

# *Action MAIA*

*MAchine Intelligente et Autonome*

*Lorraine*

THÈME 3A



*R*apport  
*d'Activité*

2001



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Présentation et objectifs généraux</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fondements scientifiques</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Domaines d'applications</b>	<b>7</b>
4.1	Développement d'un système multi-robots . . . . .	7
4.2	Assistants intelligents pour la recherche d'information sur le Web . . . . .	8
4.3	Assistants intelligents dans le domaine médical . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>9</b>
5.1	Modèles de décision Markoviens partiellement observables . . . . .	9
5.2	Modèles Markoviens de grande taille . . . . .	10
5.3	Modèles décisionnels de Markov continus . . . . .	10
5.4	Travaux autour de la planification de trajectoires . . . . .	11
5.5	Modèles distribués décisionnels de Markov pour la résolution coopérative de problèmes . . . . .	12
5.6	Apprentissage par renforcement de modèles décisionnels de Markov pour la résolution coopérative de problèmes . . . . .	13
5.7	Définition d'un modèle stochastique d'interaction agent/environnement pour un système multi-agents . . . . .	14
5.8	Modélisation stochastique de produits financiers . . . . .	15
5.9	Résolution de problèmes avec limitation de ressources . . . . .	16
5.10	Conception de services multi-média adaptatifs . . . . .	16
5.11	Simulation de phénomènes biologiques . . . . .	18
5.12	Implantation d'un simulateur parallèle . . . . .	19
5.13	Résolution de problème par système multi-agents réactif . . . . .	19
5.14	Fusion multi-capteurs dans un système multi-agents : application à la robotique mobile . . . . .	20
5.15	Réseaux bayésiens et fusion de données . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)</b>	<b>22</b>
6.1	Collaboration avec la société de services multimédia MIC2 . . . . .	22
<b>7</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>23</b>
7.1	Actions régionales . . . . .	23
7.1.1	Anesthésie . . . . .	23
7.1.2	Le projet Diatélic . . . . .	24
7.2	Actions nationales . . . . .	24
7.2.1	Le projet THISSAD. . . . .	24
7.3	Relations internationales . . . . .	25
7.3.1	Le projet ELIN . . . . .	25

7.3.2	Projet EUREKA KVM . . . . .	26
7.4	Relations bilatérales internationales . . . . .	26
7.4.1	Projet avec Umass . . . . .	26
7.4.2	Projet avec la NASA : « <i>self-Directed Cooperative Planetary Rovers</i> ». . . . .	27
7.5	Participation à des colloques, séminaires, invitations . . . . .	27
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>27</b>

*Mots clefs :*

*Intelligence Artificielle distribuée, raisonnement sous contraintes de ressources, modèles de décision stochastique*

## 1 Composition de l'équipe

### Responsable Scientifique

François Charpillat [Directeur de recherche, INRIA]

### Assistante de projet

Martine Kuhlmann [CNRS, à temps partiel]

### Personnel Université

Christine Bourjot [Maître de Conférences, U. Nancy 2]

Anne Boyer [Maître de Conférences, U. Nancy 2]

Vincent Chevrier [Maître de Conférences, U. H. Poincaré, Nancy 1]

Jean-Paul Haton [Professeur IUF, U. H. Poincaré, Nancy 1]

Alexis Scheuer [Maître de Conférences, U. H. Poincaré, Nancy 1]

### Personnel INRIA

Alain Dutech [Chargé de recherche, INRIA]

### Chercheurs doctorants

David Bellot [ATER U. Nancy 2]

Makram Bouzid [boursier CCH jusqu'en novembre puis ingénieur chez Motorola Paris]

Olivier Buffet [allocataire MENRT]

Iadine Chadès [ATER U. Metz]

Romarc Charton [boursier CIFRE MIC2]

Arnaud Dury [ATER U. Nancy 2 jusqu'en mars puis postdoctorant au CRIM, Montréal]

Frank Gechter [allocataire MENRT]

Laurent Jeanpierre [allocataire MENRT]

Laurent Piraud [Université H. Poincaré, Nancy 1]

Bruno Scherrer [boursier INRIA]

Vincent Thomas [allocataire MENRT]

### Ingénieurs (Poste d'accueil)

Régis Lhoste [ingénieur expert INRIA]

Eric Lucchese [ingénieur associé INRIA]

Loïc Pelissier [ingénieur expert INRIA]

## 2 Présentation et objectifs généraux

Le projet de l'équipe MAIA vise à étudier les mécanismes qui permettent à un système composé d'entités logicielles, robotiques ou biologiques de réaliser des tâches complexes en adoptant un comportement prenant la forme d'une succession de couples "stimuli-réponse". Il s'agit d'une part de reproduire ces mécanismes pour construire des systèmes automatiques capables de réaliser des tâches habituellement réalisées par des humains ou des animaux, et

d'autre part de comprendre et maîtriser de tels systèmes pour interagir avec ceux-ci.

Ce projet se nourrit de travaux pluridisciplinaires que ce soit en informatique, en mathématique, en biologie du comportement, ou encore en sciences cognitives. Citons, parmi ceux-ci les travaux de Marvin Minsky qui dans son célèbre ouvrage " la société de l'esprit " explique comment l'intelligence pourrait surgir à partir d'un grand nombre de petit processus qu'il appelle agent. Chaque agent ne peut, à lui seul effectuer que quelques tâches simples ne demandant ni intelligence ni réflexion. Pourtant, le regroupement de ces agents en sociétés peut aboutir à la véritable intelligence " . Citons également, les travaux issus de la biologie du comportement animal, qui nous apprennent que des êtres aussi rudimentaires que des fourmis ou des araignées sont capables à partir de mécanismes extrêmement simples de réaliser en groupe des tâches complexes comme la construction d'un abri ou le fourragement et cela malgré des capacités cognitives individuelles très limitées. La stigmergie introduite par Grassé permet d'expliquer ces phénomènes comme résultant d'un enchaînement d'interactions avec l'environnement qui joue un rôle prépondérant : " la coordination des tâches, la régulation des constructions ne dépendent pas directement des ouvriers, mais des constructions elles mêmes. L'ouvrier ne dirige pas son travail, il est guidé par lui ". Enfin citons, les travaux de Stuart Russel sur la rationalité qui s'inscrivent dans la théorie de la décision et qui conçoivent qu'un agent intelligent adopte un comportement optimale vis-à-vis d'un certain degré de satisfaction.

C'est dans cet état d'esprit que l'équipe MAIA défend l'idée qu'un système artificiel peut développer une certaine forme d'intelligence à partir des interactions qu'il peut entretenir avec l'environnement physique et social dans lequel il est immergé. Cette approche repositionne les enjeux de l'intelligence artificielle non plus sur la capacité d'un système à manipuler des symboles mais sur ses capacités d'interaction tant avec l'environnement qu'avec d'autre acteurs (humains, logiciels, robots, ...).

Pour cela l'équipe conçoit des logiciels appelés " agents intelligents " qui ont comme caractéristique principale d'être équipés de capteurs et d'effecteurs (physiques ou virtuels) qui leur permettent d'interagir avec l'environnement dans lequel ils sont situés. Deux approches complémentaires sont étudiées dans l'équipe. L'une consiste à concevoir des agents (appelés également dans ce cas animats) dont les lois de fonctionnement sont inspirées de la biologie du comportement. Il s'agit de modéliser, expliquer et simuler des phénomènes naturels tels que la coordination d'un ensemble d'individus pour la capture de proie, ou la construction collective de toiles chez les araignées sociales, ou encore la différenciation du comportement chez les rats puis de les transposer pour développer des systèmes. L'autre approche complémentaire consiste à générer automatiquement au moyen de processus d'apprentissage ou d'un calcul d'optimisation le comportement d'un ou plusieurs agents dans le but de leur faire réaliser des tâches individuelles ou collectives.

Ces recherches fondamentales, qui en apparence semblent peu applicables à la réalisation d'applications informatiques suscitent au contraire un engouement très important tant de la part des chercheurs que des industriels du logiciel. Qui n'a pas entendu parlé d'agents intelligents pour la recherche d'information sur le web. En effet, devant le développement rapide

des nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'approche "agent" permet d'espérer de faciliter l'accès de systèmes de plus en plus complexes à un public de plus en plus large. Le développement d'agent "assistant" repose en effet sur les mêmes concepts que ceux développés dans nos recherches plus fondamentales. L'utilisateur est assisté par une entité informatique autonome qui interagit avec lui et accomplit un certain nombre de tâches répétitives. C'est ce que réalise l'équipe dans les domaines de la télémédecine (assistant à la dialyse, assistant à l'anesthésie) ou dans les systèmes d'intelligence ambiante (projets européens OZONE, ELIN).

### 3 Fondements scientifiques

Le projet scientifique de l'équipe MAIA s'organise autour de trois grandes idées maîtresses que l'on peut énoncer comme suit :

- L'intelligence d'un individu doit beaucoup aux interactions que celui-ci peut entretenir tant avec son environnement social que physique. C'est de sa capacité à comprendre ces interactions qui lui permettent d'enrichir ses compétences et par la même d'apprendre à traiter des tâches de plus en plus complexes.
  
- Un système peut développer une forme d'intelligence à partir de composants extrêmement simples. C'est ce que nous apprennent les travaux récents issus de la biologie du comportement animal. Des êtres aussi rudimentaires que des fourmis ou des araignées sont capables à partir de mécanismes extrêmement simples de réaliser en groupe des tâches complexes comme la construction d'un abri ou le fourragement et cela malgré des capacités cognitives individuelles très limitées. Ces organisations possèdent des propriétés émergentes non présentes chez l'individu mais qui vont permettre à la collectivité de résoudre le problème auquel elle est confrontée.
  
- Un système artificiel ou naturel peut être qualifié d'intelligent à partir du moment où il réalise des tâches abstraites ou concrètes selon une démarche qu'un observateur extérieur peut estimer être raisonnable. Il pourra lui attribuer des qualités associées habituellement à l'activité d'un être humain, d'un animal ou une société d'insecte. Il pourra dire par exemple que tel agent robotique se déplace correctement ou qu'il remplit ses objectifs. Un néphrologue dira que son assistant (Diatelic par exemple) a effectué un bon diagnostic. Tel utilisateur du web pourra dire que son agent de recherche a correctement répondu à sa requête,... Cette appréciation extérieure au système peut être l'essence même du développement d'un système artificiel intelligent. Nous développons, dans l'équipe MAIA les méthodes qui permettent de concevoir un agent intelligent à partir des appréciations d'un tel observateur, en particulier dans le cas où celles-ci sont numériques. L'agent dispose alors d'un signal de renforcement qui lui permet d'adapter son comportement pour améliorer ces performances.

Ces trois idées fortes sont abordées dans l'équipe MAIA autour du concept d' "agent" qui constitue pour l'équipe la brique à partir de laquelle on peut construire des systèmes intelligents. Les recherches de l'équipe MAIA portent sur la modélisation, la compréhension ou

la création de comportements " intelligents ". Le concept d'agent étant très large, il ne peut être abordé sans une certaine méthode et l'examen de quelques priorités. Ainsi, l'équipe MAIA focalise ses recherches sur des agents situés c'est à dire des agents ayant une activité qui ne pourrait être réalisée sans la mise en œuvre d'une boucle sensori-motrice. Un agent est donc un système physique (un robot), biologique ou logiciel (softbot, assistant intelligent) qui est situé dans un environnement réel ou abstrait et qui dispose des capacités lui permettant de percevoir et de modifier l'environnement physique et social dans lequel il est situé. Il peut donc interagir. Cette conception de l'agent repositionne notre objet d'étude non plus sur les capacités intrinsèques de l'agent mais sur ses capacités d'interaction tant avec l'environnement qu'avec d'autres acteurs (humains, logiciels, robots, ...). L'agent n'est pas isolé du monde mais forme un tout avec celui-ci. Les propriétés d'un système à agents résultent donc de la composition de deux sous-systèmes dynamiques : l'environnement et l'agent :

- L'environnement possède sa propre dynamique et évolue en fonction de ses lois propres et des actions du ou des agents qu'il héberge.
- L'agent est défini par une fonction de perception qui à un instant donné caractérise l'environnement proche de l'agent, un état interne qui évolue en fonction de ces perceptions et de l'état interne précédent, et une fonction de décision qui à un état interne associe une action.

Selon ce point de vue défendu par l'équipe, concevoir un système à agent consiste à résoudre un certain nombre de problèmes :

- comment définir l'état interne d'un agent et sa dynamique de sorte qu'il maximise ses performances vis à vis des objectifs qui lui sont alloués
- comment calculer ou apprendre la fonction de décision d'un agent de sorte qu'il maximise son degré de satisfaction
- comment calculer ou apprendre la fonction de décision d'un agent appartenant à une société d'agents de sorte que le degré de satisfaction du système soit maximal
- comment simuler l'environnement

Deux approches complémentaires sont étudiées dans l'équipe. L'une consiste à concevoir des agents (appelés également dans ce cas animats) dont les lois de fonctionnement sont inspirées de la biologie du comportement. Il s'agit de modéliser, expliquer et simuler des phénomènes naturels tels que la coordination d'un ensemble d'individus pour la capture de proie, ou la construction collective de toiles chez les araignées sociales, ou encore la différenciation du comportement chez les rats puis de les transposer pour développer des systèmes. L'autre approche complémentaire consiste à générer automatiquement au moyen de processus d'apprentissage ou d'un calcul d'optimisation le comportement d'un ou plusieurs agents dans le but de leur faire réaliser des tâches individuelles ou collectives. Les modèles de décision séquentielle (modèles de décision complètement (MDP) ou partiellement observables (POMDP)) fournissent le cadre formel que nous avons choisi pour construire de tels agents.

## 4 Domaines d'applications

La robotique mobile, la recherche d'informations sur le Web et le domaine de la santé constituent des domaines d'étude privilégiés pour constituer et évaluer les modèles que nous développons dans notre projet. Ces applications nous permettent de mesurer et d'étudier de manière concrète les interactions entre un agent et un environnement que ce soit le monde physique en robotique, un patient en médecine ou un utilisateur pour les applications autour du Web.

### 4.1 Développement d'un système multi-robots.

La mise au point d'un système de navigation pour un robot mobile constitue un champ d'application privilégié pour valider les notions d'agents autonomes et de systèmes multi-agents. Les modèles que nous développons, notamment ceux dérivés des Processus Décisionnels de Markov (MDP) ou nos travaux sur la planification de trajectoire, sont particulièrement bien adaptés à ce domaine. A cette fin, notre groupe est en train de développer trois robots mobiles. Ces robots embarquent des capteurs (caméra ou infra-rouge) et sont dotés de moyens de déplacement. Les données des capteurs sont envoyées à une station de travail où elles sont pré-traitées. Une deuxième station de travail héberge le contrôleur du robot et envoie des ordres de déplacement à ce dernier.

Le premier robot, "Simplet", est constitué principalement d'un étage de propulsion / communication et d'un étage caméra. L'étage de propulsion / transmission est composé de 6 roues dont deux sont motrices et animées par des moteurs pas à pas. La transmission s'effectue par le biais d'un réseau ethernet sans fil grâce à un PC embarqué (Vaio de Sony). L'ensemble propulsion et transmission est contrôlé par un processeur 16 bits XA-S3. La partie capteur de vision est constituée d'une caméra CCD couleurs couplée à un transmetteur UHF. La réception vidéo s'effectue par l'intermédiaire d'un démodulateur satellite relié à une carte d'acquisition vidéo PCI. En outre, les deux machines de contrôle (commande et vidéo) sont reliées au réseau interne du LORIA, ceci permettant une utilisation du robot depuis n'importe quel poste du laboratoire.

Le deuxième robot, "Atchoum", repose sur les mêmes principes sauf que la transmission s'effectue via des barrettes de liaisons séries haute-fréquence vers le PC de commande. En outre, il se déplace grâce à 6 pattes dotées chacune de deux degrés de liberté. La synchronisation de ces pattes pour le déplacement de ce robot est en lui-même une tâche complexe et délicate. Le troisième robot sera similaire à Simplet mais sera doté de moteurs à courant continu dont le couple est supérieur à celui des moteurs pas à pas.

Signalons enfin que le protocole de commande de tous ces robots sera compatible avec celui du robot "Gaston" (un Nomad 200 de chez Nomadics) déjà acquis par notre équipe. Ainsi, nous sommes sur le point de disposer d'une véritable flotille robotique pour mettre en œuvre et appliquer certains de nos algorithmes multi-agents. Des tâches d'exploration collectives sont envisagées, par exemple.

## 4.2 Assistants intelligents pour la recherche d'information sur le Web

**Participants** : Anne Boyer, Romaric Charton, Regis Lhoste, François Charpillet, Jean Paul Haton.

La relation entre consommateur et producteur de l'information a considérablement évolué ces dernières années avec le développement d'Internet et notamment de la technologie Web. De nombreux sites d'information naissent régulièrement, qui proposent aux internautes une multitude de renseignements dans foule de domaines. Paradoxalement, cette multiplication des sources d'information n'a pas permis aux utilisateurs d'obtenir facilement des réponses aux questions qu'ils se posent. En effet, diffuser de l'information à grande échelle ne suffit pas, encore faut-il que l'utilisateur puisse retrouver cette information, et surtout que dans des délais raisonnables il puisse accéder à l'information pertinente relativement à son problème. Or il s'avère que c'est rarement le cas : l'utilisateur se trouve perdu devant une hiérarchie plus ou moins transparente de pages organisées suivant un schéma qui lui est inconnu. Faute de savoir " naviguer " correctement dans cette énorme quantité de liens et de pages, l'utilisateur abandonne sa requête et se retrouve insatisfait. L'information était sans doute présente mais il n'a pas su ou pas pu la trouver. Le succès du Web passe donc naturellement par le développement d'outils et de services qui permettent à l'utilisateur de se retrouver dans le fatras d'informations proposées. Très rapidement, on a vu apparaître des moteurs de recherche qui permettent notamment de localiser des mots clés dans des pages HTML. Plus récemment, on a vu se développer des sites portails qui regroupent sur un thème donné toutes les informations ou liens jugés pertinents par le concepteur. Mais cela est encore très nettement insuffisant. En effet, une fois encore, l'information n'est facilement identifiable que si l'on a en tête le schéma de construction du site ou la liste des mots clés et de la hiérarchie des concepts ou mots clés mis en œuvre. Le projet que nous proposons s'inscrit dans cette problématique : concevoir un outil permettant à tout utilisateur d'accéder rapidement et facilement à l'information pertinente. Offrir à chacun la réponse adéquate est l'objectif primordial de ce projet. Il est évident que ce service doit constituer une aide à l'utilisateur et ne doit par conséquent à aucun moment lui imposer de nouvelles contraintes. Il existe plusieurs manières d'envisager le problème : nous choisissons l'optique qui consiste à ne pas remettre en cause l'existant et à développer un assistant intelligent fondé sur les techniques de l'intelligence artificielle. Notamment, nous envisageons d'étudier les aspects suivants :

- Navigation accompagnée (voire guidée) du site portail et des pages offertes,
- Détermination de profils utilisateurs afin de prévoir son comportement et d'anticiper ses attentes.

## 4.3 Assistants intelligents dans le domaine médical

**Participants** : David Bellot, Anne Boyer, François Charpillet, Frank Gechter, Laurent Jeanpierre, Loïc Pelissier.

La télémédecine à base d'agents intelligents s'intéresse au problème du diagnostic médical

en continu et à distance. Le diagnostic est fait par la fusion de données hétérogènes et incertaines recueillies au domicile du patient par des moyens automatiques ou manuels. Il s'agit alors, malgré l'éloignement, de reproduire le raisonnement d'un médecin qui aurait la faculté de pouvoir observer un patient de façon quotidienne voire continue et d'en déduire un état physiologique précis en relation avec la pathologie. Le but est double. Premièrement il faut pour chaque patient pouvoir reproduire le modèle de raisonnement du médecin pour la détection et la prévention des troubles et incidents de santé qui peuvent survenir dans le traitement médical que suit le patient. Deuxièmement, il faut pouvoir assurer un diagnostic sûr et révisable au fur et à mesure que l'on obtient de nouvelles informations. Pour le patient, le but est de lui assurer un confort supplémentaire grâce à l'hospitalisation à domicile et une sécurité renforcée car un système l'assiste en permanence avec des capacités équivalentes à celle du médecin pour un problème précis (prévention de l'hyperhydratation chez les dialysés, détection des chutes chez les personnes âgées, etc...). Il ne s'agit en aucun cas de remplacer le médecin, car justement celui-ci intervient en particulier comme professeur pour le système intelligent. Il reste donc indispensable au bon fonctionnement du système de télémédecine.

## 5 Résultats nouveaux

### 5.1 Modèles de décision Markoviens partiellement observables

**Participants :** Alain Dutech, Bruno Scherrer.

Dans le domaine des modèles de décision markoviens, nous maintenons une activité de recherche plus fondamentale. Notre intérêt se porte principalement sur les Processus Décisionnels de Markov Partiellement Observables (POMDP) et leurs liens avec l'apprentissage par renforcement (RL). Ce formalisme est particulièrement intéressant car il permet de modéliser les incertitudes, tant au niveau des perceptions que de l'effet des actions. Le principal problème posé par ce formalisme est sa complexité (parfois de classe NEXP) qui empêche, en pratique, de trouver des solutions, ou politiques, "exactes" et optimales.

Si différentes voies de recherches existent (utilisation des "belief states", approximation de la fonction de valeur, recherche de politiques "memoryless") nos travaux sont centrés, d'une part, sur l'utilisation de *politiques stochastiques* et, d'autre part, sur l'utilisation "pertinente" du passé pour construire des *politiques contextuelles*. En effet, ces approches nous paraissent plus compatibles avec une application de ce formalisme à des agents situés, en particulier en terme de ressources de calcul.

En ce qui concerne les politiques stochastiques, nous avons proposé une paramétrisation générique de ces politiques. Cette paramétrisation permet de rechercher les meilleures politiques par une méthode de gradient dans l'espace des politiques. Bien que sous-optimales, ces politiques peuvent être apprises rapidement et offrent ainsi un bon compromis entre calculabilité et optimalité. Nous avons mis en œuvre cette solution dans le cadre de l'apprentissage par renforcement pour des systèmes multi-agents.

Un autre axe de recherche concerne l'utilisation du passé du processus pour proposer des politiques contextuelles, c'est-à-dire des politiques où la décision dépend des perceptions présentes mais aussi d'une certaine mémoire contextuelle. La mise à jour de la mémoire contextuelle, qui est en soit un problème de décision, est la majeure difficulté rencontrée. Nous avons proposé de guider cette décision en utilisant une mesure de pertinence des différents contextes qui quantifie l'apport d'information de chaque contexte possible. Ainsi que nous l'avons montré (voir [8]), cette technique permet une planification calculable et quasi-optimale dans les POMDP.

Nous allons maintenant appliquer ces idées à l'apprentissage par renforcement. Pour cela, nous allons continuer à travailler sur l'apprentissage de modèles. En combinant nos résultats antérieurs sur l'agrégation d'états, notre savoir faire sur les modèles graphiques (collaboration avec l'équipe Parole) et des algorithmes de fusions incrémentales pour les Modèles de Markov Cachés (HMM), nous développons des techniques d'apprentissage *incrémental* de modèle. L'aspect incrémental de ces algorithmes est une caractéristique essentielle pour une utilisation par des agents situés.

## 5.2 Modèles Markoviens de grande taille

**Participant** : Bruno Scherrer.

Nous avons mis au point une technique qui permet de nous intéresser à des modèles de décision markoviens ayant une taille très grande voire infinie : nous les approximons par des modèles de décision de taille réduite fixée (cette taille réduite fait que l'on peut aisément calculer des solutions). Nous avons dérivé des critères qui permettent de déterminer les zones de l'espace d'état qui nécessitent d'être décrites avec plus de précision ou qui a contrario ne sont pas nécessaires pour l'approximation. Ainsi, de manière progressive, nous pouvons faire évoluer le modèle abstrait approximant le modèle réel : nous mettons à jour la représentation, ce qui permet d'améliorer les performances sans changer la complexité de résolution.

A l'aide de la technique décrite au paragraphe précédent, qui peut être vue comme un apprentissage de haut niveau, nous abordons un problème difficile de la modélisation d'agents intelligents : de manière analogue aux êtres vivants, nous essayons de modéliser des agents dont le système de décision est modulaire et distribué. Ce genre d'architecture pose deux problèmes fondamentaux : l'émergence des modules et leur coopération. Nous utilisons une abstraction de nombreux algorithmes de classification pour proposer un mécanisme qui fasse émerger des modules automatiquement. Enfin, la nature explicite de la fonction de valeur des modèles de décision markoviens nous permet de facilement recombinaison les calculs effectués par des modules distincts et ainsi de les faire coopérer.

## 5.3 Modèles décisionnels de Markov continus

**Participants** : François Charpillet, Laurent Jeanpierre.

La mise en œuvre des systèmes intelligents dans des problèmes réels tels que l'aide au diagnostic butte généralement sur l'écueil de la discrétisation. En effet, la complexité des envi-

ronnements usuels est telle que les algorithmes classiques deviennent difficilement applicables. En particulier, ces méthodes étant basées majoritairement sur des algorithmes discrets, il faut généralement augmenter la taille de l'espace d'états possibles pour modéliser assez finement le problème à traiter. Cela implique naturellement une augmentation de la complexité telle que des traitements en temps réel deviennent difficiles.

L'adjonction d'éléments symboliques permet de limiter cette explosion. Le traitement d'une partie des signaux en tant que symboles de plus haut niveau évite en effet de multiplier le nombre des observations du système. Par exemple, la surveillance de la tension d'un malade dialysé recourt à une série de valeurs floues telles que "trop haute" ou "normale". Cela permet en outre une adaptation plus fine du modèle au patient en jouant sur le modèle de ces valeurs. L'aspect flou, quant à lui, autorise une prise en compte de l'incertitude portant sur les valeurs tout en évitant les discontinuités entre celles-ci.

Cela permet donc une ouverture importante du champ d'application des algorithmes de reconnaissance et d'apprentissage. En particulier, la notion de diagnostic se prête bien à cette approche. Un expert raisonne naturellement en énonçant des règles et des seuils qui peuvent être assez flous, et qui peuvent même évoluer au cours du temps. Les modèles markoviens permettent de gérer ce type de problèmes. Ils assurent en effet une continuité du diagnostic dans le temps, prenant en compte les évolutions possibles de ce dernier par un jeu de probabilités. Cela autorise donc à modéliser un système dont les règles sont connues de manière imparfaite. Nous testons actuellement cette approche dans deux problèmes médicaux : la surveillance de malades dialysés à domicile et l'aide à l'anesthésie. Un sujet particulièrement intéressant tient à l'adaptation automatique du système au patient. Le problème tient principalement dans la différence entre un problème détecté et un modèle mal adapté. Nous évaluerons donc diverses approches visant à résoudre ce dilemme.

## 5.4 Travaux autour de la planification de trajectoires

**Participant** : Alexis Scheuer.

Jusqu'à maintenant, dans le projet Maia, les processus de décision markoviens ont toujours été utilisés avec une représentation discrète de l'environnement. En particulier, ces processus ont permis de définir des modules de planification et de navigation de robots mobiles. Pour affiner ces modules, nous allons les coupler avec les travaux en planification de trajectoires à courbure continue réalisés par A. Scheuer. Ces derniers représentant continûment l'environnement et les déplacements dans celui-ci, ils permettront de planifier et d'exécuter des mouvements de plus grande précision.

La modification du module de planification a donné lieu à l'encadrement de deux groupes de stagiaires d'initiation à la recherche (à l'Esial et en licence d'informatique), ainsi qu'à un stage d'été en licence d'informatique. L'implantation originale étant fondée sur une librairie présentant des problèmes de compatibilité ascendante, ces stages ont permis de redéfinir proprement et indépendamment l'ensemble des classes nécessaires à la planification de trajectoires

à courbure continue et à son affichage. Un stagiaire de DEA travaillera en 2002 sur la suite de ces travaux, en les couplant avec le module de planification déjà existant. Ce DEA pourra être suivi d'une thèse portant sur la définition de processus de décision markoviens continus.

## 5.5 Modèles distribués décisionnels de Markov pour la résolution coopérative de problèmes

**Participants** : François Charpillat, Iadine Chadès, Bruno Scherrer.

Il existe dans la littérature un modèle théorique qui prend en compte les contraintes de la catégorie de problèmes auxquels nous nous intéressons : il s'agit des DEC-POMDP (Decentralized Partially Observable MDP). Il a été récemment montré que la résolution est NEXP-complet lorsque le nombre d'agents considéré est supérieur ou égal à 2, en effet la résolution dépend du nombre d'états et du nombre d'actions du DEC-POMDP. Elle ne convient donc pas pour une approche réaliste de la coordination des agents dans le cadre de notre SMA évoluant dans un environnement complexe. De plus, bien que le contrôle de ce modèle soit décentralisé, sa résolution et son utilisation restent centralisées.

Nous avons donc adapté le formalisme MDP dans le cadre des SMA afin qu'il prenne en compte les propriétés essentielles qui sont pour nous : la localité des perceptions et des actions, mais aussi la poursuite d'un but local pour chaque agent. Les interactions entre nos agents permettent alors l'émergence d'une coordination qui permet d'atteindre le but global de nos agents. Notre solution, qui s'appuie sur le formalisme d'un MDP, est fondée sur deux propriétés essentielles et indépendantes de nos agents : l'**empathie** et la **subjectivité** (voir [12]).

La construction de l'architecture des agents, leur perception de l'environnement, leur comportement et l'analyse de l'environnement ont été réalisés. Le nombre d'états de chaque MDP reste constant quelle que soit la taille de notre environnement. Ceci est possible grâce à la **subjectivité** de nos agents qui place chaque agent au centre de son repère d'évolution. Nous l'avons traduite entre autres par l'utilisation d'états agrégés, et le respect d'autonomie de chaque agent. La notion d'**empathie** se traduit, elle, par la capacité que chaque agent a à se mettre à la place de son "frère" et à prévoir le comportement d'autrui afin d'en améliorer son comportement (sorte de méta-raisonnement). Ainsi, nous avons exhibé un algorithme de résolution sur des populations d'agents homogènes et hétérogènes. Ma collaboration avec Bruno Scherrer a permis de renforcer l'évaluation et la modélisation théorique du modèle (théorème de convergence vers un point fixe de notre algorithme de "co-évolution", expérimentation logicielle).

A ce jour, nous avons montré que notre modèle constituait une bonne heuristique pour la résolution de problèmes de la catégorie des DEC-POMDPs à condition de garder nos hypothèses (restrictives) sur les capacités de nos agents (nos agents n'ont pas de mémoire) et sur la fonction de récompense globale qui peut être divisée en fonctions de récompense locales pour chaque agent.

## 5.6 Apprentissage par renforcement de modèles décisionnels de Markov pour la résolution coopérative de problèmes

**Participants :** Olivier Buffet, Alain Dutech, François Charpillet

L'approche multi-agents pour la résolution de problèmes présente un certain nombre de caractéristiques intéressantes telles que robustesse, modularité, etc. Mais elle introduit aussi une difficulté au niveau de la conception du système multi-agents, c'est à dire des agents eux-mêmes. Il s'agit en effet que de l'interaction d'un groupe d'agents apparaisse un comportement répondant à une certaine attente, problème aujourd'hui loin d'être résolu. Peu de théorie a été développée dans ce domaine des phénomènes émergents, ce qui laisse sans outils dédiés à la conception d'agents coopérants.

Pour pallier cette difficulté, nous nous intéressons à une méthode de conception par apprentissage de tels systèmes multi-agents. Chaque agent apprend seul le comportement à adopter, et ce par renforcement, recevant une récompense quand son but est atteint et une punition en cas d'événement à éviter. Comme les agents apprennent simultanément, les comportements s'adaptent les uns aux autres et s'accordent pour atteindre un comportement de groupe. Le formalisme utilisé est celui des Processus de Décision Markoviens, en utilisant les algorithmes d'apprentissage associés ( $Q$ -learning,  $TD(\lambda)$ , gradient...).

L'apprentissage n'est toutefois pas une solution simple et définitive au problème de la conception d'agents coopérants. Diverses difficultés apparaissent, telles que : la non-stationnarité des modèles en raison des perceptions locales et de la présence d'autres agents, le problème de l'attribution du mérite<sup>1</sup> rendu plus complexe par la présence de nombreux agents... Nous avons développé une première méthodologie pour pallier ces difficultés. Elle consiste en un apprentissage incrémental : difficulté croissante de la tâche, et nombre croissant d'agents dans l'environnement [4] [7].

Nos travaux en cours s'intéressent pour leur part à la complexité de l'environnement. En effet, dans un cadre multi-agents le nombre d'objets (agents compris) qu'un agent doit considérer est souvent grand, ce qui va compliquer l'apprentissage. Ainsi, au lieu d'apprendre directement le comportement à adopter dans le cas général, nous cherchons à reconstituer ce comportement à partir de comportements élémentaires appris indépendamment les uns des autres [5]. Mais d'autres approches utilisant communication ou stigmergie par exemple sont envisagées pour continuer à améliorer l'apprentissage dans les systèmes multi-agents.

d'interaction agent/environnement pour un système multi-agents

---

<sup>1</sup>Credit Assignment Problem.

## 5.7 Définition d'un modèle stochastique d'interaction agent/environnement pour un système multi-agents

**Participants :** Makram Bouzid, François Charpillet, Vincent Chevrier.

Nous nous sommes intéressés à la modélisation des interactions entre un agent et son environnement. Nous en avons proposé un modèle stochastique s'inspirant des modèles de décision Markoviens partiellement observables (POMDP). Cette proposition prend en compte la modélisation des incertitudes et des erreurs qui peuvent se produire au niveau des capteurs et des effecteurs des agents au moment de leurs interactions avec l'environnement, en vue d'une simulation multi-agent.

Au niveau de la perception, le modèle associe pour chaque observation qu'un agent peut obtenir de ses capteurs, l'ensemble des observations avec lesquelles il peut la confondre et leur probabilité respective (une distribution de probabilité sur ces observations). Il en est de même pour la distance séparant l'observation de l'agent qui est divisée en classes. Concernant les actions, le modèle associe à chaque type d'agent et à chaque action qu'il peut entreprendre, l'ensemble des transitions qui peuvent en résulter. Cet ensemble est muni d'une distribution de probabilité, déterminant ainsi la probabilité d'occurrence de chaque transition selon le type de l'agent et selon son voisinage (pour tenir compte de la dynamique du système). Toutes les distributions de probabilité sur les observations, les classes de distance et les transitions peuvent être déterminées par apprentissage sur le système réel à modéliser. Nous avons proposé une description formelle de ce modèle en étendant le modèle "Influence/Réaction" [FM96]. Ce modèle permet de reproduire les incertitudes et les erreurs des capteurs des agents, ainsi que celles de leurs effecteurs, au cours d'une simulation multi-agent. Ce modèle a été implanté de manière à pouvoir être exécuté sur machines parallèles et sert à la simulation d'un ensemble de robots, de type Nomad 200, se déplaçant dans un environnement réel (les couloirs du LORIA). Un ensemble d'interfaces graphiques permet la spécification des environnements et d'un certain nombre de paramètres caractéristiques des agents, et fournissant une visualisation des trajectoires, autorisant une évaluation qualitative visuelle, ainsi que quantitative (en générant des statistiques sur les exécutions). Nous avons mené quelques expériences bien spécifiques, afin de montrer l'importance de la modélisation des incertitudes et des erreurs des capteurs et des effecteurs des agents au niveau d'un simulateur multi-agent, et de confirmer ainsi nos hypothèses de départ. Nous avons également vérifié la facilité d'utilisation, une relative généralité et extensibilité de l'outil. Nous avons également mis en évidence les limites des modèles intuitifs de coordination multi-agents en présence d'incertitude et/ou d'erreur au niveau des capteurs et/ou des effecteurs, avec notamment une dégradation de la coordination lorsque les observations sont bruitées. Nous envisageons d'utiliser cet outil pour permettre la planification et l'apprentissage multi-agent. Enfin, dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire ENSI-LIA de Tunis, cette plate-forme est retenue pour tester et valider une architecture de contrôle d'un robot mobile.

---

[FM96] J. FERBER, J. MULLER, « Influences and Reaction: A Model of Situated multiagent Systems », *in* : *2nd International Conference on Multiagent Systems, Nara, Japan, 1996.*, M. Tokoro, editor, p. 72–79, 1996.

## 5.8 Modélisation stochastique de produits financiers

**Participants** : François Charpillet, Jean-Paul Haton, Laurent Piraud.

La bourse représente un domaine d'investigation privilégié pour la planification stochastique. Un investisseur cherche des stratégies financièrement gagnantes à long ou moyen terme, tout en minimisant les risques à court terme. En première analyse, on retrouve naturellement tous les ingrédients d'un POMDP : les nombreuses informations boursières dont on dispose fournissent des **observations**, les stratégies (*acheter, vendre, attendre*) représentent les **actions**, les gains et les pertes la **fonction de récompense**. Une étude américaine récente modélise déjà le cours d'une valeur boursière comme un HMM à observations continues, dont les états sont des "régimes", c'est-à-dire des périodes de temps où le comportement est globalement homogène [SW97].

D'autre part, l'efficacité d'un POMDP dépend largement de la justesse de ses paramètres : nous avons la chance de disposer d'actions et de récompenses particulièrement bien adaptées ; mais comme toujours, le choix des observations sera crucial. Ici, nous utilisons un vecteur d'observations dont les composantes sont les variations de cours des valeurs boursières à des échelles de temps différentes (jour, semaine, mois). C'est une approche analogue à l'analyse technique, qui se fonde sur l'évolution des cours des valeurs, par contraste avec l'analyse fondamentale, qui considère les informations économiques et financières des sociétés cotées et de leur environnement.

Les premières études théoriques considéraient connus au départ les paramètres du POMDP. Dans un problème réel, il faut les apprendre à partir des enchaînements d'observations réelles dans le temps ; cet apprentissage par *Q-learning* présente l'avantage de fabriquer les états de telle sorte que l'hypothèse de Markov, qui est une approximation bien commode, soit la plus proche de la réalité. Dans notre cas, nous tirons en plus parti du fait que les actions n'ont aucune influence sur les transitions entre états pour développer un **HMM-POMDP** : un HMM simplifié représentant la valeur boursière, à la structure pré-déterminée, et sur lequel on plaque les actions pour obtenir un POMDP, ce qui simplifie l'apprentissage.

Ce processus d'apprentissage est inspiré des travaux d'Andrew McCallum [McC] et d'Alain Dutech [Dut99]. Il vise à distinguer parmi les composantes des observations celles qui ont un sens statistique par rapport aux différentes contraintes décidées par un expert humain : structure, objectif de gain et/ou de risque, nombre et durée des observations... L'accent est mis sur la sélection des "bonnes" informations, par conditionnement, ce qui permet de se satisfaire d'une stratégie éventuellement sub-optimale, avec l'idée de gagner en robustesse et en souplesse.

La *pratique des probabilités* garde cet aspect artisanal, qui consiste au bout du compte

---

[SW97] S. SHI, A. S. WEIGEND, « Taking Time Seriously : Hidden Markov Experts Applied to Financial Engineering », in : *Proceedings of the IEEE/IAFE CIEr'97, New York*, p. 244–252, March 1997.

[McC] A. K. MCCALLUM, *Reinforcement Learning with Selective Perception and Hidden State*, thèse de doctorat.

[Dut99] A. DUTECH, *Apprentissage d'environnement : approches cognitives et comportementales*, thèse de doctorat, 1999.

à concilier la découverte des “événements” qui donneront les “meilleures” probabilités avec la simplicité d’un modèle fiable. A coté d’un formalisme mathématique universel (Kolmogorov), c’est cet aspect humain qui a donné lieu aux débats philosophiques entre probabilités objectives et subjectives (De Finetti), au milieu desquelles trouvent leur place les principes Bayesiens que nous utilisons largement chez MAIA.

## 5.9 Résolution de problèmes avec limitation de ressources

**Participant** : François Charpillet.

La capacité à respecter des échéances (qui ne sont pas forcément connues a priori) est une propriété importante d’un système temps réel. Cet objectif se heurte à des difficultés spécifiques lorsque le système est composé d’agents intelligents. Parmi celles-ci, à cause du caractère non déterministe des techniques généralement employées en IA, l’estimation du temps de réponse d’un traitement dans le pire cas peut être très éloignée du cas moyen. Les techniques d’ordonnancement habituelles conduiraient alors à une forte sous-utilisation des ressources de calcul. Face à cette situation deux solutions peuvent être envisagées : chercher des techniques de représentation et d’exploitation des connaissances déterministes ou chercher des techniques qui permettent de borner des traitements par nature indéterministes.

Nous nous focalisons plutôt sur le second type de solution notamment dans la conception, la modélisation et la conduite d’algorithmes « anytime ». Nous entendons par algorithme « anytime » tout algorithme pouvant fournir une réponse à tout instant. Bien entendu, la qualité des résultats fournis augmente avec le temps alloué à l’algorithme. Grâce à un compromis entre le temps de réponse d’un traitement (ou la quantité de ressources consommées) et la qualité des résultats produits, nous sommes alors capables d’optimiser la résolution d’un problème donné en fonction des contraintes. Le meilleur traitement recherché est celui qui maximise l’utilité des résultats produits vis-à-vis des objectifs de l’application. L’utilité est une mesure des performances d’un algorithme en terme de la qualité des résultats produits, du coût des ressources consommées et de l’instant à partir duquel le résultat est disponible.

L’an passé, nous nous sommes intéressés à la construction de systèmes interruptibles temps réel par utilisation d’algorithmes par contrats. Un algorithme par contrat est un algorithme qui permet d’adapter la qualité des résultats qu’il fournit en fonction du temps qui peut lui être alloué. En revanche, un algorithme par contrat n’est pas interruptible. Nous avons montré comment on peut construire la séquence optimale d’algorithmes par contrat pour créer un système interruptible dans deux cas : lorsque la date limite d’exécution est connue par une distribution de probabilité, et lorsque la date limite d’exécution est inconnue.

## 5.10 Conception de services multi-média adaptatifs

**Participants** : Anne Boyer, Romaric Charton, François Charpillet, Jean Paul Haton

Faciliter la conception de nouveaux services interactifs multimédia par l’utilisation des

techniques d'intelligence artificielle a pour objectif de rendre ces services adaptatifs aux aléas de l'environnement multimédia dans lequel ils se déroulent, tout en prenant en compte les utilisateurs (leurs habitudes, leurs préférences...) et plus généralement les ressources utilisées (leur disponibilité, leur coût...).

Notre approche consiste à définir des agents dont le comportement produit un service robuste en les amenant à anticiper les problèmes pouvant survenir au cours du déroulement avec des fonctions de diagnostic et à préparer des actions de réparation appropriées. De plus, nous modélisons les utilisateurs du système au travers de profils qui seront exploités par les services afin que ceux-ci répondent à leurs besoins.

Nous considérons les agents humains au même titre que les agents artificiels et nous cherchons à interpréter leur comportement par des diagnostics, puis nous planifions un chemin susceptible de les amener dans un état souhaité. Un de nos buts est de passer d'une approche descendante à une approche ascendante pour la conception et le déroulement des services. Par cette voie, nous cherchons également à réduire la complexité qu'implique la gestion d'un service "monolithique" en le décomposant. Nous nous retrouvons également face à un certain nombre de problèmes, tels que l'adaptation, le diagnostic ou l'anticipation, qui représentent encore des défis de taille pour l'intelligence artificielle. Le système à agents a la capacité de prendre des initiatives pour fournir le meilleur service, en fonction des besoins et des ressources disponibles, tout en restant dans un cadre et avec des stratégies bien définies.

Pour concevoir le comportement des agents, nous avons étudié une approche par planification. En effet, nous souhaitons que les agents puissent fournir des services composés, presque dynamiquement, à partir de micro-comportements puisés dans une bibliothèque d'opérateurs permettant d'agir sur les média. Cette planification devra respecter des contraintes de différentes natures, depuis la sécurité et la confidentialité, aux contraintes de ressources temporelles et matérielles. Nous avons donc commencé à construire des squelettes de service suffisamment souples et génériques. Lors du déroulement, le squelette du service est utilisé pour fournir le service réel qui s'adaptent aux ressources et aux utilisateurs.

L'utilisation des agents intelligents aura un impact important sur la façon de concevoir les applications et sur leur réactivité. En effet, on souhaite passer d'une construction figée de comportements à la description de micro-comportements modulaires. Pour le concepteur d'applications, cela offrira l'avantage de ne plus avoir à gérer toutes les exceptions possibles. A plus long terme, il s'agit de rassembler les ingrédients de la communication multimédia interactive, ainsi que la connaissance requise pour les utiliser et de permettre au système à agents de créer un service de façon ascendante, par une combinaison des capacités de chacun.

Du point de vue de la planification, bien qu'il existe bon nombre d'outils, beaucoup sont limités par des hypothèses fortes qui nécessitent que l'agent soit seul à contrôler son environnement ou qu'il ait un but bien défini et fixe dans le temps. Ainsi, notre souhait de prendre en compte des événements imprévus nous amène à utiliser des approches conditionnelles, réactives ou probabilistes, qui relèvent encore du domaine de la recherche.

## 5.11 Simulation de phénomènes biologiques

**Participants :** Christine Bourjot, Iadine Chadès, François Charpillet, Vincent Chevrier, Vincent Thomas.

L'approche multi-agents dans le cadre de la simulation permet de décrire une société, son environnement et leur évolution en se fondant sur une description locale des comportements des agents et des objets intervenant dans le monde. La modélisation sous forme de systèmes multi-agents permet de mettre en relation des causes et des effets définis à des niveaux différents (local/global) ; c'est donc un outil de modélisation bien adapté pour les biologistes et les éthologues. En retour, les phénomènes biologiques sont une source d'inspiration pour élaborer des algorithmes de résolution collective de problèmes. Ce travail avait démarré dans le cadre d'un projet GIS sciences de la cognition et se poursuit. Les phénomènes simulés ont tout d'abord concerné les araignées solitaires ou sociales : construction de toiles, synchronisation et coordination [6] lors de la prédation, transport collectif de proies ; puis, cette année, les rats : différenciation sociale.

Nos travaux les plus aboutis concernent la construction de toiles, ils ont donné lieu au développement d'un modèle multi-agents et à la réalisation d'un simulateur validé par les biologistes. Ce modèle reposait sur une modélisation individuelle stochastique (l'agent choisit aléatoirement son déplacement) et la coordination entre les individus s'effectuait par un mécanisme stigmergique par le biais de l'attraction de la soie (la présence de soie modifie la probabilité qu'a l'agent de se déplacer le long d'un fil). Ce modèle a été validé d'un point de vue biologique, nous avons montré que la qualité du résultat des simulations dépendait du facteur d'attraction pour la soie : ce dernier détermine la finitude de la toile, sa densité en soie et son unicité (juxtaposition de toiles individuelles). Ce modèle a permis également aux biologistes de formuler de nouvelles hypothèses originales. Nous avons étendu ce modèle en introduisant un item comportemental de répulsion entre individus et avons démontré expérimentalement l'impossibilité d'aboutir ainsi à la construction de toile commune.

Le développement de différentes applications pour la simulation de phénomènes biologiques nous a conduit à développer l'idée de laboratoire virtuel : l'approche multi-agent fournit aux biologistes un ensemble de primitives leur permettant de modéliser un phénomène selon différentes hypothèses et d'en valider/invalider le bien fondé ainsi qu'une manière de modéliser les différentes hypothèses. L'un des avantages de cette approche, même si elle ne dispense pas d'expérimenter sur le vivant, est la maîtrise des conditions initiales et la possibilité de modéliser des situations qui n'existent pas dans le monde réel (par exemple, un item comportemental de répulsion chez des araignées sociales, ou la tolérance chez les araignées solitaires) [2]. C'est dans ce cadre que nous avons entrepris la modélisation d'un phénomène de différenciation sociale chez les rats en collaboration avec l'équipe du Prof. Desor (UHP Nancy 1).

En collaboration avec Samuel Venner, doctorant en biologie du comportement, la simulation du comportement d'une araignée orbitèle a été réalisée à l'aide d'une modélisation sous forme d'un Processus de Décision Markovien dans un environnement incertain réel. L'intérêt du

modèle d'un point de vue biologique est la mise en évidence de règles de construction des toiles successives, permettant de maximiser le succès reproducteur des araignées femelles adultes.

Le modèle biologique de l'araignée étudiée est une source d'inspiration notamment en ce qui concerne la gestion des ressources. En effet, l'araignée doit maximiser son énergie interne afin d'atteindre son état de ponte, nous sommes donc dans une configuration de problèmes avec limitations de ressources.

Après une phase de modélisation et le succès des premières simulations, l'analyse des résultats a montré des lacunes du point de vue de l'interprétation biologique. Ceci s'explique par le choix de formaliser un phénomène biologique continu de manière discrète. Nous avons donc adapté notre premier modèle en y intégrant une notion probabiliste dans le choix des actions et des états buts, conformément aux hypothèses biologiques formulées par Samuel Venner.

Ce travail est maintenant pleinement exploitable. Il permet entre autres, de déterminer la stratégie optimale déterministe et probabiliste de construction de toiles, et d'étudier l'influence des différents paramètres (le coût de construction dépend du poids des araignées, du risque de prédation, de la richesse en proie du milieu).

### 5.12 Implantation d'un simulateur parallèle

**Participants :** Makram Bouzid, François Charpillet, Vincent Chevrier.

La modélisation des environnements présentés ci-dessus peut entraîner une complexité importante du modèle et un grand besoin en capacité de calcul pour la simulation. Ceci nous a amené à une implantation parallèle du simulateur, tout en profitant du parallélisme intrinsèque des SMA. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'action "systèmes multi-agents parallèles du Centre Charles Hermite" ; et a été mené en collaboration avec Stéphane Vialle (Supélec-Metz). Nous proposons aussi un modèle de simulation parallèle basé sur la répartition des conflits survenant entre les agents, et sur un équilibrage dynamique de charge entre les processeurs, s'appuyant sur un mécanisme de double work-pools.

L'implantation de notre simulateur a été réalisée sur la machine SGI-Origin 2000 du CCH, utilisant la bibliothèque ParCeL-3 développée à Supélec. Un portage sur une machine quadriprocesseurs de Supélec (SGI-VWS 540) a été réalisé et des résultats équivalents jusqu'à 4 processeurs ont été retrouvés. Ce portage offre ainsi la possibilité d'utiliser notre simulateur sur des plates-formes peu coûteuses.

multi-agents réactif

### 5.13 Résolution de problème par système multi-agents réactif

**Participants :** Christine Bourjot, Vincent Chevrier, Vincent Thomas.

Cette année nous avons travaillé à la transposition du modèle de construction collective de toiles pour effectuer une résolution collective de problème. Nous avons adapté notre système de construction à la détection de régions homogènes dans des images à niveaux de gris.

L'adaptation a été réalisée en minimisant les modifications apportées au modèle de simulation. Les modifications [1] ont consisté à introduire une probabilité contextuelle de pose de fil de soie (action qui était réalisée à probabilité constante jusqu'alors) et à ajouter un mécanisme inspiré du phénomène de retour au nid afin de restreindre la construction de toile à une région. Nous avons expérimentalement validé cette approche en l'appliquant à différentes images réelles ou provenant d'éditeurs, les résultats obtenus nous semblent encourageants. Les limites actuelles concernent la difficulté à déterminer les paramètres de la résolution qui ont une incidence directe sur la qualité des régions détectées. Ces limites empêchent la comparaison avec d'autres méthodes d'extraction de régions. Nous travaillons actuellement à lever cette difficulté en nous inspirant de mécanismes de spécialisation présents en biologie du comportement.

système multi-agents : application à la robotique mobile

#### 5.14 Fusion multi-capteurs dans un système multi-agents : application à la robotique mobile

**Participants :** François Charpillet, Vincent Chevrier, Franck Gechter.

La fusion de données peut être définie, de façon générale, comme étant l'intégration de données provenant de sources multiples (capteurs, modules de décision, modules d'interprétation,...) dans le but de construire une interprétation pertinente et spécifique sur une entité, une activité ou un événement. Cette interprétation doit en particulier prendre en compte les incohérences entre les différentes sources et fournir un résultat plus précis et plus riche par rapport à ce que l'on pourrait obtenir en exploitant séparément les informations initiales.

Parmi les techniques de fusion envisageables, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'utilisation des algorithmes à base d'agents. L'objectif de ce travail est de développer un modèle de fusion utilisant les systèmes multi-agents et pouvant s'adapter à un large panel d'applications de types différents (robotique mobile avec un ou plusieurs robots, domotique,...). Celui-ci doit pouvoir s'adapter de façon efficace aux variations de l'environnement tels que la défaillance d'un ou de plusieurs capteurs du système (panne définitive ou altération du fonctionnement) ou la modification des ressources matérielles (Ajout / Suppression de capteurs ou d'actionneurs par exemple). Cet algorithme de fusion doit, en outre, être robuste aux variations de qualité et de fiabilité des informations fournies par les capteurs du système tout en conservant des performances acceptables en comparaison avec les algorithmes classiques.

Nous nous sommes focalisés sur les applications de localisation et de suivi d'entités mobiles dans un environnement partiellement connu. Les entités mobiles peuvent être soit des robots possédant des capacités perceptives propres, on parle dans ce cas d'auto-localisation, soit des individus évoluant dans l'environnement de test et ne pouvant être observés que via des capteurs, fixes ou mobiles, liés à l'environnement physique. La première étape de ce travail a consisté en l'élaboration de primitives d'information utilisant plusieurs capteurs et permettant d'alimenter le dispositif de fusion. En particulier nous avons développé des algorithmes de localisation de robot mobile utilisant à la fois l'information fournie par des capteurs imageurs et celle fournie par un module de localisation probabiliste utilisant le formalisme des

POMDP ([10], [9] et [11]). D'autre part, nous avons également réalisé un dispositif de localisation d'objets mobiles dans un environnement d'intérieur en utilisant une caméra unique. Dans une seconde étape, nous avons développé une architecture de fusion utilisant le formalisme des Systèmes Multi-Agents qui permet d'effectuer la localisation et le suivi de pistes multiples dans un environnement partiellement connu. Cette architecture est en cours de développement et de validation.

(capteurs, modules de décision, modules d'interprétation...) dans le but de construire une interprétation pertinente et spécifique sur une entité, une activité ou un événement. Cette interprétation doit en particulier prendre en compte les incohérences entre les différentes sources et fournir un résultat plus précis et plus riche par rapport à ce que l'on pourrait obtenir en exploitant séparément les informations initiales. Parmi les techniques de fusion envisageables, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'utilisation des algorithmes à base d'agents, ceux-ci étant les plus pertinents compte tenu des propriétés que nous désirons mettre en évidence pour notre algorithme de fusion. L'objectif de ce travail est de développer un modèle de fusion utilisant les systèmes multi-agents et pouvant s'adapter à un large panel d'applications de types différents (robotique mobile avec un ou plusieurs robots, domotique,...). Celui-ci doit pouvoir s'adapter de façon efficace aux variations de l'environnement tels que la défaillance d'un ou de plusieurs capteurs du système (panne définitive ou altération du fonctionnement) ou la modification des ressources matérielles. Cet algorithme de fusion doit, en outre, être robuste aux variations de qualité et de fiabilité des informations fournies par les capteurs du système tout en conservant des performances acceptables en comparaison avec les algorithmes classiques. Nous nous sommes focalisés sur les applications de localisation et de suivi d'entités mobiles dans un environnement partiellement connu. Les entités mobiles peuvent être soit des robots possédant des capacités perceptives propres ([10], [9] et [11]), on parle dans ce cas d'auto-localisation, soit des individus évoluant dans l'environnement de test et ne pouvant être observés que via des capteurs, fixes ou mobiles, liés à l'environnement physique.

## 5.15 Réseaux bayésiens et fusion de données

### Fusion de données avec des réseaux bayésiens

**Participants :** David Bellot, Anne Boyer, François Charpillet.

Le travail s'articule autour d'une étude théorique de la fusion de données et d'informations dans le cadre de systèmes dynamiques visant à l'analyse de signaux hétérogènes pour une éventuelle prise de décision et/ou une modélisation continue d'un environnement. Modéliser en continu un environnement est le fait d'essayer de donner une représentation utile en terme d'application d'un environnement particulier, en l'observant au cours du temps. On essaie de raffiner ou de compléter la connaissance que l'on a sur cet environnement en fusionnant les diverses observations en informations obtenues au cours du temps. Pour cela, nous abordons le problème par l'angle de la fusion de données, qui est un processus visant l'association, la combinaison et l'intégration de données issues de sources de données multiples et spatiales et/ou temporelles. Le but est de fournir une nouvelle source de données de meilleure qualité, par rapport à l'application visée.

Comme cadre opérationnel pour la fusion de données, nous avons choisi d'utiliser des réseaux bayésiens dynamiques, qui permettent d'une part la prise en compte de connaissances incertaines et d'autre part la modélisation de processus markoviens d'ordre  $n$ . Cette approche permet une fusion de données hétérogènes, incertaines, bruitées et temporelles tout en offrant une bonne et intuitive capacité de modélisation de la connaissance sur un domaine précis. Nous appliquons ce type de modèle à divers problèmes de suivi et de monitoring de patients dans le cadre de la télémédecine. Cette approche nous ouvre les portes d'une meilleure modélisation de phénomènes temporels et stochastiques.

A travers ce type d'approche, nous cherchons à mieux formaliser le domaine de la fusion de données et à proposer une implémentation possible grâce aux réseaux bayésiens dynamiques. Une première approche d'un cadre général de la fusion de données a été proposée, et le travail s'oriente maintenant vers une spécialisation du domaine de la fusion aux problèmes qui nous intéressent : modélisation et régulation d'état et de comportement d'environnements partiellement observables (dans notre cas, il s'agit de la modélisation de l'état physiologique d'un patient souffrant d'une pathologie lourde et chronique).

Ce travail a donné lieu à une deuxième implémentation du système Diatic de suivi des personnes dialysées à domicile avec des réseaux bayésiens dynamiques. Un moteur d'inférence dans les réseaux bayésiens a été développé dans l'équipe en C++. Le travail se poursuit sur une étude plus complète de ce modèle afin de mieux prendre en compte la notion d'évolution temporelle, de calculer l'efficacité de ce nouveau modèle en terme de gain en fusion de données, et de s'ouvrir à d'autres modèles où de multiples échelles de temps ou plusieurs niveaux d'abstraction seront pris en compte.

## 6 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

### 6.1 Collaboration avec la société de services multimédia MIC2

**Participants :** Romaric Charton, Anne Boyer, François Charpillet, Jean-Paul Haton.

La société Mic2 est une PME qui propose des solutions multimédia interactives utilisant le réseau Internet, le téléphone, le fax, e-mail, etc... Elles visent à mettre l'information à portée de tous en permettant par exemple de naviguer à la voix sur le web, d'écouter les e-mails et d'y répondre au téléphone...

La collaboration, orientée initialement vers le filtrage d'informations à base de modèles utilisateurs, s'est étendue à une évolution plus générale des services proposés. Elle vise notamment à définir une méthodologie de conception qui rende les services de communication capables de s'adapter à un bon nombre de cas d'exception. Elle garde toujours son le cadre initial qui consiste à comprendre les besoins formulés de façon incomplète ou incertaine par les utilisateurs et à y répondre le mieux possible avec les moyens disponibles.

La prise en compte des différents acteurs du service a conduit les travaux vers une étude

de l'interaction entre plusieurs agents hétérogènes. Les agents considérés sont effectivement très différents les uns des autres : utilisateurs humains, téléopérateurs virtuels, experts... La définition d'une typologie des agents a mis en évidence deux grandes classes d'agents : d'une part les agents sur lesquels le contrôle est possible et d'autre part, ceux pour lesquels on ne peut qu'observer les actions.

Afin de permettre une abstraction de l'environnement des services, une architecture à quatre niveaux a été définie :

- un niveau données, constitué de canaux média où se déroulent les interactions concrètes ;
- un niveau fonctionnel, qui fournit des interfaces de communication depuis et vers les canaux média ;
- un niveau agent, dont les entités utilisent le niveau fonctionnel pour remplir leur rôle dans le service ;
- un niveau de service, théâtre des interactions abstraites entre les agents selon le rôle de ces derniers.

La réalisation de services adaptatifs nécessite à la fois d'interpréter et de produire des comportements, de sorte à amener le service dans un état de satisfaction global. En effet, le principe consiste à reconnaître, dans le cadre du service, les intentions des agents non contrôlés à partir de l'interaction concrète que l'on a avec eux. Ensuite, le comportement des agents contrôlés est planifié pour qu'il s'adapte à celui des autres.

Afin de tenir compte des cas d'exception et de pouvoir éviter les problèmes pouvant survenir, il faut tout d'abord observer les traces de l'interaction pour en déduire un modèle de normalité. Avec ce modèle, il est alors possible de dire, si une trace est anormale et d'identifier les risques potentiels. Une fois le diagnostic établi, il est alors possible d'apporter des corrections sur le comportement des agents contrôlés et tenter de revenir à un état global stable de l'interaction.

Des études sur l'interaction entre agents hétérogènes ont été également menées dans le domaine de la télémédecine pour le système Diatélic et celui de l'éducation à distance [3].

## 7 Actions régionales, nationales et internationales

### 7.1 Actions régionales

#### 7.1.1 Anesthésie

COLLABORATION AVEC LE SERVICE D'ANESTHÉSIE-RÉANIMATION DU CHRU DE NANCY,  
PR. MEISTELMANN

**Participants** : François Charpillet, Dominique Fohr, Jean-Paul Haton.

L'anesthésie est une activité qui peut tout du moins partiellement s'automatiser. Il existe déjà d'ailleurs des pousse-seringues automatiques qui injectent en continu des doses de produits anesthésiants. Un des problèmes majeurs est d'évaluer la profondeur de l'anesthésie (par

monitorage EEG par exemple) et de surveiller les différents paramètres physiologiques du patient. L'aspect temps réel de ce type d'application est évident, que ce soit pour automatiser complètement ou partiellement l'acte anesthésique. Ce projet a débuté en mars 97. Cette année nous avons réalisé un logiciel qui permet l'acquisition, la visualisation et l'édition des signaux physiologiques d'un patient fournis par les appareils installés en salle d'opération, y compris un indice d'analyse bi-spectrale sur lequel se fonde une bonne partie du raisonnement du médecin anesthésiste. Cet outil constitue la base du travail qui sera mené dans le cadre du présent projet.

### 7.1.2 Le projet Diatélic

**Participants :** François Charpillet, Anne Boyer, David Bellot.

Ce projet consiste à suivre quotidiennement des personnes souffrant d'insuffisance rénale, et devant subir une dialyse à domicile ou en hôpital. Nous travaillons sur la troisième version du système expert. Chaque jour, les patients mesurent leur poids, leur tension et leur température. Ils notent aussi le type de poche de dialysat utilisé. Ces informations sont recueillies par un serveur. Alors le système expert analyse, pour chaque patient, ces informations, et, au vue des données des jours précédents, fournit un diagnostic sur l'état d'hydratation du patient. En cas de problème, il génère une alarme et prévient le patient et le médecin. Ce dernier peut alors envisager une action thérapeutique, afin de rétablir l'état normal du patient.

## 7.2 Actions nationales

### 7.2.1 Le projet TIISSAD.

**Participants :** François Charpillet, Anne Boyer, David Bellot, Jean-Pierre Thomesse(responsable du projet Tissad), Laurent Romary.

**Partenaires :** ALTIR, CHU Grenoble, INSERM U121, INSERM U 518, LAAS Toulouse, LGPSP UJF Grenoble, LISI INSA Lyon, LORIA , TIMC-IMAG UMR 5525 (des partenaires industriels ABYSYS et Gambro ont rejoint le projet pour respectivement étudier un terminal côté Patient, et l'extension de Diatélic à la dialyse péritonéale automatisée).

Le projet TIISSAD (Technologies de l'Information Intégrées aux Services de Soins à Domicile) est né pour répondre à un appel à projets du MENRT. Il est financé à hauteur de 1.5MF pour 1999. TIISSAD s'est fixé des objectifs à court et à moyen ou long termes qui peuvent être exprimés en termes médicaux et en termes des technologies de l'information. A court terme, il s'agit de développer des systèmes de télésurveillance à domicile des personnes âgées et de patients souffrant de l'une des deux pathologies chroniques suivantes : les insuffisants rénaux et les insuffisants cardiaques. Tout système de télésurveillance ou télésécurité se compose des sous-systèmes suivants : un sous-système d'acquisition des données, un sous-système de transport d'information mettant en communication différents partenaires aux rôles et droits différents, de sous-systèmes d'interface homme machine adaptés aux partenaires, un sous-système d'aide à la décision, un sous-système de stockage des données. Les travaux menés dans le projet TIISSAD relèvent de ces sous-systèmes à l'exclusion des sous-systèmes de transport et de stockage

des données, pour lesquels des solutions du commerce seront utilisées. Des recherches sur les méthodes et outils d'intégration seront nécessaires et devront conduire à définir des règles "normatives" sur la construction de tels systèmes. En parallèle, des méthodes d'évaluations médicale et socio-économique seront développées. Mais aussi il s'agira de profiter de ces expériences pour développer les approches et les prototypes d'outils génériques réutilisables dans d'autres domaines. A moyen et long termes, les recherches ont comme objectif de développer de nouvelles solutions relevant des thématiques précédentes, acquisition de données, intelligence artificielle et aide à la décision, interface homme-machine, méthodes d'intégration et méthodes d'évaluation.

### 7.3 Relations internationales

#### 7.3.1 Le projet ELIN

**Participants :** Anne Boyer, François Charpillet, Romaric Charton, Vincent Chevrier, Alain Dutech, Régis Lhoste.

ELIN signifie "Electronic Newspaper Initiative". Ce projet est un projet IST européen dans lequel l'équipe MAIA sont impliqués. L'objectif du projet est la réalisation d'une boîte à outils permettant la diffusion d'informations à la demande. ELIN se veut être issu à la fois de la télévision, du web et du monde du "sans fil". Il s'agit de diffuser de l'information en prenant en compte les nouveaux médias mobiles (téléphones portables, PDA, écrans souples...) et ceux de la maison interactive (Multimédia Home Platform), les nouveaux protocoles et formats (comme le Mpeg 4 pour les scènes multimédia interactives, le Mpeg 7 pour la description de l'information, l'UMTS pour les portables et les assistants personnels, le DVB pour le codage de l'information, l'ADSL, la 3D...). Les informations sont multi-diffusées en flux depuis des serveurs sous diverses formes (audio, vidéo, texte, 3D ...). Des agents intelligents permettant notamment de filtrer, d'indexer et de personnaliser l'information pour les utilisateurs en fonction de leur profil. Les utilisateurs qui sont soit chez eux, soit en déplacement accéderont à l'information au travers d'interfaces interactives adaptées à leur système. Ce projet lance de nombreux défis comme la maîtrise de la connectivité et de l'interaction, l'adaptation aux utilisateurs et à leur interface d'accès, le stockage de l'information sur les serveurs. L'implication de MAIA se situe au niveau de la création d'agent permettant la personnalisation de l'information à un utilisateur particulier.

L'approche MAIA Maia intervient au sein de la Smart Agent Research Team dans la R&D est la conception des agents intelligents (smart agents). Ces agents auront en charge le filtrage des informations pertinentes. L'objectif est de prédire les intérêts de l'utilisateur et les actions qui en découlent en se basant sur les anciennes sessions. Nous désirons donc observer le comportement de l'utilisateur afin de lui proposer des informations adaptées à ses goûts mais aussi au terminal de lecture. Il nous faut ainsi déterminer quel type d'information ce terminal est capable de diffuser. (peut-on diffuser de la 3D sur un téléphone portable?). Notre première tâche consiste à observer les actions de l'utilisateur. Ces actions vont nous permettre de constituer un modèle de ce visiteur, un profil. Ce profil sera ensuite affiné en fonctions des résultats obtenus et des actions futures du client. C'est à partir de ce profil que nous proposerons

des informations adaptées à l'utilisateur. Nous déterminerons également une base de détails concernant les différents terminaux disponibles; il s'agit d'une sorte de profil matériel. Les informations diffusables pour un utilisateur donné seront déterminées en fonction du lien entre son profil et les profils des terminaux qu'il utilise. D'un point de vue plutôt technique, l'un des standards avec lequel nous aurons le plus de liens est le Mpeg 7. Il s'agit d'un moyen de formuler de la méta-information sur le multimédia, c'est une sorte 'indexation de haut niveau. Il serait notamment utilisé par les agents pour retrouver le contenu à fournir et pour le "pousser" vers l'utilisateur. La description Mpeg 7 d'un document contiendra entre autres des informations sur l'origine du document (sa production), sur son contenu à différents niveaux de description, mais aussi sur sa forme (pour le stockage et le transfert) et sur les interactions que l'on peut avoir avec lui (comment le manipuler). Ainsi, l'agent pourrait retrouver des documents en mettant en correspondance les données de requête avec la description Mpeg 7.

### 7.3.2 Projet EUREKA KVM

**Participants :** François Charpillet, Anne Boyer, Vincent Chevrier.

Le projet KVM (Knowledge Valorisation Matrix) est un projet européen EURECA en cours de labellisation qui regroupe les sociétés Kappa Ice (Paris) et Radical Technologies (London) ainsi que l'INRIA au travers de 3 projets ou avant-projet du LORIA (MAIA, ECOO et Orpailleur). Le thème du projet concerne valorisation de la connaissance au travers d'un outil reposant sur une cartographie particulière des connaissances d'une entreprise. Pour cela, KVM intègre un guide d'analyse, un outil de cartographie des connaissances associé à une méthodologie de représentation selon trois référentiels et un support au diagnostic stratégique et à l'aide à décision. L'apport de MAIA se situe à ce projet se situe principalement autour de l'exploitation stratégique des connaissances et concerne les techniques d'agents intelligents permettant l'aide à la décision (planification sous contraintes, simulation de scénarios représentation stratégique, diagnostic stratégique). Ce projet a démarré à l'automne 2001.

## 7.4 Relations bilatérales internationales

### 7.4.1 Projet avec Umass

**Participants :** François Charpillet, Anne Boyer.

Un projet NSF-INRIA avec l'équipe « *Resource Bounded Reasoning Research Group* » de l'université de Massachusetts a démarré en mars 1997, pour une durée de 3 ans. Un renouvellement pour une durée de deux ans vient d'être demandé et porte sur la problématique suivante :

Les chercheurs du domaine du raisonnement avec limitation de ressource ont dégagé un certain nombre de paradigmes comme les méthodes d'affinements successifs ou les méthodes d'approximations multiples. Toutes reposent sur un compromis entre le temps de réponse d'un traitement et sa qualité. L'équipe « *Resource Bounded Reasoning* » dirigée par Shlomo Zilberstein et l'avant projet MAIA dirigée par F. Charpillet travaillent sur la construction, la composition et le contrôle d'algorithmes *anytime*.

### 7.4.2 Projet avec la NASA : « *self-Directed Cooperative Planetary Rovers* ».

**Participants** : François Charpillet, Anne Boyer.

Avec :

Prof. Shlomo Zilberstein, *University of Massachusetts*,  
 Prof. Victor Lesser, *University of Massachusetts*,  
 Prof. Eric Hansen, *Mississippi State University*,  
 Dr. Richard Washington, *NASA Ames Research Center*,  
 Dr. Abdel-illah Mouaddib CRIL (Lens).

Ce projet a pour objectif de développer une nouvelle approche de la planification et de la conduite de robots d'exploration planétaire dans le but d'améliorer leur fiabilité et leur efficacité. L'approche développée reposera sur l'utilisation de plusieurs robots et sur le développement de techniques de planification fondées sur la théorie de la décision.

### 7.5 Participation à des colloques, séminaires, invitations

- Participation à des jurys de thèses de doctorat (J.-P. Haton et F. Charpillet) ;
- On se reportera à la bibliographie pour la liste des conférences et *workshops* auxquels les membres du projet ont participé.

## 8 Bibliographie

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [1] C. BOURJOT, V. CHEVRIER, « D la simulation de construction collective à la détection de régions dans des images à niveaux de gris : l'inspiration des araignées sociales », *in* : *Journées Francophones sur l'IAD et les SMA, Montréal, Canada*, Hermès, Paris, 2001.
- [2] C. BOURJOT, V. CHEVRIER, « Multi-agent simulation in biology : application to social spiders case. », *in* : *Agent Based Simulation, Passau, Germany*, p. 18–23, avril 2001.
- [3] A. BOYER, F. CHARPILLET, R. CHARTON, « Reinforcing interaction between teachers and students in distance learning systems », *in* : *20th World Conference on Open Learning and Distance Education, Düsseldorf, Allemagne*, International Council for Open and Distance Education, avril 2001.
- [4] O. BUFFET, A. DUTECH, F. CHARPILLET, « Incremental reinforcement learning for designing multi-agent systems », *in* : *International Conference on Autonomous Agents, Agents-01, Montréal, Canada*, juin 2001.
- [5] O. BUFFET, A. DUTECH, « Looking for Scalable Agents », *in* : *European Workshop On Reinforcement Learning, EWRL-5, Utrecht, The Netherlands*, Marco Wiering, octobre 2001.
- [6] A. DURY, G. VAKANAS, C. BOURJOT, V. CHEVRIER, B. KRAFFT, « Multi-Agent Simulation to Test a Coordination Model of the Prey Capture in Social Spiders », *in* : *13th European Simulation Symposium, ESS01, Marseille, France*, p. 831–833, octobre 2001.
- [7] A. DUTECH, O. BUFFET, F. CHARPILLET, « Multi-Agent Systems by Incremental Gradient Reinforcement Learning. », *in* : *17th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-01, Seattle, WA, USA, 2*, p. 833–838, août 2001.

- [8] A. DUTECH, B. SCHERRER, « Learning to use contextual information for solving POMDP », *in : European Workshop on Reinforcement Learning, EWRL-5*, octobre 2001.
- [9] F. GECHTER, F. CHARPILLET, « Markov Based Localization Device for a Mobile Robot », *in : The 6th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space : A New Space Odyssey, i-SAIRAS 2001*, Montréal, Canada, juin 2001.
- [10] F. GECHTER, V. THOMAS, F. CHARPILLET, « Robot Localization by Stochastic Vision Based Device », *in : The 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, SCI 2001 - The 7th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis ISAS 2001*, Orlando, FL, USA, juillet 2001.
- [11] F. GECHTER, V. THOMAS, F. CHARPILLET, « Utilisation d'un module de vision stochastique pour localiser un robot mobile. », *in : Journées Nationales de la Recherche en Robotique, Hyères, France*, INRIA, octobre 2001.

### Rapports de recherche et publications internes

- [12] I. CHADÈS, B. SCHERRER, F. CHARPILLET, « A Heuristic Approach for Solving Decentralized-POMDP : Assessment on the Pursuit Problem », *Rapport de recherche*, mai 2001.