

Action MAIA

Machine Intelligente et Autonome

Nancy

THÈME 3A



*R*apport
d'Activité

2000

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Composition de l'équipe | 3 |
| 2 | Présentation et objectifs généraux | 4 |
| 3 | Fondements scientifiques | 5 |
| 3.0.1 | Méthodes de gestion de l'incertitude | 5 |
| 3.0.2 | Gestion des ressources limitées | 5 |
| 3.0.3 | Gestion de l'interaction et de l'organisation dans les systèmes multi-agents | 6 |
| 4 | Domaines d'applications | 7 |
| 4.0.1 | Conduite d'un robot mobile | 7 |
| 4.0.2 | Assistants intelligents pour la recherche d'information sur le Web | 7 |
| 4.0.3 | Assistants intelligents dans le domaine médical | 8 |
| 5 | Résultats nouveaux | 9 |
| 5.1 | Acquisition et mise en œuvre des compétences individuelles des agents | 9 |
| 5.1.1 | Assistants intelligents pour la recherche d'information | 9 |
| 5.1.2 | Planification sous incertitude | 10 |
| 5.1.3 | Modèles de décision partiellement observables, apprentissage par renforcement | 10 |
| 5.1.4 | Travaux autour de la planification de trajectoires | 11 |
| 5.1.5 | Modélisation stochastique de produits financiers | 12 |
| 5.1.6 | Résolution de problèmes avec limitation de ressources | 13 |
| 5.2 | Simulation d'environnements multi-agents | 14 |
| 5.2.1 | Définition d'un modèle stochastique d'interaction agent/environnement | 14 |
| 5.2.2 | Aspect parallélisme | 15 |
| 5.3 | Étude de l'interaction et de l'organisation dans les systèmes multi-agents | 15 |
| 5.3.1 | Modélisation des interactions | 15 |
| 5.3.2 | Apprentissage des interactions | 16 |
| 5.3.3 | Apprentissage et modèles continus d'environnement | 16 |
| 5.3.4 | Apprentissage et coopération | 17 |
| 5.4 | Application et réalisation de systèmes | 17 |
| 5.4.1 | Simulation de phénomènes biologiques | 17 |
| 5.4.2 | Résolution de problème par système multi-agents réactif | 19 |
| 5.4.3 | Fusion multi-capteurs dans un système multi-agents: application à la robotique mobile | 19 |
| 5.4.4 | Résolution distribuée de problèmes | 20 |
| 5.4.5 | Réseaux bayésiens et fusion de données | 21 |
| 6 | Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux) | 22 |
| 6.1 | Convention avec la société de services multimédia MIC2 | 22 |
| 6.2 | Convention avec Juxta | 23 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 7 | Actions régionales, nationales et internationales | 23 |
| 7.1 | Actions régionales | 23 |
| 7.1.1 | Anesthésie | 23 |
| 7.1.2 | Collaboration avec Supélec sur la robotique autonome | 24 |
| 7.1.3 | Le projet Diatélic | 24 |
| 7.1.4 | Le projet NanCyTour | 24 |
| 7.2 | Actions nationales | 26 |
| 7.2.1 | Le projet TIISSAD. | 26 |
| 7.3 | Action coopérative " résolution de problèmes avec limitation de ressources " | 27 |
| 7.4 | Relations bilatérales internationales | 27 |
| 7.4.1 | Projet avec Umass | 27 |
| 7.4.2 | Projet avec la NASA : « <i>self-Directed Cooperative Planetary Rovers</i> » | 28 |
| 8 | Diffusion de résultats | 29 |
| 8.1 | Animation de la communauté scientifique | 29 |
| 8.2 | Enseignement Universitaire | 29 |
| 8.3 | Participation à des colloques, séminaires, invitations | 29 |
| 9 | Bibliographie | 30 |

Mots clefs :

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

1 Composition de l'équipe

Responsable Scientifique

François Charpillat [Chargé de recherche, INRIA]

Assistante de projet

Martine Kuhlmann [CNRS]

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]

Marie-Christine Haton [Professeur, 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]

Chercheurs post-doctorants

Alain Dutech [ATER, Université H. Poincaré, Nancy 1]

Pierre Laroche [ATER, Ecole des Mines]

Chercheurs doctorants

David Bellot [bourse INRIA]

Makram Bouzid [bourse CCH]

Olivier Buffet [bourse MENRT]

Iadine Chadès [bourse INRIA]

Romarc Charton [bourse CIFRE MIC2]

Arnaud Dury [ATER U. Nancy 2]

Frank Gechter [bourse MENRT]

Laurent Jeanpierre [bourse MENRT]

Laurent Piraud [Université H. Poincaré, Nancy 1]

Bruno Scherrer [bourse INRIA]

Ingénieurs (Poste d'accueil)

Eric Lucchese [INRIA]

2 Présentation et objectifs généraux

Le projet de l'équipe MAIA s'inscrit dans le domaine de l'intelligence artificielle (I.A.) et vise à élaborer des modèles permettant de doter une machine de capacités perceptives et cognitives habituellement attribuées à l'intelligence. Ces modèles sont conçus selon deux approches complémentaires : soit en imitant les fonctions perceptives et cognitives d'entités biologiques, soit en élaborant des modèles qui, bien que n'ayant aucune réalité biologique, permettent de réaliser des tâches abstraites ou concrètes selon une démarche qui serait qualifiée de raisonnable par un être humain.

Dans ce contexte très général, notre objectif est de concevoir et de mettre en œuvre des modèles d'agents artificiels appelés aussi *assistants intelligents*. Ceux-ci sont destinés à apporter une aide à un ou plusieurs opérateurs humains dans la réalisation de tâches complexes. Un agent se définit comme une entité physique (un robot) ou logicielle (*softbot*) capable de percevoir localement son environnement ; capable d'interagir avec son environnement et/ou d'autres agents logiciels, physiques ou humains ; capable de satisfaire des objectifs individuels, notamment en ce qui concerne la gestion des ressources dont il dispose ; et qui possède des compétences propres qu'il peut mettre à la disposition des autres agents de sa propre initiative.

Un agent peut agir seul ou en groupe. Le recours à plusieurs agents est utile dans des applications physiquement distribuées sur plusieurs sites géographiques ou sur plusieurs acteurs dont la complémentarité est nécessaire pour réaliser une tâche qu'aucun des agents ne pourrait résoudre individuellement. Le recours à un groupe d'agents est également utile dans des applications complexes pour lesquelles une formulation multi-agents simplifie considérablement la représentation et la résolution des problèmes posés. C'est typiquement le cas dans la simulation de systèmes complexes.

Un groupe d'agents forme ce qu'on appelle un *système multi-agents*. L'activité d'un tel système est caractérisée par les compétences individuelles des agents (A), les lois de l'environnement virtuel ou réel dans lequel évoluent les agents (E), les modes d'interaction qui vont permettre la coordination des activités individuelles (I) et l'organisation qui régit les relations inter-individuelles (O). C'est l'acquisition et la mise en œuvre de ces quatre caractéristiques

(A, E, I, O) qui permettent de réaliser des applications multi-agents.

Les techniques d'acquisition et de mise en œuvre de ces caractéristiques nécessitent des compétences multiples que nous développons dans notre groupe. Parmi celles-ci, citons les domaines du traitement de l'incertitude, la gestion de ressources limitées et l'apprentissage. Les domaines d'applications auxquels nous nous intéressons, que ce soit la planification, l'ordonnancement, la navigation, la surveillance, l'interprétation de signaux, la fusion de données, la recherche d'information ou la simulation mettent en œuvre tantôt des agents isolés tantôt des systèmes multi-agents.

3 Fondements scientifiques

3.0.1 Méthodes de gestion de l'incertitude

Les agents que nous développons sont le plus généralement situés, c'est-à-dire qu'ils sont immergés dans leur environnement d'intervention. Une des difficultés majeures qu'a à surmonter un tel agent réside dans le traitement des incertitudes dans lesquelles il est plongé : incertitudes liées à l'imperfection des capteurs dont il est doté, incertitudes liées à la complexité des modes d'interaction avec son environnement, les autres agents ou l'utilisateur. Si nous prenons l'exemple du déplacement d'un robot mobile, la trajectoire suivie n'est pas toujours conforme à ce que le robot a planifié du fait, par exemple, du glissement des roues sur le sol, ou de la présence d'obstacles imprévus. Pour aborder cette notion d'incertitude les Modèles de Décision Markoviens, que ce soit dans un environnement complètement connu (MDP) ou partiellement observable (POMDP), fournissent un cadre théorique pour décider des actions à entreprendre lorsque leur effet est incertain. Leur domaine d'application est vaste (contrôle de processus, recherche opérationnelle, économie, interprétation de signaux, etc). Depuis le milieu des années 90, l'application de ces modèles à la conception d'agents intelligents immergés dans un environnement dynamique s'est imposé dans la communauté de recherche en IA. Nous participons à ce mouvement à la fois pour résoudre des problèmes de planification, de conduite, de surveillance et de recommandation d'actions, de coordination de systèmes multi-agents. Si cette approche est séduisante sur le plan théorique, son implantation informatique pose encore aujourd'hui de nombreux problèmes, notamment en ce qui concerne les performances en temps des algorithmes sous-jacents et le problème de l'apprentissage des modèles. Pour pallier cette difficulté, nous explorons actuellement diverses voies : approximations, techniques *anytime*, utilisation de plans sous-optimaux mais néanmoins satisfaisants, apprentissage supervisé, apprentissage par renforcement, etc.

3.0.2 Gestion des ressources limitées

Pour être autonomes et flexibles, les agents que nous concevons doivent être capables de raisonner en tenant compte des moyens nécessaires pour accomplir une tâche, des ressources disponibles et des contraintes imposées par l'environnement (résolution de problèmes avec li-

mitation de ressources). Il s'agit en effet d'une caractéristique essentielle à la fois pour assurer la survie d'un système autonome mais également pour concevoir des systèmes robustes dotés de capacités d'adaptation face à un environnement en constante évolution. Ce point de vue nous conduit naturellement à étudier la notion de comportement rationnel limité dans le sens défini par Simon¹, c'est-à-dire la capacité d'un agent à déterminer l'action qui maximise son espérance de gain en terme d'utilité par rapport à ses objectifs. On parle de rationalité limitée car l'obtention d'une solution optimale n'est pas forcément possible au vu des ressources dont dispose un agent. On se contente alors d'une solution raisonnable. La gestion des ressources relève de différentes préoccupations comme l'accessibilité des moyens de calculs et des données (pour la résolution répartie de problèmes), le coût et le temps du transfert d'un jeu de données sur un réseau, l'existence ou non de dates limites d'exécution qu'elles soient critiques ou non critiques, etc.

3.0.3 Gestion de l'interaction et de l'organisation dans les systèmes multi-agents

L'étude des mécanismes qui permettent à un système composé d'agents situés de se comporter de manière coordonnée et cohérente dans un environnement dynamique est un préalable à la réalisation de systèmes robustes et adaptatifs. Dans ce domaine, les travaux récents issus de la biologie du comportement animal est une source d'inspiration à laquelle nous pouvons puiser pour atteindre nos objectifs. La biologie nous apprend 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. Ces mécanismes simples qui permettent d'expliquer le fonctionnement des colonies d'insectes ou d'arthropodes sont fondés sur le fait que le comportement coordonné de différents individus permet l'émergence de caractéristiques nouvelles. Un groupe d'individus est capable de réaliser une tâche qui n'est pas spécifiquement programmée au sein de chaque individu. La compréhension du comportement collectif des insectes sociaux a permis de mettre au point de nouvelles méthodes de résolution de problèmes avec des applications dans le domaine du contrôle et de l'optimisation. La présence à Nancy de l'équipe de biologie du comportement dirigée par le professeur Krafft avec qui nous collaborons nous permet d'envisager une avancée dans le domaine de l'intelligence collective. Ces recherches encore préliminaires dans notre groupe s'insèrent dans un cadre plus vaste qui est l'intelligence artificielle distribuée et multi-agents, domaine auquel nous contribuons depuis une quinzaine d'années. En complément de la modélisation d'inspiration biologique, nos efforts portent plus particulièrement sur l'étude des phénomènes d'interaction et d'organisation, le pilotage d'algorithmes et d'agents d'interprétation, la simulation et la résolution distribuée de problèmes. Notre objectif principal est de concevoir une technique de résolution de problèmes selon un processus qualifié d'émergent. Le mot " émergent " souligne une particularité importante de la résolution multi-agents, à savoir que le problème posé s'exprime dans le formalisme (dit global) de l'observateur (par définition extérieur au système), lequel est totalement inconnu des agents intervenant dans le processus de résolution. La question principale est de déterminer le système de représentation,

1. Simon, H.A. (1976). On how to decide what to do. In Models of bounded rationality, Volume 2.

les comportements individuels, les mécanismes d'interaction et de réorganisation qui vont régir le fonctionnement des agents de sorte que la solution au problème posé " émerge ".

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.

4.0.1 Conduite d'un robot mobile

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) sont particulièrement bien adaptés à ce domaine. A cette fin, notre groupe compte acquérir ou construire plusieurs robots mobiles (au moins trois) dont un a déjà été construit par notre équipe (par Alain Dutech, Frank Gechter et Laurent Jeanpierre). 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 via des barrettes de liaisons séries haute-fréquence vers un PC de commande. 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. Nous envisageons, d'autre part, de doter le robot «Simplet» de capteurs supplémentaires tels que des capteurs infra-rouges.

4.0.2 Assistants intelligents pour la recherche d'information sur le Web

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.

4.0.3 Assistants intelligents dans le domaine médical

Un système de télémédecine a pour objectif de maintenir une relation entre un médecin et un malade, malgré l'éloignement. Pour que cette relation soit satisfaisante et efficace, il est nécessaire que le médecin puisse disposer facilement de données sur le patient, comme s'ils étaient face à face. Il est donc indispensable que certaines informations considérées comme pertinentes par le médecin relativement à la pathologie concernée soient mesurées sur le patient (par lui-même ou via des capteurs adaptés) et transmises. La transmission peut s'envisager en temps réel ou en temps différé, elle peut être partielle ou totale. Il est possible de distinguer deux types d'approches :

- Les données sont stockées dans une base de données après un éventuel pré-traitement et le médecin les consulte lorsqu'il le souhaite ;
- Les données sont analysées par un assistant intelligent.

La notion d'assistant intelligent est une notion centrale dans le cadre du projet que nous proposons : qu'il soit localisé chez le patient ou chez le médecin, l'assistant intelligent a pour but de faciliter la tâche de surveillance du patient en fournissant des indications de diagnostic. Cette aide peut s'envisager sous la forme de générations d'alarmes pour alerter le médecin lorsqu'il semble important qu'il examine les données du malade. Elle s'accompagne éventuellement de recommandations d'actions, voire d'actions dans certaines situations particulièrement

critiques. Les assistants intelligents se caractérisent par leur capacité à prendre des initiatives de façon à agir avec une autonomie et une flexibilité qui leur permettent d'assurer des tâches, là où les systèmes traditionnels ne peuvent plus apporter de solutions satisfaisantes si ce n'est par une intervention humaine. C'est typiquement le cas dans les systèmes de télémédecine où les conditions (distance, coût, confort de vie, etc.) ne permettent pas une assistance humaine permanente. Pour être intelligent, l'assistant devra être doté de capacités perceptives et cognitives de manière à remplir son rôle de surveillance. Notamment il devra pouvoir traiter de multiples sources d'informations qui peuvent être issues de capteurs ou d'informations fournies tantôt par le médecin tantôt par le patient. Elles peuvent être ponctuelles ou continues, qualifiées temporellement ou non, numériques ou symboliques, critiques ou non. Il faut donc que l'assistant ait la capacité de fusionner des données pour en extraire des informations pertinentes qui lui permettront soit de prendre de manière autonome des décisions adéquates, soit d'alerter le médecin ou le patient, soit de préconiser des investigations supplémentaires, soit d'affiner sa propre connaissance de la pathologie ou du malade. Nous appliquons dans le cadre de l'assistance de la dialyse à domicile nos travaux autour de ces différents thèmes dans le but de construire des assistants intelligents dans le domaine de la télémédecine.

5 Résultats nouveaux

5.1 Acquisition et mise en œuvre des compétences individuelles des agents

5.1.1 Assistants intelligents pour la recherche d'information

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

Rechercher de l'information est traditionnellement une étape préalable à la prise de décisions. A l'heure actuelle, le nombre croissant de sources potentielles d'information, leur grande variété (des bibliothèques électroniques aux catalogues d'informations, des pages développées par des experts à la littérature grise disséminée dans les entreprises ou les universités, etc.) et leur constante évolution rendent inefficace une recherche contrôlée par l'utilisateur seul. Accéder rapidement et efficacement à l'information désirée apparaît comme un problème central.

L'objectif essentiel est de concevoir un agent intelligent capable d'assister un utilisateur pour la recherche d'informations sur des réseaux comme Internet ou un Intranet. L'agent intelligent devra être capable de piloter une recherche depuis un navigateur quelconque de type Netscape, en prenant en compte des critères comme notamment le temps de la recherche, le coût de l'accès à l'information, la pertinence de cette information et sa validité, afin de fournir à l'utilisateur la meilleure réponse possible. En même temps que l'utilisateur formule sa requête, il aura la possibilité d'indiquer quels sont pour lui les critères les plus pertinents à prendre en compte et les contraintes qu'il souhaite imposer à la recherche (par exemple, une qualité de réponse minimale), le type de réponse qu'il souhaite (liste triée de sources d'informations susceptibles de lui fournir les informations souhaitées, liste de documents correspondant aux mots-clés indiqués, etc.). L'agent devra prendre en compte ces différents paramètres et utiliser par exemple des techniques de recherche sous contraintes de ressources dans un environnement dynamique.

5.1.2 Planification sous incertitude

Participants : François Charpillet, Pierre Laroche.

Il existe plusieurs approches de la planification d'actions, en particulier les approches qui relèvent de la logique et les approches issues de la théorie de la décision. Si nous continuons à mener des recherches sur le premier point, c'est dans la seconde catégorie que se situe notre apport principal. Par rapport à un plan classique (qui utilise uniquement la distance comme critère d'optimalité), un plan lié aux MDP préconise des chemins optimaux selon un compromis entre la distance à parcourir et la "sécurité du robot sur ces chemins. Le plan exécuté est celui qui, en fonction de la description de l'environnement, a la plus forte probabilité d'aboutir au but fixé.

Ces approches nous semblent donc très intéressantes dans le cadre de la robotique, mais elles présentent évidemment certaines difficultés. Tout d'abord, les algorithmes de calcul des plans ont une complexité qui les rend inutilisables en temps réel. Cette complexité est liée notamment au nombre d'états nécessaires pour représenter l'environnement, nombre qui est souvent très important (plusieurs milliers) dans le cadre d'une application robotique réaliste. Il est alors nécessaire de trouver des méthodes permettant de calculer les plans plus rapidement. Nous nous intéressons aux méthodes permettant d'obtenir des plans sous-optimaux (mais néanmoins proches de la solution optimale), en un temps de calcul "raisonnable". Deux techniques de ce type ont été étudiées. La première est fondée sur l'agrégation d'états : certains états, partageant des caractéristiques communes, peuvent être regroupés afin de réduire l'espace d'états considéré. La seconde technique étudiée consiste à décomposer l'environnement en régions sur lesquelles un plan peut être calculé indépendamment. La réunion des plans partiels permet d'obtenir une solution sur l'environnement global. Notre approche est fondée sur la représentation de l'environnement par un graphe valué, qui permet de définir précisément les coûts de passage entre régions, qui sont très importants si on veut obtenir des plans proches de l'optimal. Cette approche est très rapide, et les plans obtenus sont de très bonne qualité.

Ces travaux ont fait l'objet en 2000 de la thèse de Pierre Laroche [1] et de plusieurs publications [10] [2] [9] [11].

5.1.3 Modèles de décision partiellement observables, apprentissage par renforcement

Participants : Alain Dutech, Bruno Scherrer.

Des travaux théoriques ont montré qu'il est possible de résoudre les POMDP en passant par ce qui est appelé des *belief states*. Cependant, les algorithmes qui en sont dérivés sont trop complexes pour pouvoir traiter des cas avec plus d'une dizaine d'états. Nous avons choisi une optique différente qui consiste à utiliser une mémoire limitée du passé qui nous permet de trouver des politiques non markoviennes dont on sait qu'elles peuvent être plus performantes que de simples politiques markoviennes.

Dans les faits, nous construisons un espace d'états étendus composé de suites d'observations. Pour éviter une explosion combinatoire, nous ne considérons que les suites minimales, c'est-

à-dire les suites qui permettent de rendre l'observation courante non ambiguë. Un tel espace d'états étendus, que nous appelons un observable, est alors qualifié d'exhaustif. Nous avons montré qu'un observable exhaustif permet de ramener un POMDP à un MDP équivalent.

On parle d'apprentissage quand on recherche une politique optimale sans connaître le modèle d'évolution du POMDP, c'est-à-dire les fonctions de transition et de récompense. Nous avons proposé un algorithme d'apprentissage par renforcement pour les POMDP. Cet algorithme construit un observable exhaustif de manière incrémentale. Pour un observable donné, on recherche ses éléments ambigus à l'aide d'heuristiques s'appuyant sur les variations de l'utilité de la politique actuelle. Ces éléments servent ensuite à augmenter l'observable courant pour qu'il devienne de moins en moins ambigu. Une fois exhaustif, l'observable permet de trouver une politique non-markovienne optimale.

Dans un deuxième temps, nous avons voulu nous servir des informations apportées par la connaissance du modèle pour accélérer la construction d'un observable exhaustif et utiliser des techniques plus rapides que l'apprentissage pour rechercher une politique optimale, comme par exemple *policy iteration* ou *value iteration*. Malheureusement, nous avons alors montré qu'il n'existe pas, dans le cas général, d'observable exhaustif quand on envisage toutes les politiques possibles. Nous avons alors envisagé deux solutions à ce problème : la construction d'observables quasi-exhaustifs et l'utilisation de politiques contraintes qui évitent les trajectoires ambiguës. Les résultats obtenus ont validé notre approche, concrétisée par une publication [7].

Outre un apprentissage incrémental plus rapidement exploitable, en terme de performance, nous nous intéressons actuellement à l'utilisation du passé non récent pour construire des états étendus non ambigus pour la planification. Ainsi, si un fait marquant et identifiable s'est produit dix unités de temps auparavant, il ne sera plus nécessaire de considérer la suite des dix dernières observations, mais simplement de se souvenir de la dernière observation non ambiguë. On obtiendrait ainsi un gain en complexité considérable. Plusieurs techniques sont actuellement développées pour détecter ces causalités temporelles et les exploiter.

Une autre approche pour ces problèmes de décision markoviens se concentre sur le modèle lui-même. Le but est alors de trouver le modèle le plus concis possible pour représenter un problème donné. Nous avons introduit la notion d'agrégation exacte dans les MDP, ce qui permet alors de parler de MDP minimal. Nous avons montré comment nous pouvons exploiter les symétries du problèmes et les propriétés des fonctions de récompense pour construire des MDP plus compacts en terme de nombre d'états et d'actions. Ces travaux permettent de résoudre des MDP de grosse taille, comme ceux que l'on obtient pour traiter des POMDP ou dans des problèmes de planification multi-agent (cf 5.4.4) par exemple.

5.1.4 Travaux autour de la planification de trajectoires

Participant : Alexis Scheuer.

Jusqu'à maintenant, dans le projet Maïa, 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'envi-

ronnement 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 sujet de DEA a été proposé cette année pour prolonger 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.

Le module de navigation aura besoin d'être validé avant de pouvoir être utilisé sur un robot. Pour cela, nous aurons besoin d'un simulateur, dont nous souhaitons qu'il puisse être utilisé par d'autres membres du projet. Ce souhait nous a conduit à réfléchir à la définition d'un simulateur générique pour des agents intelligents en interaction. Un tel simulateur devra pouvoir gérer un grand nombre d'agents intelligents dans un environnement assez simple, ou un nombre plus réduit de ces agents dans un environnement plus réaliste (contraintes physiques des interactions, imprécisions des capteurs et des actionneurs, etc.). Outre une étude bibliographique effectuée par deux groupes de stagiaires d'initiation à la recherche (à l'Esial et en licence d'informatique), ce sujet de recherche engendre des réunions régulières où les capacités variées des membres du projet (gestion des interactions, modélisation des contraintes physiques, définition d'interfaces graphiques, etc.) sont mises en commun.

5.1.5 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. Il dispose à cet effet de nombreuses informations, qui nourrissent deux grandes familles complémentaires de théorie boursière : l'analyse technique, qui se fonde sur l'évolution des cours des valeurs, l'analyse fondamentale, qui considère les informations économiques et financières des sociétés cotées et de leur environnement. Ici, nous voulons faire de l'analyse technique avec des méthodes de l'Intelligence Artificielle. On retrouve naturellement tous les ingrédients d'un POMDP : les cours de Bourse (ou plus exactement leurs variations) fournissent les **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.-à.-d. des périodes de temps où le comportement est globalement homogène².

Comme dans tout problème, le choix des données est crucial. Ici, nous choisissons de prendre

2. Shanming Shi & Andreas S. Weigend: *Taking Time Seriously: Hidden Markov Experts Applied to Financial Engineering*, Proceedings of the IEEE/IAFE CIFE'97, New York, March 1997, pp. 244-252.

comme seuls paramètres (observations) d'entrée le cours des valeurs, à partir desquels on calcule les variations de cours à des échelles de temps différentes (jour, semaine, mois). L'observation "jour" est dite *primaire*, les autres *secondaires*. Beaucoup d'études théoriques considèrent connus au départ les paramètres du POMDP. Dans un problème réel, il faut les apprendre. Ici, nous tirons parti du fait que les actions n'ont aucune influence sur les transitions entre états pour développer un **HMM-POMDP** : les observations primaires permettent de calculer un premier HMM représentant la valeur boursière, sur lequel on plaque les actions pour obtenir un premier POMDP.

Dans une deuxième étape, le POMDP subira diverses modifications pour le rendre efficace par rapport à l'objectif de gain désiré. Ces modifications sont inspirées des travaux d'Andrew McCallum³ et d'Alain Dutech⁴ qui visent à distinguer parmi les états et les observations ceux qui sont utiles ou non. C'est à ce moment qu'interviennent les observations secondaires. Ces modifications utilisent un apprentissage par *Q-learning*. Les transformations du POMDP visent à mettre en évidence les situations spéciales où il est bénéfique d'intervenir. Dans la pratique, on imagine bien qu'elles sont rares, mais on commence à se douter qu'elles sont plus nombreuses que le voudraient les modèles gaussiens classiques (*fat tails*). Chaque objectif de gain différent fait l'objet d'une modification spécifique du POMDP.

5.1.6 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

3. Andrew K. McCallum: *Reinforcement Learning with Selective Perception and Hidden State*, PhD Thesis, University of Rochester, New York, 1996.

4. Alain Dutech: *Apprentissage d'environnement : approches cognitives et comportementales*, Thèse de Doctorat, ENSAE, Toulouse, 1999.

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.

5.2 Simulation d'environnements multi-agents

5.2.1 Définition d'un modèle stochastique d'interaction agent/environnement

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 qui tient compte des erreurs et incertitudes qui peuvent se produire tant au niveau des capteurs que des effecteurs d'agents situés, ainsi que la dynamique du système. Ce modèle s'inspire des Modèles de Décision Markoviens Partiellement Observables (POMDP).

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 leurs probabilités respectives (une distribution de probabilités 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 probabilités, 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 probabilités sur les observations, les classes de distance et les transitions peuvent être déterminées par apprentissage sur le système réel à modéliser.

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) [5].

Nous avons développé en JAVA une interface graphique permettant la spécification des environnements et d'un certain nombre de paramètres caractéristiques des agents, et fournissant une visualisation des trajectoires. Cette interface permet une validation qualitative visuelle, ainsi que quantitative (en générant des statistiques sur les exécutions).

Nous avons pu, au travers de différentes expérimentations, vérifier la facilité d'utilisation, une relative généralité et extensibilité. 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 l'apprentissage de comportements. Par ailleurs, 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.

5.2.2 Aspect parallélisme

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). La parallélisation de notre simulateur est fondée sur une répartition dynamique de tâches, réalisée par un mécanisme original de double *work pool* en cascade, afin d'obtenir un bon équilibrage de charge entre les processeurs. Dans le premier *work pool*, une tâche représente un agent dans la phase de perception et de décision. Dans le second *work pool*, une tâche représente un ensemble d'agents en conflit au cours de la phase de mise en œuvre de l'action [14].

L'implantation de notre simulateur a été réalisée sur la machine SGI-Origin 2000 du CCH, utilisant la bibliothèque ParCeL-3 développée à Supélec, et des résultats satisfaisants ont été obtenus (plus de 50% d'efficacité avec 4 processeurs). Un portage sur une machine quadri-processeurs de Supélec (SGI-VWS 540) a été réalisé et des résultats équivalents jusqu'à 4 processeurs ont été retrouvés [4]. Ce portage a été effectué dans le but d'offrir la possibilité d'utiliser notre simulateur sur des plates-formes peu coûteuses. Le tableau suivant représente la variation de l'efficacité de la parallélisation en fonction du nombre de PE pour chaque machine utilisée.

| Machine/Nbre PE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|-----|----|----|----|----|
| SGI-Origin 2000 | 100 | 69 | 59 | 52 | 46 |
| SGI-VWS 540 | 100 | 83 | 69 | 55 | - |

5.3 Étude de l'interaction et de l'organisation dans les systèmes multi-agents

5.3.1 Modélisation des interactions

Participants : Makram Bouzid, François Charpillet, Vincent Chevrier, Arnaud Dury.

Nous nous intéressons dans ce travail à la modélisation des interactions au sein des systèmes multi-agents et des interactions entre un agent et son environnement. La mise en œuvre d'une stratégie commune en vue d'atteindre un objectif global nécessite de mettre en place de nombreuses interactions entre les agents. Nous avons donc réalisé un modèle de l'interaction, permettant de définir des comportements collectifs et de les implanter dans une société à construire, ou pré-existante. Ce travail s'inscrit dans la continuité des travaux menés au sein de l'équipe pour modéliser l'organisation d'une société multi-agents, et sa ré-organisation. Ces travaux ne prenant en compte que des actions de communications directes entre agents, nous

avons développé pour notre part l'aspect d'actions situées dans un environnement.

Nous avons proposé un modèle de description de l'interaction incluant la représentation d'actions réalisées au sein de l'environnement. Ce modèle décrit une interaction comme un contexte déclenchant (la situation d'interaction), un ensemble de participants à cette interaction (décrits sous forme de rôles) et les actions entreprises par chacun des participants dans cette situation.

Conjointement à ce modèle de description, nous avons proposé et implanté un mécanisme opérationnalisant de telles descriptions qui permet à partir d'un ensemble d'interactions et d'agents présents dans le système, de les instancier et d'obtenir un système exécutable.

Nous avons validé ce modèle d'une part dans le cadre d'un problème classique dans le domaine des systèmes multi-agents, celui du *Tileworld*, et d'autre part dans un problème de simulation de phénomènes biologiques, dans le cadre de la prédation collective chez les araignées sociales.

5.3.2 Apprentissage des interactions

Participants : Olivier Buffet, François Charpillet, Vincent Chevrier, Alain Dutech, Laurent Jeanpierre

5.3.3 Apprentissage et modèles continus d'environnement

L'efficacité des Systèmes Multi-Agents (SMA) repose principalement sur la faculté d'intégration des agents. Ceci se traduit en effet par l'émergence d'une structure permettant la résolution du problème posé au système. Le choix des formes d'interaction impose donc une forme de solution, en limitant les diverses structures de coordinations possibles. Une alternative consiste en l'apprentissage de ces interactions par les agents. Dans le cas d'un environnement dynamique et incertain, la mise en œuvre des algorithmes d'apprentissage butte généralement sur l'écueil de la discrétisation de l'environnement. Les modèles markoviens permettent la représentation d'un problème à travers un graphe d'états probabiliste. La variante "partiellement observable" permet de généraliser le modèle précédant en éliminant l'hypothèse selon laquelle on connaît parfaitement l'état courant du système; cela se fait à travers la perception d'un nombre fini d'observations à partir desquelles il faut extrapoler la position du système. Dans le cadre du projet DIATELIC, l'environnement est modélisé par un ensemble d'états caractéristiques entre lesquels on peut extrapoler l'état réel (à savoir la santé du patient). Une autre approche sur laquelle nous avons travaillé, consiste à rejeter partiellement la notion de discrétisation en revenant à une approche de plus haut niveau par insertion d'éléments symboliques, ou en discrétisant l'environnement lorsque le besoin s'en fait sentir.

Afin d'évaluer les différentes approches d'apprentissage en environnement continu, un simulateur a été réalisé. Il permet actuellement la simulation d'espaces continus sur un temps discrétisé. Dans ces environnements, un nombre variable d'agents indépendants peuvent interagir, soit pour coopérer, soit de manière concurrente. La suite de ce travail consiste à passer à un temps continu et à définir un cadre d'interactions plus formel. Cela permettrait alors

d'être plus consistant au niveau de la dualité espace/temps, et de laisser les agents apprendre à communiquer, à partir des bases simples fournies par le simulateur.

5.3.4 Apprentissage et coopération

Un des problèmes fondamentaux dans les SMA est la conception d'agents qui devront se coordonner pour atteindre un but global, but qui émergera de l'interaction des différents agents. Cette démarche est d'autant plus délicate que chaque agent n'œuvre pas explicitement à la réalisation de ce but global mais s'attache à satisfaire ses propres besoins. Nous nous intéressons donc à une méthode de conception par apprentissage de tels systèmes. Cet apprentissage est *distribué sur chaque agent* pour respecter les contraintes inhérentes aux SMA, ce qui permet aussi de profiter des avantages de tels systèmes : par exemple, certains problèmes centralisés se heurtent à la malédiction de la dimensionnalité.

Le formalisme utilisé est celui de l'apprentissage par renforcement, en utilisant des modèles markoviens et les algorithmes qui s'y rattachent (Q-Learning, TD(λ)...). Les difficultés liées à l'apprentissage dans les SMA sont de plusieurs ordres : modèles non stationnaires en raison des perceptions locales et de la présence d'autres agents, problème de l'attribution du mérite⁵ rendu plus complexe par la présence de nombreux agents. Pour pallier ces difficultés, nous avons proposé une méthodologie d'apprentissage incrémental où les agents sont progressivement confrontés à des tâches de plus en plus complexes. Ce travail, initié dans le cadre d'un DEA (voir [15]) se poursuit actuellement par une thèse. Nous envisageons notamment l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage par renforcement plus performants et la mise en œuvre de communications pour faciliter la coordination des agents. Outre la communication, l'introduction de méta-actions ou de comportements plus complexes est actuellement envisagée.

5.4 Application et réalisation de systèmes

5.4.1 Simulation de phénomènes biologiques

Participants : Christine Bourjot, Iadine Chadès, François Charpillat, Vincent Chevrier, Arnaud Dury.

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 pour les biologistes et les éthologues. En retour, les phénomènes biologiques nous permettent de confronter la pertinence de nos modèles pour modéliser des phénomènes réels. Ce travail avait démarré dans le cadre d'un projet GIS sciences de la cognition et se poursuit. Les phénomènes simulés concernent des araignées solitaires ou sociales.

Nos premiers travaux sur la coordination des araignées (solitaires et sociales) lors de la construction de toiles ont donné lieu au développement d'un modèle multi-agents et à la réalisation d'un simulateur qui a été validé par les biologistes. Ce modèle repose sur une modélisation

5. Credit Assignment Problem.

individuelle stochastique (l'agent choisit aléatoirement son déplacement) et la coordination entre les individus s'effectue 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). Nous avons un mécanisme simple de coordination par le biais de l'environnement qui permet la construction d'agrégats. Cette année nous avons évalué l'influence des différents paramètres (nombre et position initiale des agents, coefficient d'attraction de la soie, probabilité de pose de la soie) sur certaines caractéristiques de la toile (surface, densité, compacité). Nous avons pu mettre en évidence certaines influences (par exemple le coefficient d'attraction de la soie joue sur la taille de la toile) sans réussir à les quantifier par manque de références biologiques (toile idéale) et à cause des hypothèses simplificatrices du comportement des araignées. Cependant ceci a permis aux biologistes de formuler de nouvelles hypothèses originales (vérifiées biologiquement par la suite).

De plus nous avons débuté la transposition de ce modèle d'interaction pour effectuer de la résolution collective de problème. Nous avons dans un premier temps adapté notre système de construction de toiles à la détection de régions homogènes dans des images à niveaux de gris. L'adaptation a été réalisée en introduisant une probabilité contextuelle de pose de fil de soie (action qui était réalisée à probabilité constante jusqu'alors). Par ailleurs nous avons introduit un mécanisme inspiré du phénomène de retour au nid afin de restreindre la construction de toile à une région. Les premiers résultats permettent d'isoler des régions dans une image (par exemple isoler un visage). Nous travaillons actuellement à évaluer les performances de cette approche par rapport à des méthodes plus traditionnelles de détection de régions.

Dans le cadre de la modélisation des interactions, nous avons appuyé notre réflexion au cas de la simulation biologique. Ce travail concerne la phase de prédation chez une espèce d'araignée sociale, *anelosimus eximius*. Il a consisté à modéliser les interactions d'une société d'araignées en phase de prédation, et à comparer les résultats issus de la simulation aux résultats issus de l'observation des araignées dans leur milieu naturel. La comparaison se base sur une étude quantitative des comportements observés, en fonction des quatre phases d'activité caractérisant la prédation.

Cette comparaison a permis d'évaluer notre approche de modélisation par interactions d'un système multi-agents, et a notamment amené une extension de notre modèle en y incluant des interactions choisies de façon probabiliste en fonction du contexte. Elle a permis d'autre part aux biologistes de vérifier certaines hypothèses sur les araignées réelles.

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 Décisions Markoviens dans un environnement incertain réel.

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 limitation 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. La découverte de nouvelles données, qui interviennent fortement dans le comportement de l'araignée, explique les irrégularités rencontrées. Le modèle et son logiciel restent donc à parfaire.

5.4.2 Résolution de problème par système multi-agents réactif

Participants : Arnaud Dury, Vincent Chevrier.

Ce travail s'est réalisé en collaboration avec F. Le Ber (INRA puis avant-projet Orpailleur).

Nous avons développé en collaboration avec l'INRA un modèle multi-agents pour simuler l'organisation spatiale d'un territoire agricole et étudié les différentes propriétés de ce modèle (convergence, stabilité). Nous avons adapté ce modèle pour qu'il puisse résoudre un autre problème d'affectation sous contraintes (emploi du temps). L'adaptation s'est faite par mise en correspondance des objets et contraintes des deux domaines (par exemple, parcelle de terrain et créneau horaire). Le mécanisme de résolution est resté identique. En parallèle à cette adaptation, et dans le cadre d'une collaboration avec P. Divoux (IUT Strasbourg), nous avons généralisé le modèle pour rendre compte des différents niveaux de contraintes qui existent dans les problèmes d'emploi du temps et qui n'ont pas été exprimés dans le modèle d'origine. Nous disposons maintenant d'un modèle de résolution permettant d'exprimer le mécanisme de résolution de manière unifiée que ce soit dans le problème agricole ou dans celui de l'emploi du temps. Un outil en JAVA implantant ce modèle a été réalisé et son évaluation est en cours.

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

Participants : François Charpillet, Vincent Chevrier, Franck Gechter.

La fusion de données est couramment définie comme étant l'utilisation de données fournies par plusieurs sources (capteurs, modules de décision, modules d'interprétation, etc.) pour construire une information pertinente, plus précise et plus riche que les informations initiales afin de prendre une décision ou d'établir un diagnostic.

Dans le cadre de ce thème de recherche, il s'agit d'étudier la fusion intelligente d'informations fournies par divers capteurs fixes et/ou mobiles situés dans un environnement dynamique et complexe. S'agissant d'un système distribué tant au niveau des capteurs que des capacités de traitements, l'approche multi-agents nous fournit un cadre naturel pour aborder cette problématique. Cette méthode permet d'envisager une utilisation adaptée des capteurs en fonction de perceptions partielles de l'environnement tout en prenant en compte les contraintes et les propriétés de chacun des éléments utilisés. L'objectif est d'effectuer une collecte active d'informations dirigée par le contexte proche en utilisant les actionneurs mis à notre disposition afin d'améliorer la perception de la situation.

Afin de pouvoir valider notre approche de système de fusion fondé sur des algorithmes multi-agents, nous nous sommes focalisés, dans un premier temps, sur l'élaboration d'algorithmes destinés à faciliter l'utilisation et l'exploitation des capteurs et des actionneurs que nous allons utiliser dans notre système. Dans ce contexte, nous avons notamment réalisé un système de localisation pour robot mobile fusionnant les informations fournies par une caméra unique avec une estimée de la position courante du robot, calculée à l'aide d'un processus de Markov Partiellement Observable (cf. [8]).

5.4.4 Résolution distribuée de problèmes

Participants : François Charpillat, Iadine Chadès, Bruno Scherrer.

Ce thème de recherche se situe à la frontière entre les deux domaines que sont la résolution Multi-Agents (SMA) et le raisonnement sous contraintes de ressources. Il s'agit de résoudre des problèmes distribués à l'aide d'agents évoluant dans un environnement complexe. Notre étude s'intéresse aux méthodes de résolution qui utilisent les systèmes multi-agents. La résolution d'un problème est alors la résultante des interactions entre les agents. Cette résolution doit considérer d'une part les ressources disponibles, et d'autre part les contraintes imposées par l'environnement. La limitation des ressources imposées aux agents, ainsi que la complexité de l'environnement engendrent souvent des situations de conflits, les agents entrent alors dans une phase de résolution de conflits : la négociation. La coordination des agents prévoit et évite ces conflits. Le point central de ce travail est de proposer un formalisme concis de l'évolution des agents dans un environnement complexe en tenant compte de l'incertitude inhérente aux agents. Pour cela, nous nous inspirons à la fois des comportements biologiques des insectes et arachnides sociaux cherchant à survivre dans un environnement réel très contraignant, mais aussi à la modélisation mathématique sous forme de Processus de Décisions Markoviens (MDP).

Pour éviter des situations de blocage et de négociation, on coordonne les actions de nos agents par la planification. Dans un système multi-agents, on peut planifier de manière centralisée ou distribuée. Dans un travail précédent nous avons choisi d'étudier une planification centralisée. Ceci a montré des limites en ce qui concerne l'adaptabilité d'un tel modèle face à un environnement fortement dynamique, et surtout la complexité en taille mémoire lors du calcul du plan dit optimal (la capacité mémoire étant vite dépassée pour des environnements de plus en plus complexes). Forts de cette expérience, nous nous sommes attachés à respecter le paradigme multi-agents, où l'on impose à l'agent de n'avoir qu'une vue locale de son environnement. Dans cette approche, l'agent possède un plan local, qui fait correspondre à chaque état local de l'agent une action qui lui est propre. Le plan tient compte des spécificités de l'environnement et de celles de l'agent. C'est ce qui nous a conduit à choisir une modélisation sous forme de chaînes de Markov (MDP).

Le MDP nous donne un plan optimal, que l'on peut traduire sous la forme d'un automate, où l'agent, selon ses perceptions, décide d'une action en suivant son plan et change d'état. Les agents ayant le même rôle auront le même plan. Les états correspondent à une configuration partielle du système, et à une configuration locale du monde de l'agent. Selon l'application choisie, les états reflètent par exemple la survie de l'agent s'il s'agit d'un modèle biologique, d'une application test telle que le proie-prédateur, ou encore des informations sur les positions relatives d'obstacles, d'agents, dans son proche entourage.

Cette année nous avons obtenu des résultats nous permettant d'apprécier la convergence de notre modèle théorique. La réalisation logicielle de ce modèle a été réalisée sur l'application test souvent reprise dans la littérature : le « proie-prédateur » où il s'agit de trouver le plan optimal qui permettra aux prédateurs de survivre en capturant la proie tout en tenant compte

des déplacements incertains de chacun. Il est question à présent d'appliquer notre modèle sur une application réelle, ainsi, nous cherchons à approfondir le formalisme de notre modèle à différents niveaux tel que celui de l'incertitude liée aux observations dans des environnements continus comme c'est le cas dans les situations réelles.

5.4.5 Réseaux bayésiens et fusion de données

Participants : François Charpillet, Anne Boyer, David Bellot.

Le travail s'articule autour d'une **étude théorique des réseaux bayésiens et de leur utilisation en fusion de données**. Nous nous intéressons à leur capacité à traiter des données incertaines, symboliques ou numériques et provenant de sources multiples. La fusion de données est abordée sous l'angle de fusion de capteurs. Il s'agit de filtrer et de combiner intelligemment les informations en provenance de divers capteurs, afin de fournir un signal d'un plus haut niveau d'abstraction. Le modèle des réseaux bayésiens est intéressant à deux niveaux : il permet, comme la plupart des modèles probabilistes, la prise en compte de **connaissances incertaines**. De plus, il permet de lier les informations entre elles par une **relation unique de dépendance directe**. L'intérêt est que cette relation peut être d'un type quelconque. La plupart du temps, on utilisera la relation de causalité, ou encore la relation de précédenance dans le temps. Nous voulons donc voir dans quelle situation les réseaux bayésiens sont plus intéressants que d'autres modèles plus simples. En effet, malgré la grande capacité d'expression de la connaissance dans un réseau bayésien, les algorithmes associés à ce modèle restent assez lourds.

Télémédecine intelligente et assistance à domicile

La télémédecine intelligente et l'assistance à domicile sont les termes pour désigner les techniques permettant une aide et une surveillance médicales assistées par ordinateur à domicile pour des patients souffrant de diverses pathologies. La télémédecine est dite intelligente car le but est bien de donner les capacités nécessaires à l'ordinateur pour qu'il puisse établir régulièrement un diagnostic sur l'état du patient traité et, en cas d'anomalie, prévenir un médecin ou toute personne apte à intervenir. C'est aussi un outil précieux pour les médecins, car il leur permet de traiter un nombre très important de patients souffrant d'une même maladie, à distance et simultanément. Le système de télémédecine est là pour assister le praticien et s'occuper de faire la surveillance quotidienne de tous les patients.

Le projet **Diatelic** s'intéresse au suivi à domicile et en hôpital de personnes souffrant d'insuffisance rénale et nécessitant une dialyse à domicile. Ces personnes sont souvent en attente d'une greffe de rein.

Le projet **Tiissad** regroupe divers laboratoires et partenaires industriels. Il traite de multiples pathologies : la dialyse (à travers le projet Diatelic), l'assistance à domicile de personnes âgées vivant seules et les cardiopathies.

Dans l'équipe MAIA, nous travaillons sur le problème de la fusion de données, en utilisant des réseaux bayésiens pour faire du diagnostic en dialyse et dans l'assistance à domicile des personnes âgées. L'objectif médical est d'améliorer de façon notable le suivi des patients et

la prévention des incidents médicaux et enfin, par une prise en charge beaucoup plus fine, de réduire grandement les coûts d'hospitalisation.

Raisonnement bayésien et fusion de données pour l'assistance médicale

Le travail sur les différents modèles de raisonnement probabiliste a mis en évidence deux points essentiels : tout d'abord il est nécessaire de pouvoir formaliser les relations causales entre les faits et les observations médicales. Cela doit donc passer par une modélisation sous forme de réseaux bayésiens, qui permet de prendre en cause la notion de causalité entre événements. De plus, l'utilisation de ce modèle répond bien au besoin de fusion de données, dans lequel nous mêlons en permanence des observations empiriques, comme l'état global du patient, et numériques, comme une température, une tension, etc. Dans ce cadre, un moteur d'inférence bayésienne a été développé et servira de base au troisième système expert de Diatelic et au système d'assistance à domicile des personnes âgées. Ce moteur, écrit en C++, sert à créer des réseaux bayésiens à variables discrètes et permet de faire de l'inférence probabiliste en utilisant l'algorithme JLO (Jensen-Lauritzen-Olesen) : algorithme d'inférence exacte par propagation des probabilités dans le graphe bayésien.

Les expérimentations consistent à utiliser un ensemble de capteurs pyro-électriques ainsi qu'un modèle de comportement du mouvement d'une personne dans une pièce. Grâce à cela, nous tentons de suivre et de comprendre le comportement de la personne dans la pièce. L'analyse est faite grâce au réseau bayésien décrivant le comportement de la personne.

6 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

6.1 Convention avec la société de services multimédia MIC2

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

MIC2 (Multimédia Interactive Communication) est une PME parisienne qui propose à ses clients une plate-forme offrant différents services comme un support de télé-réunion, de bornes interactives, etc. Ces services mettent en œuvre plusieurs médias comme le téléphone, le fax, le web et le courrier électronique.

La collaboration porte sur l'utilisation d'agents intelligents dans des domaines d'activité très réactifs comme le commerce électronique ou l'adaptation aux utilisateurs. L'objectif est d'enrichir l'environnement multimédia en rendant ses services adaptatifs. L'ajout de systèmes intelligents permettra, entre autres, d'offrir aux utilisateurs un meilleur accueil et une assistance spécifique. Les services proposés sont actuellement statiques et donc non résistants aux comportements imprévus. Plusieurs approches sont prometteuses pour les faire évoluer. Les travaux actuels cherchent à prendre en compte les phénomènes qui émergent de l'utilisation des médias.

Un premier objectif est de réduire la complexité de conception qui est induite par le grand nombre de cas particuliers d'interactions. Pour cela, nous envisageons notamment d'utiliser des modèles stochastiques.

D'autre part, les recherches effectuées sur l'aide au choix dans le commerce électronique, présentées dans [6], ont mis en évidence le besoin de modéliser les utilisateurs par des méthodes

probabilistes comme les réseaux bayésiens et d'utiliser des techniques de filtrage d'information. Dans ce domaine, nous avons été amenés à analyser la problématique des requêtes, pour prendre en compte des propriétés comme l'incertitude et l'incomplétude. Différentes architectures de systèmes à agents ont été proposées pour des applications de filtrage.

Un démonstrateur de filtrage de catalogues a été réalisé pour répondre aux besoins d'une société commerciale fournissant des biens culturels. Celui-ci devait permettre à leurs clients de choisir un morceau de musique aussi bien sur une borne en magasin que sur un ordinateur relié à Internet. La spécification proposée faisait collaborer plusieurs spécialistes sur la requête du client. Bien que ce projet n'ait pas pu aboutir, par manque de support au niveau de la société commerciale, il a montré à quel endroit se situaient les besoins de connaissance experte et il a permis d'aborder un cas concret de filtrage de catalogue.

6.2 Convention avec Juxta

La Société Juxta nous a contacté pour l'aider au développement de son projet permettant à des centres de soin conventionnés de connaître la répartition entre les différents acteurs de la protection sociale (CPAM, Mutuelles, Société d'Assurance, Conseils Généraux) du montant de l'acte qui vient d'être pratiqué. Le système permettra aussi au sein des mutuelles de mieux gérer ces remboursements, notamment en ce qui concerne les mise à jour des fichiers clients. Il s'agit de transmettre un montant de remboursement sans dévoiler les méthodes de calcul de chaque caisse complémentaire, car cela fait partie de leur stratégie commerciale. Il y aura donc besoin de définir un protocole générique de transfert des informations qui pourrait avoir beaucoup d'autres applications dans le domaine du commerce électronique.

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 monitoring 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 Collaboration avec Supélec sur la robotique autonome

Participants : François Charpillet, Vincent Chevrier, Bruno Scherrer.

La thèse de Bruno Scherrer se déroule dans le cadre d'une collaboration avec Supélec et avec les équipes CORTEX et MAIA du LORIA. L'aspect fondamental de ce travail consistera à étudier des possibilités de couplage entre un système neuronal et un système markovien.

Le formalisme markovien est un cadre d'étude qui permet de modéliser des phénomènes relativement complexes car stochastiques ; plus particulièrement, des modèles tels que les processus de décision markoviens (MDP) permettent d'optimiser le comportement de tels systèmes. Les réseaux de neurones auto-organisés sont des outils puissants pour la classification mais aussi des modèles intéressants pour la modélisation de l'apprentissage en biologie. Cependant, leur mise en œuvre nécessite de nombreux réglages, et requiert une grande expertise humaine.

Nous souhaitons substituer le formalisme markovien à l'expertise humaine, afin d'obtenir une optimisation automatique de ces réseaux. L'utilisation efficace des MDP dans cette tâche nous amène à faire des aménagements théoriques et algorithmiques généraux. Nous travaillons sur la définition de modèles MDP génériques de ces réseaux et l'approche de type renforcement qu'elle implique nous fait développer une méthodologie d'évaluation spécifique.

Ces réseaux optimisés seront appliqués à l'apprentissage d'images provenant des caméras des robots autonomes des différentes équipes.

7.1.3 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.

7.1.4 Le projet NanCyTour

Participants :

François Charpillet, Alexis Scheuer, Eric Lucchese.

Préambule.

Dans le cadre de LA Route Automatisée, l'INRIA a imaginé un système de transport original de véhicules en libre-service pour la ville de demain. Ce système de transport public est fondé sur une flotte de petits véhicules électriques spécifiquement conçus pour les zones où

la circulation automobile doit être fortement restreinte. Pour tester et illustrer ce système, une dizaine de prototypes, nommés Cycab, ont été réalisés par la société Robosoft. Le LORIA a acquis tout récemment l'un de ces véhicules (juin 2000). Grâce à cela, le LORIA développe un projet de recherche pluriannuel avec deux objectifs complémentaires :

- concevoir des fonctions d'aide à la navigation exploitant les informations délivrées par des capteurs qui seront disposés à bord du véhicule (télémètre laser, GPS, caméra vidéo, etc.) ;
- concevoir un système permettant à un passager d'accéder à une palette de services embarqués ou distants.

Ces deux axes de recherche sont complémentaires dans la mesure où les services offerts exploitent les informations délivrées par les capteurs installés à bord du véhicule. Depuis juin, grâce au soutien de la mairie de Nancy et de la Communauté Urbaine du Grand Nancy (CUGN), le Loria a pu développer et expérimenter un premier prototype autour du concept de tourisme assisté par ordinateur (TAO). Ce premier prototype de TAO a été réalisé en partenariat avec la société Mic2 et avec l'appui des *start-up* Lorasi.fr et Neoxy. Un questionnaire a permis aux Nancéiens et aux touristes de donner leur avis. Les résultats de cette expérimentation permettent au Loria de développer ce concept autour d'un projet qui a été appelé NanCyTour.

Le concept NancyTour et les principes ayant guidés la première expérimentation

Le programme NanCyTour cherche à développer le concept de véhicule en libre-service dans un contexte touristique d'hyper-centre. L'accent est mis sur la valorisation du patrimoine de la ville, tant sur l'aspect historique que sur les spectacles, les commerces et les services divers.

Cette expérimentation avait pour but de valider certaines approches techniques et d'étudier l'accueil de ces technologies auprès du grand public. Elle consistait d'une part en la visualisation commentée d'une maquette virtuelle de la visite de l'hyper-centre et d'autre part en l'utilisation d'un véhicule Cycab préparé pour une démonstration autour de la place Stanislas. Cette expérimentation en site propre s'est déroulée le samedi 7 octobre.

Les services touristiques qui ont été présentés sont assurés via une interface multimédia conviviale utilisant le son et les images avec interaction sur les mouvements du véhicules (qui connaît sa localisation grâce à l'utilisation d'un récepteur GPS). Les services sont assurés grâce à une combinaison de services embarqués et de télé-services. Les services embarqués concernent essentiellement la visite virtuelle de monuments ou les explications relatives à des lieux historiques situés sur le parcours du véhicule. Toutes les informations permettant la diffusion des images et des plages sonores associées sont embarquées. Le lancement des sessions multimédia se fait automatiquement grâce à la localisation fournie par le coffret GPS qui a été installé pour l'occasion. Les télé-services sont réalisés grâce à un dialogue entre les utilisateurs du véhicule et un télé-opérateur situé par exemple à l'office de tourisme. L'opérateur peut ainsi répondre aux questions posées par les utilisateurs du véhicule à l'aide de la voix ou d'images qui sont transmis par l'opérateur sur l'écran du véhicule. Les questions/réponses peuvent concerner des adresses de restaurants, d'hôtels, de spectacles, etc. Les images peuvent

présenter des menus, des photos de paysage et/ou de chambres d'hôtels, etc. À cette fin, des fonctions GSM et SMS ont été installées à bord du véhicule et un terminal destiné au téléopérateur a été préparé.

Schéma du fonctionnement de l'expérimentation

Il est important de souligner que le système qui a été développé pourrait d'ores et déjà être installé à bord de taxis, de bus ou DE tramwayS. Une version portable à destination des piétons pourrait même être développée.

Revue de presse de la démonstration du concept NanCyTour

Cette démonstration a été présentée successivement par :

- un article de l'Est Républicain du vendredi 6 octobre 2000 ;
- un reportage de France 3-Nancy le vendredi 6 octobre 2000 ;
- un reportage de M6-Nancy le vendredi 6 octobre 2000 ;
- un article de l'Est Républicain du dimanche 8 octobre 2000 ;
- un article d'Avenir magazine (magazine de la Communauté Urbaine du Grand Nancy) n°23(novembre2000); *unreportagedeNRJ – –Nancy*;
- un reportage de Europe 2-Nancy diffusé la quatrième semaine d'octobre ;
- un article de l'Express ;
- un article de l'Est Républicain à l'occasion de la fête de la science.

7.2 Actions nationales

7.2.1 Le projet TIISSAD.

Participants :

François Charpillet, Anne Boyer, David Bellot.

Il s'agit d'un *projet national* regroupant plusieurs laboratoires (Grenoble, Lyon, Toulouse et Nancy) s'intéressant à la télémédecine pour l'assistance à domicile. Notre but est surtout l'assistance à domicile de personnes âgées, par le biais d'un système permettant d'observer une personne seule et de détecter et déclencher une alarme dans le cas d'une situation anormale. Ces dernières sont essentiellement la chute, les malaises et les troubles du comportement au niveau du déplacement (déplacement chaotique, tentative de fugue, etc.). Nous traitons dans un premier temps le suivi du comportement de la personne. Ce travail se fait à l'aide de capteurs pyro-électriques et d'un logiciel utilisant les réseaux bayésiens. Il s'agit d'un problème de fusion de capteurs et d'informations symboliques, mais aussi d'apprentissage et de reconnaissance d'un comportement et des anomalies survenant dans ce comportement (essentiellement les chutes

et les malaises de la personne âgée). L'intérêt est de pouvoir utiliser un modèle équivalent au modèle Diatélic, de manière aussi à comparer les capacités des réseaux bayésiens sur des problèmes différents.

7.3 Action coopérative " résolution de problèmes avec limitation de ressources "

Cette action réunit les projets Maia, Oméga, Orion et Sherpa.

La résolution de problèmes avec limitation de ressources est un nouveau thème de recherche en IA. Son objectif principal est de fournir des méthodes permettant de déterminer la meilleure stratégie pour résoudre une tâche donnée en fonction de contraintes qui lui sont imposées. Le résultat escompté de ces travaux est la conception de systèmes robustes ayant des capacités d'adaptation face à un environnement en constante évolution.

Une caractéristique importante de l'approche que nous comptons explorer dans le cadre de cette action incitative repose sur une conception orientée tâche de la résolution de problèmes. Cette approche constitue indéniablement une optique commune des travaux menés dans les projets Sherpa, Orion et Syco, même si chacun emploie actuellement sa propre terminologie (modèle de tâche chez Sherpa, pilotage d'algorithmes chez Orion, modèle d'agent chez MAIA).

La résolution de problèmes avec limitation de ressources est abordée de manière similaire dans les trois projets, chacun cependant ayant approfondi l'une ou l'autre des caractéristiques du modèle unifié que nous développons dans ce projet. Ce modèle repose sur une description des tâches (on parle de squelettes de tâches ou de modèles de tâches) en terme d'objectifs intermédiaires (squelettes) auxquels est associé un ensemble de méthodes et de ressources. Ces méthodes ont généralement des caractéristiques différentes : elles produisent par exemple des résultats de plus ou moins bonne qualité en fonction du degré d'approximation, d'imprécision ou d'incertitude des traitements. Le choix de ces méthodes va permettre des réalisations multiples de la tâche dont on suppose qu'une au moins respecte les contraintes. Notons que la notion de qualité recouvre des aspects très diversifiés visant à exprimer le niveau d'approximation, d'imprécision et d'incertitude des traitements.

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*. Ces deux équipes collaborent sur un certain nombre de points clefs du domaine :

Pilotage de tâches complexes ayant des ressources limitées

La conception orientée-tâche de la résolution de problèmes permet de décomposer et spécialiser une tâche complexe sous forme de tâches abstraites intermédiaires. Chaque sous-tâche peut recourir à une ou plusieurs méthodes pour atteindre les objectifs qui lui sont affectés. Les méthodes mises en jeu possèdent des caractéristiques différentes : elles produisent par exemple des résultats de plus ou moins bonne qualité en fonction des ressources disponibles (comme l'accessibilité des moyens de calculs et des données, le coût et le temps du transfert d'un jeu de données sur un réseau, l'existence ou non de dates limites d'exécution qu'elles soient critiques ou non critiques, etc.). Le choix de ces méthodes va permettre des réalisations multiples de la tâche dont on suppose qu'une au moins « est utile » dans le contexte précis de l'application. Le pilotage de tâche a pour fonction d'automatiser ces choix.

Résolution de Modèles de Décision Markovien en utilisant les techniques de recherche heuristique

Les Modèles de Décision Markovien (MDP) permettent de modéliser le problème du pilotage énoncé ci-dessus. Malheureusement, la complexité algorithmique des algorithmes permettant de résoudre un MDP ne permet pas d'envisager la réalisation d'applications d'envergure. La recherche heuristique, parce qu'elle permet d'élaguer une grande partie de l'espace de recherche, est une voie prometteuse pour permettre des réalisations de grandes tailles. Nous approfondirons ces techniques de recherche heuristiques en les étendant à la recherche dans des graphes ET/OU avec boucles.

Fondements théoriques

Nous nous intéressons 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 une 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. Ces travaux méritent d'être étendus et approfondis à des classes plus générales de problèmes.

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.

8 Diffusion de résultats

8.1 Animation de la communauté scientifique

- Participation active à des groupes de travail : Groupe AFIA Colline (M. Bouzid, V. Chevrier et A. Dury).
- Comités de lecture de revues : *Pattern Recognition*, *Journal of Intelligent Manufacturing*, *IECE Transactions*, Génie Educatif, Journal d'Acoustique, *Speech Communication*, Revue d'Intelligence Artificielle, *Computer Speech and Language*, *Int. J. Engineering Intelligent Systems*, L'Objet.
- Comités de programmes : membre du comité de programme du congrès RFIA'2000, Comité de programme des Journées Francophones IAD/SMA.
- Invitation et accueil de chercheurs du LIA Tunis (Chokri Baccouche) et du CRIM Montréal (Laurent Magnin).

8.2 Enseignement Universitaire

- Participation à divers enseignements dans les établissements lorrains (Université de Nancy 1 et 2, INPL, Supélec) : Maîtrise et DEA d'Informatique, IUT, MIAGE, DESS d'Informatique, DESS de Productique, École des Mines de Nancy, ENSEM, École de Géologie, ESIAL, ESSTIN ; et ailleurs : ENST-Bretagne (M.-C. Haton) ;
- Responsabilité du DEA d'Informatique de Nancy (J.-P. Haton) ;
- Responsabilité du département informatique de l'ESSTIN (V. Chevrier) ;
- Direction du CRI Nancy 2 (A. Boyer) ;
- Enseignement à l'étranger au DEA d'informatique de Tunis (J.-P. Haton).

8.3 Participation à des colloques, séminaires, invitations

- Participation à des jurys de thèses de doctorat (J.-P. Haton, M.-C. Haton et F. Charpillet) ;

- On se reportera à la bibliographie pour la liste des conférences et *workshops* auxquels les membres du projet ont participé.

9 Bibliographie

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] P. LAROCHE, *Processus Décisionnels de Markov appliqués à la planification sous incertitude*, Thèse d'université, Nancy, janvier 2000.

Articles et chapitres de livre

- [2] P. LAROCHE, «GraphMDP: A New Decomposition Tool for Solving Markov Decision Processes», *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 2000.
- [3] A. SCHEUER, «Amélioration de la conduite de robots mobiles», *Science & Info. Prépa*, 2000, Paru en tant que rapport de recherche Inria RR-3994, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3994>.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [4] M. BOUZID, V. CHEVRIER, F. CHARPILLET, S. VIALLE, «Parallélisation d'un simulateur d'agents situés», *in: Journées Scientifiques Centre Charles Hermite, Nancy, France*, p. 16–18, janvier 2000, <http://www.loria.fr/publications/2000/A00-R-092/A00-R-092.ps>.
- [5] M. BOUZID, V. CHEVRIER, S. VIALLE, F. CHARPILLET, «A Stochastic Model of Interaction for Situated Agents and its Parallel Implementation», *in: ACIDCA'2000: International Conference on Artificial and Computational Intelligence for Decision, Control and Automation in Engineering and Industrial Applications, Monastir - Tunisie*, p. 26–31, mars 2000.
- [6] A. BOYER, F. CHARPILLET, R. CHARTON, «Utilisation des agents intelligents dans le commerce électronique», *in: Form-Ami 2000 - "Information and Education, the cements of Nations - From Info2000 to e-Europe"*, Marseille, France, Commission Européenne, DG Société de l'Information, Université de la Méditerranée, EJCM, ESIM et la CCI Marseille Provence, octobre 2000.
- [7] A. DUTECH, «Solving POMDP using selected past events», *in: European Conference on Artificial Intelligence, Berlin*, août 2000.
- [8] F. GECHTER, F. CHARPILLET, «Vision Based Localisation for a Mobile Robot», *in: International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, novembre 2000.
- [9] P. LAROCHE, Y. BONIFACE, R. SCHOTT, «Décomposition d'un Processus Décisionnel de Markov à l'aide d'un Graphe», *in: Rencontres Francophones du Parallélisme (RenPar'2000), Besançon*, juin 2000.
- [10] P. LAROCHE, F. CHARPILLET, R. SCHOTT, «Décomposition d'un processus décisionnel de Markov à l'aide d'un graphe», *in: Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, Paris*, 2000.
- [11] P. LAROCHE, «Building Efficient Partial Plans using Markov Decision Processes», *in: International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 2000.

-
- [12] B. SCHERRER, F. ALEXANDRE, F. CHARPILLET, S. VIALLE, «Modélisation stochastique d'une population de neurones, méta-apprentissage dans un problème de classification», *in: Neurosciences et sciences de l'ingénieur, Dinard, France.*, septembre 2000.
- [13] J.-P. THOMESSE, F. CHARPILLET, L. ROMARY, « Telemecine and Dialysis », *in: XVII Congreso argentino de control automatico, Buenos Aires, AAECA*, septembre 2000.
- [14] S. VIALLE, M. BOUZID, V. CHEVRIER, F. CHARPILLET, « ParCeL-3: A Parallel Programming Language Based on Concurrent Cells and Multiple Clocks », *in: SNPD'00: International Conference on Software Engineering Applied to Networking and Parallel/Distributed Computing, Reims, France*, mai 2000.

Rapports de recherche et publications internes

- [15] O. BUFFET, « Apprentissage par renforcement dans un système multi-agents », *Stage de DEA*, juillet 2000.
- [16] A. SCHEUER, « Amélioration de la conduite de robots mobiles », *Rapport de recherche*, Inria, septembre 2000, Pré-publication d'un article dans une revue de vulgarisation (Science & Info. Prépa.), <http://www.inria.fr/rrrt/rr-3994.html>.