                                              | Projet Inégré<br>5 <sup>ème</sup> PCRD       | 401,8 K€                              | 01/10/2002 | 30/09/2005 | II    |
| <b>INTUITION</b>                                                 | Réseau d'excellence<br>6 <sup>ème</sup> PCRD | Première réunion plénière le 26/10/04 |            |            | II    |
| <b>PREVENTIVE<br/>SAVETY</b><br>Wireless local danger<br>warning | Projet Intégré<br>6 <sup>ème</sup> PCRD      | 300 K€                                | 01/02/2004 | 27/02/2007 | III   |

## Accueil de visiteurs extérieurs

| Visiteur        | Université d'origine                                          | Période de présence | Durée   |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|---------|
| M. R. Mahony    | Senior lecturer à<br>l'Université de<br>Monash, Australie     | 2000                | 1 mois  |
| M. K. Kozlowski | Université Posnan,<br>Pologne                                 | 2000                | 1 mois  |
| M. A. Abichou   | Professeur à l'école<br>polytechnique de<br>Tunis, Tunisie    | 2001                | 1 mois  |
| M. J. Celestino | Professeur à<br>l'Université Fédérale<br>du Céara, Brésil     | 2002                | 1 mois  |
| M. S Payendeh   | Associate Professor<br>Simon Fraser<br>University, Canada     | 2002                | 1 mois  |
| M. C. Căleanu   | Professeur à<br>l'Université<br>Polytechnique de<br>Timisoara | 2003                | 1 mois  |
| M. T. Matsumaru | Associate Professor<br>Université de<br>Shizuoka, Japon       | 2003                | 6 mois  |
| M. C. Verrelli  | Doctorant<br>Universita di Roma,<br>Italie                    | 06/2003             | 12 mois |
| M. N. Slimane   | Professeur à<br>l'Université de<br>Batna, Algérie             | 2004                | 18 mois |

## 5. Liste des équipements

- **Ordinateurs**
  - 70 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<sup>6</sup>
  - Vidéo projecteur stéréo(Technologie DLP, Lunettes shutter, Ecran semi-transparent 3\*2,25m<sup>2</sup>)
  - *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
  - Deux projecteurs LCD
  - Un caméscope numérique
  - Deux appareils photo numériques

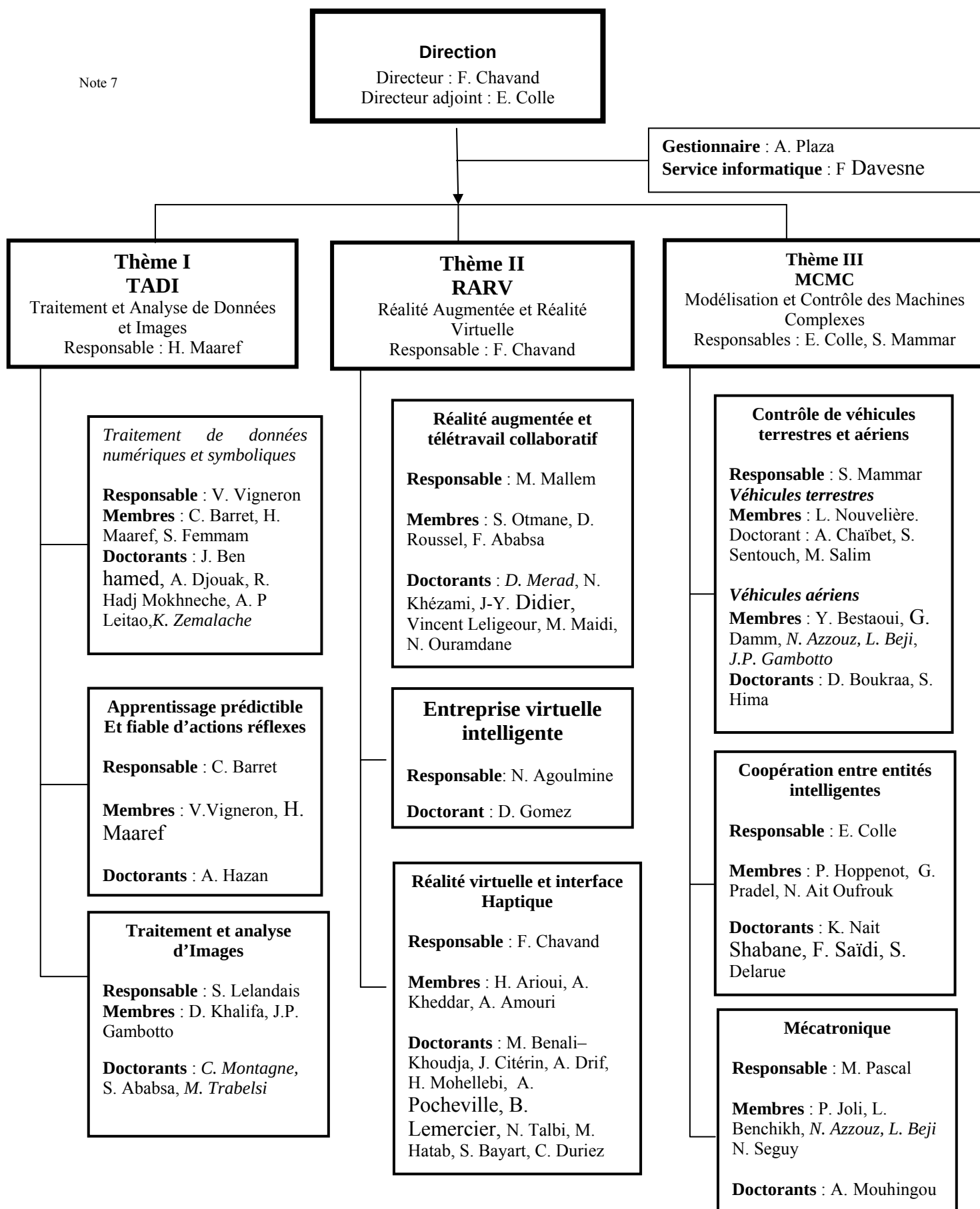
---

<sup>6</sup> Les éléments en italique sont en cours d'acquisition



## **B.DESCRPTION DES ACTIVITES DE RECHERCHE JUSQU'EN 2004**





<sup>7</sup> Les personnes dont le nom est en italique participent à plusieurs thématiques



# I. TRAITEMENT ET ANALYSE DE DONNEES ET IMAGES

## Thèmes scientifiques

- **Traitement de données numériques et symboliques**  
**mots clés** optimisation, stabilités algorithmiques, données de grande dimension, séparation de sources, 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.

**Responsable du thème** Hichem Maaref

## Responsables de groupes

- Vincent Vigneron Traitement de données numériques et symboliques
- 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)
- Khalifa Djemal, MCF, IUT Evry (depuis 2003)
- Smaïn Femmam, MCF, UHA (depuis 2003)
- Jean Pierre Gambotto, PAST, U.Evry (depuis 2003)
- Sylvie Lelandais-Bonadé, MCF, HDR, IUT Evry (depuis 1992)
- Hichem Maaref, 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 Leita     | 12/00 | Bourse INRETS    |
| ▪ Christophe Montagne | 10/01 | Bourse MERT      |
| ▪ Amar Djouak         | 11/02 | ATER             |
| ▪ Kadda Zemalache     | 02/02 | ATER             |
| ▪ Souila Ababsa       | 09/03 | Sans financement |
| ▪ Jamel Benhamed      | 09/03 | ATER             |
| ▪ Aurélien Hazan      | 09/03 | Bourse MERT      |
| ▪ Ryad Hadj-Mokhneche | 09/03 | Sans financement |

## 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 Maaref           | 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
- **LRI (CNRS UMR8623)** : Modélisation et restructuration tridimensionnelle des images
-



## 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.

### 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 [VIG01aC]. Dans [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 [VIG03aC] 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 [MAR00C];
- des études de fiabilité mécanique [DEV00C];
- l'estimation du pic de puissance électrique dans les réacteurs nucléaires [VIG00bC].

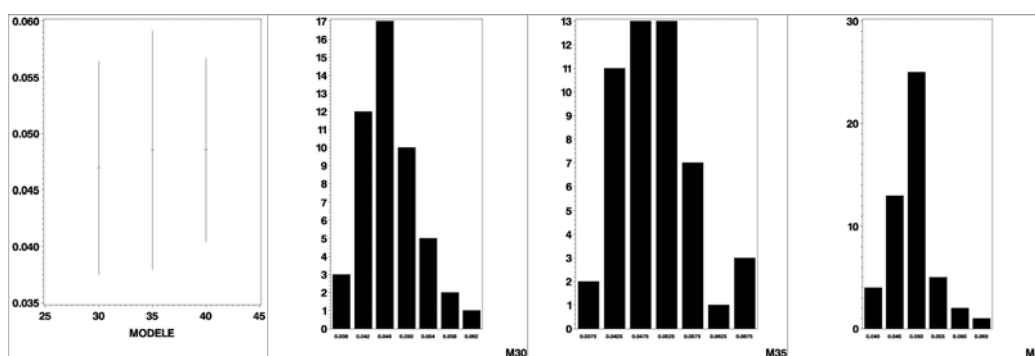


Figure I-1 Lois des variances de l'erreur de 3 modèles à partir desquelles est faite la sélection de modèle.

## 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 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 [VIG02aC].

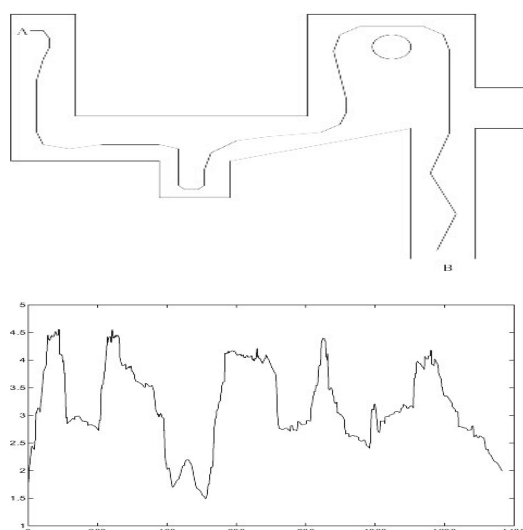


Figure I-2 Variation de la dimension fractale pendant le déplacement du robot

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.

## 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  $\chi^2$  de contingence. Cet indice, largement utilisé en analyse des données, a été revu dans [VIG02aC].et adapté pour la classification de données qualitatives par cartes de Kohonen.

Les avantages de cette pratique sont multiples :

- On fait apparaître les liaisons intéressantes entre caractères étudiés et caractères descriptifs,
- 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.

Nous avons validé cet algorithme sur deux études socio-économiques: l'évaluation des collaborations R&D entre entreprises privées et laboratoires de recherche publics 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.

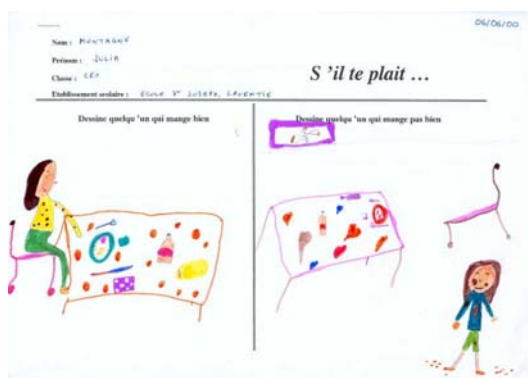


Figure I-3 Dessin extrait de l'étude FLVD.

## **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 [VIG03fC]

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.

## **Etudes théoriques sur les algorithmes**

Plusieurs algorithmes de résolution originaux ont été proposées et testés sur le modèle Héault-Jutten dans [VIG03bC], [VIG03dC]. 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 [VIG03R]. Dans [VIG01aC] et [VIG03aC], 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.

## 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) ([VIG03fC] (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 Salpêtrière (T. Similowski) et le Laboratoire Image et Signal (Grenoble). Cette étude comporte trois volets :

- 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 ;
- 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 ;
- 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 sémilogie 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 contractions maternelles et d'aider au diagnostic pour décider du traitement chirurgical ou pharmacologique d'une cardiopathie.

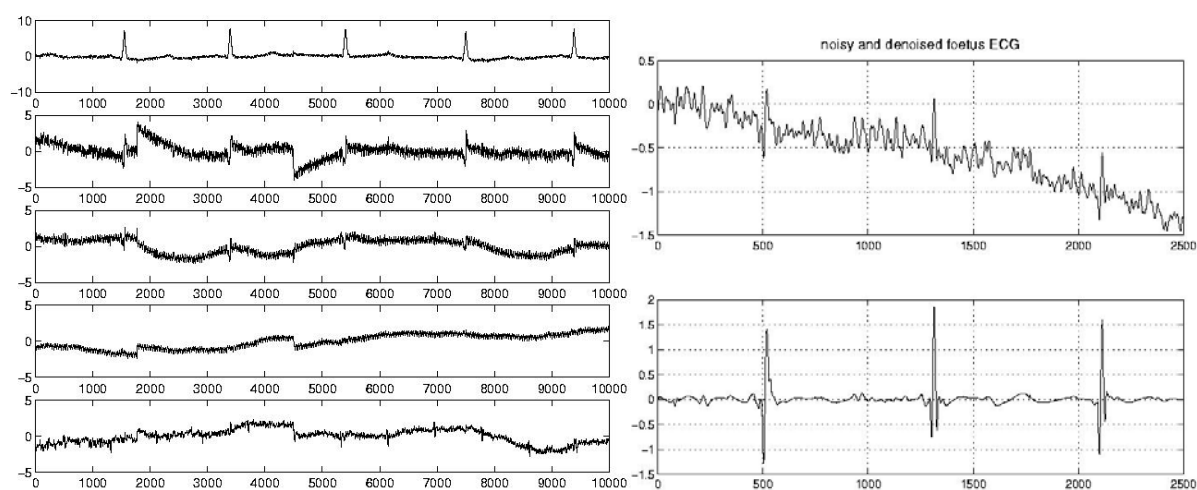


Figure I-4 Extraction de l'ECG fœtal à partir de signaux réels collectés sur une patiente à 34s

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

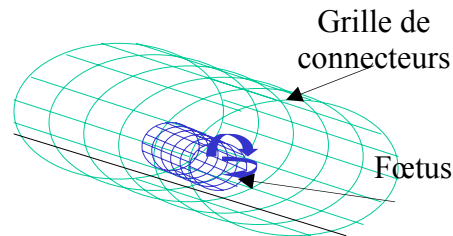


Figure I-6 Grille d'électrode destinée à collecter les meilleurs signaux ECGf.

médicales.

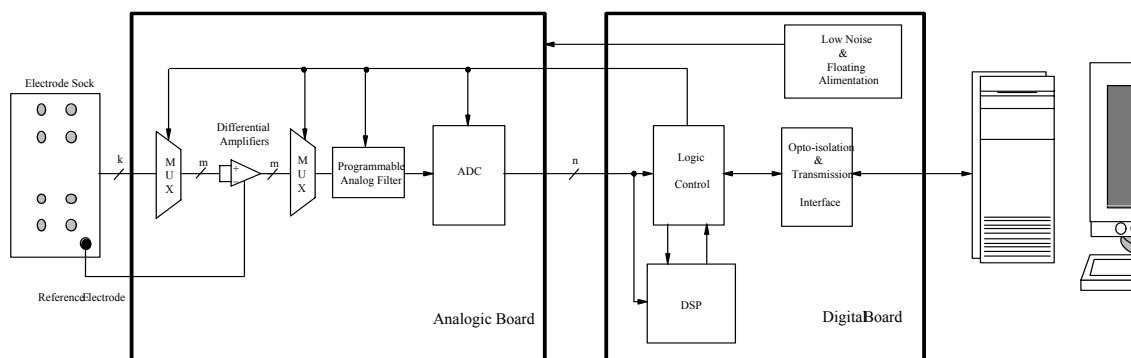


Figure I-5 Schéma du système d'acquisition de signaux

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.

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 [MAA00R].

### **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 [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 [MAA01C]. 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 [MAA02R].

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 [VIG03cC], à l'optimisation [VIG03R] et à l'approximation certaine de fonctions floues [VIG02bC, VIG02cC].



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

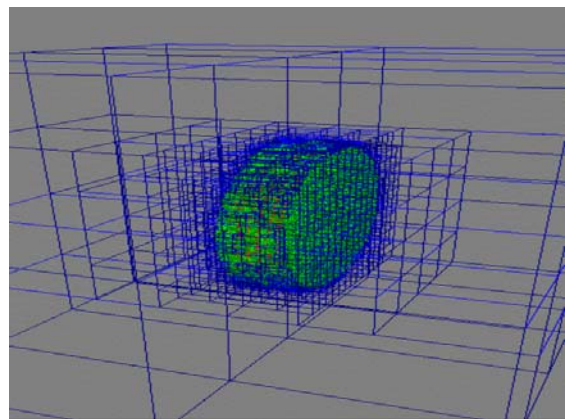


Figure I-8 Sous-pavage 3D (généré par le solveur) et solution d'une équation elliptique tridimensionnelle.

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 bibliothèques 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 [OUS0bR, OUS00cR] 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 [MAA03C] 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 [OUS01R].

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 [OUS03R]. 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. 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 [OUS03R].

### 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. 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.

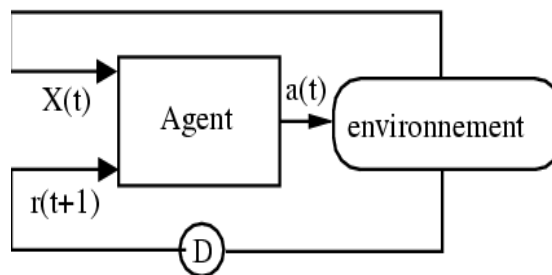


Figure I-9 Principe de l'apprentissage par renforcement

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<sup>8</sup> ;
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]. Nous avons 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

---

<sup>8</sup> Il s'agit d'un analogue des propriétés de stabilité d'une loi de commande en automatique.

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) ?

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 artificielles »<sup>9</sup>. 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.

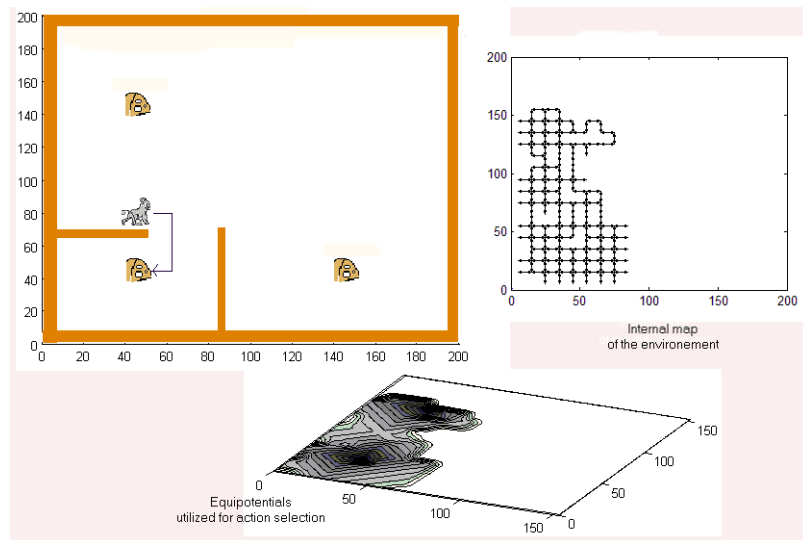


Figure I-10 Algorithme CbL. Bassins d'attraction créés grâce à l'exploration de l'environnement.

<sup>9</sup> 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

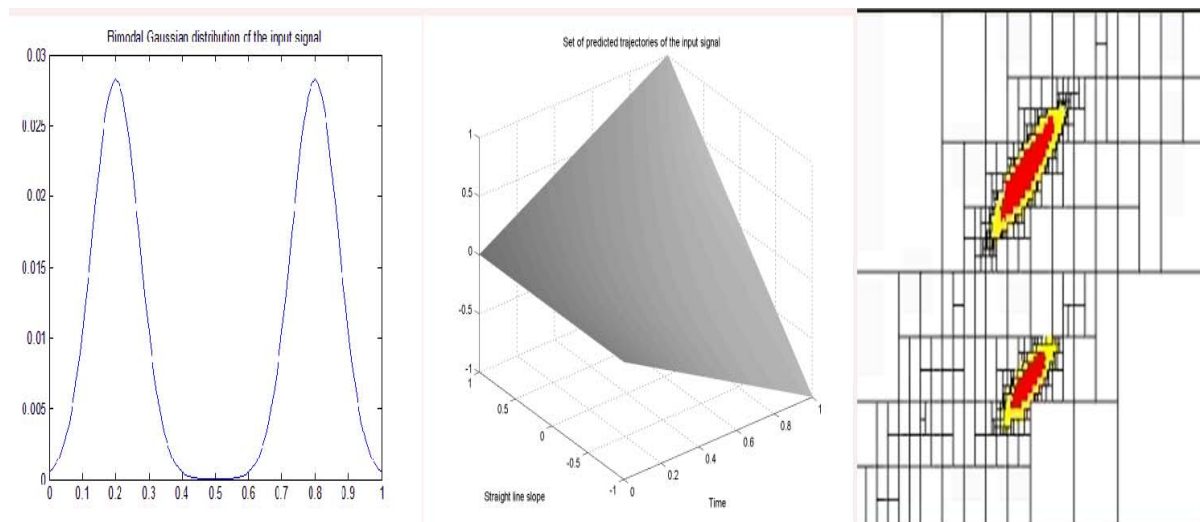


Figure I-11 Résultat du processus de sélection (à droite) lorsqu'un signal gaussien bimodal est appliqué en entrée et qu'une nappe linéaire est utilisée comme prédicteur. L'ensemble des droites sélectionnées est représenté dans l'espace de Hough associé aux paramètres de la nappe.

## 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 ( $\tau$ ) et de slant ( $\theta$ ).

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 ( $\tau$ ) et de slant ( $\theta$ ) 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.

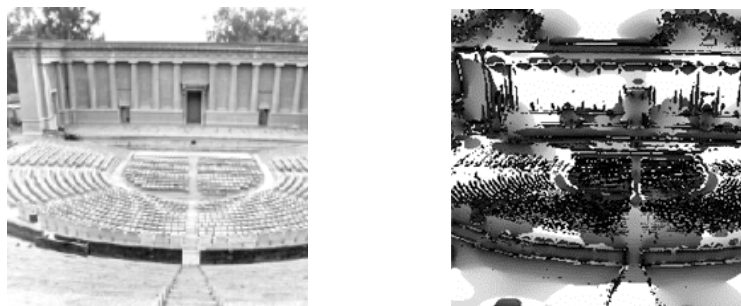


Figure I-13 Image originale (à gauche) et carte des échelles locales (à droite).

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 : [LEL02R][PLA02R].

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 [BAR03C]. 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-occurrences 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 [LOA01R].



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 [MON03C], 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 [NZI02C] 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 [MER03aC][MER03bC].

### **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  $1\text{km}^2$  au sol) engendre une hétérogénéité de l'information [BOUZ00C]. 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 :

- 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.

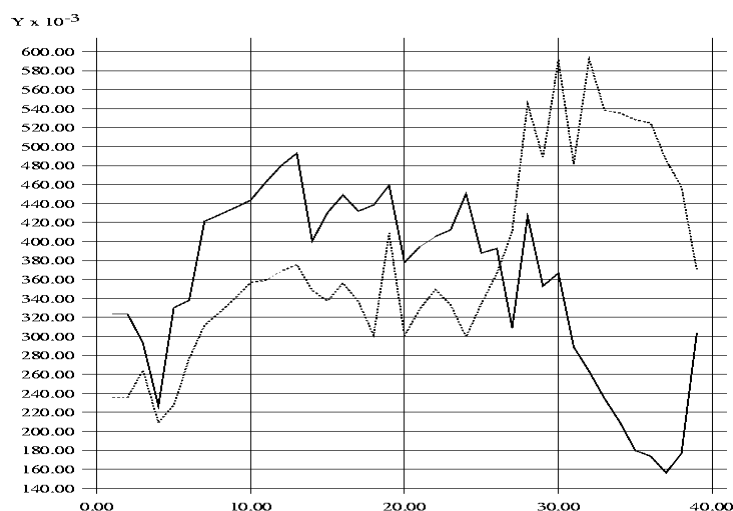


Figure I-15 Comparaison entre deux profils de NDVI : céréales d'hiver et céréales d'été.

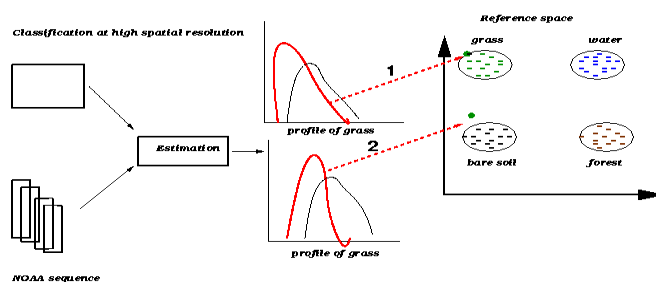


Figure I-16 Scénario de détection du changement d'occupation du sol.

- 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 réflectance 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 [BOU03cC].

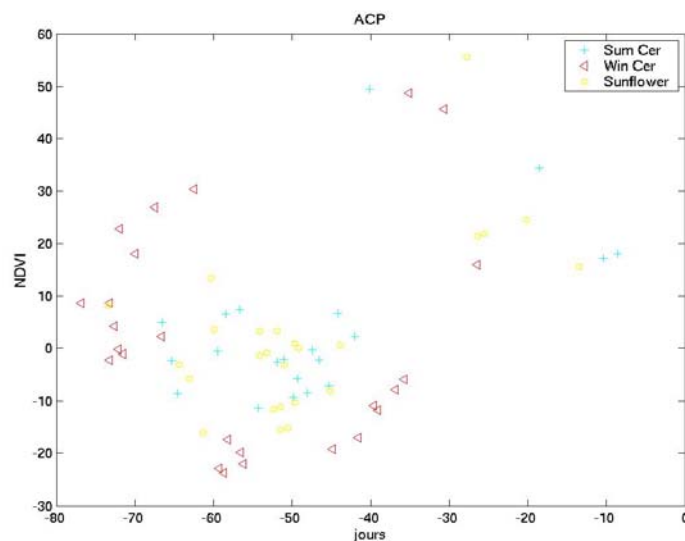


Figure I-17 Exemple d'espace obtenu après application de l'ACP.

- 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 [BOU03aC][BOU03cC].

#### 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 [LEI03aC][LEI03bC]. 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].

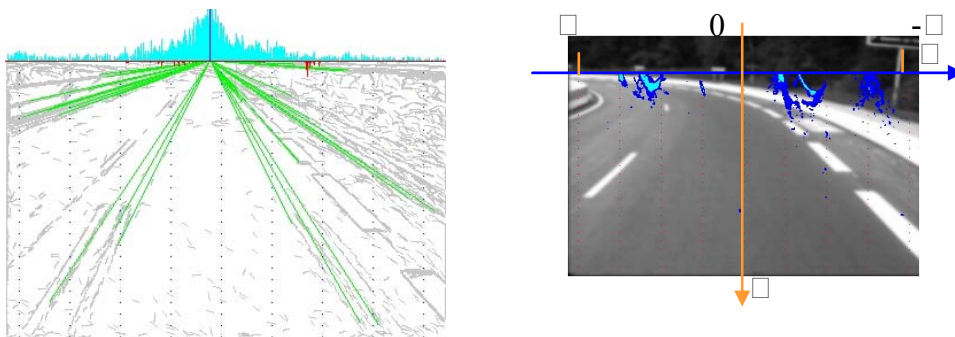


Figure I-18 Extraction de lignes sur une route. Histogramme obtenu par la transformée de Hough de l'image de fond.

- La reconnaissance biométrique à l'aide de variables multiples [VIG03fC]. 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.

### **5.1. 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.

### **5.2. 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.

### **5.3. 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 [CON00R].

### **5.4. 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 (RIV00aC]. Les résultats obtenus sont, de l'avis des experts médicaux, de toute première qualité [RIV00bC].

### **5.5. 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].

### **5.6. 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 de simulateurs interactifs pour la conduite.

**Responsable** Florent Chavand

### Responsables de groupes

- Malik Mallem Réalité augmentée et télétravail collaboratif
- Nazim Agoulmine Entreprise virtuelle intelligente
- Abderrahmane Kheddar Réalité virtuelle et rendu haptique

### Participants

- Fakhreddine Ababsa MCF U.EVry (depuis Septembre 2004)
- Nazim Agoulmine PR U. Evry (depuis Octobre 2000)
- Ali Amouri PRAG U.Evry (depuis Septembre 2004)
- 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 (Septembre 1992-2002) mutation.

### Doctorants

- Benjamin Bayart 10/04 Bourse région IDF
- Danielo 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 Citerin      | 07/03 | CDD contrat de recherche                 |
| ▪ Abdelhafid Drif     | 10/02 | CDD contrat de recherche                 |
| ▪ Christian Duriez    | 09/01 | Bourse CEA                               |
| ▪ Maher Hatab         | 09/03 | Bourse CNRS coopération franco-libanaise |
| ▪ Hakim Mohellebi     | 09/01 | Bourse INRETS                            |
| ▪ Vincent Leligeour   | 09/03 | Sans financement                         |
| ▪ Benjamin Lemerrier  | 09/03 | CDD contrat de recherche                 |
| ▪ Madjid Maïdi        | 09/03 | Sans financement                         |
| ▪ Nassima Ouramdane   | 09/04 | Sans financement                         |
| ▪ Aurélien Pocheville | 09/03 | CDD contrat de recherche                 |
| ▪ Nadjet Talbi        | 09/04 | Bourse BDI CNRS                          |

## Thèses soutenues

|                      |       |                           |
|----------------------|-------|---------------------------|
| ▪ Fakhreddine Ababsa | 12/02 | MCF U.Evry                |
| ▪ Samir Otmane       | 12/00 | MCF U. Evry               |
| ▪ Stéphane Redon     | 10/02 | Chargé de Recherche INRIA |
| ▪ Hichem Arioui      | 12/02 | MCF U. Evry               |

## HDR soutenues

|                        |       |    |          |
|------------------------|-------|----|----------|
| ▪ 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 2002.
- **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 SIM<sup>2</sup>** : thèse H. Mohellebi. Architectures de plates-formes de restitution de mouvement à bas coûts : contrat d'expertise 18,3 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)** : Technische Universität München, Allemagne, Professeur Günther Schmidt.
- **Technische 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.
  - **Université de Berlin** : Prof. M. Buss (coordinateur)
  - **Institut Max Planck Tübingen** : Prof. H. Bühlhoff et Dr M. Ernst
  - **Université de Pise** : Prof. A. Bicchi
  - **Université de Birmingham** : Prof. A. Wing
  - **Université de Zurich** : Prof. G. Székely
  - **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 6<sup>ème</sup> 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 »
- **UMR CNRS Mouvement et Perception** : équipe de Jean-Louis Vercher.



## 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 [SHA01R].

### **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).

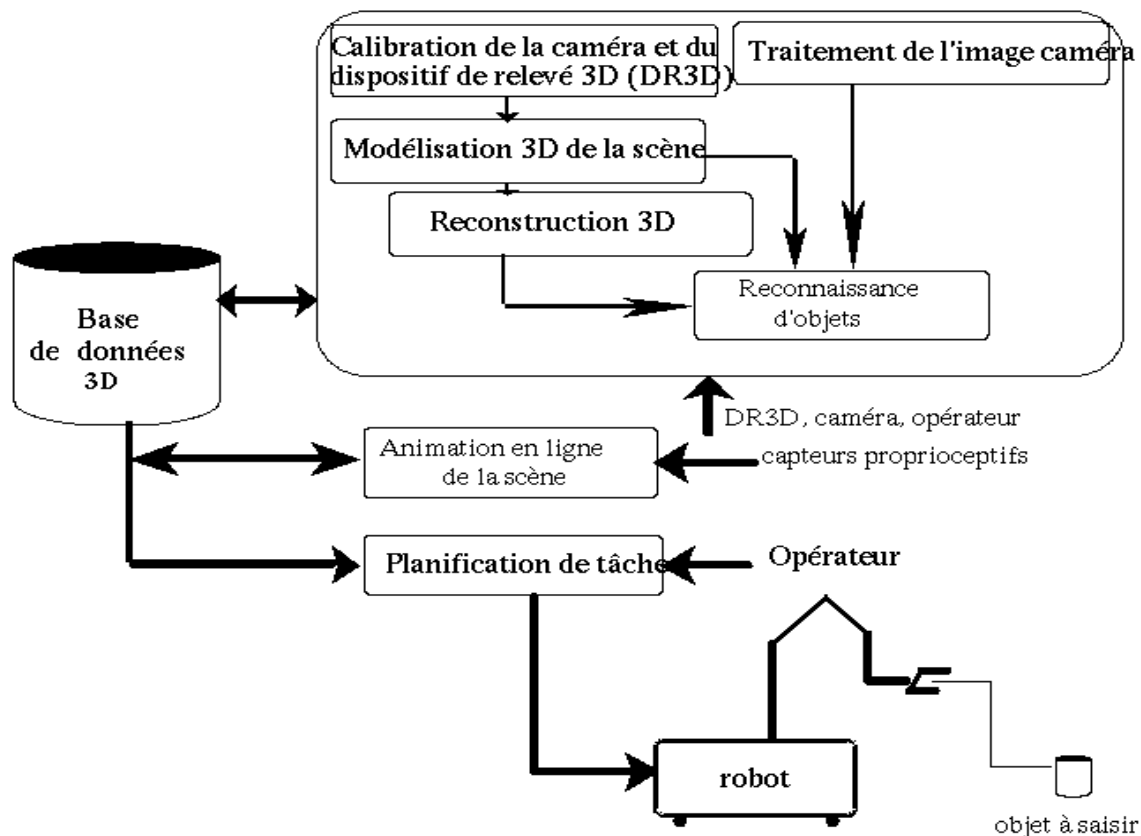


Figure II-1 Architecture fonctionnelle du système MCIT. Les principales méthodes et algorithmes constituant les modules logiciels sont présentés brièvement.

### 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 créé.

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 événements 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  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  du modèle d'un objet, défini dans un système d'axes ( $R_m$ ) lié au modèle, et de trois



segments 11, 12, 13 détectés dans une image et définis dans le système d'axes ( $R_c$ ) lié à la caméra. L'objectif est de déterminer la rotation  $R$  et la translation  $T$  à appliquer à  $L_i$  ( $i=1..3$ ) afin que leurs images coïncident avec celles des  $l_i$ . 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, [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.

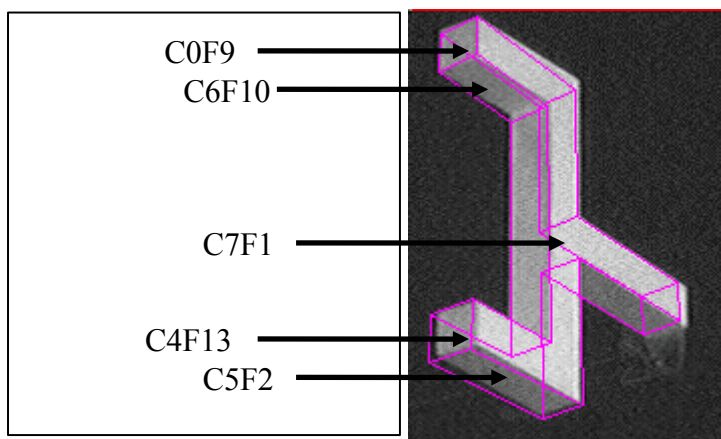


Figure II-2 Le modèle de l'objet Pince est superposé sur son image avec erreur moyenne de 2.6 pixels, les hypothèses chaîne/face sont marquées.

### 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 photoclinométrique, 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 appairer 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 [ABA02aC].

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 [ABA03aC][ABA03R].

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 hybride basée sur celles des distances et celle utilisant le diagramme de Voronoi [MER04cC]. 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 [MER04aC]. Ce travail fait l'objet de la thèse de D. Merad [MER-Thèse].

## ***Suivi en RA***

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. Un premier résultat portant sur le retour prédictif basé sur la pseudo correction de l'image virtuelle a été obtenu [DID04aC]. Un autre résultat concernant le suivi du point de vue de l'opérateur basé sur le suivi de caméra en temps réel. L'approche proposée permet de localiser une caméra évoluant dans un environnement 3D, grâce à la combinaison d'un algorithme robuste de tracking qui identifie dans l'image courante des cibles pré calibrées, avec un algorithme temps réel d'estimation de pose (Orthogonal Iteration Algorithm)[ABA04aC].

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 a 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 mouvements 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 accélérations 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 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. Par ailleurs, à fin de pouvoir compléter les données acquises, nous avons exploré l'utilisation d'estimateurs plus robustes ou au moins plus adaptatifs tels que ceux utilisant les filtres particuliers [ABA04bC]. Une comparaison des résultats de l'utilisation d'un prédicteur de Kalman et d'un estimateur basé sur les filtres particuliers montre que le filtrage de Kalman est plus robuste et temps réel, en revanche il est sensible à l'initialisation. Le filtre particulier est moins robuste et sa complexité temporelle dépend du nombre de particules utilisées, en revanche il est moins sensible à l'initialisation [ABA04cC].

Cet axe de recherche peut couvrir un large éventail de domaines d'application, à savoir : assistance à la maintenance et l'assistance du médecin au geste chirurgical. Ce travail de recherche fait l'objet, en partie, du projet RNTL AMRA qui s'est achevé cette année. Les résultats obtenus ont montré un intérêt certain de la réalité augmentée appliquée à la maintenance industrielle. Ces résultats sont, pour l'instant, confidentiels conformément aux accords entre partenaires.

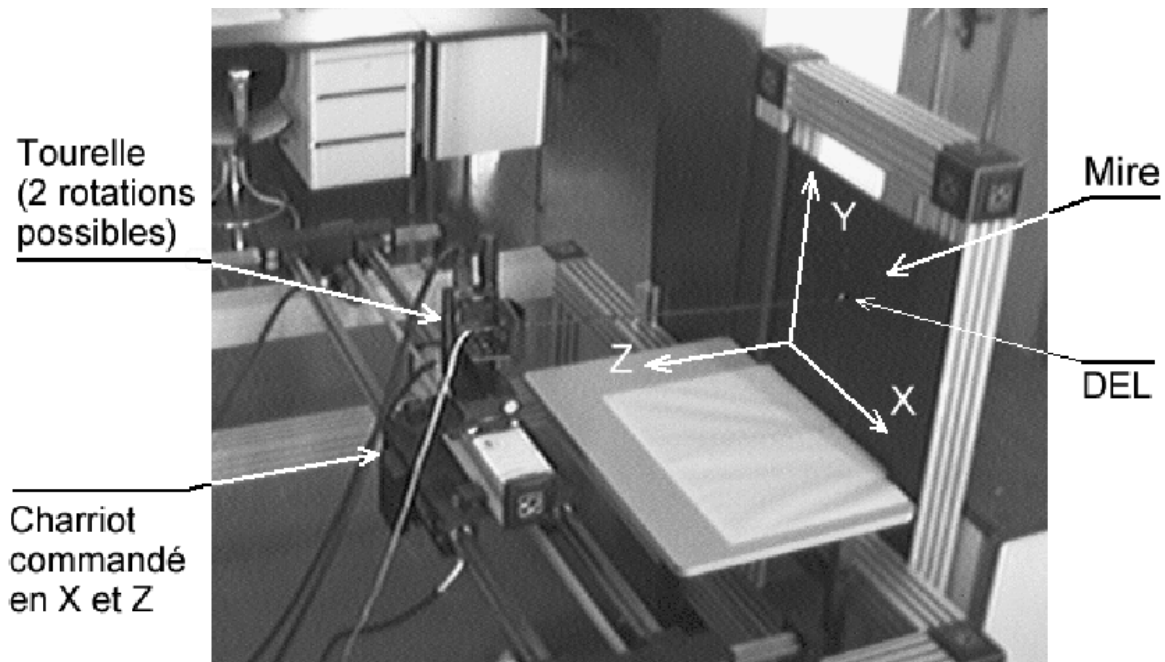


Figure II-3 Banc d'expérimentation.

### 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 a 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).

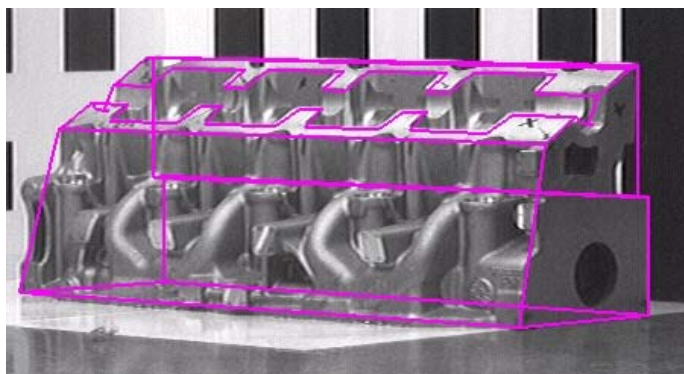


Figure II-4 Recalage 3D d'un objet industriel

### **2.3. Le Télétravail Collaboratif en Réalité Augmentée**

Les technologies de la Réalité Virtuelle (RV) et de la Réalité Augmentée (RA) sont un atout incontournable pour le travail coopératif. En effet, ces technologies vont permettre la réalisation d'interfaces multi-modales offrant au groupe de travail une bonne coordination et une meilleure interaction homme-homme et homme-machine. Par ailleurs la complexité croissante des systèmes de Réalité Augmentée (RA) et de Réalité Virtuelle (RV) rend nécessaire l'assemblage et la coopération de nombreux composants hétérogènes, faisant apparaître de nouvelles architectures informatiques. La réalisation de ces architectures constitue aujourd'hui un véritable défi pour le développement des futurs systèmes d'assistance au télétravail et au travail collaboratif en RA/RV dans de nombreux domaines d'applications (télérobotique, médical, industriel, architecture, éducation, etc.).

Dans ces contextes émergents, les techniques et les méthodes de modélisation s'avèrent primordiales pour la conception, l'analyse et l'évaluation de ces systèmes complexes. Ces systèmes d'assistance ainsi que les applications immergentes ont toutes les caractéristiques d'un bon domaine d'application des *Systèmes Multi-Agents* (SMA). Ils permettent en effet de valider et de montrer les limites des modèles et architectures multi-agents proposés. La définition de nouveaux *modèles formels et conceptuels* prenant en compte les nouvelles modalités de perception visuelle, d'interaction et de communication constitue désormais une des conditions nécessaires pour la réalisation des systèmes d'assistance au travail/télétravail en RA/RV.

Les thèmes de recherche développés concernent la modélisation, la conception et le développement des architectures logicielles pour l'assistance au télétravail et au travail collaboratif autour des systèmes de Réalité Augmentée (RA) et de Réalité Virtuelle (RV). Toutes les architectures développées sont validées par des expérimentations réelles.

Des travaux ont été réalisés d'une part, pour le télétravail en RA et d'autre part pour le télétravail collaboratif. La première partie des travaux concerne d'une part, ceux réalisés dans le cadre de la thèse de S. Otmane [OTM00Thèse] autour de la téléopération en RA via Internet et d'autre part, ceux réalisés dans le cadre d'une thèse en cours avec V. Leligeour introduisant de nouvelles modalités de perception visuelle et d'interaction autour de la plate-forme **EVR@** de télétravail en RA/RV, inaugurée le 6 mai 2004 en présence d'officiels du conseil général de l'Essonne, du CNRS, de l'Université et également de la presse ([http://lsc.univ-evry.fr/public/doc/Inaugur\\_evra.pdf](http://lsc.univ-evry.fr/public/doc/Inaugur_evra.pdf)). La seconde partie des travaux concerne la conception d'une architecture logicielle basée sur les Systèmes Multi-Agents (SMA) pour l'assistance à la préparation de missions de 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

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 augmentée ont permis de mettre en place le système expérimental de télétravail ARITI (Augmented Reality Interface for Teleoperation via Internet) [OTM00aC]. 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.univ-evry.fr/Projets/ARITI/> et sur le site de la NASA depuis janvier 2000 à l'adresse [http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics\\_page/realrobots.html](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 [OTM00bC]. 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-A) 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. La Figure II-5-B présente l'architecture logicielle du nouveau système de téléopération développé autour de la plate-forme EVR@. Cette architecture introduit deux nouvelles modalités : perception visuelle stéréoscopique et interaction de haut niveau via un dispositif (Flystick) à 6 degrés de liberté (ddl).

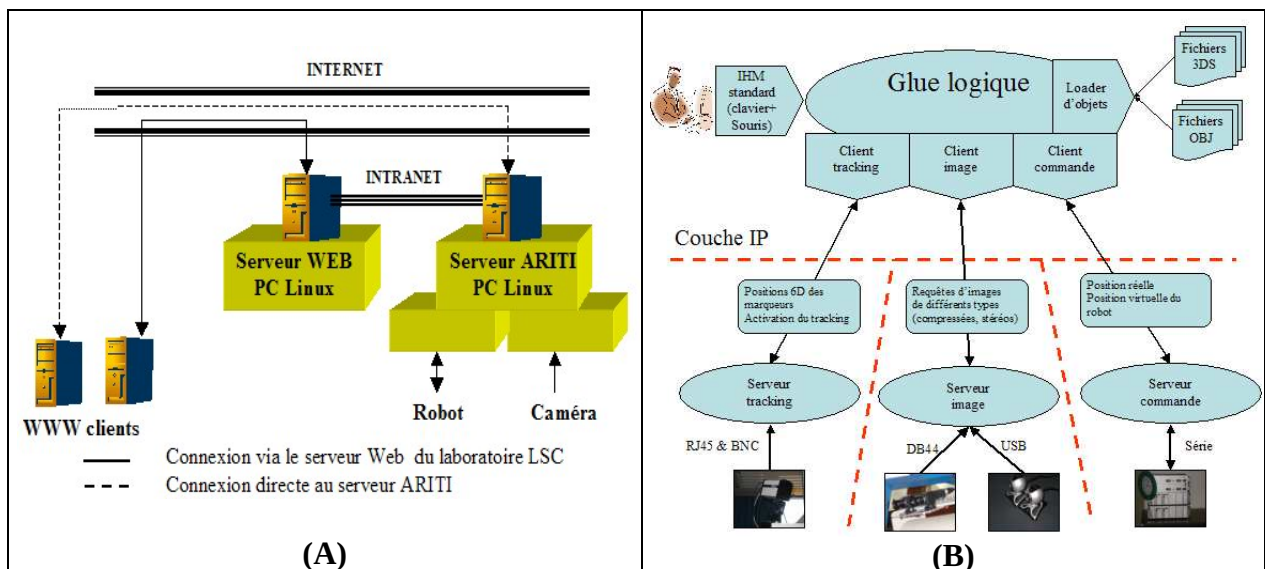


Figure II-5 : (A) Architecture informatique du système ARITI. (B) Architecture logicielle du système de téléopération avec la nouvelle plate-forme EVR@

La modularité et la conception objet du système ARITI permettent son adaptation à plusieurs applications. En effet, deux types d'applications ont été réalisées, l'une utilisant un robot manipulateur à 4 ddl. 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.

### Applications avec un robot manipulateur

Deux applications ont été réalisées avec un robot manipulateurs à 4 ddl (il s'agit du premier robot utilisé pour valider le premier système de téléopération de robot via Internet réalisé en France). La première application concerne la téléopération via Internet du robot manipulateur se trouvant au LSC en utilisant l'interface WEB du système ARITI [OTM00aC]) voir Figure II-6-A par de nombreux opérateurs dans le monde. Les tâches de télémanipulation sont facilitées par l'utilisation des guides virtuels [OTM00bC]) 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. La deuxième application concerne la téléopération du robot en semi-immersion à travers une visualisation de grande taille stéréoscopique (virtuelle et/ou réelle augmentée) permettant à l'opérateur distant d'appréhender l'environnement tridimensionnel du robot et d'interagir en temps réel avec ce dernier via un dispositif sans fil à 6 ddl (Figure II-6-B).

### 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 [OTM00cC]. Cette application est développée en collaboration avec l'équipe du thème III.

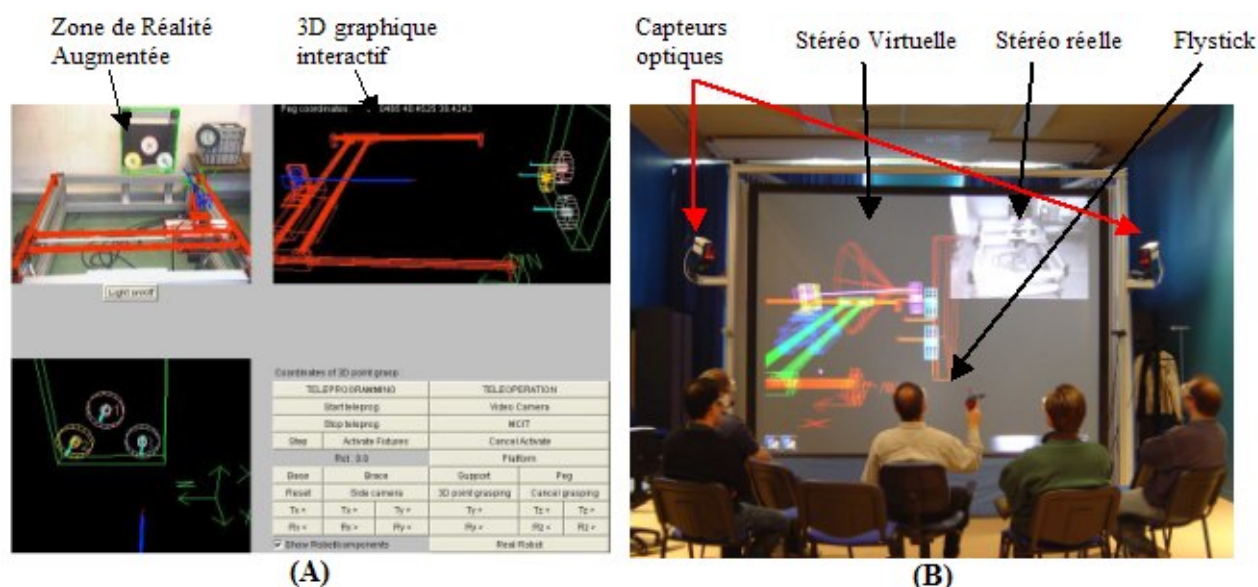


Figure II-6 : (A) Interface WEB du système ARITI. (B) Nouvelle interface avec les nouvelles modalités de perception visuelle et d'interaction (photo prise dans la nouvelle plate-forme **EVRA@**).

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.



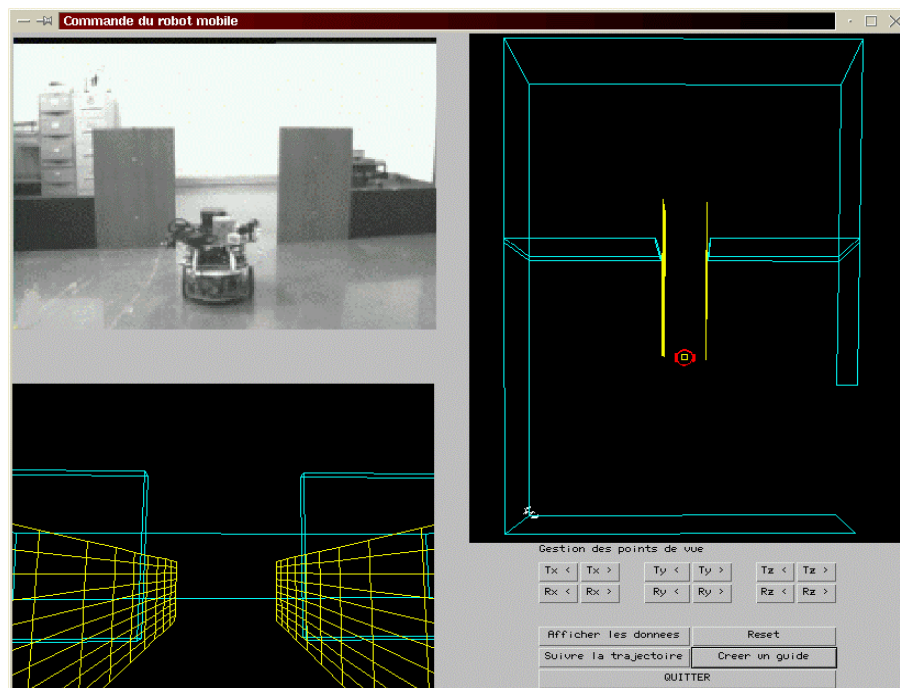


Figure II-7 Interface de contrôle-commande d'un robot mobile avec utilisation de deux guides virtuels formant un couloir pour le robot

### 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 hostiles, 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 concerne la modélisation et la conception d'un système Multi-Agents (SMA) de collaboration pour l'assistance à la préparation de missions de télétravail collaboratif. La première application de ce travail est la téléopération collaborative d'un robot via Internet en utilisant le système ARITI couplé avec le SMA de Collaboration (SMA-C) développé. Nous présentons ci-dessous la modélisation formelle et conceptuelle du SMA-C.

#### **Modélisation formelle et conceptuelle du SMA-C**

Afin de concevoir une architecture logicielle du SMA-C, il est essentiel de définir clairement ce que nous entendons par collaboration (coopération). Pour cette raison, notre étude dans un premier temps a consisté à caractériser la collaboration en utilisant une approche appelée le trèfle fonctionnel (modèle de Clover basé sur le concept CCP pour Communication-Coordination-Production) utilisée par la plus part des chercheurs du domaine du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO) en anglais CSCW (Computer Supported Cooperative Work). Cette approche est utilisée pour la modélisation formelle de la collaboration d'une part et combinée astucieusement avec le formalisme d'Agent de Ferber afin d'obtenir un modèle formel du SMA-

C [KHEZ04C]. Ce processus de modélisation formelle est présenté dans la Figure II-8. Ce modèle formel est utilisé par la suite pour définir l'architecture conceptuelle de notre SMA-C (Figure II-9). Cette architecture est implémentée en utilisant une plate-forme de développement d'agent en java JADE (Java Agent Development framework) conforme aux spécifications du FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agent).

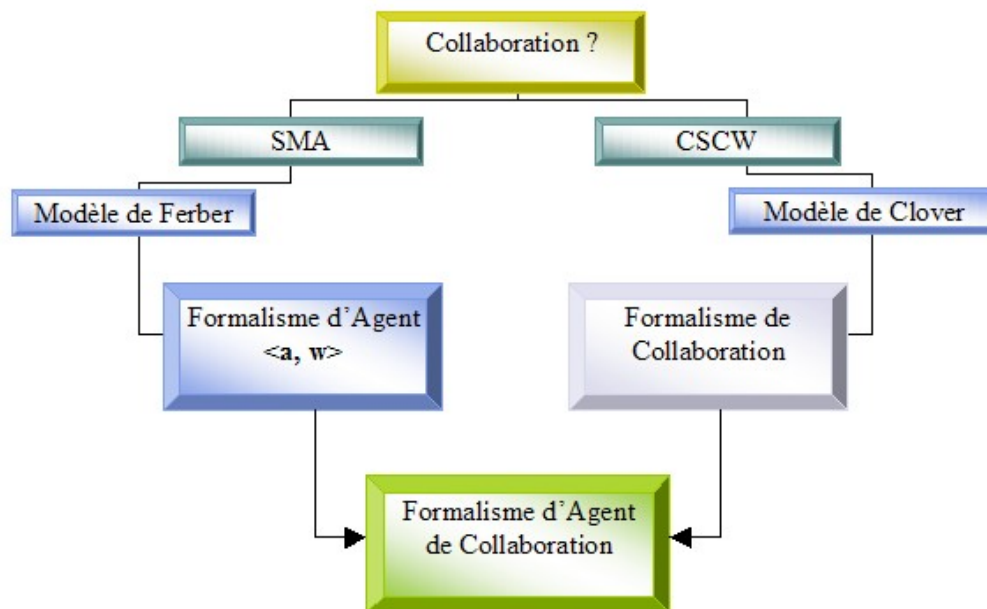


Figure II-8 Processus de modélisation formelle du Système Multi-Agents de Collaboration

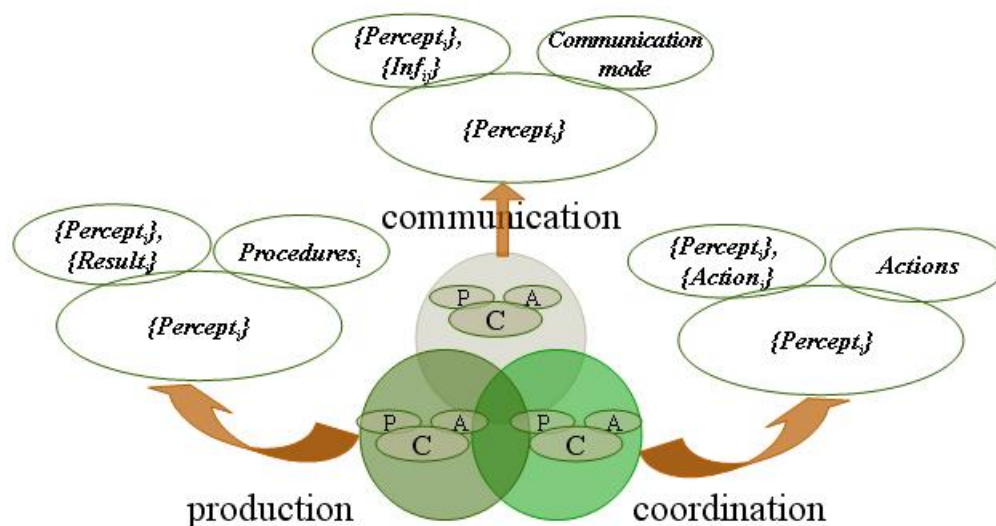


Figure II-9 Architecture conceptuelle du Système Multi-Agents de Collaboration

### 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 mêmes canaux.

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

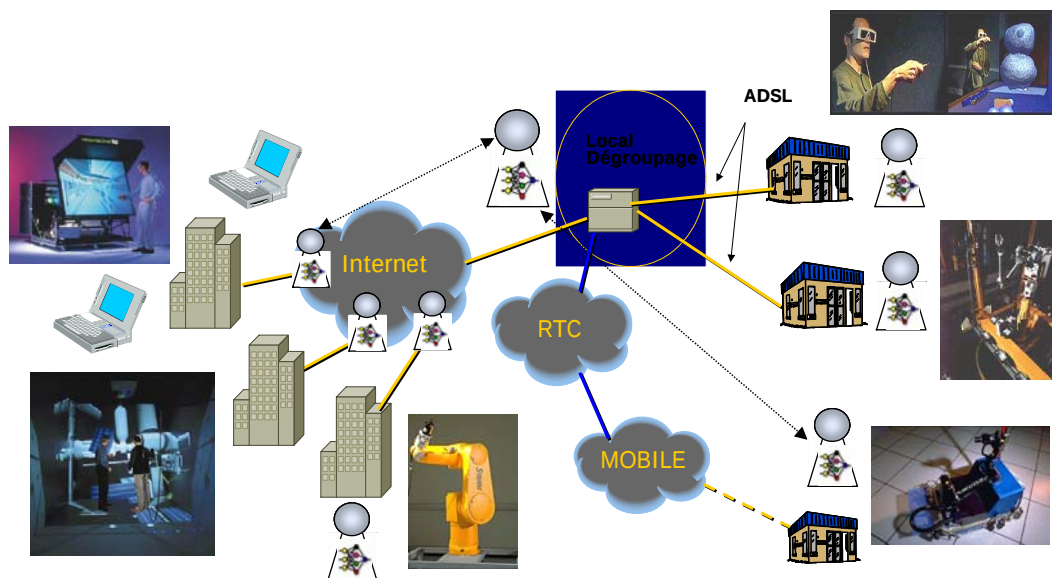


Figure II-10 Exemple d'entreprise virtuelle.

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 où les employés tiennent leurs réunions. Dès 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. Dès 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 [GHA03C] 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 contrôler 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 [KHE01R][KHE01L][KHE02bL][KHE02aL], du télétravail « physique » ou plus généralement

pour le contrôle à distance de machines complexes (engins terrestres, drones, humanoïdes...) offre d'innombrables 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 zones de positionnement flexibles, ont permis d'assouplir la programmation graphique de procédés de téléopération et ont pu être intégrés au système de programmation graphique du CEA, TAO 2000 (stage d'ingénieur de T. Loubrieu Figure II-11).

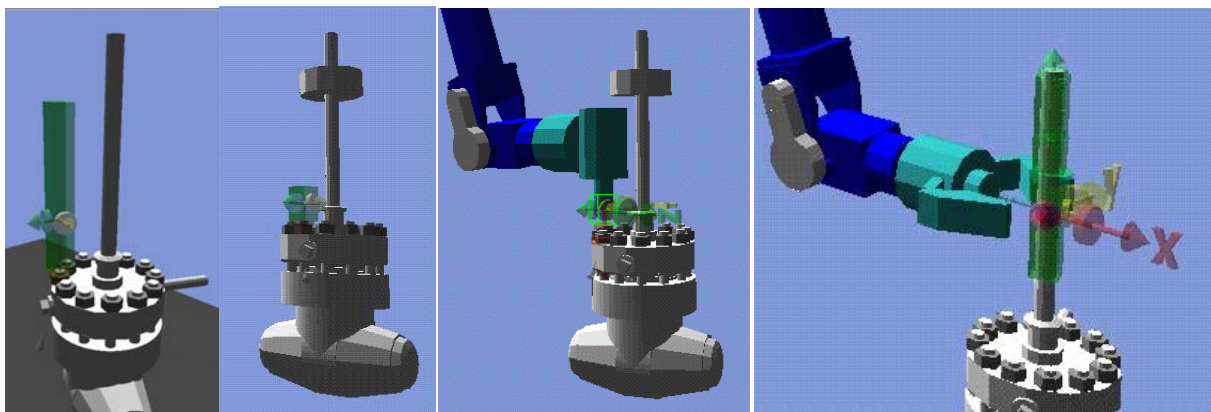


Figure II-11 Expérimentation dans le cadre d'une mission d'inspection d'une vanne avec TAO2000, CEA.

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 partagés 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). 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 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. 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.

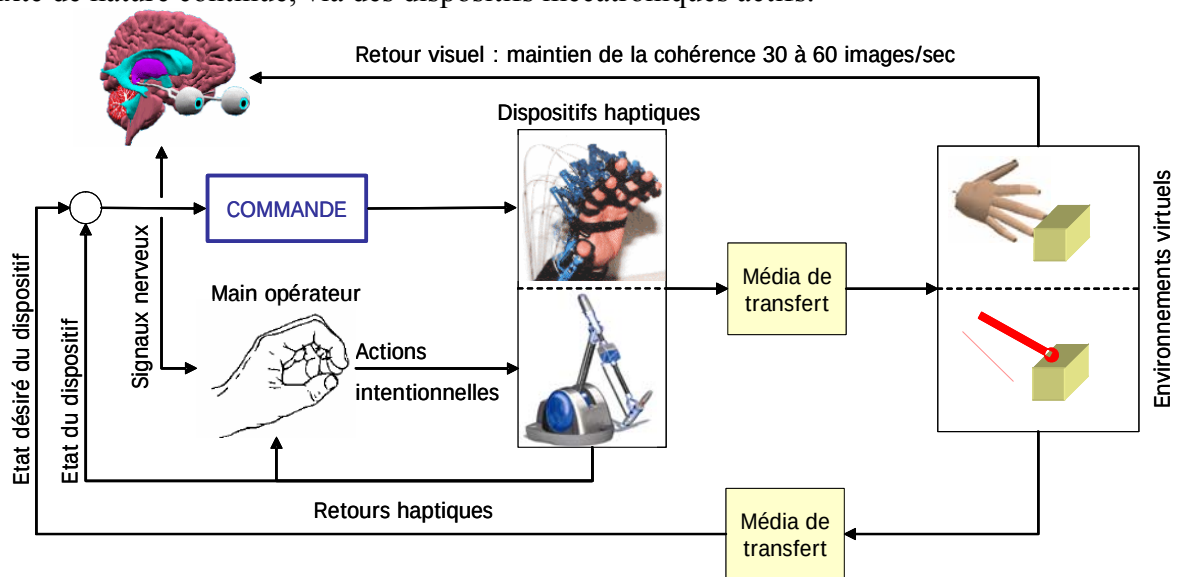


Figure II-12 Exemple de systèmes à interaction haptique

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



[LEC00C]. 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 en 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 (I-TOUCH).

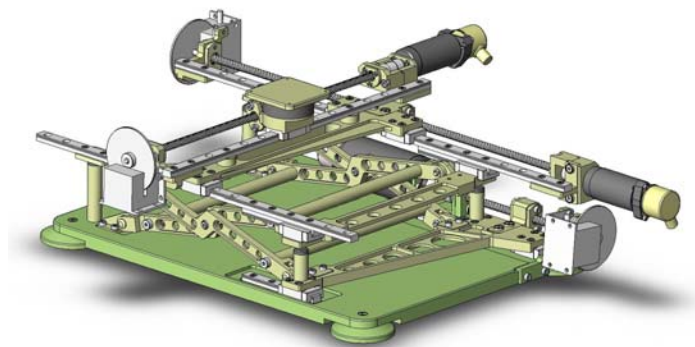


Figure II-13 Etage kinesthésique de l'interface à rendu haptique multi-niveaux.

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 (figureII-13). 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 [BEN03aC], [BEN03bC], notamment à base d'actionneur thermique à effet Peltier. Notre approche du rendu thermique consiste à s'inspirer des couplages passifs utilisés en téléopération ; notamment, nous proposons différents schémas de couplage (flux et effort thermique). Ce schéma est étendu aux environnements virtuels dans le cadre de I-TOUCH. Dans ce cas des modèles précis d'échange thermiques sont proposés.

L'activité interface tactile fait actuellement l'objet de deux thèses en cours. L'une porte sur l'exploitation de nouveaux actionneurs tels que les polymères conducteurs (J. Citérin), l'autre traite de l'algorithmique du rendu de texture (B. Le Mercier). La thèse de J. Citérin consiste à investiguer des technologies d'actionnement capable de former des réseaux d'actionneur tenant dans 1mm<sup>2</sup> ayant une hauteur réduite (3mm max), pouvant se déformer d'un mm en longueur et développant une force de 0,1N. Nous souhaitons aussi avoir la possibilité de les intégrer sur un support flexible. Les premières investigations, menées étroitement avec le laboratoire de Chimie des polymères de Cergy et de Evry, ont donné lieu à la caractérisation de l'élément actionneur à base d'un réseau interpénétré de polymère conducteur [CIT04aC], [CIT04bC]. Ces actionneurs ont toujours été utilisés en poutre, or, il a été envisagé de les utiliser plutôt sous une forme de pastille ce qui se transformerait en demi sphère durant l'actionnement. Ceci a donné lieu à un concept original de dispositif à rendu tactile. D'autres principes (polymères diélectriques, actionneurs piézo-électriques multicouche) sont à l'étude.

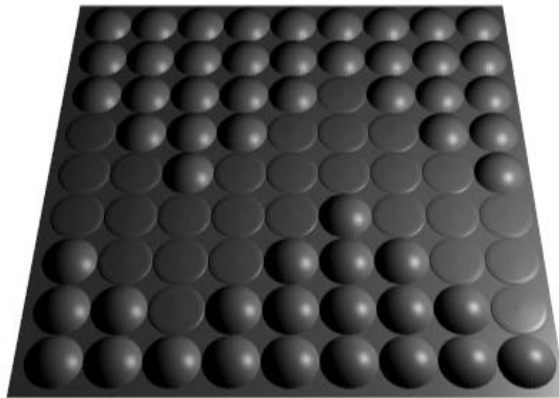


Figure II-14 Concept d'interface tactile à base de RPC

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 développements 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], [RED02R].

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 [RED02aC].

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 F. Faure d'iMAGIS, nous sommes porteur de l'AS « détection de collision et réponse », dans le cadre du RTP réalité virtuelle (B. Pérèche) 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 [RED02bC]. Ces algorithmes ont pu être testés sur des exemples industriels [RED02Thèse], [LEC01C] comme le montre la Figure II-15.



(c) INRIA-Rocquencourt - Evry University - 3D models (c) Renault

Figure II-15 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 travail 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-16). Le problème a par la suite été étendu aux espaces de contact déformable / déformable. Les frottements ont été intégrés et résolus sans discrétisation du cône de frottement grâce à l'adaptation d'un algorithme de résolution utilisé dans le domaine de la simulation granulaire (mécanique non-régulière).

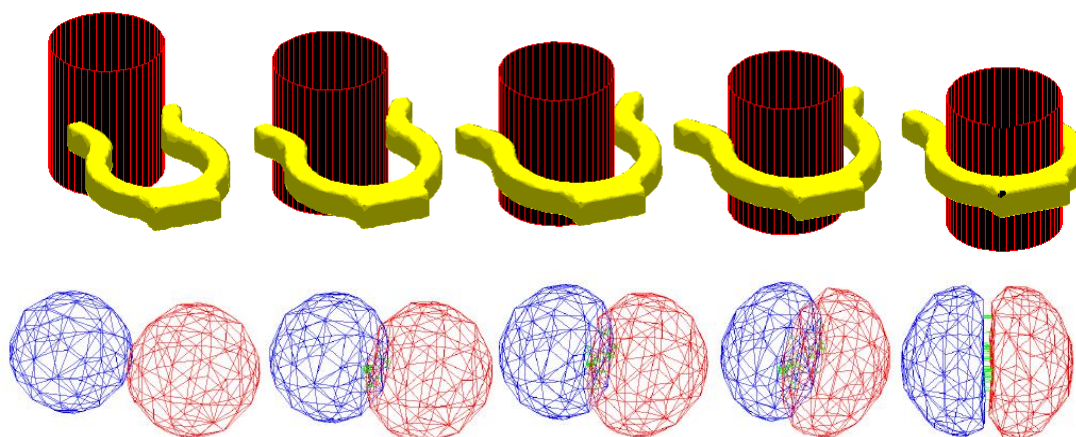


Figure II-16 « Clipsage » interactif d'un objet déformable sur un objet rigide avec rendu haptique (haut). Déformation de deux sphères de mêmes coefficient de Poisson et module d'Young (bas).

Afin d'intégrer et de quantifier tous les développements en termes d'algorithmiques de simulation et de contrôle en infohaptique, nous avons entrepris de développer un *framework* logiciel ouvert capable de recueillir les « briques » nécessaires à réaliser des applications haptiques incluant le retour sonore 3D. Le développement de l'architecture d'un tel *framework* fait l'objet de la thèse de Aurélien Pocheville. Nous avons gardé la philosophie du rendu haptique consistant à considérer ce dernier comme partie prenante d'une simulation dynamique. Sur la base d'une conception orientée objets, et d'un développement complètement dissocié du hardware haptique, I-TOUCH matérialise ce *framework* (figure II-17). Il est composé de trois modules : (i) le noyau, qui gère l'exploitation système (ii) le système d'E/S, indépendant de l'interface matérielle, (iii) le système de simulation qui régit la dynamique de la scène. Ce *framework* permet de prototyper très rapidement divers algorithmes et modèles d'animation dynamique, de détection de collision, de lois de couplage, etc.

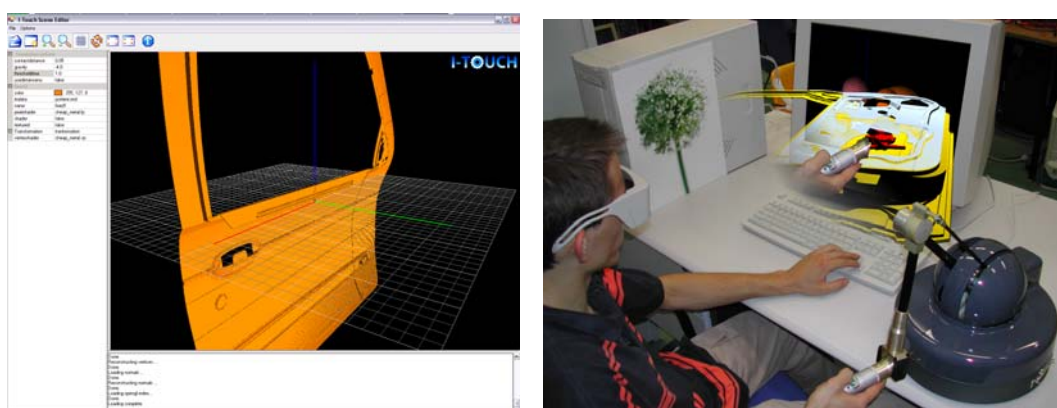


Figure II-17 Framework infohaptique du LSC, I-TOUCH (à gauche, photo d'écran de l'éditeur), à droite photo-montage d'une opération de prototypage industriel (modèle portière RENAULT©).

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], [ARI03R], [ARI02aC][ARI02bC][ARI02cC][ARI02dC]) 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 développements théoriques se fait grâce à un benchmark capable d'intégrer divers algorithmes de détection de collision, divers formalismes d'animation dynamique (pénalités, contraintes, impulsions...), divers schémas d'intégration, divers interfaces matérielles haptiques dans des scénarios types. Ce benchmark nous permet actuellement de mener des tests avec des bases de données industrielles 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 données 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 directe avec des données acquises par IRM pour simuler des interventions.

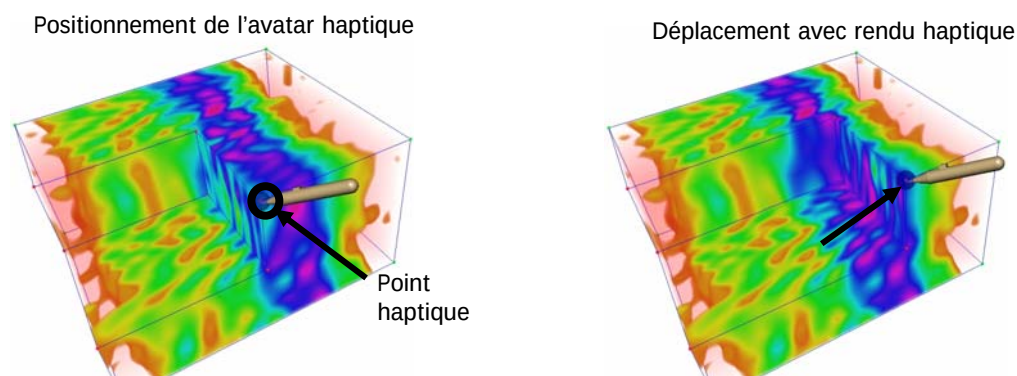


Figure II-18 Exploration haptique de données volumiques (données sismiques IFP).

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-18). 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 Applications et simulateurs de conduite**

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 maquetage 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-19 SIM<sup>2</sup> - Simulateur de conduite automobile du LSC-INRETS.

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. Une première contribution est faite sur le volet des interfaces à rendu haptique (volant, pédalier...) thèse de H. Mohellebi [MOH01C][ESP03C] avec une étude technique des protocoles de partage de commande entre conducteur et système de braquage autonome par exemple. La deuxième contribution concerne l'étude et la mise en place de structure mécanique de restitution de mouvement à bas coût ainsi que leur loi de contrôle (« washout » et « tilt coordination »), voir aussi la Figure II-19. Cette dernière contribution à donner naissance à un simulateur SIM<sup>2</sup> de conduite dynamique à 3 degré de liberté (dont deux sont exclusifs) comportant trois actionneurs. Le premier moteur est utilisé pour la simulation des retours d'effort sur le volant. Les deux autres actionneurs sont utilisés pour la restitution du mouvement longitudinal et le mouvement du siège (la possibilité d'intégrer un mouvement latéral sera étudiée et intégrée par la suite). Le mouvement longitudinal aura la fonction de simuler une conduite en fil en restituant des accélérations sur de courtes courses. Le siège du simulateur (dossier seul ou avec assise) est aussi motorisé pour le dupliquer avec les mouvements longitudinaux de la plateforme, une ceinture de sécurité est prévue pour la sécurité du conducteur en cas de freinage sec. Une nouvelle thèse commencera en novembre 2004 pour poursuivre les travaux de H. Mohellebi ainsi que l'intégration d'algorithmes intelligents pour améliorer la sécurité routière.

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-20. Cette application fait l'objet d'une thèse (Mlle N. Talbi).

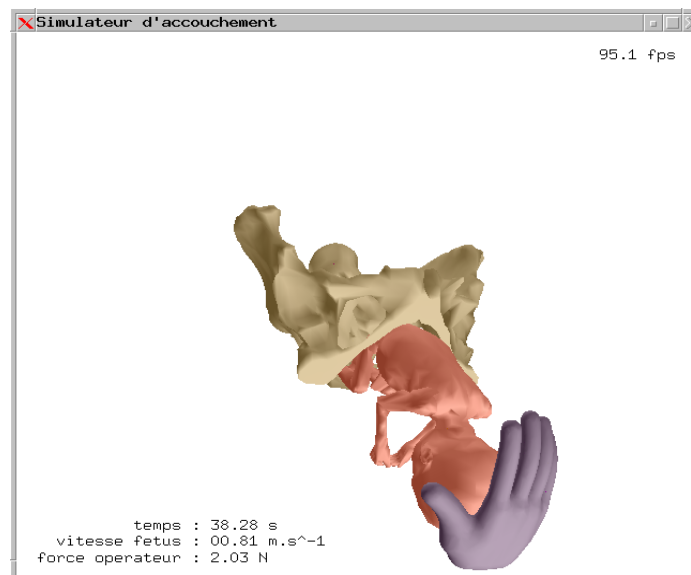


Figure II-20 Apprentissage au dosage des forces durant l'accouchement

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 convoier 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 que restituer des paramètres physiques qui trouvent facilement une expression en termes de forces.

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**

Les logiciels suivants ont été 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 « Information

### 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 du Thème

Etienne Colle

Said Mammar

#### Responsables des sous-thèmes

- |                    |                                             |
|--------------------|---------------------------------------------|
| ▪ Said Mammar      | Contrôle de véhicules terrestres et aériens |
| ▪ Etienne Colle    | Coopération entre entités intelligentes     |
| ▪ Madeleine Pascal | Mécatronique                                |

#### Participants

- |                                   |                                              |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| ▪ Naima Ait Oufrouk MCF U. Evry   | (depuis 2004, précédemment ATER)             |
| ▪ Naoufel Azouz MCF U. Evry       | (depuis 1996)                                |
| ▪ Lotfi Béji MCF U. Evry          | (depuis 1998)                                |
| ▪ Laredj Benchikh MCF U. Evry     | (depuis 1998)                                |
| ▪ Yasmina Bestaoui 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 PU U. Evry          | (depuis 1995)                                |
| ▪ Madeleine Pascal PR U. Evry     | (depuis 1992)                                |
| ▪ Gilbert Pradel MCF (ENS Cachan) | (détaché du LESiR – ENS-C depuis Sept. 1997) |

- Nicolas Séguy MCF U. Evry (depuis 2004, précédemment CDD Fanuc)

## Doctorants

|                       |       |                                          |
|-----------------------|-------|------------------------------------------|
| ▪ Djaber Boukraa      | 10/02 | CDD sur contrat                          |
| ▪ Ahmed Chaïbet       | 10/02 | Bourse sur projet                        |
| ▪ Sébastien Glaser    | 10/00 | Bourse INRETS, Soutenance mars 2004      |
| ▪ Salim Hima          | 10/00 | Vacataire enseignement                   |
| ▪ Alexis Mouhinguou   | 10/02 | Bourse congolaise                        |
| ▪ Khiaïr Naït-Chabane | 10/02 | ATER                                     |
| ▪ Yves Rybarczyk      | 01/00 | ATER, soutenance mars 2004               |
| ▪ Khalil Saïdi        | 10/02 | Allocataire MRT                          |
| ▪ Mohamed Trabelsi    | 10/02 | Sans financement                         |
| ▪ Salim Mammari       | 10/03 | Cifre                                    |
| ▪ Chouki Sentouh      | 10/03 | Bourse sur contrat CEE                   |
| ▪ Sébastien Delarue   | 10/04 | Allocataire MRT                          |
| ▪ R. Slim             | 10/03 | Cotutelle Ecole Polytechnique de Tunisie |
| ▪ Sarra Samaali       | 10/03 | Cotutelle Ecole Polytechnique de Tunisie |

## Thèses soutenues

|                           |       |                                    |
|---------------------------|-------|------------------------------------|
| ▪ Yves Rybarczyk          | 03/04 | Post Doc Portugal                  |
| ▪ Sébastien Glaser        | 03/04 | Entreprise                         |
| ▪ Nicolas Seguy           | 12/03 | MCF UEVE                           |
| ▪ Omar Aït-Aider          | 12/02 | Post Doc LASMEA Clermont Ferrant   |
| ▪ Naima Aït-Oufroukh      | 12/02 | MCF U EVE                          |
| ▪ Vincent Artigue         | 11/02 | Entreprise                         |
| ▪ Arouk. Moazemi Goudarzi | 12/01 | Retour en Syrie                    |
| ▪ Abdelhamid Chriette     | 10/01 | depuis sept. 03, MCF à l'EC Nantes |
| ▪ Vahé Baghdassarian      | 04/01 | Entreprise                         |

## 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 Fraser, 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 [HAM01aR] [HAM01bR].

## ***Evolution des recherches***

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  $H_\infty$  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 séquençage 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  $H_\infty$  par facteurs premiers et les LMI. Nous avons proposé une méthode de séquençage 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.

**Modes de partages pour le maintien de voie :** L'objectif était de synthétiser une loi de commande pour le mode latéral et de l'implanter sur le véhicule en construisant à partir de celle-ci plusieurs modes de partage avec le conducteur. Lors d'une conduite en contrôle latéral (désignée également ci-dessous par mode régulé), la direction du véhicule est commandée par l'automate et le contrôle longitudinal du véhicule reste à la charge du conducteur. Plusieurs modes d'interaction entre le conducteur et l'automate (fondés ou non sur cette commande) ont été mis en oeuvre sur le véhicule LOLA du LIVIC. Ceux-ci sont résumés ci-dessous :

### Mode instrumenté



Une interface graphique indique la vitesse, l'écart latéral par rapport au centre de la voie à la distance de visée du capteur et la position du véhicule le long de la piste d'essais. A travers cette interface graphique, on implémente le mode instrumenté, qui consiste à fournir l'information de l'écart latéral à la distance de visée du capteur au conducteur. Comme mentionné ci-dessus, cette grandeur est calculée à partir des données fournies par l'équipe *Perception* du LIVIC. Cet affichage est réalisé avec une ergonomie « intuitive » par dégradé de couleurs allant du vert au rouge.

### Mode avertissement



Des vibrations sur le volant et un bip sonore sont générés pour avertir le conducteur si la valeur absolue de l'écart latéral (au centre de gravité du véhicule) dépasse un certain seuil. Ce seuil est réglable et peut être ajusté à chaque conducteur.

### Mode suggestion d'action



Des vibrations dissymétriques sont générées sur le volant pour avertir et inciter le conducteur à aller vers le centre de la voie (ce mode a été réalisé en collaboration avec F. MARS de l'IRCCyN).

La forme des signaux, leur fréquence, ainsi que leur dissymétrie sont entièrement configurables pour s'adapter au ressenti de chaque conducteur, sachant que la fréquence ne doit pas dépasser 10Hz afin que le volant ait le temps de réaliser la commande. La fréquence qui a été la mieux acceptée par les conducteurs est autour de 3.33Hz.

### Mode correctif



Une correction est appliquée à la trajectoire du véhicule pour le ramener dans une région de sécurité lorsqu'il s'écarte trop du centre de la voie. Le mode correctif est construit à partir de l'algorithme de contrôle latéral du véhicule (mode régulé). La variable critique est l'écart latéral par rapport au centre de la voie ( $y_{CG}$ ). On définit un seuil  $C_t$  pour cette variable. L'idée est que le conducteur conduit librement dans une région autour du centre de la voie. Lorsque  $|y_{CG}| \geq C_t$ , le contrôle latéral est activé. Comme conséquence, le véhicule est ramené vers le centre de la voie. Lorsqu'il rentre dans la région  $|y_{CG}| < C_t$ , le contrôle latéral est désactivé et la conduite est à nouveau déléguée au conducteur. La valeur du seuil  $C_t$  a été fixée à 50cm. Il est important de remarquer que le conducteur peut à tout moment aller contre l'assistance. En effet, si le couple conducteur dépasse un seuil, l'assistance est désactivée et la conduite rendue au conducteur. Ceci est fondamental dans le cas de la présence d'un obstacle au centre de la voie.

### Mode régulé



C'est la conduite automatisée pour le mode latéral. Le contrôle longitudinal du véhicule est à la charge du conducteur. Cependant, la direction du véhicule est commandée par l'automate. Dans ce mode, le conducteur peut aussi à tout moment aller contre le système et ainsi le désactiver. Comme pour le mode correctif, ceci est important par exemple dans le cas d'une présence d'un obstacle sur la voie. Pour le mode régulé, ainsi que pour le mode correctif, si le système a rendu la main au conducteur, sa réactivation n'est possible qu'après deux secondes de conduite manuelle et à la condition que le véhicule ait été ramené au milieu de la voie ( $|y_{CG}| \leq 20cm$ ) avec un cap inférieur à un certain seuil ( $|\Psi_L| \leq 0.05rad$ ) et si en même temps la détection des marquages est d'une très bonne qualité.

**Alerte pour la vitesse excessive en approche de virage :** Le but de ce système est de fournir au conducteur une indication quant à sa prise de risque par rapport aux difficultés de l'infrastructure qu'il va rencontrer dans un horizon temporel proche. Pour que ce système soit efficace, il doit être adaptable au conducteur et l'alerte émise appropriée à la difficulté à venir. L'information du risque doit être fournie au conducteur suffisamment à l'avance pour que celui-ci ait le temps de réagir. Pour cela le système d'Alerte pour la vitesse excessive en approche de virage calcule la vitesse prédite du conducteur à un horizon temporel donné (variant de 1 à 3s) en faisant l'hypothèse d'une accélération constante. Cette vitesse est ensuite comparée à différents profils de vitesses générés à partir de l'horizon électronique renvoyé par une base de données cartographiques : la base de données fournit sur cet horizon électronique les renseignements sur la géométrie de l'infrastructure, les profils de vitesses sont alors calculés en faisant l'hypothèse d'un véhicule évoluant sur cette infrastructure avec un rapport adhérence mobilisée sur adhérence mobilisable constant. La figure III.1 présente la variation de ces profils de vitesse en fonction de la pente de la route sur la portion clothoïde d'un virage

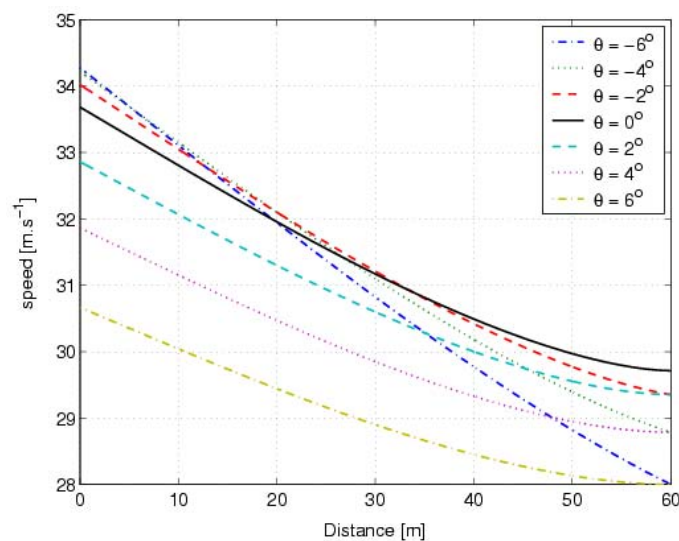


Figure III-1 : Variation des profils de vitesse dans une clothoïde en fonction de la pente

En fonction de la position de la vitesse par rapport aux différents profils de vitesse, une alerte sonore et visuelle est émise à direction du conducteur. La figure III.2 présente l'interface graphique du système d'alerte.

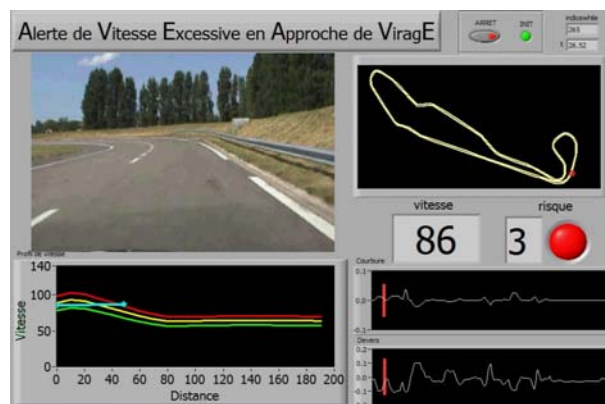


Figure III-2 : Interface graphique du système d'alerte en vitesse excessive

### **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 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



conserver 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 fournies. La principale référence liée à ces résultats est [MAH01L].
- 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 [CHR00C]. 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 [MAH00aC] et un article de revue [MAH01R].
- 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 [DZU01C]

- 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 [MAH00bC]
  
- 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 [HAM00aC] ; 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 [HAM00bC] 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 [HAM02R].

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 [MAH02C].
- Extension du résultat [HAM02R], 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 [CHR01C] 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 [HAM02aC].
- Extension de la stratégie de contrôle initiale [HAM02R] 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 [MAH01C].

### 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 [AZO02C]. 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 [BES01R]. 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 [BES03C] [HIM03C].

## 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 [BEJ02C][BEJ03C]. 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 croissance. 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* » [AIT02aC][AIT02bC]), 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 paramètres 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-3 constitué de capteurs ultrasonores considérés comme frustes, permet la reconnaissance d'un environnement d'intérieur constitué d'objets simples ou complexes [AIT02.Thèse].

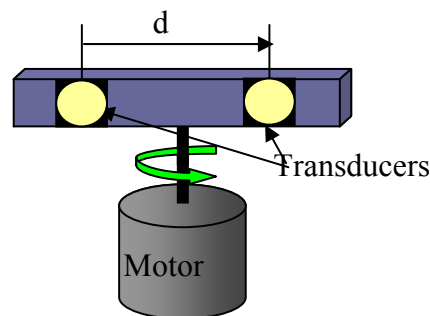


Figure III-3 Dispositif ultrasonore multiaural.

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-4), à l'aide de deux capteurs.





Figure III-4 Environnement composé d'objets simples de type plan, coin et cylindre.

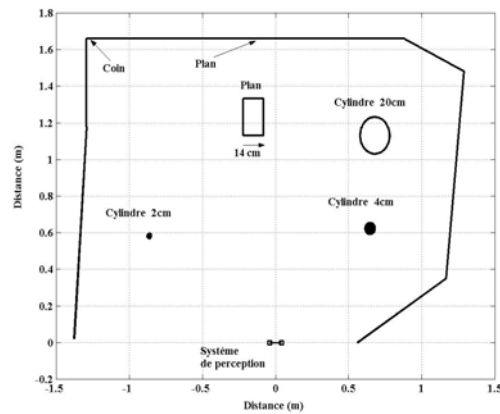


Figure III-5 Environnement expérimental correspondant à la scène précédente.

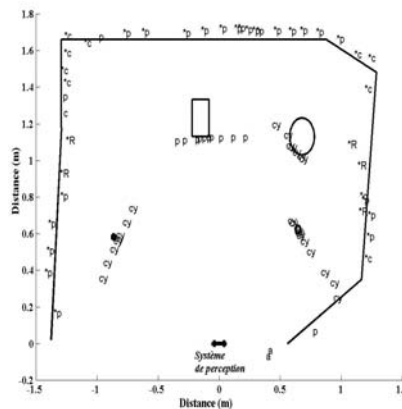


Figure III-6 Classification des objets de l'environnement.

Le résultat de classification superposé à la Figure III-5 est représenté sur la Figure III-6. 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 occultés 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 court 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 de 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-7). 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.

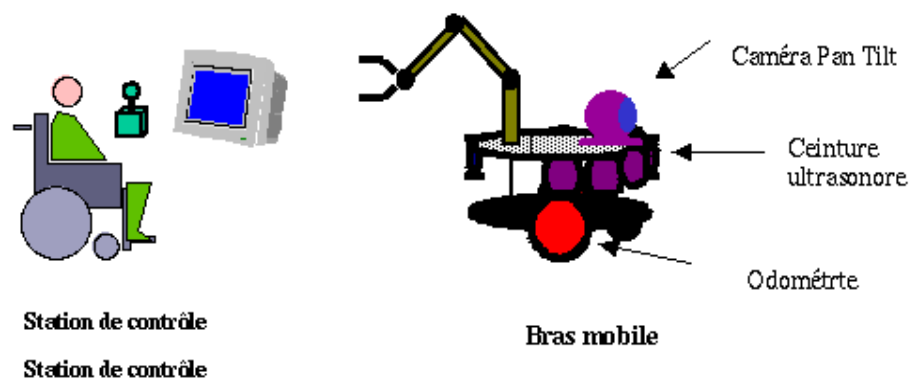


Figure III-7 Le système d'assistance ARPH

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-8 présente le prototype du robot d'assistance.



Figure III-8 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 [AITA02R][AITA01C]).

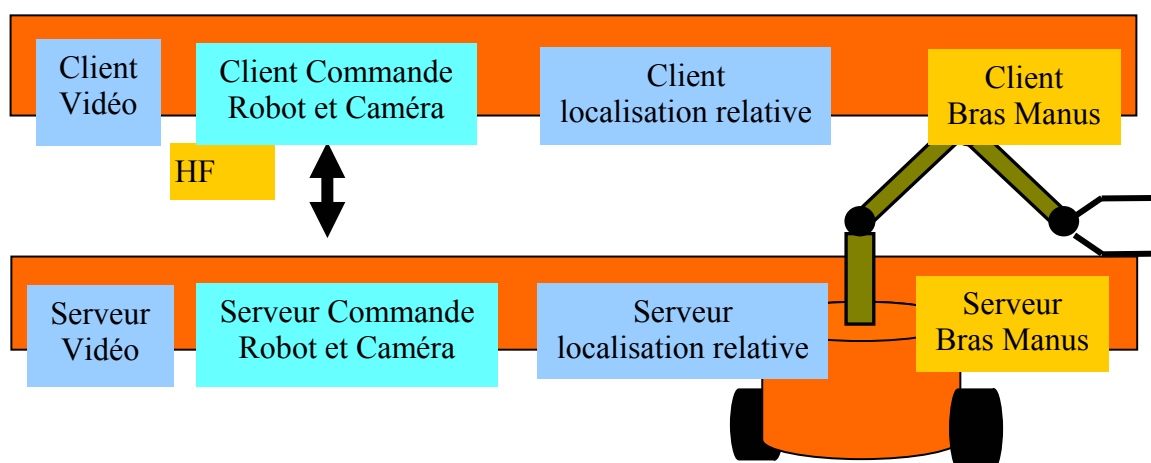


Figure III-9 Architecture client serveur et interaction de réseau hétérogène.

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 (coordonnées 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-10 illustre les étapes de l'algorithme de localisation pendant le déplacement du robot mobile dans un couloir.

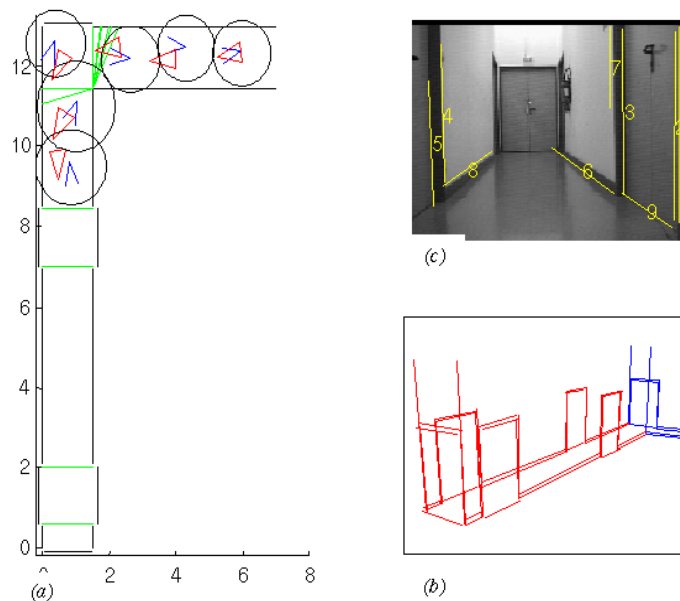


Figure III-10 Démarche de localisation : (a) updating the robot pose (red triangle) starting from an initial position (black circle) and orientation estimate (blue angle), (b) selection of a subset of model features using VIR's, (c) viewed image and correctly matched features

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.

| numéro image | Erreur de localisation<br>$\delta T$ (m) | $\delta\phi$ (°) | 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                |

Tableau III-1 Résultats des tests sur images réelles.

### 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* ». [RYB04R].

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 défini 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 commande 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 permettant 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 [RYB04R].

L'interface homme-machine est basée sur les concepts du système ARITI (voir équipe RA) [OTM00cC].

#### **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  $\langle T_i, R_j \rangle$  de tâches et de robots et d'un critère permettant d'en évaluer la qualité. Ce critère fait intervenir l'utilité du robot pour la tâche et aussi de l'importance relative d'une tâche par rapport à une autre.

Une autre question également en suspens 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  $\langle S, I \rangle$  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 plateforme 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-11): 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.

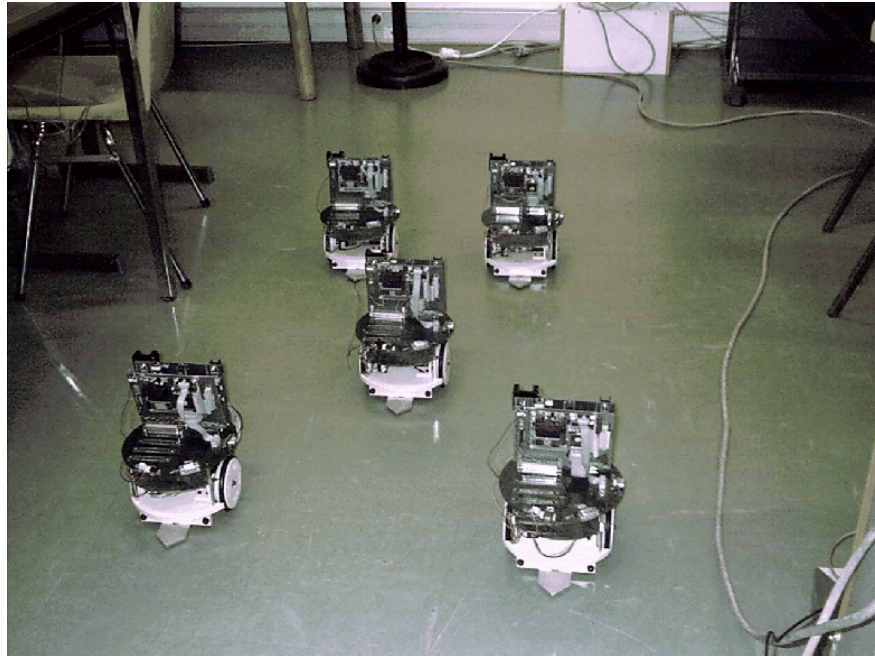


Figure III-11 Vue des robots constituant le démonstrateur ARMAGRA

Nous avons choisi une architecture client-serveur décentralisée et distribuée [CA20] s'appuyant sur un réseau et suffisamment 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 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.

### 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 passages étroits. D'autres travaux ont permis d'élaborer un modèle d'exploration d'un environnement basé sur des équipes constituées d'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. Comfais 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 dont le génome 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

## **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 premiers 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.
- *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], [ART03aC], [ART03bC]). D'autres études, en collaboration avec Yasmina Bestaoui, porte sur l'élaboration d'une commande adaptative pour un véhicule autonome [BEJ01aC],[BEJ01bC]. Enfin en collaboration avec A. ABICHO, une loi de commande non linéaire pour la conduite de voitures autonomes a été proposée [BEJ03C], [ABI03C].
- *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 [SEG03aC], [SEG03bC].) Sur la base d'un logiciel entièrement développé en C++ (Figure III-12) en collaboration avec le Laboratoire de Mécanique d'Evry [FENG03C] 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[FENG04R].

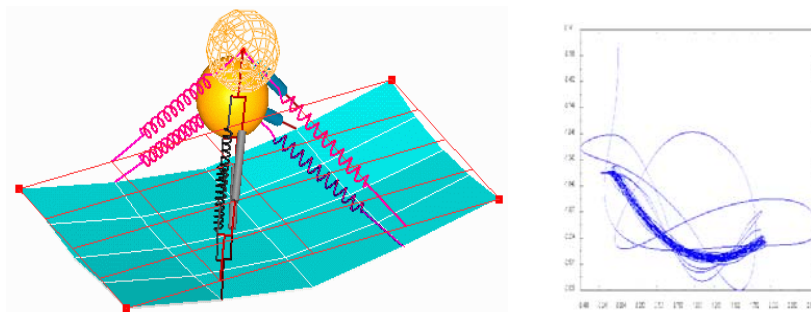


Figure III-12 Couplage sphère-plaque flexible (à gauche), et trajectoire sphère (à droite).

- *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 [PAS01cR]) 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 [SAM01R]. 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. 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 [BUR00R]. 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 [PAS01bR], [DJE03R].

## **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. Mouhinguou ; 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-13). 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 [AZO02C]. D'autres simulations seront entreprises en incluant des données relatives au dirigeable AS-200 du LSC.

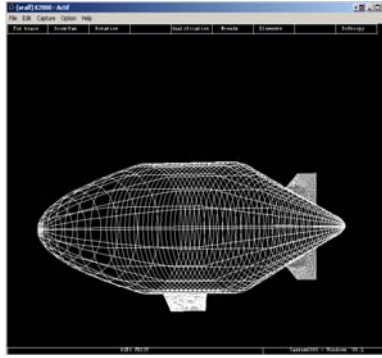


Figure III-13 Modélisation par éléments finis du dirigeable.

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 [BEJ02C].

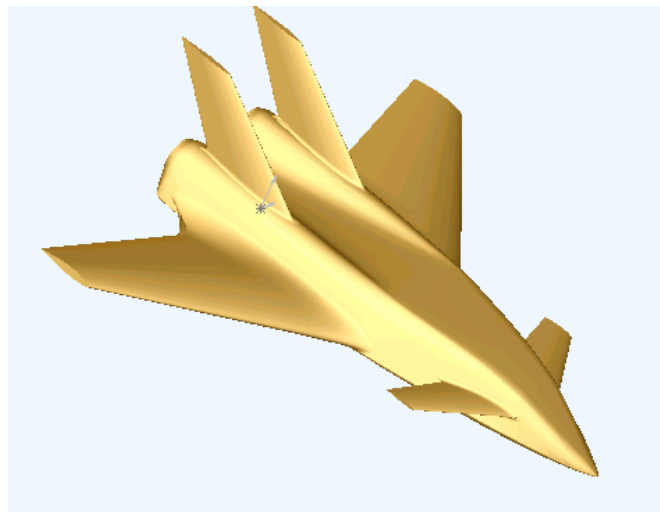


Figure III-14 Vue en 3d du drone NISR.

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-14), 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 pincage... 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 [AZO01C].
- *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-15), sous la direction de Christian François, ainsi qu'un endotraineur (mannequin expérimental) [JOL02C]. Par ailleurs des travaux élémentaires de modélisation de la partie active du cathéter ont été réalisés [GAG01C] 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).

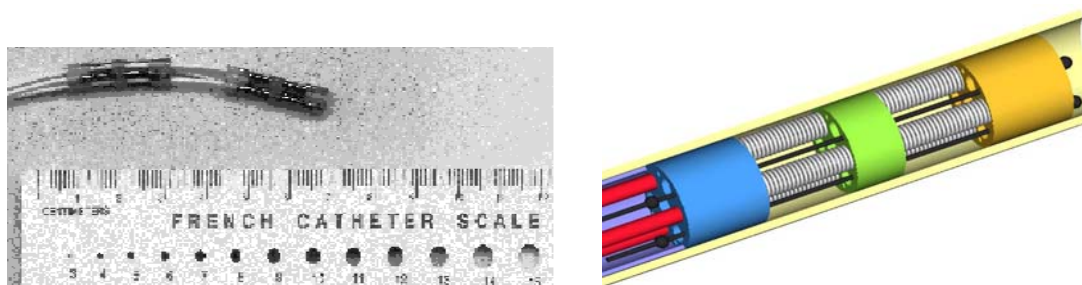


Figure III-15 Extrémité du cathéter (échelle : 1.1) à gauche, et dessin de conception du mini-actionneur, à droite.

### 4.4. Dynamique et contrôle de structures

#### **4.4.1 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 [KEV01R]. Comme alternative à la méthode modale utilisée dans l'analyse dynamique et le contrôle des structures, une stratégie de contrôle actif distribué est ensuite développée. 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 [KEV01C], [KEV03R].

#### **4.4.2. 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 [PAS03R].



## **C. HDR ET THESES**



## I. HDR et THESES SOUTENUES

### 1. Thèses soutenues entre 1999 et 2004

LOAIZA 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, J. Triboulet.

S. ROUGEAUX

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.

M. SHAHEEN

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.

A. SORIA-LOPEZ

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.

R. THETIOT

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.

L. BOUTTE

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-Bonade, J. Louchet, J. Plantier.

D. HANIFI

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 .

S. OTMANE

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.

D. RIVIERE

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.

AIT 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, P. Hoppenot.

AIT 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.

DAVESNES 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  
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,.

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.

SEGUY N.

Modélisation modulaire de systèmes articulés: conception orientée-objet de plates-formes de simulation

5 décembre 2003, mention Très Honorable

Jury: M.A. Barraco (Prés.), M. Pascal (Dir.), M. A. Curnier (Rap.), M. C. Vallee (Rap.), Z.-Q. Feng, P. Joli

GLASER S.

Modélisation et analyse d'un véhicule en trajectoire limite, Application au développement d'aide à la conduite  
12 mars 2004

Jury: D. Meizel (Rap.), N. M'Sirdi (Rap.), Y. Bestaoui (Rap.), S. Mammar (Dir.), J. Sainte-Marie, V. Aguilera, D. Lechner, Y. Delanne

RYBARCZYK Y.

Appropriation d'un système de téléopération dans l'optique d'une coopération homme-machine  
15 mars 2004, mention Très Honorable

Jury: J.M. Hoc, A. Pruski, P. Rabartel, D. Mestre (co-Dir.), E. Colle (co-Dir.) P. Hoppenot

## 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  
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  
2002

Jury : P. Coiffet (Président.), R. Gaubet(Rapporteur.), A. Fournier (Rapporteur), G. Schmidt (Rapporteur), F. Chavand, F. Jutand, K. Tanie.

LELANDAIS-BONADE 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. LISTE DES THESES 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

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 réalité 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)

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



B. BAYART

Exploration de nouveaux outils de réalité virtuelle et retour sensoriel pour la simulation de conduite automobile

Dir. F.Chavand, encadrement H. Arioui

N. TALBI

Simulation interactive d'accouchement avec retour haptique.

F. Chavand

N. OURAMDANE

Qualité de collaboration dans les systèmes distribués de RARV.

M. Mallem, encadrement S. Otmane

### **Thème III**

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 trajectoires optimales d'un dirigeable automatisé'

Dir. Y. Bestaoui

A. CHAIBET

Contrôle de véhicule

Dir. S. Mammar

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)

C. SENTOUH

Route intelligente

Dir. Y. Bestaoui, S. Mammar

S. MAMMAR

Modélisation et contrôle du trafic. Développement d'un modèle de simulation macro-microscopique de trafic.

Dir. S. Mammar, encadrement Haj Salem

S. DELARUE

Commande distribuée d'un bras manipulateur mobile

Dir. E. Colle, Encadrement P. Hoppenot

## **D. RAPPORT D'ACTIVITE 2000-2004 DE L'EQUIPE INTERMEDIA-INT**

**- Interaction pour le multimédia -  
- Electronique -**



## I. INTERACTIONS POUR LE MULTIMEDIA

### **Permanents :**

Bernadette Dorizzi, Professeur, Responsable,  
Jérôme Boudy, Maître de Conférence,  
Patrick Horain, Ingénieur d'Étude,  
Sonia Salicetti, Maître de Conférence  
Jean-Louis Baldinger, Chargé d'Enseignement-Recherche,  
André Bideau, Chargé d'Enseignement-Recherche.  
Dijana Petrovska, Maître de Conférence

### **Thésards (en cours):**

Rodrigo Andreao (depuis 03/2001, (soutenance prévue en novembre 2004)  
Nadji Gauthier (co-direction avec Lip6),(08/2004 à 30/04/2002)  
Anh Trinh Quoc, (depuis 9/2001 )  
Emine Krichen. (depuis 11/2003)  
Bao Ly-Van (depuis 01/2003)  
Lorène Allano (démarrage 12/04)  
Johan D'Hose (Cifre avec Thales) (démarrage 12/04)  
Antonio De Barros Serra (depuis 1/09/2002)

### **Thèses soutenues**

Jugurta Montalvao-Filho (thèse soutenue en Novembre 00)  
Ricardo Rodriguez (10/99 à 10/2002 thèse soutenue en Septembre 2003)  
José Marques Soares (09/2001 à 07/04- thèse soutenue en juillet 2004),

### **Sabatique/ post doc:**

Giovanni Cordeiro Barroso ( 1/9/2002 au 30/09/2003)

### **CDD:**

Guillaume Brûlé, (1/10/2001 au 31/12/2001)  
Philippe Maillet (2001),  
Benoît Parrein,(16/12/2002 au 30/05/2004)  
Marc Tarin (8/10/2003 au 30/06/2004)  
Marc Fuentes (2/01/2003 au 30/06/2003)

### **Stagiaires:**

En 2001:  
Maria Padron ( 07/07/2001 au 30/09/2002 ),  
Esméralda Ramos (07/07/2001 au 07/08/2001),  
Richard Prudhon ( 2/01/2001 au 30/06/2001),  
Marc Fuentes (21/05/2001 au 31/12/2001),  
Guillaume Brûlé (11/06/2001 au 30/09/2001),  
Rami Kanhouche (20/05/2001 au 20/10/2001),  
Ghinwa Krayem (01/03/2001 au 30/06/2001),  
Yang-Jun Shen(01/07/2001 au 25/09/2001),  
Rola Zaiter(1/03/2001 au 30/06/2001),  
Pawel Polak (21/01/2001 au 30/06/2004),

Gabriel Grudzien(02/01/2001 au 30/06/2001),  
Afif Belhachemi (23/04/2001 au 24/08/2001).

En 2002:

Mayank Bomb(11/05/2002 au 21/07/2002),  
Arnaud Deslandes (02/04/2002 au 30/09/2002),  
Nesrine Hobar (15/02/2002 au 23/04/2002),  
Henri Claude Ramana (22/04/2002 au 15/07/2002),  
Jamina Andah (01/05/2002 au 30/09/2002),  
Hichem Atti( 25/02/2002 au 15/09/2002),  
Waheb Larbi (25/02/2002 au 15/09/2002),  
Ly Van Bao (01/06/2002 au 30/11/2002)

En 2003:

Adarsh Jain ( 5/05/2003 au 31/07/2003),  
Élise Jullien (22/04/2003 au 30/06/2003),  
Abid Mohammed Bassem (10/03/2003 au 15/06/2003),  
Herizo Rzaifarison (03/03/2003 au 30/09/2003),  
Emine Krichen (15/02/2003 au 30/06/2003),  
Eric Viguier ( 17/03/2003 au 27/06/2003),  
Marc Tarin ( 31/03/2003 au 22/08/2003),  
Nanh Hung Nguyen (05/05/2003 au 05/11/2003),  
Harold Peignaux (01/04/2003 au 30/09/2003),  
Sylvain Roux ( 01/07/2003 au 31/07/2003)

En 2004:

Santosh Kumar Yamsani (12/05/2004 au 10/07/2004),  
Piyush Rai( 15/05/2004 au 15/07/2004),  
Sylvain Roux (23/02/2004 au 27/02/2004),  
Jean Lou Hubert ( 21/06/2004 au 15/09/2004),  
Bhatia Praval ( 17/05/2004 au 30/08/2004),  
francisco ivan De Oliveira (01/06/2004 au 30/09/2004),  
Gong Qingfang ( 01/02/2004 au 30/06/2004).  
Karim Lamhamdi (15/06/04 au 30/09/04)

## Objectifs

L'équipe Intermédia est née en Septembre 2000, en profitant du regroupement de compétences existantes à l'INT dans le domaine de la reconnaissance de l'écriture manuscrite, des techniques d'apprentissage statistique, de la vision par ordinateur et de l'acquisition du geste par la vision.

Dans l'équipe Intermédia nous travaillons à l'étude et la réalisation de systèmes de communication entre l'homme et la machine. Nous nous intéressons aux aspects interfaces (par le geste, le stylo, les capteurs biométriques et biomédicaux) à l'enrichissement de ces interfaces (par exemple par l'acquisition conviviale et la reconnaissance des gestes), et à leur combinaison avec d'autres modalités. Les aspects traitement de signal et reconnaissance des formes associés (interprétation de signaux ECG, de gestes, vérification d'identité biométriques etc...) sont aussi largement traités. Pour cela nous développons des techniques originales d'apprentissage statistique (réseaux de neurones, modèles de markov cachés, réseaux bayésiens), de fusion de données et de vision artificielle. Ces thématiques sont

déclinées dans différents projets, de vérification biométrique d'identité (Bio-Identité), d'acquisition de geste 3D, de télémédecine au service du patient à domicile (télésurveillance cardiaque/télévigilance), d'élaboration de mondes virtuels, de compression et de consultation interactive d'images en réseau.

## **Thématiques scientifiques**

### **1. Biométrie**

#### **1.1 Contexte**

La Biométrie, qui consiste à vérifier l'identité d'un individu à partir d'une ou plusieurs de ses caractéristiques personnelles, apparaît de plus en plus comme une alternative ou un complément aux moyens traditionnels de vérification d'identité. Si un certain nombre de solutions commerciales sont déjà proposées, il n'en reste pas moins le besoin de conduire une recherche à moyen terme soit pour améliorer la qualité des systèmes existants, soit pour explorer de nouvelles modalités. De plus, l'usage d'une seule modalité est souvent limité soit en terme de performance, soit en terme de difficulté d'usage, c'est pourquoi il apparaît intéressant d'évaluer l'apport de la multimodalité d'autant plus qu'elle apportera aussi une meilleure robustesse aux difficultés d'enrolement et aux éventuelles impostures.

Dans ce contexte, le GET a décidé de soutenir en Janvier 01 le projet fédératif BIOMET regroupant notre équipe à l'INT ainsi que des équipes de l'ENST-Paris.

Les objectifs principaux de BIOMET étaient les suivants :

- créer une base de données multimodale (une centaine de personnes environ), impératif préalable à tout travail en commun sur la fusion des différentes modalités mentionnées.
- mettre au point des systèmes de vérification opérationnels pour chacune des modalités.
- chercher une ou plusieurs stratégies de fusion adéquates et les tester sur cette plate-forme
- au final faire distribuer cette base par une société comme ELDA (European Language Resources Distribution Agency), société de droit français, dont la mission et l'activité sont de rendre disponible des ressources linguistiques et multimodales.

Ces objectifs ambitieux n'ont pas pu être réalisés au cours d'une seule année, c'est pourquoi le projet a été prolongé d'une année supplémentaire.

De même en 2003 a été financée une étude exploratoire, multidisciplinaire, permettant de considérer certains aspects non techniques de la biométrie (projet BIOLAB)

Le travail réalisé a permis :

- de dresser un état de l'art des principaux produits existants et des applications pour lesquelles une solution biométrique a été (ou pourrait être) envisagée, de les évaluer avec différents critères à préciser et d'en tirer des recommandations pour l'avenir.
- d'étudier les problèmes juridiques induits par l'usage des techniques biométriques : protection des données personnelles automatisées et de la vie privée, droit de la preuve et de la signature électronique.
- d'étudier les aspects sociologiques de la biométrie: en effet, le développement de la biométrie se heurte aux représentations sociales du risque et de la sécurité, de l'identité, du rapport au corps et à l'autre. Ces différentes dimensions vont structurer les interactions entre objet technique et usages.
- de mettre en place une première expérience de déploiement au sein du centre de calcul de l'INT, à l'aide d'un système à base d'empreintes digitales développé à l'ENST

Actuellement, depuis Janvier 04, la recherche en Biométrie à l'INT s'effectue au sein d'un projet fédérateur et pluri-disciplinaire du GET appelé Bio-Identité (Vérification biométrique de l'identité) qui regroupe notre équipe à l'INT ainsi que des équipes de l'ENST-Paris et du département Science de Gestion de l'INT. Ce projet ne reçoit aucun soutien financier particulier de la part du GET, comprend à la fois les aspects techniques et non techniques de la biométrie et fait suite aux projets BIOMET et BIOLAB.

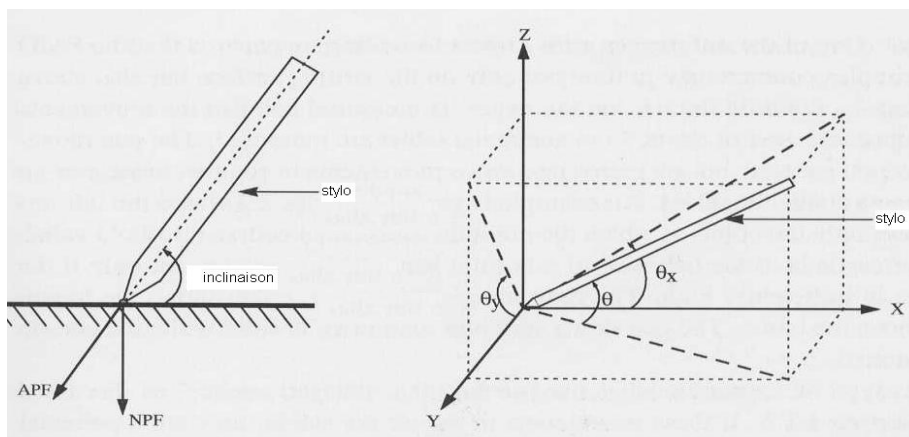
Les rapports des projets BIOMET et BIOLAB sont fournis en annexe.

Dans la suite, nous décrivons plus particulièrement les thèmes développés à l'INT :

## 1.2 Thématiques

### *Vérification de l'identité par signatures manuscrites en-ligne*

Nous travaillons sur la vérification de l'identité par signatures en-ligne, c'est à dire acquises à partir d'une tablette à digitaliser, ce qui implique que l'on conserve l'information dynamique du geste d'écriture (vitesse, accélération).



Plusieurs travaux sur la signature en-ligne ont été effectués depuis une quinzaine d'années. La vérification de la signature manuscrite est difficile parce que la signature varie beaucoup dans le temps et qu'en même temps elle suscite des imitations due à sa large utilisation. La performance d'un système de vérification de signature en-ligne varie d'environ 85% à 99%. D'une part, ces résultats dépendent de l'algorithme, et d'autre part ils dépendent des bases de données de test ainsi que des protocoles de test. Pour un déploiement du système dans les conditions réelles, des études pour améliorer la performance sont encore nécessaires.

Lors d'un premier travail, nous avons étudié la fusion unimodale d'informations de nature différente, sur les signatures en-ligne. Des informations de type local et global ont ainsi été combinées par un SVM, les premières étant fournies à un Modèle de Markov Caché et les deuxièmes à un Perceptron Multicouches (stage de Richard Prudhon).

Finalement, nous nous sommes spécialisés sur les méthodes basées sur les modèles de markov cachés (HMM- Hidden Markov Model) (thèse en cours de Bao Ly Van). C'est une méthode prometteuse car c'est l'une des méthodes utilisées pour la vérification de la parole, et la signature en-ligne est très proche du signal de parole.



Plusieurs nouvelles techniques ont été appliquées pour améliorer le HMM comme la normalisation personnalisée des paramètres de la signature, la recherche de la topologie optimale pour chaque signataire,... Une nouvelle approche de vérification, qui utilise une information complémentaire donnée par le même HMM (la segmentation de la signature effectuée par le HMM) a aussi été utilisée en complément de la log-vraisemblance classique. Cette approche originale n'a jamais été utilisée dans la littérature et elle donne une bonne performance pour la vérification de signature en-ligne. La fusion de cette information de type segmentation avec la vraisemblance du HMM améliore de façon significative la performance par rapport à chaque approche utilisée seule. Ce travail a été présenté à BioAW (Biometrics Authentication Workshop) à Prague en Tchéquie en Mai 2004.

Dans les expérimentations, plusieurs méthodes statistiques (la validation croisée, le calcul d'intervalles de confiance) ont été appliquées pour estimer la fiabilité des résultats.

Nous avons également participé à SVC2004 (International Signature Verification Competition 2004) [4]. Il y avait deux tâches différentes: pour la tâche 1, seulement les coordonnées de la signature étaient fournies; pour la tâche 2, toutes les informations dynamiques de la signature en-ligne étaient disponibles comme les coordonnées, la pression et les angles d'inclinaison du stylo. Pour la tâche 1, nous sommes classés 6<sup>ième</sup> parmi les 15 participants et pour la tâche 2, nous sommes classés 2<sup>ième</sup> parmi les 12 participants. Pour participer à la compétition, le programme a été complètement réécrit en C++. Il sera optimisé et bientôt disponible comme open source sur la vérification de la signature en-ligne.

### *Fusion de données multimodale*

La fusion de données est un domaine en pleine expansion et il est assez difficile d'en faire, en quelques lignes, un état de l'art même succinct. On appelle généralement fusion de données « bas niveau » celle qui consiste à fusionner à la sortie du capteur les informations brutes (non interprétées) issues des différents appareils de mesure. Les méthodes utilisées dans ce cas sont essentiellement numériques et fondées soit sur des modèles physiques, soit sur des techniques de classification classiques (méthodes statistiques, réseaux de neurones, théorie de l'évidence,...). Dans le cas de systèmes de décision, il peut se trouver plusieurs systèmes de décision indépendants qui génèrent une nécessité de fusionner des décisions éventuellement différentes (ce sont des systèmes de fusion haut niveau). Différentes architectures de fusion ont été proposées dans la littérature : séquentielle, parallèle, avec bouclage, avec interaction entre les classifieurs, etc.... Quant aux méthodes employées, on distingue en général les méthodes numériques (estimation bayésienne, filtres de Kalman, théorie de l'évidence, réseaux de neurones, logique floue) et les méthodes symboliques (méthodes à base de règles, raisonnement par induction et déduction, systèmes multi-agents). Dans ce contexte, les SVMs (Support Vector Machine) introduits récemment en classification présentent une classe de modèles potentiellement intéressants dans le contexte de la fusion. Les nouvelles tendances de recherche privilégient des méthodes mixtes numériques/symboliques et en particulier les approches à base de réseaux bayésiens qui permettent de prendre en compte dans un même formalisme des informations statistiques et symboliques.

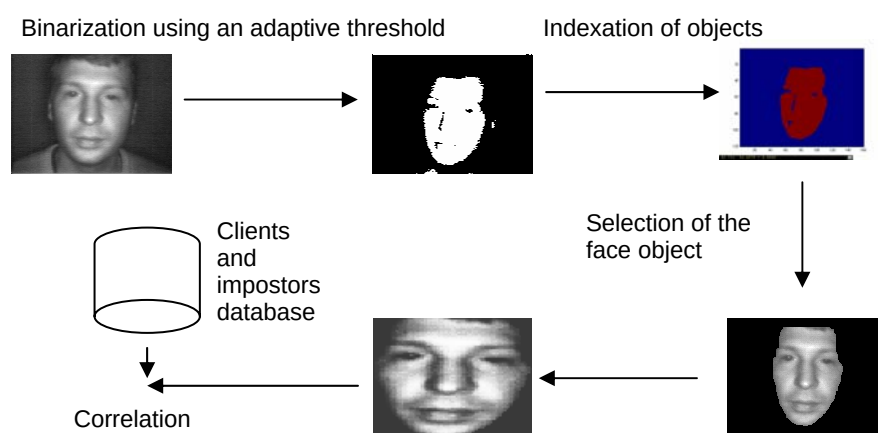
L'intérêt réel de la multimodalité est de pallier à la déficience d'une modalité donnée dans certaines circonstances liées à un environnement "difficile" ou simplement à l'individu en situation ainsi que d'offrir une meilleure résistance aux impostures. Ainsi, il est très important de mesurer la qualité des classifieurs utilisés afin de pouvoir faire du rejet d'une modalité donnée lorsque celle-ci est déficiente. La fusion peut être effectuée de différentes manières et à différents niveaux: il peut s'agir de la combinaison de scores issus d'experts spécialisés sur des modalités distinctes, ou de la combinaison directe de différentes modalités au sein d'un

même algorithme, ou encore de la combinaison de scores de certains experts avec des données extraites à un autre niveau (comme mentionné sur les signatures).

Nos premiers travaux sur la fusion multimodale ont consisté à fusionner les scores issus d'un système de vérification à base de signatures en-ligne et d'un système de parole (développé à l'ENST). Nous avons comparé des méthodes classiques de fusion (moyennes pondérées par exemple) à des méthodes à base d'apprentissage avec une machine à vecteurs supports (SVM) sur une base d'individus chimériques construite à partir de la base de signatures de Philips et la base POLYVAR (stage CDD de Marc Fuentes).

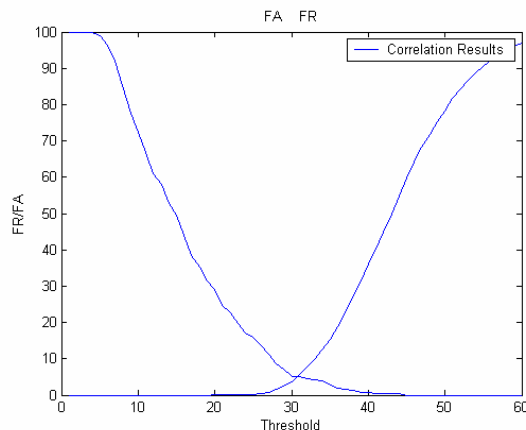
Plus récemment, toujours dans le cadre de la fusion parole-signature, nous avons poursuivi les travaux précédents: nous avons utilisé une base d'individus réels (environ 100 personnes), issus de la base BIOMET. Le système de vérification de signatures repose sur un modèle markovien. Deux systèmes de vérification de locuteurs ont été mis au point par l'équipe de l'ENST. Le premier est dépendant du texte et repose sur une DTW (Dynamic Time Warping), le second est indépendant du texte et repose sur l'utilisation des GMM (Gaussian Mixture Models). Deux méthodes de fusion de scores ont été comparées : un arbre CART additif construit avec du "boosting" et une machine à vecteurs de support (SVM). L'apport de la fusion est très net : quelle que soit la méthode utilisée, on réduit l'erreur du meilleur système unimodal d'un facteur 2. De plus, les deux méthodes de fusion utilisées ont montré des performances équivalentes et une bonne résistance au bruit (ajouté sur les données de parole). Ce travail a été présenté à MMUA (Multi-Modal User Authentication Workshop) à Santa Barbara aux Etats-Unis en Décembre 2003.

*Vérification d'identité à partir d'images du visage de type Infra-Rouge*



Sur une base de données d'images de visages acquise avec un prototype précédemment développé à l'INT, nous avons mis en oeuvre un algorithme de vérification de visage. Pour cela, il a fallu d'abord segmenter la zone du visage dans l'image incluant le haut du corps de la personne. Les difficultés proviennent surtout du port d'accessoires par les donateurs (bandeaux, chapeaux, cols-montants,...) qui engendrent des erreurs si on applique des méthodes de segmentation classiques basées sur un histogramme des niveaux de gris, ou sur la transformée de Hough. Nous avons alors développé une méthode de segmentation originale basée sur l'indexation d'objets, capable d'éviter les difficultés précédemment énumérées. En ce qui concerne la vérification, nous avons préféré élaborer un algorithme de corrélation simple pixel à pixel (l'état de la base ne nous permet pas d'étudier d'autres algorithmes statistiques de type PCA/LDA, ou basés sur les points caractéristiques comme l'Elastic Graph Matching).

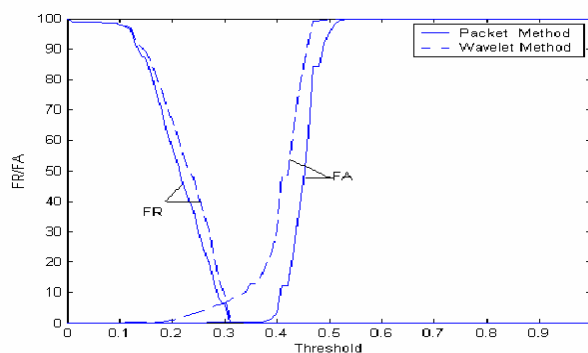
Voici les résultats obtenus sur la base de données BIOMET. Cette base contient 131 personnes, et 11 accès clients de chacune. On vérifie l'identité de 85 personnes et on utilise les données de 46 personnes comme des accès imposteur.



*Identification par l'iris*

Nous avons étudié des méthodes d'identification par l'iris sur des images acquises en lumière visible (base de données constituée à l'INT, dénommée « IrisINT ») et sur des images acquises en infra rouge (base de données publique). Nous avons développé une méthode à base de paquets d'ondelettes que nous avons comparée avec une méthode classique de l'identification par l'iris (la méthode proposée par Daugman). Les résultats ont montré que notre méthode est plus robuste dans la perspective de l'acquisition en lumière visible, et que les deux méthodes se valent lors d'une acquisition infra rouge.

Ci-dessous sont représentés les résultats des deux méthodes sur la base « IrisINT ».



### 1.3 Résultats

#### *Enregistrement et distribution de la base BIOMET*

Trois campagnes d'acquisition d'une base de données multimodale de 130 personnes environ avec 5 modalités différentes: voix, visage, signature en-ligne, empreintes digitales et forme de la main, ont été réalisées en 2002, ce qui permet de mettre à disposition une base multimodale dans laquelle la variabilité dans le temps des différentes modalités biométriques est représentée (coordination S. Salicetti).

Cette base est en cours de distribution par la société ELDA

## *Plate-forme Percevale*

Le projet PERCEVALE, mené par l'INT avec le soutien majeur du Conseil Général de l'Essonne et du Conseil Régional Ile de France, a pour objectif principal de déployer un ensemble cohérent de plates-formes d'expérimentation et recherche au service des programmes de recherche et des actions de transfert d'expertise et de technologies vers les entreprises. Dans ce cadre une plate-forme biométrique a été déployée qui comprend : plusieurs PC avec carte d'acquisition vidéo, camera et appareil photo numérique, lecteurs d'empreinte digitale avec carte à puce, scanner, tablette graphique pour vérification par signatures dynamiques, caméra d'acquisition de l'iris.

### **1.4 Projets en cours**

#### *ACI Bio-Mul : Biométrie Multimodale*

[http://www.lia.univ-avignon.fr/heberges/BIO\\_MUL/](http://www.lia.univ-avignon.fr/heberges/BIO_MUL/)

Ce projet est financé dans le cadre des ACI Sécurité pour une durée de 3 ans (juillet 2003-juillet 2006).

#### Description rapide du projet :

La biométrie consiste à identifier un individu à partir de ses caractéristiques physiques ou comportementales. La biométrie est une alternative aux approches classiques basées sur une connaissance ou une possession. L'objectif de ce projet est double : explorer de nouvelles modalités d'une part et développer la notion de multi modalités d'autre part. Les nouvelles modalités sont essentiellement basées sur des modes d'acquisition relativement spécifiques : scanners 3-D, caméras actives différentielles en infrarouge, microphones éloignés et multiples, résonance magnétique, etc. Aucun dispositif d'authentification biométrique monomodal ne remplit pleinement l'ensemble des critères de fonctionnement imposés par la majorité des applications. Il est donc prioritaire de développer la notion de multimodalités et ce à différents niveaux (i.e. traitements conjoints, fusion des scores, etc.). Ce projet est dédié à une recherche de base, très en amont. Cependant, il est important d'établir, de maintenir ou de renforcer des contacts réguliers entre les laboratoires académiques participant au projet et les industriels majeurs français impliqués dans le monde de la biométrie afin d'imaginer ensemble les systèmes biométriques de nouvelle génération.

#### Partenaires :

- LIA-Equipe "parole"- EA 931 - CNRS FRE 2447
- Institut EURECOM - CNRS FRE 2660
- CLIPS-IMAG, Équipe GEOD - UMR CNRS/UJF/INPG 5524
- INT Evry

#### *Securephone*

<http://www.secure-phone.info>

Projet européen IST du "6<sup>th</sup> Framework Programme"

Durée: 30 mois (de janvier 2004 à juin 2006)

Titre: « Secure Contracts signed by Mobile Phone »

Partenariat: 7 partenaires (3 partenaires académiques, 4 industriels)

Coût total/financement: 1,999,775 Euros (environ 2 Millions d'Euros)

Rôle de INTERMEDIA: partenaire participant aux tâches liées à l'étude d'algorithmes biométriques et leur adaptation au contexte applicatif du projet

Thème du projet :

Le projet SecurePhone a pour but de développer une nouvelle infrastructure de système de communication mobile qui garantisse l'identification mutuelle des utilisateurs sur un téléphone mobile-PDA (« smartphone »), et qui leur permette de signer des contrats à distance via la plateforme mobile lors d'une communication téléphonique. L'objectif est ainsi de sécuriser la signature de documents électroniques à travers l'utilisation d'un téléphone-PDA, avec usage de la vérification biométrique multimodale de l'identité des utilisateurs, par des modalités non intrusives. Un reconnaisseur biométrique permettra en effet aux utilisateurs de s'authentifier par la voix, le visage et la signature utilisées conjointement.

Le prototype de " SecurePhone" permettra alors aux utilisateurs d'échanger et modifier des fichiers audio, image ou texte et de les signer électroniquement avec une valeur légale, le tout pendant une communication téléphonique. Ainsi, ce projet comporte aussi une étude sur les implications juridiques de la technologie SecurePhone. Les partenaires académiques doivent d'une part étudier l'adaptation de leurs algorithmes biométriques dans chaque modalité aux contraintes de la plateforme choisie dans le projet (contraintes calculatoires, de mémoire, etc...), et proposer des algorithmes de fusion multimodale adaptés aux scénarios d'utilisation du téléphone-PDA. L'équipe INTERMEDIA est impliquée dans l'étude d'algorithmes de vérification de l'identité par la signature en-ligne et par fusion multimodale.

*NoE BioSecure : « Biometrics for Secure person authentication »*

<http://www.biosecure.info/>

"Network of Excellence" dans le cadre du "6<sup>th</sup> Framework Programme, 2<sup>nd</sup> call for Information Society Technologies"

Durée : 3 ans (de Juin 2004 à Mai 2007)

Partenariat : 29 partenaires (principalement des partenaires académiques européens, 1 industriel et 2 partenaires académiques américains - sur financements propres)

Côût total /Financement : 3 Mio d'euros

Rôle de Intermédia : coordinateur scientifique du réseau

Thèmes principaux :

Le domaine des technologies de l'information est un domaine en forte expansion. C'est aussi un lieu de rencontre de plusieurs disciplines. Un des principaux objectifs du réseau d'excellence *BioSecure* est de renforcer et de mieux intégrer la recherche existante dans le domaine de la biométrie pour améliorer la sécurité des citoyens. Les méthodes de reconnaissance des personnes en utilisant des informations biométriques sont multiples. Il s'agit de les exploiter et de les combiner de manière judicieuse pour permettre une meilleure sécurité tout en facilitant notre vie de tous les jours. Un défi qui reste à relever dans cette direction est de préserver notre vie privée tout en assurant un niveau de sécurité maximal.

L'autre axe de ce réseau est la dissémination du savoir acquis au cours du projet. Ceci sera réalisé au travers de « workshops » conventionnels, ainsi que des « workshops » de travail en commun, conférences et autres événements organisées dans le cadre du réseau. La collaboration européenne sera aussi facilitée par l'échange de chercheurs.

*Projet Trust-e : « Technology Responses to Ubiquitous Security Threats for e-Security »*

Projet MEDEA + (Microelectronics Development for European Application) : un programme pour un cadre de recherche et de développement coopératif avancé.

Durée : 2.5 ans (du Juillet 2004 au Décembre 2006)

Partenariat : 21 partenaires (industriels et académiques)

Coût total / financement : 210 Hommes Années, dont 15 pour le GET

Rôle de Intermédia : Coordination des partenaires académiques participant aux tâches d'implémentation et études prospectives de la biométrie dans un environnement carte à puces.

Thèmes principaux :

La sécurité est un sujet d'actualité et les améliorations que l'on peut y apporter sont multiples. Le cadre général de ce projet est d'améliorer la sécurité et plus particulièrement d'étudier des architectures optimales pour l'implémentation des systèmes biométriques dans les cartes à puces. Les thèmes étudiés concernent d'un côté l'amélioration des architectures existantes des cartes à puces pour qu'ils soient mieux adaptés aux exigences des algorithmes biométriques. D'un autre côté il s'agira de faire une recherche prospective pour trouver les systèmes biométriques multimodaux avancées les plus appropriées pour améliorer l'efficacité et faciliter un usage sécurisé des cartes à puces biométriques.

*Projet Technovision : IV<sup>2</sup> (Identification par l'Iris et le Visage via la Vidéo)*

Projet déposé en Août 2004, en cours d'acceptation, financé par le ministère de la recherche  
Partenaires : GET – INT, GET – ENST, IMEDIA – INRIA, Institut EURECOM, Let It Wave, LIRIS - Ecole Centrale de Lyon, LSC - Université d'Evry, THALES (TRT), URATEK

Description générale du projet :

Ce projet a pour but de créer des ressources et de créer les conditions d'une évaluation à l'échelle internationale de différents systèmes liés à l'information du visage, de l'iris et de la voix, dans des milieux semi-contraints, à savoir :

- des systèmes d'identification par l'iris ;
- des systèmes d'identification par le visage 2D et 3D ;
- des systèmes de détection des yeux dans les images 2D ;
- des systèmes de reconstruction 3D du visage ;
- des systèmes d'identification de visages parlants ;
- des systèmes multimodaux.

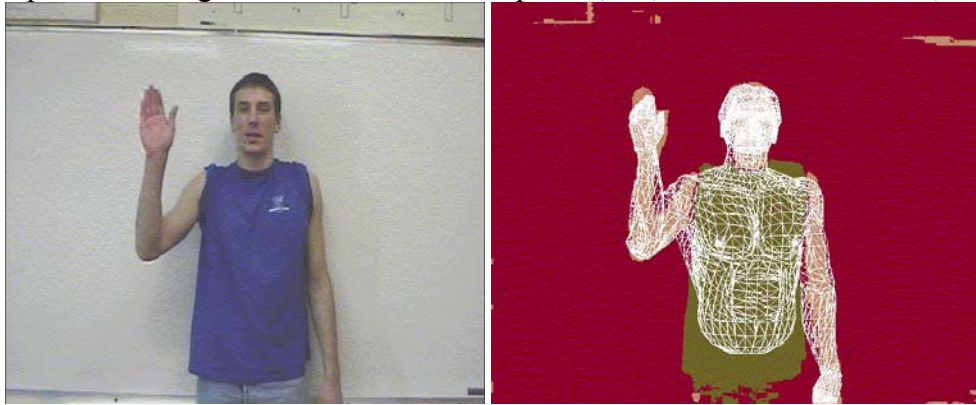
L'évaluation de technologies d'identification par l'iris et le visage constitue un enjeu majeur des années à venir, notamment dans le contexte des nouvelles politiques de contrôle des voyageurs par de nouveaux passeports biométriques dans lesquels le visage est présent, l'iris, et aussi la voix, permettant de fiabiliser le processus d'identification. En effet, le visage en mode 2D à lui seul donne des performances insuffisantes. Pour les applications de contrôle d'accès, la constitution de la base de données de visages peut être réalisée dans les conditions restreintes en supposant une maîtrise des conditions de lumière et de la pose.

La base de données que nous nous proposons de constituer permettra d'évaluer ces différents points. De plus, comme pour un même individu nous nous proposons d'enregistrer différentes modalités, il sera également possible dans le cadre de ce projet, mais également après les 24 mois de ce travail, de disposer de données pour évaluer l'intérêt des approches multimodales par rapport aux approches basées sur une seule caractéristique biométrique. Il sera également possible d'évaluer les intérêts relatifs des différentes modalités ou combinaison de modalités.

## **2. Communication gestuelle dans des mondes virtuels**

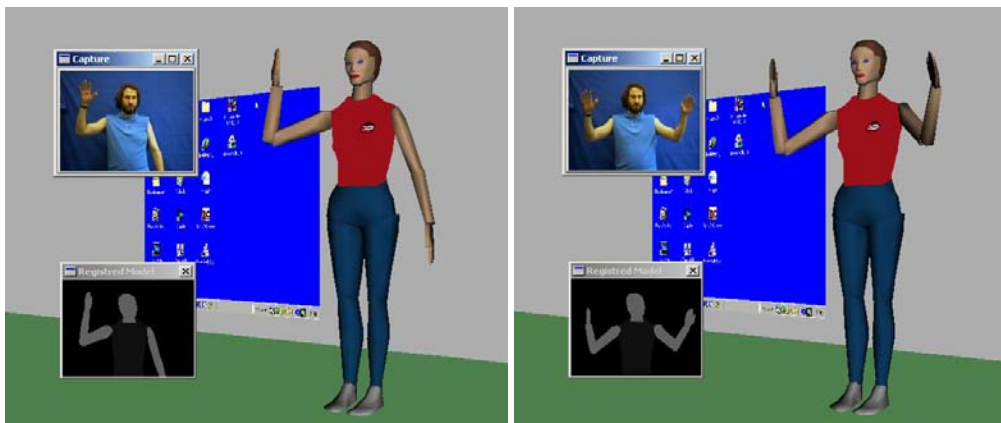
Les travaux antérieurs sur l'acquisition des gestes de la main par vision monoscopique sans marqueur conduits par Patrick Horain ont été poursuivis pour acquérir les gestes de la moitié supérieure du corps (buste, tête, 2 bras) en temps réel. Nous recherchons dans l'espace des paramètres d'animation du modèle, la position qui maximise la correspondance avec l'image. Notre algorithme procède par recalage d'un modèle articulé sur une séquence vidéo monoscopique et sans marqueur et exploite en partie la puissance de calcul du processeur

graphique. Cette approche, en 3D, avec une caméra unique, sans marqueur, sans connaissance a priori sur les gestes attendus et en temps réel, est, à notre connaissance, unique.



Acquisition du geste par recalage d'un modèle 3D articulé sur une séquence vidéo sans marqueur.

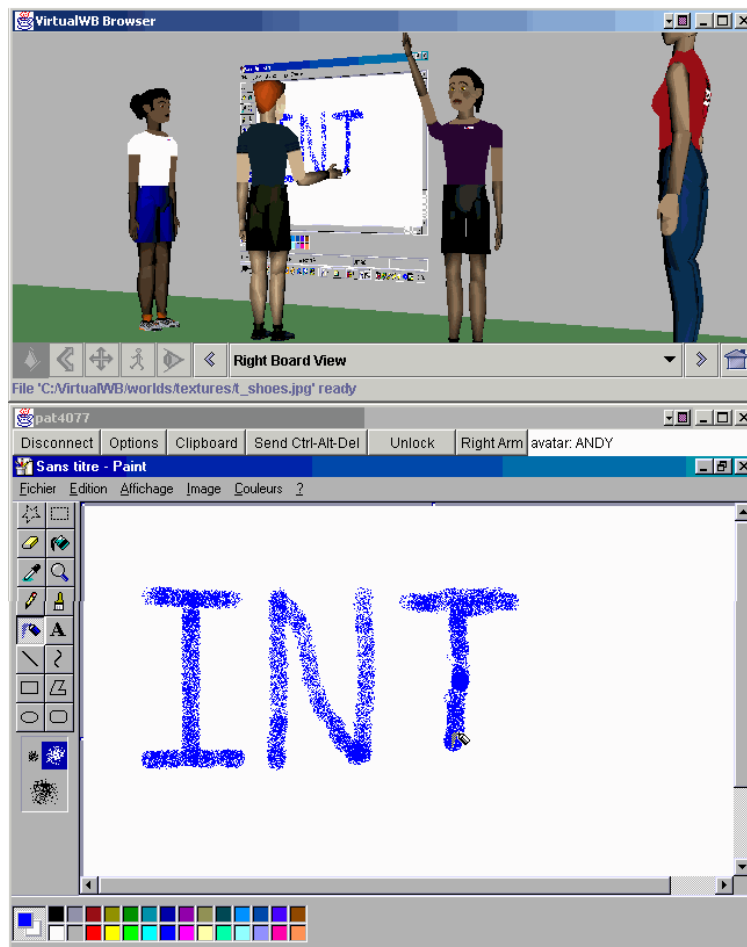
A partir des paramètres angulaires des articulations du modèle recalé sur la séquence, des fichiers d'animation gestuelle sont produits au format MPEG-4 / BAP (Body Animation Parameters). Ils peuvent être visualisés en 3D au moyen d'un humain virtuel en VRML animé par une applet Java.



Acquisition des gestes par vision artificielle et restitution virtuelle en temps réel.

Par ailleurs, les gestes sont un moyen naturel de communication et peuvent apporter une très grande valeur ajoutée dans le travail collaboratif à distance. La vidéo peut supporter cette communication, mais au prix d'une charge réseau importante et d'une interface complexe comportant une fenêtre par utilisateur. L'animation d'acteurs virtuels permet la communication gestuelle à distance à bas débit en intégrant, dans un environnement unique, tous les éléments participant de la collaboration. Nous avons développé un environnement prototype de monde virtuel habité collaboratif qui permet l'immersion d'une application partagée. La communication gestuelle est supportée par des avatars animés soit en simulant des actions des utilisateurs distants sur l'application partagée, soit en restituant leurs gestes acquis en temps réel par notre système de vision artificielle monoscopique sans marqueur.





Partage d'une application et immersion dans un monde virtuel : les actions des utilisateurs sont représentées par animation d'avatars qui peuvent également servir de support pour une communication gestuelle entre participants.

Enfin, nous avons entrepris l'étude des apports de l'interaction gestuelle pour des applications de téléprésence en environnement virtuel pour le travail collaboratif et de télé-enseignement. A plus long terme, nous aborderons la reconnaissance de gestes de commande en IHM et la langue des signes.

Ces travaux ont fait l'objet de la thèse de doctorat soutenue en juillet 2004 par José Marques Soares.

L'équipe Intermédia a participé en 2003 à l'Action Spécifique *Perception, modélisation et interprétation du geste humain* ([AS 70](#)) du RTP 25 du département STIC du CNRS et a organisé un atelier sur *l'Acquisition du geste humain par vision artificielle et applications* conjointement au congrès national RFIA 2004 en janvier 2004 à Toulouse.

Plusieurs projets de recherche collaboratifs se sont tour à tour rattachés à ce thème de recherche.

#### *Projet incitatif GET : Télémondes*

Télémondes était un projet de recherche sur crédits incitatifs 2001 financé par la Fondation Louis Leprince-Ringuet et par France Télécom. Sous la coordination de l'équipe Intermédia, il réunissait des équipes de l'INT (SGES), de l'ENST (INFRES et IP) et d'Eurécom (MM).



Dans le contexte de la télévirtualité et des mondes virtuels habités, il avait pour objet l'étude de nouveaux services de communication interpersonnelle à distance médiatisée par des représentations virtuelles ou avatars. Ceux-ci sont animés conformément à une personne observée par vision artificielle monoscopique et sans marqueur. Les usages de ces mondes virtuels ont été explorés pour la formation à distance et pour le commerce électronique.

Outre la coordination du projet, notre contribution a porté sur l'acquisition des gestes humains par vision monoscopique sans marqueur.

Pour en savoir plus, on se reportera à la page <http://www-eph.int-evry.fr/~horain/Telemondes>.

*Action de Recherche Coopérative INRIA : LSF (Langue des signes)*

Dans le cadre de l'Action de Recherche Coopérative de l'INRIA Vers un système d'interprétation de la langue des signes française, l'équipe Intermedia de l'INT a collaboré en 2001 et 2002 avec les équipes RobotVis de l'INRIA et Geste et Image du LIMSI.

La langue des signes est le moyen de communication naturel des sourds. L'acquisition des gestes peut être effectuée au moyen de gants instrumentés qui se révèlent chers, fragiles et encombrants. L'utilisation de caméras permet de lever cette contrainte, mais utilise habituellement à des marqueurs colorés ou lumineux placés sur la personne observée.

Les techniques de vision par ordinateur, stéréo ou monoscopique, ouvrent la voie pour des travaux de recherche sur l'acquisition des gestes sans marqueurs, à partir d'une ou plusieurs caméras. Dans ce projet, l'équipe RobotVis développe des méthodes de suivi multi-caméras des personnes. Parallèlement, l'équipe Intermedia poursuit ses recherches sur l'acquisition des gestes de la main et des membres supérieurs avec une caméra unique, par recalage et suivi dans les séquences vidéo de modèles 3D articulés du corps.

En 2002, les techniques de reconnaissance des signes de l'équipe Geste et Image seront confrontées avec les méthodes neuro-markoviennes développées à Intermedia par Bernadette Dorizzi et Sonia Salicetti.

Pour en savoir plus, on se reportera à la page <http://www-eph.int-evry.fr/~horain/ARC-LSF>.

*Action innovante du GET : Campus Mobile*

Ce projet GET avec l'ENST et l'INT en 2003 et 2004 se propose d'expérimenter l'usage d'un médiateur nomade lors de la relation pédagogique en classe et après le cours. L'une de nos contributions a été de proposer un outil de révision de cours consistant à rejouer le support de présentation et ses annotations électroniques dynamiques avec animation calculée d'un avatar représentant l'intervenant (développement en cours).

Site du projet : <http://www.enst.fr/~elc/campmob>.

### **3. Télémédecine / Télésurveillance de patients à domicile**

#### **3.1 Introduction**

Le laboratoire Intermedia a des activités de recherche sur l'un des axes de la télémédecine les plus ammenés à se développer dans les années à venir, à savoir celui de la télésurveillance de patients à domicile. Elle s'applique notamment à des personnes atteintes de pathologies cardiaques et/ou des personnes âgées.

Les objectifs visés sont de permettre à ces personnes de pouvoir rester chez elles, procéder, si nécessaire, à une médicalisation à distance plus réactive en cas d'urgence.

Cela permet d'apporter une solution au problème de la réduction de la capacité d'accueil de longue durée des patients en hôpital et au recentrage des hôpitaux autour de plate-forme hospitalière régionale. Par ailleurs la télémedecine d'urgence est considérée comme un besoin crucial pour les pays aux superficies immenses comme le Canada, le Brésil, l'Inde et la Chine. L'objectif de notre projet de recherche est justement de contribuer au maintien de patients à domicile en offrant un service de télésurveillance fiable et pratique. On peut citer des expériences pilotes menées en Israël, en Norvège, au Canada, en Allemagne (comme le Philips Heartcare Center) et en France (expérimentations de France Telecom R&D pour les patients dialysés, les personnes âgées, le système exploité par Biotel et le SAMU de Garches....). Ils offrent déjà des terrains d'expérimentations très intéressants qui ont permis de dégager des besoins en solutions techniques pour la télésurveillance. Dans ce contexte précis la mesure et l'interprétation fiables d'un ECG constituent pour les médecins urgentistes comme le SAMU un élément fondamental et incontournable pour le diagnostic d'urgence à distance.

Le projet TelePat<sup>10</sup>, dont l'objectif est la réalisation d'un système de télésurveillance simple d'usage et fiable pour des personnes cardiaques et de personnes âgées maintenues à domicile, a été lancé en Novembre 2003. Il est coordonné par le GET/INT et s'inscrit dans le projet structurant TeleMeDom du GET. Le système TelePat est composé d'une part d'un terminal mobile, de taille réduite, porté par le patient, d'autre part d'un dispositif de réception fixe intégré dans l'environnement du patient, appelé base domestique (cf. Fig. 1). La transmission des données physiologiques (actimétrie, fréquence cardiaque, position) depuis les capteurs du terminal, via sa base domestique, est continuellement effectuée vers un serveur distant, rattaché au centre de télésurveillance médicale. L'équipe médicale en place peut ainsi réagir aux alarmes provenant du dispositif de surveillance placé chez le patient, voire exploiter en continu les informations biomédicales et d'actimétrie (suivi de mouvements) du patient.

Ce même projet s'est appuyé sur les acquis du projet MEDIVILLE - ACI-Ville (de Janvier 2001 à Avril 2003, financé par le Ministère de la Recherche : le projet MEDIVILLE s'inscrivait dans un projet plus global intitulé AUTOMOVILLE). L'objectif général de ce dernier était la conception et le dimensionnement de nouveaux services urbains exploitant les possibilités offertes par les nouvelles technologies de l'information et des communications pour des applications à la télémedecine et à l'aide au déplacement urbain des aveugles et malvoyants.

### **3.2 Problématiques de recherche :**

Notre projet de recherche s'intéresse à une branche particulière de la Télémedecine, la Télésurveillance de patients à domicile. Le projet de recherche traite des aspects avancés, de traitement des signaux physiologiques par débruitage numérique (filtrage temporel, fréquentiel) et de compression s'appliquant aux signaux de fréquence cardiaque et à l'ECG.

de reconnaissance des formes basée sur les Modèles de Markov Cachés (HMM) pour la segmentation automatique du signal ECG en vue de sa classification, avec une orientation particulière sur la problématique de la détection de pathologies d'urgence (ischémies,

---

<sup>10</sup> TelePat : acronyme de « Télésurveillance de Patients à Domicile », ce projet s'inscrit dans le programme RNTS et couvre la période allant de Novembre 2003 jusqu'à Mai 2005. Le partenariat est composé de: INT, INSERM à Toulouse, ESIEE et ISTM (Groupe ESIEE), SAMU-92 de Garches, MEDIAG, UTT-Troyes

arythmies cardiaques). Des stratégies d'apprentissage des données propres au patient considéré : apprentissages multi-patients, multi-modèles d'ECG, en ligne...

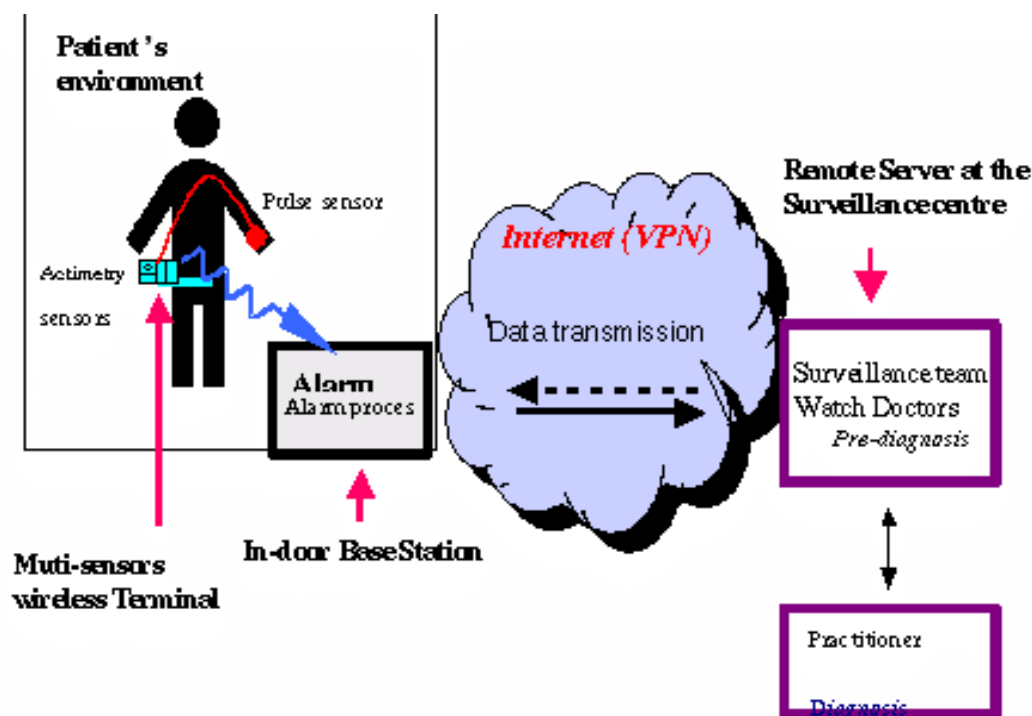
De paramétrisation robuste des signaux d'ECG pour la reconnaissance des formes : la robustesse étant ici une propriété de résistance aux bruits de mesures (myographiques, secteurs, baseline...) et permettant de rehausser les parties spectrales du signal utile (différentes formes d'ondelettes).

De conception d'architecture de traitements embarqués, conduisant à la réalisation d'un terminal portatif de télésurveillance, équipé de capteurs physiologiques. Ceci inclue aussi la conception et la réalisation d'un dispositif de mesures d'ECG. Cet axe est très important dans la mesure où il permet de maîtriser toute la chaîne de traitements depuis le capteur jusqu'aux algorithmes de traitement du signal et de classification des signaux ECG.

De conception et réalisation de capteurs physiologiques tels que ceux permettant d'indiquer l'attitude du patient (allongé/debout-assis, activité) et de la fréquence cardiaque, mesurée par un capteur de mesure du pouls (IR); ces capteurs spécifiques au type de grandeur mesurée sont soit intégrés dans le terminal, soit externe notamment dans le cas du capteur de pouls placé sur l'oreille ou au poignet (études comparatives effectuées au sein du laboratoire). Cela met en oeuvre des méthodes de débruitage numérique du signal de pouls présentant une erreur moyenne inférieure à 10% en mode ambulatoire. Des capteurs d'accélérométrie additionnels sont prévus dans le terminal pour affiner la mesure de la position notamment dans le cas de la détection de chute.

Par ailleurs sont également abordés les aspects de transmission 'sans-fil' pour la transmission des signaux-capteurs du terminal ambulatoire (télésurveillance ou ECG). Une analyse comparative des différents protocoles de liaisons sans fil (DECT, Bluetooth, Wi-Fi) pour le dispositif portatif patient a été effectuée dans le contexte de la télésurveillance et elle a permis de dégager des "pré-choix". Cela doit être complété par des mesures objectives démarrées avec le logiciel ADS.

Figure 1. Schéma expliquant le principe de la Télésurveillance de Patients à Domicile



#### 4. Télédiagnostic

##### *Projet RNTS MatchSlide*

Ce projet a démarré fin 2002 et s'achève en octobre 2004. Il a eu pour but de permettre à un réseau d'experts répartis dans toute la France de relire et d'interpréter des lames de microscope sur support électronique et pour objet une étude des applications de l'imagerie numérique à la relecture de lames en réseau dans le cadre de protocoles diagnostiques en hématologie. Pour cela, il a réuni sous la coordination d'une association de médecins hématologues, l'ARCHE, la PME TRIBVN spécialisée en imagerie numérique et l'équipe Intermédia en charge des développements en traitement d'image:

la production d'images de grands champs (prétraitements, profondeur de champ étendue, mosaïquage, sélection des objets d'intérêt...),

leur consultation interactive distante à moyen débit (compression JPEG 2000, navigation multirésolution, transmission progressive favorisant les objets d'intérêt...).

En particulier, nous avons étudié et développé des algorithmes de raccordement des champs de caméra pour produire une mosaïque de "grand champ", de dématricage Bayer, de paramétrage de la compression JPEG 2000, du protocole JPIP pour la navigation interactive et enfin des impacts mutuels entre dématricage, compression et navigation.

Nos logiciels d'affichage progressif ont en particulier été intégrés par la société TRIBVN dans un système de navigation dans une hiérarchie d'images d'une même lame acquises à des positions et des grossissements variables.

Ce projet a abouti au dépôt d'un brevet européen et prochainement d'un brevet français, d'une publication internationale à ICIP04 et nationale à CORESA04.

#### *Projet VideoCell*

Nos travaux sur les algorithmes de profondeur de champ étendue ont fait l'objet de la convention BIO-CRITT VideoCell avec la société TRIBVN en 2003. Ce projet est une extension du projet MatchSlide.

La profondeur de champ d'un microscope étant limitée à fort grossissement, les images acquises sur des échantillons épais ne peuvent être nettes en tout point. Des algorithmes de mesure du flou sur des piles d'images et de sélection de l'image de netteté maximale ont été développés. Cette mesure a ensuite été adaptée pour minimiser localement le flou en chaque point de la pile et produire une carte d'altitude des objets dans l'échantillon puis une image de netteté maximale.



Image extraite d'une pile à profondeur de mise au point variable et image de profondeur de champ étendue produite.

## **5. Projets antérieurs**

### **5.1 Développement de nouveaux interfaces pour le stylo électronique**

#### *REMUS: Reconnaissance d'écriture manuscrite*

Dans le cadre d'une collaboration avec le Lip6, nous avons réalisé des travaux sur la reconnaissance de l'écrit manuscrit dynamique et sur les interfaces qui utilisent le stylo électronique. En particulier nous avons mis au point un prototype REMUS d'un système de reconnaissance de mots manuscrits fonctionnant à partir d'un modèle neuro-markovien. Ces travaux ont été poursuivis au niveau de la phrase (établissement de procédures de rejet ) et même des documents manuscrits en ligne

Voir [http://www-connex.lip6.fr/~lifchitz/Remus/accueil\\_demos.php](http://www-connex.lip6.fr/~lifchitz/Remus/accueil_demos.php) et <http://www-connex.lip6.fr/activites.html>.

#### *LADIA: Lecture Active de Documents Multimédia*

Dans le cadre d'un projet incitatif GET avec l'enst, nous avons travaillé sur le principe de la lecture active de documents multimedia

Voir : <http://www.infres.enst.fr/~lrobert>.

## **5.2 Segmentation dynamique et inversion de données sismiques**

Partenaire: Université Centrale du Venezuela

Ce projet a consisté en une collaboration de recherche entre l'INT et l'Université Centrale du Venezuela (UCV), impliquant plusieurs chercheurs vénézuéliens (un professeur, un doctorant, une étudiante de "Maestría"), et deux chercheurs au Département EPH, Bernadette Dorizzi et Sonia Salicetti. Ce projet a le soutien du programme ECOS Nord et de la Fondation Louis Leprince-Ringuet en 01.

Deux thèmes ont été abordés dans ce projet:  
étudier l'apport des techniques neuronales pour la tomographie sismique (thèse de doctorat de Mme. E. Ramos);  
étudier l'apport des techniques markoviennes pour la classification de lithologies (thèse de "Maestría" de Mlle. M. Padrón).

## **5.3 TIM : Le traitement d'images en questions**

Dans le cadre de la collection pédagogique hypermédia En questions élaborée par son Centre de Ressources en Innovation Pédagogique et Technologie (CRIPT), le Groupe des écoles des télécommunications a entrepris en partenariat avec des établissements universitaires le développement de didacticiels sur cédéroms.

En collaboration avec le Centre de Ressources Multimédia Pédagogiques de l'INT qui coordonne globalement le projet, Patrick Horain coordonne les contenus du 3<sup>ème</sup> titre, Le traitement d'image en questions, qui présente les techniques du traitement d'image pour des applications multimédia: prétraitements, codage, services avancés... Les autres partenaires du GET sont l'ENST (TSI), Eurécom (MM), l'ENIC et, hors du GET, l'IMSRA à Caen. Ce projet, commencé en 1999, est en attente de finalisation.

Pour en savoir plus, on se reportera à la page [http://www.en-questions.net/tim/tim\\_html.htm](http://www.en-questions.net/tim/tim_html.htm).

## **Publications :**

Septembre 2000 – Août 2001

### **A. Publications dans les revues ou dans des livres**

B. Dorizzi, W. Yang, J. Montalvao , "A New Piecewise Linear Blind Equalizer: A Modified CMA Scheme." Accepté pour publication dans la « Revista do Instituto Nacional de Telecomunicações, ISSN 1516-2338. (2001).

F. Jacquet, J. Caratori, B. Dorizzi, " Derivation of the ionospheric structure over extended geographic region from azimuth and elevation-scan back scatter ionograms : A modular neural network approach", Radio Science, Volume 36, number 5, pp.1043-1052, Sept/Oct 2001

S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, P. Gallinari, Zs. Wimmer, Maximum Mutual Information Training for On-Line Handwritten Word Recognition, International Journal On Document Analysis and Recognition (IJDAR), Vol. 4, N°1, 2001.

T. Czernichow, B. Dorizzi, A.M. San Roque : « Sélection de variables et séries temporelles par analyse statistique des sensibilités », Revue d'Intelligence Artificielle, Volume 15, N°3-4/2001

### **B. Publications dans des actes de congrès internationaux**

C.C. Cavalcante, J.R. Montalvão, B. Dorizzi and J.C.M. Mota, "A Neural Predictor for Blind Equalization of Digital Communication Systems: Is It Plausible? ", IEEE Neural Networks for Signal Processing (NNSP 2000), December 11-13, Sydney-Australia, 2000.

C.C.Cavalcante, J.R.Montalvão, B.Dorizzi and J.C.M.Mota, "A Neural Predictor for Blind Equalization of Digital Communication Systems"., Adaptive Systems for Signal Processing, Communication and Control (AS-SPCC), October 1-4, Lake Louise, Canada, 2000

T. Artieres, J-M. Marchand, P. Gallinari, B. Dorizzi, " Multi-modal segmental models for on-line handwriting recognition ", ICPR 2000, Barcelone, Septembre 2000

T. Artieres, J-M. Marchand, P. Gallinari, B. Dorizzi, "Stroke level modeling of on-line handwriting through multi-modal segmental models", IWFHR VII, 11-13 September 2000 Amsterdam, The Netherlands

N. Vincent, B. Dorizzi "A fractal justification of the normalization step for online handwriting recognition", IWFHR VII, 11-13 September 2000 Amsterdam, The Netherlands

### **C. Publications dans des actes de congrès nationaux ou francophones**

Charles C. Cavalcante, João C. M. Mota, Jugurta R. Montalvão Filho and B. Dorizzi, « Égalisation par Prédiction Basée sur un Réseau des Neurones avec les Fonctions Objectives de Divergence de Kullback-Leibler et du Constant Modulus », 18eme Colloque GRETSI 01 sur le traitement du signal et des images, 10-13 septembre, Toulouse, France, 2001.

#### **D. Publications dans des actes de workshops internationaux ou journées d'études**

C.Casimirio Cavalcante, J.C. Moura Mota, J. R. Montalvao Filho, B. Dorizzi " On The Nonlinear Prediction for Blind Equalization: Is That A Good Choice ? ". XVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBT2000), 3-6 Setembro, Gramado, 2000.

J.R.Montalvão, C.C.Cavalcante, B.Dorizzi, and J.C.M.Mota, "A Simple PDF Fitting Approach for Blind Equalization". XVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBT2000), 3-6 Setembro, Gramado, 2000

Charles C. Cavalcante, J. C. M. Mota, J. R. Montalvão and B. Dorizzi, « Using the Constant Modulus and Kullback-Leibler Cost Functions on a Nonlinear Predictive Structure for Blind Equalization » Proc. of XIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT2001), Fortaleza, 3-6 Setembro, 2001

#### **E. Rapports de recherche & Mémoires de Stages**

R. Prudhon : « vérification de signatures en-ligne, stage de 3<sup>ème</sup> année, IIE, Juin 01

M. Fuentes : vérification de signatures en-ligne par modèles SVM, stage de 3<sup>ème</sup> année ISIMA et DEA, Septembre 01

G. Krayem & R. Zaiter : « Acquisition des gestes humains par vision artificielle », projet de fin d'études de l'Université Libanaise de Tripoli, juillet 2001.

G. Brûlé : acquisition des gestes par capteurs magnétiques, stage de 3<sup>ème</sup> année de l'ENSEM, septembre 2001.

R. Kanhouche : acquisition du geste humain par vision monoscopique sans marqueur, stage du DEA MVA, ENS Cachan, septembre 2001.

#### **F. Thèses :**

J. Montalvao-Filho, "Egalisation et Identification de canaux de communication numérique : une approche par reconnaissance des formes et mélange de gaussiennes » thèse de l'Université Paris XI (Orsay), soutenue le 24 Novembre 2000

jury : F. Castanie, B. Dorizzi, G. Favier, S. Marcos, J.C. Moura Mota, J.M. Romano

Septembre 2001 – Août 2002

#### **Publications dans les revues ou dans des livres**

T. Artières, B. Dorizzi, S. Marukatat, P. Gallinari : « From character to sentences: a hybrid neuro-markovian system for on-line handwriting recognition" H. Bunke, A. Kandel (eds.): Hybrid Methods in Pattern Recognition, World Scientific Publ. Co. (2002) H. Bunke, A. Kandel (eds.): Hybrid Methods in Pattern Recognition has been published as Vol 47 in the World Scientific Series on Machine Perception and Artificial Intelligence, see <http://worldscientific.com/books/compsci/4871.html>

J. R. Montalvão, B. Dorizzi, J. C. M. Mota "Channel Estimation by Symmetrical Clustering." IEEE Trans. on Signal Processing, vol 50, N°6, June 2002, p. 1459



### **Publications dans des actes de congrès**

N. Gauthier, T. Artières, B. Dorizzi, P. Gallinari : “Strategies for Combining on-line and off-line information in an on-line handwriting recognition system”, ICDAR 2001, Seattle, 10-13 September 01

S. Marukatat, T. Artières, P. Gallinari, B. Dorizzi : “Sentence Recognition through hybrid neuro-markovian modeling” ICDAR 2001, Seattle, 10-13 September 01

D. Barráez, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, M. Padrón, E. Ramos, “Modular Neural Networks for Seismic Tomography”, ICPR 02 (Conference on Pattern Recognition) août 2002, Québec, Canada.

Marc Fuentes, Sonia Garcia-Salicetti, Bernadette Dorizzi : “On Line Signature Verification: Fusion Of A Hidden Markov Model And A Neural Network Via A Support Vector Machine » , Colloque IWFHR 02, Aout 2002, Niagara on The Lake, Canada.

M. Fuentes , D. Mostefa , J. Kharroubi, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi , G. Chollet: "Identity verification by fusion of biometric data : on-line signatures and speech", colloque COST 275, November 02, Rome, Italy

P. Horain, M. Bomb, "[3D Model Based Gesture Acquisition Using a Single Camera](#)", *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV 2002)*, Orlando, Florida, December 2002.

J. Klossa, P. Horain, "TELESLIDE: Technical aspects", [Joint Congress of Quantitative Analytical Cellular Pathology and Telepathology](#), Heraclion, Crete, September 2002.

M. Fuentes , D. Mostefa , J. Kharroubi, Sonia Garcia-Salicetti, Bernadette Dorizzi , Gérard Chollet : Vérification de l'identité par fusion de données biométriques : signatures en-ligne et parole » colloque CIFED, octobre 2002, Hammamet, Tunisie

R. Varejao Andreao, B. Dorizzi, P. C. Cortez and J.C. Moura Mota « Efficient ECG multi-level wavelet classification through neural network dimensionality reduction », NNSP 02, Sept 02, Martigny, Suisse

### **Septembre 2002 – Août 2003**

#### **Articles publiés dans les actes des Colloques scientifiques**

J. Marques Soares, P. Horain, A. Bideau, "Sharing and immersing applications in a 3D virtual inhabited world", Laval Virtual 5th virtual reality international conference (VRIC 2003), Laval, France, 13-18 May 2003, pp. 27-31.

J. Marques Soares, P. Horain, A. Bideau, "Sharing and immersing applications in a 3D virtual inhabited world", The 5th International Workshop on Gesture and Sign Language based Human-Computer Interaction (Gesture Workshop 2003), Genova, Italy, 15th-17th April 2003.

J. Marques Soares, P. Horain, A. Bideau, « Partage d'applications et immersion dans un monde 3D virtuel habité », actes sur CDROM de la Conférence Internationale Sciences Electroniques, Technologies de l'Information et des Télécommunications (SETIT 2003), Sousse, Tunisie, 17-21 mars 2003.

P. Horain, M. Bomb, « Acquisition du geste humain 3D par vision monoscopique », Actes des 8èmes journées d'études et d'échanges "Compression et REprésentation des Signaux Audiovisuels" (CORESA'03), Lyon, 16-17 janvier 2003, pp. 269-272.

P. Horain, M. Bomb, "3D Model Based Gesture Acquisition Using a Single Camera", Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV 2002), Orlando, Florida, December 3-4, 2002, pp. 158-162.

S. Salicetti, Ch. Beumier, G. Chollet, B. Dorizzi, J. Leroux Les Jardins, J. Lunter, Y. Ni, D. Petrowska Delacretaz, « Biomet : a multimodal Person Authentication Database Including Face Voice, Fingerprint, Hand and Signature Modalities », 4<sup>th</sup> International Conference on Audio and Video Based Biometric Person Authentication (AVBPA) Guilford UK June 03.

Trinh Quoc Anh, Thu Hoang, Benradette Dorizzi Bernard Asselain, « The effect of Sample size and MLP architecture on Bayesian Learning of Cancer Prognosis a case study » congrès Medical Informatics Europe 2003 Mai 2003 Saint Malo France.

M. Fuentes, D. Mostefa, J. Kharroubi, Sonia Garcia-Salicetti, Bernadette Dorizzi, Gérard Chollet : « Vérification de l'identité par fusion de données biométriques : signatures en-ligne et parole » colloque CIFED, octobre 2002, Hammamet, Tunisie.

R. Varejao Andreao, B. Dorizzi, P. C. Cortez and J.C. Moura Mota « Efficient ECG multi-level wavelet classification through neural network dimensionality reduction », NNSP 02, Sept 02, Martigny, Suisse.

M. Fuentes, D. Mostefa, J. Kharroubi, Sonia Garcia-Salicetti, Bernadette Dorizzi, Gérard Chollet : « Identity verificatin by fusion of biometric data : on line signatures and speech » colloque COST 275 ,novembre 02, Rome Italie.

R. Andreao, B. Dorizzi, J. Boudy et J.C. Mota, « Transformée en ondelettes et modèle de Markov cachés pour la segmentation automatique du signal ECG », Colloque GRETSI 2003, 8-11 sept.-03.

#### **Communications présentées dans les Colloques scientifiques sans actes ou avec actes à diffusion limitée**

J. Klossa, P. Horain, "TELESLIDE: Technical aspects", Joint Congress of Quantitative Analytical Cellular Pathology and Telepathology, Heraclion, Crete, September 14-21, 2002.

B. Dorizzi, J.L. Baldinger, R. Andreao et J. Boudy, 'Système de Télésurveillance de patients à domicile – projet Médiville', 2<sup>ème</sup> Workshop 'Maison Intelligente et Dépendance' organisé par l'INT (M. Mokhtari), 26 Février 2003.

**Septembre 2003 – Août 2004**

## Thèses

Ricardo Rodrigues de Araujo, le 19 septembre 2003. " traitement spatio-temporel basé sur l'utilisation de bases orthonormales généralisées : applications aux réseaux de paquets ".

José MARQUES SOARES a soutenu le 9 juillet 2004 à l'INT sa thèse intitulée : *Contribution à la communication gestuelle dans les environnements virtuels collaboratifs*.

## Articles publiés dans les revues scientifiques spécialisées

B. Dorizzi, P. Lamadeleine, C. Guerrier, J. Leroux Les Jardins : « Biométrie : Techniques et usages », Revue des sciences et techniques de l'ingénieur, Avril 2004

Articles publiés dans les actes des Colloques scientifiques internationaux

A. Serra, D. Gaïti, G. Barroso, J. Boudy, "A load-balancing Distributed Platform based on Differentiated Services for a Telecare Application", IEEE ICA conference, 2004.

A. Serra, D. Gaïti, G. Barroso, J. Boudy, "WS-DSAC: An Admission Control and Load-Balancing Mechanism to Assure QoS Differentiation on Web Servers Clusters', Conf. IFIP/IEEE IM 2004

B. Ly Van, R. Blouet, S. Renouard, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi, G. Chollet : « Signature with text-dependant and text independent speech for robust identity verification », Workshop on Multimodal User Authentication, Dec 03, Santa Barbara, Ca.

Bao Ly Van, R. Blouet, S. Renouard, S. Salicetti, B. Dorizzi, G. Chollet, « Vérification de l'identité par les données biométriques », Deuxième conférence internationale des chercheurs vietnamiens et francophones en informatique, Hanoi, Vietnam: 02-05 février 2004.

Bao Ly Van, S. Salicetti, B. Dorizzi, «Fusion of HMM's likelihood and Voterbi Path for On-line Signature Verification» Colloque BioAW (*Biometric Authentication Workshop*), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 3087, pp. 318-331, Prague, Czech Republic, May 2004.

E. Krichen, M. Anouar Mellakh, S. Salicetti, K. Hamrouni, N. Ellouze, B. Dorizzi "Iris Identification using wavelet packet for images in visible light illumination," First International Conference on Biometric Authentication (ICBA), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 3072 , Hong Kong, July 2004

J. L. Baldinger, J. Boudy, B. Dorizzi, J.-P. Levrey , R. Andreao, C. Perpère, F. Delavault, F. Rocaries , C. Dietrich , A. Lacombe, "Tele-surveillance System for Patient at Home: the MEDIVILLE system", Congrès ICCHP 2004, Paris , Juillet 2004

Emine Krichen, M. Anouar Mellakh, Sonia Garcia-Salicetti, Bernadette Dorizzi, "Iris Identification Using Wavelet Packets", ICPR, August 2004, Cambridge, UK.

### **Articles publiés dans les actes des Colloques scientifiques nationaux**

B. Parrein, M. Tarin, P. Horain, « Dématriçage et compression JPEG2000 en microscopie optique », Actes du colloque Compression et REprésentation des Signaux Audiovisuels (CORESA 2004), Lille, 25 et 26 mai 2004, pp. 49-52.

J. Marques Soares, P. Horain, A. Bideau, « Communication gestuelle et télévirtualité: Interaction autour d'une application partagée et acquisition des gestes par vision artificielle en temps réel », Actes du colloque Compression et REprésentation des Signaux Audiovisuels (CORESA 2004), Lille, 25 et 26 mai 2004, pp. 187-190.

J. Marques Soares, P. Horain, A. Bideau, Manh Hung Nguyen, "Acquisition 3D du geste par vision monoscopique en temps réel et téléprésence", actes de l'atelier "Acquisition du geste humain par vision artificielle et applications", Toulouse, 27 janvier 2004, pp. 23-27.

R. Andreao, B. Dorizzi, J. Boudy et J.C. Mota, 'Transformée en ondelettes et modèle de Markov cachés pour la segmentation automatique du signal ECG', Colloque GRETSI 2003, 8-11 sept.-03.

### **Communications présentées dans les Colloques scientifiques sans actes ou avec actes à diffusion limitée**

Jacques Klossa, Patrick Horain, Georges Flandrin, « MatchSlide : Application de l'imagerie numérique à la relecture de lames en réseau dans le cadre de protocoles diagnostiques en hématologie », Projet RNTS MatchSlide, Convention : 02 2 93 0544, Colloque RNTS, Paris, 1er juillet 2004.

Jacques Klossa, Jean Christian Cordier, Georges Flandrin, Patrick Horain, David Ouagne, Benoit Parrein, Vincent Leymarie, Marc Tarin, "MatchSlide: optimizing Virtual Slide dataflow", 7th congress of Telepathology, Poznan, July 2004

## **Rayonnement**

### **Septembre 2001 – Août 2002**

Membre de comités de programme de conférence

Bernadette Dorizzi: Membre du comité de programme de la Conférence CIFED

Présidence de session de conférences:

Bernadette Dorizzi (CIFED)

Membres de groupe de travail de recherche

BD Membre du GRCE (Groupe de Recherche en Communication Ecrite)

J Boudy : groupe de travail réseau franco suédois IT & Healthcare

Expert CEE, RNRT :

1 Patrick Horain: RNTL

Rapporteurs de thèse

Bernadette Dorizzi : Samia Snoussi Maddouri, Haifeng Li, Nicolas Loménie.

Jury de thèse 2 :

Bernadette Dorizzi: Haifeng Li , Nicolas Loménie

Septembre 2002 – Août 2003

Membres de Comités de Programmes de Conférences Scientifiques

Patrick Horain : relecteur ORASIS 2003.

B. Dorizzi : comité Scientifique Conférence AVBPA.

Présidences de Sessions dans des Conférences Scientifiques

Bernadette Dorizzi : 1 Présidence de session, AVBPA 03, Guilford.

Membres de Comités Scientifiques ou rapporteurs d'articles pour des Revues ou ouvrages Scientifiques

Patrick Horain : Rapporteur pour la revue *Traitement du Signal*.

Sonia Salicetti : Rapporteur pour la revue *Pattern Recognition Letters*.

Sonia Salicetti : Rapporteur pour la revue *International Journal on Document Analysis and Recognition*.

Participations à des Groupes de travail de recherche (GDR-CNRS, OFTA, WG-IFIP, TC-IEEE, etc.) :

Patrick Horain : 1 participation : GdR ISIS.

Jérôme Boudy : Groupe Franco-Suédois sur la télémédecine.

Bernadette Dorizzi : GRCE

Expertises (RNRT, RNTL, CEE, etc)

Patrick Horain : 1 expertise pour l'ACI *Masse de données*.

Participation aux jurys de HDR/thèse de doctorat

Bernadette Dorizzi : rapporteur de thèse de Samia Snoussi Maddouri nov 02

Bernadette Dorizzi : membre du jury de HDR de B Benkelfat juin 03.

#### **Septembre 2003 – Août 2004**

Présidence de Conférences

Atelier "Acquisition du geste humain par vision artificielle et applications" Toulouse, janvier 2004 (Patrick Horain)

Membres de Comités de Programmes de Conférences

Atelier "Acquisition du geste humain par vision artificielle et applications", Toulouse, janvier 2004 (Patrick Horain)

Présidence de Sessions dans des Conférences

Atelier "Acquisition du geste humain par vision artificielle et applications", Toulouse, janvier 2004 (Patrick Horain)

Rapporteurs pour des revues

Elsevier *Digital Signal Processing* (Patrick Horain)

IEEE *Transactions on Systems, Man and Cybernetics* (Patrick Horain)

IASTED *International Journal of Computers and Applications* (Patrick Horain)

Annales des télécom août 04 (Bernadette Dorizzi)

Participation à des Groupes de travail de recherche (GDR-CNRS, OFTA, WG-IFIP, TC-IEEE etc.)

1) GdR ISIS (Patrick Horain)

2) AS Geste (Patrick Horain)

3) STIC santé (CNRS INSERN) Jérôme Boudy

4) SET Télémédecine (Jérôme Boudy).

5) Gdr ISIS (Sonia Salicetti + Jérôme Boudy) (autre groupe que le précédent)

Président, rapporteur ou éditeur de Groupes de normalisation (ISO, ETSI, IETF, IEEE,...)

AFNOR Bernadette Dorizzi

Rapporteurs HDR/thèse

Bernadette Dorizzi : Rapport et jury : sur la thèse de Sanparith MARUKATAT :« *Une approche générique pour la reconnaissance de signaux écrits en ligne* » Université Paris 6, Avril 2004

Bernadette Dorizzi : Rapport et jury, Thèse de Ameer Bensefia soutenue le Lundi 17 Mai 2004, Université de Rouen, Analyse des documents manuscrits : identification et vérification du scripteur.

Bernadette Dorizzi : Rapport et jury, Thèse de Cedric Jamet soutenue le samedi 10 janvier 2004, Université Paris 6, « Inversion neuro-variationnelle des images de la couleur de l'océan : restitution des paramètres optiques des aérosols et de la concentration en chlorophylle a ».

Membres de jury HDR/thèse de doctorat

Patrick Horain : Quentin DELAMARRE vendredi 12 décembre 2003 Sujet: "Suivi d'objets articulés dans des séquences d'images vidéo" Université de Nice Sophia-Antipolis (UNSA)

Patrick Horain et B. Dorizzi : José MARQUES SOARES, thèse le 9 juillet 2004 l'INT . intitulée : Contribution à la communication gestuelle dans les environnements virtuels collaboratifs.

Annexes :

**Rapport du projet incitatif BIOMET II :  
Vérification biométrique multimodale de l'identité  
Mars 03**

**1. Objectifs du projet**

Le projet BIOMETII avait pour objectif de prolonger le projet incitatif GET 2001, intitulé "Vérification biométrique multimodale de l'identité" (BIOMET), coordonné par Marc Sigelle de l'ENST. L'objectif de BIOMET était de mettre en synergie les compétences des équipes des Ecoles du GET impliquées dans le domaine de l'identification et de l'authentification pour accéder à un système sécurisé au moyen de diverses modalités: authentification de signatures, analyse du visage, des empreintes digitales et de la forme de la main, authentification du locuteur, ainsi que de leur fusion pour la vérification biométrique multimodale de l'identité. Plus précisément, les objectifs de BIOMET étaient les suivants :

créer une base de données multimodale (une centaine de personnes environ), impératif préalable à tout travail en commun sur la fusion des différentes modalités mentionnées. mettre au point des systèmes de vérification opérationnels pour chacune des modalités. chercher une ou plusieurs stratégies de fusion adéquates et les tester sur cette plate-forme au final faire distribuer cette base par une société comme ELDA (European Language Resources Distribution Agency), société de droit français, dont la mission et l'activité sont de rendre disponible des ressources linguistiques et multimodales.

Ces objectifs ambitieux n'ont pas pu être réalisés au cours d'une seule année. A la fin de BIOMET, nous avons obtenu les résultats suivants : (voir rapport BIOMET de Marc Sigelle)

la spécification des matériels nécessaires pour réaliser la base de donnée multimodale, ainsi que la définition des protocoles d'acquisition correspondants. En particulier un travail novateur a été réalisé concernant l'acquisition d'images IR à l'aide d'une caméra spécialement développée pour supprimer les effets d'éclairement ainsi qu'un protocole d'acquisition d'images 3D.

des systèmes de vérification opérationnels dans la plupart des modalités : voix, signatures, visage, empreintes

Par contre,

L'acquisition de la base avait juste commencée (1ère campagne)

Le travail sur la fusion multimodale n'avait pas du tout démarré

Quelques premières actions de valorisation avaient été entreprises sans réel débouché.

Les objectifs de BIOMET II, dans la poursuite des premiers acquis de BIOMET ont donc été les suivants :

- de valoriser et de compléter la base réalisée dans le but de mieux représenter la variabilité dans le temps;
- d'optimiser les méthodes de vérification développées au cours de BIOMET dans les divers laboratoires des Ecoles du GET;
- de valider et de développer de nouvelles approches pour la fusion multimodale lorsque de nombreuses modalités sont utilisées conjointement;

- de finaliser les contacts industriels et universitaires déjà pris dans le but de mettre en place des collaborations internationales (autour par exemple de projets européens ou de réseaux de recherche).

## **2. Mise en oeuvre du projet ( méthodologie; organisation de l'équipe; étapes de réalisation; intégration des travaux)**

3 campagnes d'acquisition ont été réalisées à l'ENST sous la responsabilité de Sonia Salicetti la première en Avril 02

la deuxième : fin Juin 2002

la troisième : fin Nov./début Déc. 2002

En lien avec ces campagnes, plusieurs réunions de travail avec l'ensemble des partenaires du projet ont eu lieu :

Le 29-4-02 à l'ENST (en visioconférence avec Eurécom) qui a porté essentiellement sur le bilan de la 1<sup>ère</sup> campagne d'acquisition ainsi que sur la présentation des premiers résultats techniques : fusion de modalités, implémentation sur carte à puce...

Le 20-9-02 à l'ENST (en visioconférence avec Eurécom) qui a surtout porté sur le bilan de la 2<sup>ème</sup> campagne d'acquisition et la Validation des données acquises pour préparer la troisième campagne d'acquisition

## **3. Résumé scientifique des travaux effectués**

Trois campagnes d'acquisition d'une base de données multimodale de 130 personnes environ avec 5 modalités différentes: voix, visage, signature en-ligne, empreintes digitales et forme de la main, ont été réalisées en 2002, ce qui permet de mettre à disposition une base multimodale dans laquelle la variabilité dans le temps des différentes modalités biométriques est représentée (coordination S. Salicetti).

Une évaluation du contenu des enregistrements est actuellement en cours, modalité par modalité. Citons en particulier le travail de Travaux de Walid Karam et Stéphane Renouard sur la validation et l'étiquetage des données audio-visuelles de BIOMET.

Des méthodes classiques de fusion ont été comparées à des méthodes à base d'apprentissage avec une machine à vecteurs supports (SVM) sur deux modalités, la signature en-ligne et la parole, sur une base d'individus chimériques construite à partir de la base de signatures de Philips et de la bases POLYVAR (article CIFED) et SWITCHBOARD (article COST) (stage CDD de Marc Fuentes). D'autre part J. Kharroubi a fait des expériences de fusion sur les données de la base M2VTS.

Différentes méthodes unimodales ont été soit optimisées, soit développées dans les divers laboratoires des Ecoles du GET impliqués dans le projet :

### **a) Signatures en-ligne (S.Salicetti, INT):**

Nous avons effectué des travaux sur la fusion unimodale d'informations de nature différente, sur les signatures en-ligne. Des informations de type local et global ont ainsi été combinées par un SVM, les premières étant fournies à un Modèle de Markov Caché et les deuxièmes à un Perceptron Multicouches.

### **b) Capteur actif différentiel IR et Reconnaissance de visage (Y. Ni, INT)**

Dans le cadre d'un stage équivalent DEA de M. Vu Van de l'IFI, nous avons exploré deux approches simples de reconnaissance de visage avec les bases de données construites pendant les projets BIOMET1 et BIOMET 2.



Du fait de l'invariance vis à vis de la lumière ambiante des images de visage captées par notre capteur actif différentiel, nous avons testé et évalué deux méthodes très simples basées sur un calcul de distance entre des images et une corrélation directe entre des images. Nous avons volontairement écarté des méthodes complexes comme par exemple des méthodes basées sur « egenface ». Car notre objectif dans cette exploration s'oriente vers une éventuelle intégration monolithique d'une reconnaissance de visage au sein d'un capteur de ce type. Les méthodes complexes, malgré leur meilleure performance, restent difficiles à intégrer dans un capteur intelligent.

Le résultat préliminaire de ce stage montre que ces deux méthodes extrêmement simples donnent un taux de reconnaissance de l'ordre de 30%. Ce résultat a été obtenu sur deux bases de données prises à plus de 6 mois d'intervalle (l'une dans BIOMET 1 et l'autre dans BIOMET 2). Les analyses plus approfondies montrent que ce faible taux de reconnaissance est lié à deux facteurs : la qualité des images et l'intolérance intrinsèque à la rotation du visage de nos méthodes. En ce qui concerne la qualité d'image, ce problème est relativement facile à corriger par une amélioration de la carte électronique. Pour le problème lié à la rotation du visage, il faut travailler non pas avec une seule image mais une séquence d'image. Comme indiqué dans le rapport du BIOMET 1, nous visons un contexte coopératif de la reconnaissance de visage. Dans ce contexte, nous pensons que dans une séquence d'image suffisamment longue il y a presque toujours une image ayant une rotation acceptable par l'algorithme de reconnaissance. Cette logique s'inscrit pleinement dans l'objectif primaire de cette recherche : réalisation d'un capteur intelligent avec une fonction de reconnaissance intégrée.

**c) Evaluations NIST pour la parole** (G. Chollet, T. Trigano, D. Mostefa, D. Petrovska, ENST )

Un système de vérification du locuteur basé sur des modèles GMM a été développé. Un arbre de classification des locuteurs a été réalisé. Ce système a été évalué dans le cadre des evals NIST'2002. L'Université de Fribourg (en collaboration avec l'ENST) a développé un autre système (basé sur le codeur ALISP) dont les résultats seront présentés au prochain congrès AVBPA.

**d) Acquisition visage 3D** (Ch. Beumier, ENST) : Le développement matériel a concerné l'achat d'un appareil photo numérique et d'un flash. Le système a pu ainsi être utilisé pendant la campagne 01. Les problèmes de profondeur de champs se sont fait lourdement sentir. A des fins d'amélioration, le système a été transformé pour projeter des lignes de couleur, dans le but d'acquérir également la texture. Le système a été testé pendant la campagne02, avec un succès réduit par les problèmes de flash et du manque de temps de mise au point.

**e) Activités carte à puce** (J. Leroux les Jardins, ENST) : Le travail a été réalisé au cours de 2 stages consécutifs de Jan Lunther Le premier stage d'Avril à Mai 2002 avait pour objectif d'étudier la portabilité et l'exploitation des empreintes biométriques sur les cartes à puce Java et de déterminer la pertinence d'un stockage sécurisé sur ce type de support. Une application de reconnaissance et de vérification d'empreintes digitales au niveau du terminal a été réalisée.

Le second stage du 15 Octobre au 30 Novembre 2002 consistait à réaliser une analyse statistique des performances de l'algorithme de vérification d'empreintes digitales conçu lors du stage précédent. A cette occasion, nous avons validé la qualité des empreintes acquises lors des trois campagnes.

A la fin de l'année, nous avons participé à la rédaction d'une synthèse pour le congrès AVBPA et réalisé des tests basés sur l'algorithme de reconnaissance pour comparer les performances respectives du capteur capacitif Gemplus et du capteur optique Sagem.

**f) Images numérisées de la Main:** (L. Likforman, ENST) : Deux stagiaires de l'ENST travaillent sur les images numérisées de la forme de la main . Ces travaux ont permis tout d'abord de valider les données acquises au cours des différentes campagnes et de démarrer des travaux vers l'authentification automatique, en étudiant en particulier le problème de l'extraction de points caractéristiques dans les images de main.

**g) Identification du locuteur** ( Chr.Wellekens, Eurecom)

Les travaux sur l'adaptation des reconnaisseurs au locuteur basés sur l'usage de voix propres ont été poursuivis. Ils ont exigé la mise au point d'un reconnaisseur grand vocabulaire car l'entraînement de nombreux modèles de phonèmes à distribution en mélange de Gaussiennes exige le traitement de grandes bases de données contenant de très nombreux locuteurs différents et généralement disponibles seulement sur de grands vocabulaires.

La méthode des voix propres a ensuite été jumelée aux techniques par MLLR (Maximum likelihood linear regression) fournissant ainsi une méthode souple et efficace d'adaptation on-line. Le critère PCA utilisé pour la projection dans l'espace des locuteurs n'étant pas adapté au critère ML, une nouvelle technique d'entraînement a été développée.

Ces travaux ont donné lieu à de nombreuses publications de congrès. Enfin la thèse EPFL de Patrick Nguyen a cloturé ses efforts de recherche sur les voix propres en adaptation.

Parallèlement, des recherches sur l'utilisation des voix propres et le clustering des locuteurs à des fins d'identification ont été menées par Yassine Mami, doctorant ENST résidant à France Telecom R/D Lannion sous la direction conjointe de Delphine Charlet et Chr.Wellekens .

Les résultats montrent que des taux d'identification plus élevés sont obtenus par la technique de clustering ; les travaux se poursuivent sur des bases de données non propriétaires et suffisamment grandes afin de s'assurer que ce résultat ne soit pas un effet du à un entraînement insuffisant des voix propres. Une présoutenance a eu lieu à Lannion et la thèse sera soutenue dans le courant 2003.

Une troisième thèse se préoccupe de l'adaptation symbolique au locuteur afin de prendre en compte son accent et les variations lexicales qu'il utilise. Kyung Tak Lee, inscrit en thèse à l'EPFL sous la responsabilité de Chr.Wellekens soutiendra dans le courant 2003.

Une quatrième thèse sur la navigation dans les bases de données audio a été entreprise par Nicolas de Saint Aubert à Eurécom en Novembre 2002 ; elle intégrera les techniques de segmentation en locuteurs développées à Eurécom et d'identification aux méthodes d'analyse des contenus qui sera une contribution d' Eurécom au réseau d'excellence européen XMedia.

Un stage de DEA de Fabio Valente a permis de vérifier l'avantage d'utiliser un critère de minimum d'erreur de classification pour l'entraînement des voix propres. Les résultats ont donné lieu à une publication à ICASSP 2003.

**h) Imagerie multimédia** (JL Dugelay, Eurécom)

Florent Perronnin a débuté ses travaux de thèse en novembre 2001. Les travaux menés sont essentiellement orientés sur la reconnaissance de visages en images fixes.

Brièvement, l'idée développée dans le cadre de cette thèse repose sur une modélisation de la transformation à effectuer pour apparier diverses variations d'un visage d'une personne plutôt que sur la modélisation directe des variations du visage. L'approche est composée d'une mosaïque d'appariements locaux et flexibles sous la contrainte d'une cohérence globale supervisée par une chaîne de Markov cachée bidimensionnelle (HMM 2-D). HMM 2-D est un problème assez général et complexe. Ce point a été plus particulièrement étudié. Il en résulte une proposition de simplification intitulée Turbo-HMM qui a fait l'objet d'une publication. Cette proposition a été ensuite partiellement validée dans le contexte appliqué de la reconnaissance de visages, avec des résultats significatifs sur la base Feret. Une publication,

incluant également un apprentissage discriminant, détaille ce point. Une perspective est d'étendre nos travaux sur les empreintes digitales et d'utiliser dans ce contexte la base multimodale Biomet. A plus long terme, on envisage également des collaborations avec d'autres équipes du GeT en combinant par exemple visages et signatures.

#### **4. Retombées du projet : Valorisation et exploitation des résultats, publications, communications scientifiques.**

**FLEXICARD** : Proposition européenne IST Flexicard (Février 02) : Smart cards for flexible multimodal biometric verification .

Ce projet a été soumis en février 2002 sous la coordination de Jérôme Boudy (INT). Il rentre dans le cadre de la recherche sur les nouveaux types de capteurs biométriques et leur intégration dans une « smart card » associée à une réflexion méthodologique pour l'exploitation de différentes modalités pour la vérification biométrique d'identité. Ce projet bien qu'ayant bénéficié d'une très bonne évaluation technique n'a pas été accepté à ce dernier appel d'offre du programme FP5.

**BIOLANGUE** : projet proposé en réponse à l'appel d'offres Technolanguages du Ministère de la Recherche (Volet Ressources), en vue de compléter la base BIOMET en créant une plateforme à l'INT et en faisant un travail de veille sur les modalités et les capteurs associés à introduire dans la base. Refusé car jugé indirectement lié aux objectifs du programme Technolanguages.

Réponse à Deux Appels d'offres européens (J. Boudy): pour la réalisation d'une évaluation qualitative de systèmes existants en Biométrie. Le premier consiste en un marché d'étude sur la sécurité dans les réseaux et au niveau du terminal, à effectuer sur 8 mois (budget: 150000 Euros). Le deuxième, plus axé sur la Biométrie (notamment l'aspect "forensic"), consiste en un marché d'étude de 4 mois (budget: 80000 Euros) sur le développement et l'interopérabilité de l'authentification et de l'identification électroniques et biométriques. Ces 2 propositions n'ont pas été acceptées.

Biolab : projet incitatif GET 2003, volet usages

De plus en plus, l'utilisation de modalités biométriques (voix, parole, iris, empreintes, signatures) apparaît comme une alternative ou un complément à des techniques plus traditionnelles d'identification électronique (mots de passe, PKI, codes confidentiels etc...). Si certaines sociétés proposent déjà certaines solutions opérationnelles, il n'en reste pas moins que l'usage de la biométrie reste encore limité à quelques applications très ciblées et au domaine policier. Ceci peut s'expliquer d'une part par un besoin d'améliorations technologiques et d'exploration de nouvelles modalités biométriques et, d'autre part, par des situations d'usage encore mal analysées.

L'objet de la présente proposition est la réalisation d'une étude exploratoire, multidisciplinaire, permettant de considérer certains aspects non techniques de la biométrie. Nous proposons :

- de dresser un état de l'art des principaux produits existants et des applications pour lesquelles une solution biométrique a été (ou pourrait être) envisagée, de les évaluer avec différents critères à préciser et d'en tirer des recommandations pour l'avenir
- d'étudier les problèmes juridiques induits par l'usage des techniques biométriques : protection des données personnelles automatisées et de la vie privée, droit de la preuve et de la signature électronique.
- d'étudier les aspects sociologiques de la biométrie: en effet, le développement de la biométrie se heurte aux représentations sociales du risque et de la sécurité, de l'identité, du rapport au corps et à l'autre. Ces différentes dimensions vont structurer les interactions entre objet technique et usages

### **Communications scientifiques, Rayonnement :**

Gérard Chollet a présenté ses travaux en biométrie lors d'une conférence invitée à Londres le 6 mars 2002,

Certains membres de BIOMET participent au projet COST 275, au sein duquel le projet BIOMET et ses résultats ont été présentés.

Enseignements : Jean-Luc Dugelay a donné une introduction à la biométrie dans plusieurs écoles du GeT (Eurécom, Int et Enst B.).

Eurécom co-organise un 'workshop' intitulé 'Multimodal User Authentication', Santa Barbara, december 11-12, 2003. <http://mmua.cs.ucsb.edu>

Jean-Luc Dugelay est 'Editorial board representative' pour un numéro special de Eurasip on Applied Signal Processing sur 'Biometric Signal Processing'. <http://asp.hindawi.com>

### **Publications :**

S. Salicetti, Ch. Beumier, G. Chollet, B. Dorizzi, J. Leroux les Jardins, J. Lunter, Y. Ni, D. Petrowska Delacretaz, « BIOMET: a Multimodal Person Authentication Database Including Face, Voice, Fingerprint, Hand and Signature Modalities » 4th International Conference on AUDIO- and VIDEO-BASED BIOMETRIC PERSON AUTHENTICATION (AVBPA), Guildford, UK, June 03

C. Beumier, « Facial Surface Acquisition with Colour Striping », submitted to ICANN 2003, June 2003.

K. Hallouli, L. Likforman-Sulem, M. Sigelle, "A Comparative study between decision fusion and data fusion in Markovian printed character recognition, ICPR'02, Quebec, Aug. 2002", 16th Int. Conf. On Pattern Recognition, ICPR 02, Quebec, Canada, pp. 147-150.

M. Fuentes, D. Mostefa, S. Garcia-salicetti, B. Dorizzi and G. Chollet, "Identity Verification by Fusion of Biometric Data : On-line Signatures and Speech", COST 275 Workshop "The Advent of biometrics on the Internet", Rome, Nov 02

J. Kharroubi And G. Chollet, Nouveau système hybride GMM-SVM pour la vérification du locuteur., XXIVèmes JEP, Nancy, 2002

M. Fuentes, D. Mostefa, J. Kharroubi, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi and G. Chollet, "Vérification de l'identité par fusion de données biométriques : signatures en-ligne et parole", CIFED, Hammamet, 21-23 oct. 2002

G. Chollet, "Speaker Verification, Advancing Biometric Technologies", Invited talk to the British Machine Vision Association and Society for Pattern Recognition, London, March 6th 2002

T. Trigano, D. Mostefa, D. Petrovska And G. Chollet, "Implementation of a classification tree in an automatic speaker verification system", COST-275 meeting, Paris, April 2002

Y. Ni, " Electronic Retina based Vision System - an Adequation Algorithm-Architecture-Application Approach", à apparaître dans Annales des télécommunications.

Y. Ni, X.L. Yan, "CMOS Active Differential Imaging Device with Single in-pixel Memory", ESSCIRC'02, 24-26 Sept. Florence, Italy, 2002.

Marc Fuentes, Sonia Garcia-Salicetti, Bernadette Dorizzi « On Line Signature Verification: Fusion Of A Hidden Markov Model And A Neural Network Via A Support Vector Machine » IWFHR 02, Aout 02,

Lee, Kyung Tak ; Melnar, L. ; Talley, J., "Symbolic Speaker Adaptation for Pronunciation Modeling", PMLA 2002, Estes Park (CO), USA, September 2002

Nguyen, Patrick ; Rigazio, L. ; Junqua, J.-C. ; Wellekens, Christian J., "Piecewise Linear Constraints for Model Space Adaptation", ICSLP, Denver, September 2002,

Nguyen, Patrick ; Rigazio, L. ; Wellekens, Christian J. ; Junqua, J.-C., "LU factorization for feature transformation", ICSLP 2002, Denver, CO, USA, September 2002

Mami, Yassine ; Charlet, Delphine, "Speaker Identification by Location in an Optimal Space of Anchor Models", ICSLP 2002, Denver, USA, September 2002  
 Nguyen, Patrick, "Speaker Adaptation : Modelling Variabilities"  
 Ph.D thesis report, EPFL/Eurécom, December 2002  
 Lee, Kyung-Tak; Melnar, Lynette; Talley, Jim; Wellekens, Christian., "Symbolic Speaker Adaptation with EExpanded Phone Inventory", ICASSP 2003, Hong Kong  
 F.Valente, Fabio; Wellekens Christian "Minimum Classification Error/Eigenvoices Training for Speaker Identification", ICASSP 2003, Hong Kong  
 J.-L. Dugelay, J.-C. Junqua, C. Kotropoulos, R. Kuhn, F. Perronnin and I. Pitas, « Recent advances in biometric person authentication », International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing 2002  
 F. Perronnin, J.-L. Dugelay, « Authentification des Individus par Traitement Audio-Vidéo », Traitement du Signal 2003  
 F. Perronnin, J.-L. Dugelay and K. Rose, « Iterative Decoding of Two-Dimensional Hidden Markov Models », International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing 2003  
 F. Perronnin and J.-L. Dugelay, « Discriminative Face Recognition », Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication 2003

### **Rapports:**

Walid Karam et Stephane Renouard ont rédigé un rapport : Etiquetage de la base de données audiovisuelles BIOMET, projet ENST, Janvier 03  
 Li Van Bao, Vérification multimodale de l'identité: Signature en-ligne et Parole, rapport fin d'études IFI, Déc 02  
 Vincent LEGLAUNEC-Fabien PEISEY "extraction de points caracteristiques dans les images de main", projet ENST  
 Hoan Vu Van, Conception et réalisation d'un logiciel de reconnaissance de visage, rapport fin d'études IFI, Déc 02

### **5) Point sur l'utilisation du budget**

Budget INT  
PERSONNEL :

Marc Fuentes : 19210 euros  
total : 19210 euros pour 19210 prévus en  
CDD

Ly Van Bao : 5311 euros  
VU Van Hoan : 5311 euros  
total : 10622 euros chargés sur 12671  
prévus en stagiaires

FONCTIONNEMENT

Missions + petites fournitures :  
Total 3331 sur 5300 euros prévus

INVESTISSEMENT

1383 sur 2250 euros prévus (1 PC  
scientifique)

Budget ENST :  
PERSONNEL :

M CHOLLET 1 : 3014 euros chargés  
M CHOLLET 2 : 2642 euros chargés  
G FOUQUIER : 2430 euros chargés  
total : 8086 euros chargés pour 9530  
prévus en CDD

J LUNTER 1 : 3139 euros chargés  
J LUNTER 2 : 1412 euros chargés  
total : 4551 euros chargés pour 4550  
prévus en stagiaires

C BEUMIER : 10844 euros chargés  
total : 10844 euros chargés sur 12850  
prévus en sabbatique

FONCTIONNEMENT

2 x Net Informatique BDC 329 et 566  
pour 1574.81 E  
total : 1575 euros sur 1550 euros prévus

INVESTISSEMENT

total : 0 euros sur 1550 prévus

Budget EURECOM :

Fonctionnement 1,5 Keuros : participation aux frais de mission pour assister à des conférences, et 10Keuros en compléments de bourse de thèse.

## **6. Développements et prolongements ultérieurs du projet ( projets européens, contrats RNXX, industriels ect..)**

### **Enregistrement d'une base de données complémentaire à l'Université de Fribourg (Dijana Petrovska-Delacrétaz)**

Pour avoir une plus grande variabilité dans le temps et en ce qui concerne le nombre de personnes, une suite de la base de donnée BIOMET est prévue à l'Université de Fribourg. L'idée de base est de garder dans la mesure du possible le même matériel que Biomet-Paris, et si besoin est, de changer le matériel et/ou de protocole d'enregistrement (p.ex autre capteur, plus d'empreintes, autre modalité...).

Pour le moment le matériel disponible est une camera Sony (données Audio-Video), un autre micro pour l'audio, une tablette graphique Intuos (signature dynamique), un scanner HP pour les images de la main et le capteur d'empreintes de Sagem. Il faudrait voir si on peut dupliquer ou emprunter la camera infrarouge de Yang Ni (INT) et le dispositif de capture 3D de Charles Beumier (ENST). Il manque un autre capteur d'empreintes et éventuellement une camera pour l'iris.

Première campagne d'enregistrement prévue pour mai-juin 2003.

Partenaires industriels : Eurécom a renforcé son partenariat avec plusieurs de ses membres du GIE : France Télécom Recherche, STMicroelectronics et Thalès. Plus généralement un grand nombre de contacts industriels ont été pris notamment dans le cadre du montage du réseau Biosécure : Thalès, Gemplus, Sagem, Bouygue Télécom

Ouvrage pédagogique : Jean-Luc Dugelay a lancé un projet de livre en biométrie en s'appuyant essentiellement sur les partenaires du projet BIOMET.

### **Projets en cours de montage :**

TRUST-eS :projet MEDEA+ coordonné par Gemplus: Technology Responses to Ubiquitous Security Threats For e-Security : Le but de ce projet est de se confronter aux limitations et verrous de la technologie actuelle pour faciliter des solutions de sécurité futures pour les applications de e-sécurité et de e-gouvernement dans les 3 à 5 ans à venir.

Jérôme Boudy coordonne la réponse à ce projet en terme de solutions biométriques (GET, Univ.Surrey, Univ. Halmstadt, Université de Fribourg).

BioSecure (EoI Biomet-net) Nous avons soumis en Juin 02 une expression d'intérêt pour un réseau d'excellence dans le domaine de la Biométrie.(BIOMET-NET). Dans la suite, le GET se pose en ccordinateur d'une proposition (l'appel d'offre du 24 Avril 03) pour un réseau d'excellence en Biométrie BIOSECURE.

Montage en cours d'une proposition RNRT avec Thalès : Spikenet, d'un projet européen STREPS : IRISEP...

Rapport du projet incitatif GET : BIOLAB :  
Usages des techniques biométriques  
pour la vérification et l'identification électroniques  
Mars 04

## **1) Rappel des objectifs du projet :**

De plus en plus, l'utilisation de modalités biométriques (voix, parole, iris, empreintes, signatures) apparaît comme une alternative ou un complément à des techniques plus traditionnelles d'identification électronique (mots de passe, PKI, codes confidentiels etc...). Si certaines sociétés proposent déjà certaines solutions opérationnelles, il n'en reste pas moins que l'usage de la biométrie reste encore limité à quelques applications très ciblées et au domaine policier. Ceci peut s'expliquer d'une part par un besoin d'améliorations technologiques et d'exploration de nouvelles modalités biométriques et, d'autre part, par des situations d'usage encore mal analysées.

L'objet de la présente proposition est la réalisation d'une étude exploratoire, multidisciplinaire, permettant de considérer certains aspects non techniques de la biométrie. Nous proposons :

- de dresser un état de l'art des principaux produits existants et des applications pour lesquelles une solution biométrique a été (ou pourrait être) envisagée, de les évaluer avec différents critères à préciser et d'en tirer des recommandations pour l'avenir.
- d'étudier les problèmes juridiques induits par l'usage des techniques biométriques : protection des données personnelles automatisées et de la vie privée, droit de la preuve et de la signature électronique.
- d'étudier les aspects sociologiques de la biométrie: en effet, le développement de la biométrie se heurte aux représentations sociales du risque et de la sécurité, de l'identité, du rapport au corps et à l'autre. Ces différentes dimensions vont structurer les interactions entre objet technique et usages.
- de mettre en place une première expérience de déploiement au sein du centre de calcul de l'INT, à l'aide d'un système à base d'empreintes digitales développé à l'ENST.

## **2) Mise en oeuvre du projet ( méthodologie; organisation de l'équipe; étapes de réalisation; intégration des travaux)**

Le travail à réaliser a été découpé en 4 tâches distinctes:

Compte tenu des compétences nécessaires aux tâches 1, 3 et 4, les travaux correspondant ont été réalisés indépendamment.

Il n'en est pas de même pour la tâche 2 qui est le fruit d'une collaboration étroite entre l'équipe de Jean Leroux à l'ENST (Comelec) et du centre de calcul de l'INT (MCI)

Quatre réunions plénières ont eu lieu les 16 Janvier, 4 Avril, 26 Juin et 23 Janvier ainsi que plusieurs réunions spécifiques à la tâche 2.

Tâche 1 : Revue des projets et initiatives en Biométrie : Resp. Bruno Salgues

Participants : Anne Quesnel et Weihua Hyao (stagiaires).

La méthodologie employée a consisté en l'interrogation de bases de données et en la constitution de fiches de lecture associées. Un rapport final permettra de synthétiser cette étude.

Tâche 2 : Réalisation d'une plateforme d'évaluation de solution biométrique : Resp. Jean Leroux



Participants : ENST (J. Leroux, Jan Lunter), INT-MCI (O. Leroy, N. Cohen), INT-Gestion (C. Guerrier, S. Craipeau), INT-RST (S. Gastellier, N. Santoro), INT-Eph (B. Dorizzi, J. Boudy)

Comme plate-forme BioLab, nous avons retenu le procédé de vérification biométrique couplé à une carte à puce (CAP) : en effet l'équipe COMELEC de l'ENST disposait d'un démonstrateur opérationnel de CAP avec vérification biométrique d'empreintes digitales dont l'usage nous a paru intéressant à évaluer.

Tâche 3 : Aspects juridiques : Resp. Claudine Guerrier

Participant : Laure-Anne Cornélie, stagiaire DESS

Le travail de recherche documentaire a conduit à l'écriture d'un rapport final. Ce dernier aboutit à une étude de droit comparé, basée sur une modélisation correspondant aux deux problématiques principales : la protection des données personnelles, la signature électronique et la certification. La première problématique a été davantage développée que la seconde, dans la mesure où la seconde est encore à un stade expérimental.

Tâche 4 : Aspects Sociologiques : Resp Sylvie Craipeau

Participants : Gerard Dubey , Xavier Guchet, Laurence Raineau

Concernant le volet anthropo-sociologique de la recherche BIOLAB, nous avons mené une série d'entretiens à Air France et Aéroports de Paris afin de prendre connaissance des expériences de biométrie réalisées dans ces organisations et pour négocier la possibilité de faire une enquête auprès des personnes directement concernées. Nous avons mené des entretiens au collège de Carqueiranne, auprès de la société ayant installé le dispositif, d'élèves et du Principal.

Nous avons par ailleurs fait le point sur l'état de la question en France en allant à la CNIL. Nous avons fait une intervention au séminaire du CREIS en juin 2003 sur l'approche socio-anthropologique de la biométrie, lors du séminaire organisé par l'INT en novembre 2003 et à l'IHESI en février 2004.

### **3) Résumé scientifique des travaux effectués**

Tâche 1 : Revue des projets et initiatives en Biométrie

Un rapport final dont le plan est le suivant a permis de finaliser cette étude.

- 1.1. Historique et concepts
- 1.2. Les grandes tendances et évolutions
- 1.3. Le marché et sa description
- 1.4. Offre
- 1.5. Demande

Acteurs (producteurs)

*Différentes bases de données ont été étudiées :*

Pubmed à l'aide d'ENDNOTE (pas besoin de droit, accès gratuit)

Science Direct : Revue BTT 'Biometric Technologies Today' (accès privé depuis Lille2)  
IEEE

Tâche 2 : réalisation d'une plate-forme d'évaluation de solution biométrique

Cette tâche avait pour but la réalisation d'une plate-forme d'évaluation d'un système de biométrie existant de manière à dégager des premières appréciations sur l'acceptabilité d'un tel système. Comme plate-forme BIOLAB, nous avons retenu le procédé de vérification

biométrique couplé à une carte à puce (CAP) : en effet l'équipe COMELEC de l'ENST disposait déjà d'un démonstrateur opérationnel de CAP avec vérification biométrique d'empreintes digitales. De plus, ce nouveau type d'application est actuellement assez répandu (cf. le salon EuroSmart en 2002 et récemment en 2003). L'objectif était donc d'identifier un contexte réel d'utilisation de la plate-forme Biolab. Compte-tenu de l'intérêt porté par le Centre de Calcul de l'INT (MCI) à ce type d'application pour la sécurité et l'authentification des accès aux ordinateurs, l'équipe BioLab a défini en collaboration avec le département MCI un protocole d'application de la vérification biométrique de l'empreinte digitale dans le but de remplacer l'entrée systématique d'un login puis d'un mot de passe à chaque connexion.

La démarche technique suivie s'est déroulée en quatre étapes principales :

Expertise de l'ENST-COMELEC (J. Leroux, J. Lunter) sur les solutions actuelles (capteurs) de saisie d'empreinte digitale couplée à la CAP : évaluation des performances des algorithmes de vérification de 'fingerprint' et comparaison à leur solution propre déjà développée au sein de COMELEC. Parmi les capteurs candidats testés, c'est la solution Biometrika qui a été retenue (capteur optique). La possibilité d'ajout d'une ou deux modalités supplémentaires telles que l'image du visage (saisie par Webcam) et de la voix, avait été proposée initialement par l'ENST (équipe TSI, G. Chollet, S. Renouard), mais finalement non retenue trop compte tenu des délais trop courts pour sa mise en œuvre dans BioLab.

Recherche sur l'existence de solutions commerciales compatibles, notamment déjà développées pour le système d'exploitation Windows : cette action a été menée en parallèle par MCI (O. Leroy, N. Cohen).

Choix d'une solution et adaptation au contexte d'application de MCI : 'logon' automatique tenant compte des contraintes d'accès aux domaines d'utilisation informatiques et de gestion des certificats. Les études effectuées en a) et b) ont permis de retenir définitivement la solution ENST-COMELEC pour cette évaluation dans le cadre de l'application MCI. Les actions a), b) et c) sont donc terminées.

Organisation des premiers tests du système en collaboration avec Sylvie Craipeau, sociologue au département de Gestion de l'INT. Compte tenu que le système a un caractère évolutif, les tests ont été organisés en trois étapes principales :

1) Tests préliminaires de viabilité/validation du système d'empreinte digitale avec CAP, conjointement effectués par l'ENST et MCI dans le but de valider techniquement la solution de manière opérationnelle (dans le contexte de MCI, impact sur les connexions aux domaines sur le réseau,...). Ce test est actuellement en cours et devrait être conclu courant Mars 2004.

2) Test d'usage à petite échelle : effectué après (1), a pour but de donner des tendances devant préfigurer celles du test suivant à plus grande échelle (test final).

Il comporte :

un entretien préalable des sociologues de l'INT (S. Craipeau & G. Dubey) avec les personnes effectuant le test (ou les 'testeurs')

le test lui-même effectué par le 'testeur' qui doit ensuite compléter son 'journal de bord' en entretien final des sociologues avec les testeurs

Le choix des personnes pour ce test doit être représentatif d'une population sensée utiliser ce type de système. 5-6 personnes ont été sélectionnées parmi des experts du domaine d'utilisation (MCI), des personnes n'ayant pas de connaissances particulières du domaine et des personnes administratives ayant recours fréquemment à l'usage de base de données

administratives internes au GET. Ce test devrait démarrer en Avril 2004, compte tenu de la charge actuellement importante du département MCI.

3) Test final sur un plus grand nombre d'utilisateurs : ce dernier test sera défini ultérieurement et devrait se dérouler immédiatement après les dépouillements du Test (2) d'usage à petite échelle. Sa date sera confirmée ultérieurement.

### Tâche 3 : Aspects juridiques

Une étude de droit comparé a été menée. En effet, sur le plan juridique, la biométrie revêt des aspects transnationaux ( sécurité dans les aéroports et dans les vols internationaux ) et des aspects nationaux marqués ( la conception de la vie privée varie selon les Etats : elle inspire la directive de 1995 sur la protection des données personnelles au sein de l'Union européenne ; elle n'existe pas au niveau de l'Etat fédéral américain ). La problématique consiste à déterminer si un équilibre est possible entre la recherche de la sécurité via la biométrie par les différents acteurs concernés : Etats-nations, sociétés commerciales, organisations internationales ( notamment l'OACI ), et le souci des libertés individuelles. Cette problématique ne peut être déconnectée du contexte géo-politique du début du vingt-et-unième siècle et du développement de la société de l'information. L'accent a été mis d'une part, sur les rapports entre les techniques biométriques et les autorités de régulation spécialisées dans la protection des données personnelles, d'autre part, sur les relations entre les techniques biométriques et la tentative de contrôle des flux migratoires. Cette relation est privilégiée actuellement : les Etats souhaitent maîtriser les flux migratoires vers l'extérieur et cela induit des applications biométriques pour les demandeurs d'asile ( Convention de Dublin au sein de l'Union européenne ), pour les documents de voyage ; ils souhaitent également maîtriser les flux migratoires intérieurs : des projets de cartes d'identité biométriques sont envisagés au Royaume-Uni, au Canada, en France. La nouvelle carte d'identité chinoise, en place officiellement, a dû renoncer à la biométrie, en raison du coût et du taux de faux rejets et de fausses acceptations trop élevé. Les rapports entre les techniques biométriques et la protection des données personnelles sont parfois conflictuels. Sauf aux USA (Etat fédéral), les pays développés prônent officiellement la protection de la vie privée et des données personnelles. Or, les applications biométriques sont des identifiants. Si l'autorité de régulation admet l'utilisation des techniques biométriques à des fins d'intérêt général ( aéroports, prisons ), il n'en est pas toujours de même dans le monde du travail ou à des fins privatives ( cantines françaises et britanniques ). La centralisation dans des bases de données est considérée comme liberticide. Certaines techniques, telles les empreintes digitales peuvent permettre le détournement de finalité.

Si les techniques biométriques se développent de plus en plus, les autorités de régulation se font difficilement entendre dans le cadre de l'idéologie sécuritaire. La biométrie, en tant qu'instrument, penche beaucoup plus volontiers du côté de la sécurité que du côté des libertés personnelles.

### Tâche 4 : Aspects Sociologiques

Nous avons été interpellés par la faiblesse, voire l'absence de réaction des acteurs sociaux face à l'annonce de la mise en place de la biométrie. Au delà de l'engouement qu'il y aurait face à l'innovation technologique, nous faisons l'hypothèse que ce sont les caractéristiques même de la biométrie qui génèrent cette apparente atonie sociale. En fait les entretiens font apparaître des peurs que l'on peut considérer comme une modalité spécifique de résistance face à la biométrie.

La biométrie n'est pas simplement un outil sécuritaire (moyen de prévenir le terrorisme), mais plus largement un dispositif de gestion de flux : flux migratoires, flux de passagers, flux d'élèves à la cantine... Il s'agit donc essentiellement d'un processus de rationalisation (tant à Air France qu'à ADP ou dans le collège). Les expériences montrent qu'il y a un écart entre les discours, les projets et la réalité, écart déjà identifié par les sociologues du travail en ce qui concerne l'automatisation : limites concrètes de la standardisation (on ne peut entièrement standardiser l'homme), limites de l'automatisation : on ne gagne pas toujours du temps ni des effectifs, déplacements des difficultés et apparition de nouveaux problèmes : pannes, déplacements d'agressivité.

Il semble que le processus de normalisation à l'œuvre se traduit en particulier par la disparition de la distance qui marque traditionnellement le projet et la technique qui le soutient. C'est ce qui génère des peurs dont le corps est l'expression et la source : crainte d'être ravi (soustrait) par le dispositif, crainte de morcellement. Ces craintes renvoient à une identité incertaine et fragile, caractéristique de notre société. C'est aussi ce à quoi renvoie la peur du court-circuit, par exemple, c'est-à-dire de ce qu'avec la biométrie la main ne « fait plus » quelque chose, elle perd sa qualité anthropologique de mise en relation à l'autre et au monde. Car la biométrie pose la question de la disparition de la médiation sociale. En effet, la possibilité d'erreur est constitutive de la vie sociale, la source de tout processus d'interprétation donc de communication. Sans possibilité d'erreur, de malentendu, c'est à dire de distance, de jeu entre les acteurs de la vie sociale les médiations deviennent superflues, la société elle-même devient secondaire.

L'objectivation de la loi dans la machine (la normalisation), risque de rendre impossible toute interprétation, toute mise en contexte, c'est à dire tout espace commun ouvert au dialogue.

La biométrie est perçue comme risquant d'effacer les frontières qui séparent les espaces sociaux : irruption de l'autorité parentale dans le collège qui infantilise les élèves, exercice de l'autorité de la direction d'ADP au détriment de la liberté de circulation des représentants syndicaux par exemple. Apparition, donc, de l'exercice d'un contrôle auquel on peut de moins en moins opposer de contre pouvoir. Mais il ne s'agit pas d'une crainte d'un pouvoir totalitaire, d'un « big brother » (même si ce thème apparaît chez certains), contrairement à ce que l'on suppose en général, les peurs qui s'expriment disent autre chose, et c'est ce qu'il nous faut mieux comprendre.

En dernière analyse le manque de confiance envers les médiations sociales et l'autonomie de la société semble constituer un puissant moteur en faveur des techniques biométriques, le terreau sur lequel celles-ci sont amenées à se développer. Leur introduction répondrait ainsi aux attentes d'une société essentiellement faite d'individus, qui se pense ou se représente comme une collection d'individus physiquement déterminés. Mais l'apparent engouement pour la biométrie ne doit pas pour autant dissimuler les contradictions et les tensions qu'elle engendre.

#### **4) Retombées du projet : Valorisation et exploitation des résultats, publications, communications scientifiques.**

##### **Communications scientifiques, Rayonnement :**

Invitation d'Astrid Albrecht, juriste allemande, employée de Télétrust à la journée Biolab du 4 Avril 03

Interventions de Sylvie Craipeau et Bernadette Dorizzi à la journée CREIS du 13 Juin

Organisation d'un séminaire de Formation Continue à l'INT : « un jour pour faire le point sur : Sécurité quel avenir pour la Biométrie » le 27 Novembre 03

### **Publications :**

- Rédaction d'un article dans la revue Techniques de l'Ingénieur-Informatique (B. Dorizzi, C. Guerrier) : Septembre 03, parution en Mars 2004
- C. Guerrier, " Protection des données personnelles et applications biométriques en Europe" Communication et commerce électronique, P 17 à 22
- Vulgarisation : article sur la biométrie dans la publication dirigée par Michel Berne, février 2004
- En cours d'élaboration : Les cartes d'identité biométriques et l'enjeu sécuritaire

### **5) Point sur l'utilisation du budget**

ENST :

Personnel : enveloppe de 8300 euros

dépenses = 6160 euros chargés pour J Lunter

Investissement : enveloppe de 2000 euros

dépenses = 1986,72 euros TTC Grosbill Micro

INT:

Personnel:

CDD : 4hm = 13800 (Xavier Guchet , Gerard Dubey , Laurence Raineau )

Stagiaires : enveloppe de 16 600 euros

Dépenses : 8000 (Yao Weihua , Anne Quesnel , M Vilar , Anne Laure Cornali , Francis Bernard )

Fonctionnement : enveloppe de 4 750

Dépenses : 1500 (missions et documentation)

### **6) Développements et prolongements ultérieurs du projet ( projets européens, contrats RNXX, industriels ect..)**

Contacts avec le ministère de l'intérieur (groupe biométrie). Participation au séminaire expérimentation visas le 4 Février 04 (interventions de S. Craipeau et G. Dubey, B. Dorizzi, J. Leroux)

Possibilité d'une participation du GET à l'évaluation des expérimentations visas (Septembre 04)

Possibilité de participation aux activités de normalisation (CN 37 Biométrie AFNOR).

Préparation d'une journée à l'INT de présentation des résultats du projet BIOLAB sur une demi journée en Avril.

Dans le projet Securephone IST-FP6, STREPS, 30 mois

« Integration of biometric modalities on a PDA or a mobile phone for authentication and secure transactions », il y a 4 hommes/mois attribués au GET pour étudier les aspects juridiques et sociologiques.

BioSecure : le GET est coordonnateur du réseau d'excellence européen BioSecure qui couvre à la fois les aspects usages et techniques de la Biométrie.

## **7) Référence des documents web complémentaires**

Sur la page : [www-eph.int-evry.fr](http://www-eph.int-evry.fr)

## II. ELECTRONIQUE

Yang NI

Département Electronique et Physique  
GET Institut National des Télécommunications  
9, rue Charles Fourier, 91011 Evry Cedex

### 1. Activité en VLSI analogique pour la vision artificielle

Notre projet s'articule autour du concept "système de vision à base de rétine", qui consiste à étudier et développer les capteurs d'image intelligents adaptés aux besoins de la vision artificielle. Ces capteurs intelligents, dits "rétine électronique", exploitent la sensibilité naturelle du Silicium et les traitements accessibles par la technologie CMOS en fournissant au système de vision les informations visuelles plus condensées et plus pertinentes que celles fournies par les capteurs d'image classiques.

Suite à la restructuration des projets de recherche au sein des écoles du GET, cette activité est maintenant incluse dans un nouveau projet de recherche disciplinaire VisiCom en collaboration avec le département optique de l'ENST Bretagne. Ce projet de recherche VisiCom vise à développer des dispositifs combinant les circuits CMOS VLSI et les structures à base des cristaux liquides pour des applications de la vision artificielle et des communications sans fil optique en espace libre.

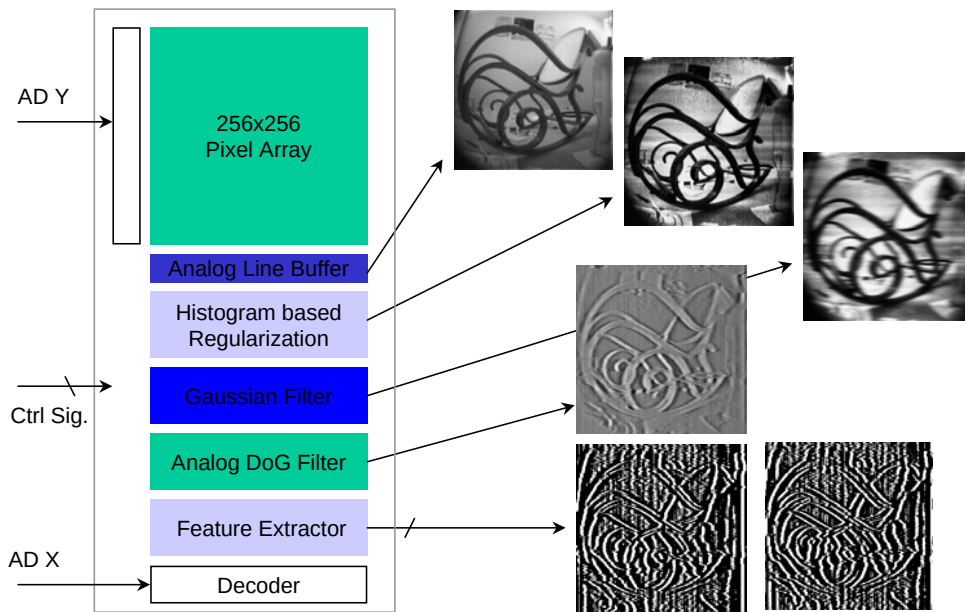
#### Projet 1 : Rétine CMOS pour la vision stéréoscopique à base de ligne

A la lumière de nos expériences, nous avons initié un nouveau projet de recherche dans le cadre des travaux de thèse de M. J.H. Guan sur une rétine de l'extraction interpolative de points caractéristique. Cette rétine interpolative prolonge les travaux de thèse de M. Bogdan Arion sur la vision stéréoscopique en apportant deux améliorations majeures :

- Amélioration de la sensibilité photoélectrique par une égalisation d'histogramme de l'image analogique ;
- Amélioration de la programmabilité afin de pouvoir tester et explorer des nouveaux algorithmes de vision dans notre laboratoire ;
- Amélioration de la précision de localisation de primitives visuelles par une interpolation.

Les résultats de simulation montrent une performance très prometteuse et une rétine de 256x256 pixels a été conçue et fabriquée réalisée en technologie standard 0.8um via le service CMP français. Cette rétine a été testée dans un environnement à base d'un PC muni d'une carte d'acquisition de donnée (PCI1200) secondée par un microcontrôleur.

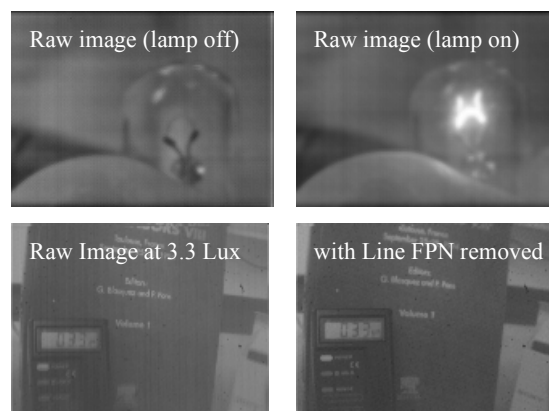
Une camera compatible TV a été réalisée à partir de ce capteur intelligent qui permet de capter, traiter les images à une rythme de 50 images par seconde avec une consommation de seulement 200mW.



## Projet 2 : Capteur d'image en régime logarithmique avec une compensation automatique du bruit spatial fixe

La réponse photoélectrique logarithmique d'un capteur d'image, similaire à celle d'œil humain, est très intéressante pour une vision de machine. D'une part cette réponse en Log donne directement un signal vidéo proportionnel au contraste de l'image optique, d'autre part elle donne une plage dynamique de fonctionnement très étendue liée à la compression d'une fonction Log.

Les deux problèmes principaux dans un capteur Log aujourd'hui sont 1° compensation du bruit spatial fixe et 2° sensibilité en faible illumination. Dans le cadre de la thèse de Mlle Karine MATOU, nous avons exploré une approche radicalement des autres : utilisation d'une photodiode en mode voltaïque contrairement au mode photoconducteur classique. Cette approche innovante donne une possibilité de compenser le bruit spatial fixe à l'intérieur du circuit avec des circuits analogiques classique. De plus, ce mode de fonctionnement élimine des problèmes de courant de fuite dans les transistors MOS que posent la plupart de réalisations existantes et augmente la sensibilité optique dans des conditions d'éclairement difficiles.



Nous avons réalisé un circuit prototype avec 160x120 pixels en CMOS 0.8um. Ce circuit fonctionne normalement malgré une petite erreur de conception (une ligne en polysilicium trop longue). Les expériences avec ce circuit prototype ont confirmé la prévision



théorique escomptée : 1° compensation du bruit spatial fixe in situ sur le circuit 2° une bien meilleure sensibilité en faible illumination. La figure ci-dessus montre quelques images de sortie de ce circuit prototype. Une demande de brevet a été déposée.

### **Projet 3 : Capteur d'image CMOS différentiel pour des applications biométriques**

Le contrôle d'accès biométrique représente un alternatif plus humain et moins contraignant que les méthodes classiques. Nous sommes intéressés plus particulièrement par des méthodes à base de reconnaissance de visage. Pour la reconnaissance de visage, la variabilité de la lumière d'illumination rend des algorithmes utilisés complexes et moins fiables. Si cette variabilité de la lumière ambiante peut être supprimée ou fortement atténuée, une simplification algorithmique serait envisageable.

L'architecture rétinienne avec des traitements in situ dans chaque pixel est un candidat idéal pour cette application. Une acquisition parallèle et rapide dans les pixels au sein d'une rétine CMOS nous permet d'envisager une capture d'image différentielle à l'aide d'une source de lumière implusionnelle synchronisée avec le fonctionnement de la rétine.

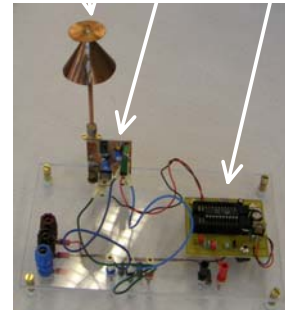
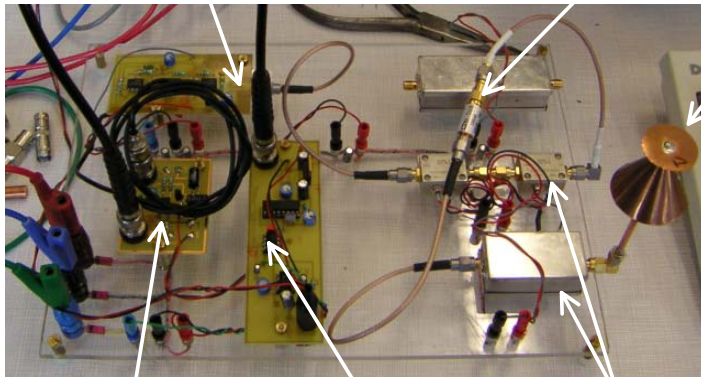


Nous avons commencé cette exploration à l'aide d'une mini-caméra CCD afin d'évaluer l'ensemble de paramètres de conception tant optiques qu'électronique. Un système à base d'une rétine CMOS a été réalisé dans le cadre du projet GET BIOMET. Les images ci-dessus démontrent une excellente suppression de la lumière ambiante et une très bonne qualité photométrique. Nous allons continuer à travailler sur une structure analogique cellulaire de reconnaissance à partir de cette caméra non-conventionnelle. L'objectif final est de pouvoir réaliser un sensor monolithique capable d'effectuer une reconnaissance de visage en temps réel.

## **2. Activité en communication de proximité - Proxima**

Cette activité de recherche a été officiellement initiée en 2002. Nos analyses sur les systèmes de communications de proximité montrent une inadéquation avec les besoins identifiés : 1) pour les besoins à faible débit, la plupart des systèmes restent trop complexes, trop coûteux ; 2) pour les besoins à haut débit, la plupart des systèmes ne sont pas assez performants.

Par conséquent, nos objectifs de recherche visent à surmonter cette inadéquation en proposant des dispositifs et des structures nouvelles et innovantes. En nous appuyant sur notre expérience et notre savoir-faire dans la conception de circuits analogique et optoélectronique en CMOS, nous allons travailler sur : 1° un système de communication optique IR à imagerie à l'aide d'une rétine intelligente ; et 2° un système de communication RF basé sur le concept UWB. Suite à la restructuration des projets de recherche au sein du GET, l'activité sur la partie RF est incluse dans un projet GET CLUB (Communications à Large et Ultra-large Bande) et celle sur la partie optique est incluse dans un autre projet GET (VisiCom). Le projet CLUB est un projet de recherche disciplinaire regroupant les compétences dans toutes les écoles du GET.



### **Projet : Plate forme expérimentale modulaire en UWB (UWB)**

Ce projet de recherche au sein du GET a été initié (Projet incitatif UWB avec la participation de l'INT et l'ENST) sous mon impulsion. L'objectif principal de ce projet est de concevoir et réaliser une plate-forme expérimentale UWB en réunissant les connaissances et les expériences de deux partenaires au sein du GET. Cette plate-forme (ouverte) nous permettra de collecter des données réelles de première main sur la réalisation matérielle et sur les traitements de signal associés. Cette plate-forme sera utilisée comme un guide pour notre future développement en UWB. Elle devrait être modulaire et chaque module pourra être mis à jour ultérieurement grâce à nos progrès de recherche. La réussite de ce projet nous permettra d'imposer une position de leadership dans cette nouvelle technologie de communications. Une participation à un réseau d'excellence (URAN) est en préparation. Un prototype de démonstration a été réalisé à la fin de 2003 qui démontre une transmission fiable de la voix numérique codée en CVSD. Un nouveau projet de recherche incitatif UWB-DOMO prendra le relais. Ce projet exploitera le système expérimental du projet UWB dans un contexte domotique.

## **Publications & Communications 2000-2003**

### **PUBLICATIONS DANS DES REVUES A COMITE DE LECTURE**

- Y. Ni, J.H.Guan, " A 256x256-pixel Smart CMOS Image Sensor for Line based Stereo Vision Applications", IEEE, J. of Solid State Circuits, Vol. 35 No. 7, Juillet 2000, pp. 1055-1061.
- K. Matou, Y. Ni, "A Precise FPN Compensation Circuit for CMOS APS", Electronics Letters, Vol.38 Issue.19, 2002, pp.1078-1079
- Y.NI, "Electronic Retina based Vision Systems An Adequation Algorithm-Architecture Application Approach" – Annales des télécommunications, VOL 59/3-4 - 2004 - pp.287-303

### **COMMUNICATIONS A DES CONGRES INTERNATIONAUX AVEC PUBLICATIONS D'ACTES**

- Y. Ni, K. Matou, "A CMOS Log Image Sensor with on-chip FPN Compensation", ESSCIRC'01, 18-20 Sept. 2001 Villach, Austria, pp. 128-132.
- Y. Ni, X.L. Yan, "CMOS Active Differential Imaging Device with Single in-pixel Analog Memory", ESSCIRC'02, 24-26 Sept. 2002 Florence, Italy, pp. 359-362
- Y. Ni, "Electronic Retina based Vision System", ETFA'03, Sept. 2003, Lisbon
- A. Goyé, E. Lecolinet, S.S. Lin, G. Chollet, C. Pelachaud, X.Q. Ding & Y. Ni, "Interfaces multimodales pour un assistant au voyage", IHM'03
- S. Garcia-Salicetti, C. Beumier, G. Chollet, B. Dorizzi, J. Leroux-Les Jardins, J. Lunter, Y. Ni, D. Petrovska-Delacretaz, "BIOMET: a Multimodal Person Authentication Database Including Face, Voice, Fingerprint, Hand and Signature Modalities", *4th International Conference on Audio and Vidio-Based Biometric Person Authentication*, 2003.
- Y. Ni, "Smart Imaging Sensing in CMOS Technology", CODEC'04, Jan. 1-3, 2004 Kolkata, India (invited paper).
- Y. Ni, "Design of Low Cost and Low Power CMOS Imagers", Second International Symposium on Integrated Optoelectronics, Honolulu, HI from October 3-October 8, 2004. (invited paper)

### **DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE, SEMINAIRES ET AUTRES MANIFESTATIONS SANS ACTES**

- K. Matou, Y. Ni, "Capteur d'images logarithmique CMOS avec compensation analogique du BSF", Colloque TAISA'2002, ENST, Paris le 12-13 Sept. 2002
- Y. Ni, "Smart Image Sensing in CMOS Technology", **séminaire invité** à Université Sud-Est, Nanjing Chine, 2003
- Y. Ni, "UWB Communications Systems", **séminaire invité** à Université Sud-Est, Nanjing Chine, 2003

### **PARTICIPATION A DES MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES**

- Vice-président de 5th International Conference on Electronic Measurement and Instruments (ICEMI'2001), Nov. 18-21, 2001, Guilin, China

### **BREVETS D'INVENTION**

- Y. Ni, "Elément photoélectrique à très grande dynamic de fonctionnement", Brevet Français déposé par GET/INT, No.01 01001, Feb. 2001
- Y. Ni, "Dispositif d'imageire optique, destine notamment a la reconnaissance d'empreintes digitales", Brevet Français déposé par GET/INT, No. 0308426, July, 2003