

*Projet coprin*

*Contraintes, OPtimisation, Résolution par  
INtervalles*

*Sophia Antipolis*

THÈME 2B

*R* *apport*  
*d'Activité*

2002



# Table des matières

<b>1. Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2. Présentation et objectifs généraux</b>	<b>1</b>
<b>3. Fondements scientifiques</b>	<b>2</b>
<b>4. Domaines d'application</b>	<b>3</b>
4.1. Panorama	3
<b>5. Logiciels</b>	<b>4</b>
5.1. Plate-forme logicielle générique	4
5.2. Bibliothèque ALIAS	4
<b>6. Résultats nouveaux</b>	<b>5</b>
6.1. Robotique et Théorie des mécanismes	5
6.1.1. Analyse de mécanisme	6
6.1.2. Synthèse de mécanisme et Conception optimale	6
6.1.3. Micro-robot	7
6.1.4. Futurs prototypes	7
6.2. Résolution de problèmes de satisfaction de contraintes en domaines finis	7
6.2.1. Recherche à focalisation progressive	7
6.2.2. Recherche locale	7
6.2.3. Algorithmes génétiques pour le coloriage de graphe	8
6.3. Reconstruction de scène 3D avec contraintes	8
6.4. Résolution de système de contraintes géométriques par rigidité, consistance et analyse par intervalles	8
6.5. Outils pour la modélisation et la simulation	9
6.6. Résolution de systèmes d'équations de distance	10
6.6.1. Contraintes globales pour la résolution de systèmes d'équations de distance	10
6.6.2. Filtrage global pour les contraintes de distance	10
6.6.3. Gestion des incertitudes	11
6.7. Génération de jeux de test logiciel	11
6.7.1. INKA	11
6.7.2. Projet RNTL Danocops	12
<b>7. Contrats industriels</b>	<b>12</b>
7.1. Alcatel	12
7.2. Airbus France	13
<b>8. Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>13</b>
8.1. Actions nationales	13
8.1.1. Projet RNTL "INKA"	13
8.1.2. Projet ROBEA "MAX"	13
8.1.3. Projet MathStic "Robot cuspidaux"	14
8.2. Actions internationales	14
8.2.1. Relations bilatérales internationales	14
<b>9. Diffusion des résultats</b>	<b>14</b>
9.1. Animation de la Communauté scientifique	14
9.2. Participation à des colloques	15
9.3. Enseignement	15
9.3.1. Cours dans le domaine de recherche et cours de DEA	15
9.3.2. Jurys de thèse et d'HDR	16
9.3.3. Responsabilités d'enseignements	16
9.4. Thèses	16

**10. Bibliographie****16**

# 1. Composition de l'équipe

*COPRIN est un projet commun à l'INRIA, au CNRS, à l'université de Nice-Sophia Antipolis et au laboratoire Cermics des Ponts et Chaussées.*

## **Responsable scientifique**

Jean-Pierre Merlet [DR2 Inria]

## **Responsable permanent**

Michel Rueher [professeur Unsa]

## **Assistante de projet**

Corinne Zuzia [AJT Inria, à mi-temps dans le projet]

## **Personnel Inria**

Yves Papegay [CR2]

David Daney [CR2, à partir du 1<sup>er</sup> décembre 2002]

## **Personnel Cermics**

Bertrand Neveu [ingénieur en chef des Ponts et Chaussées]

## **Personnel Unsa**

Gilles Trombettoni [maître de conférence Unsa]

## **Chercheurs doctorants**

Heikel Batnini [boursier MENESR depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2002]

Christophe Jermann [boursier BDI CNRS jusqu'au 31 décembre 2002]

Blaise Madeline [boursier DEMI-ATER jusqu'au 31 décembre 2002]

Luc Rolland [boursier INRIA, partagé avec le projet Spaces]

Pascal Urso [boursier DEMI-ATER jusqu'au 31 mars 2002]

## **Ingénieur de Recherche**

Claude Michel [ingénieur de recherche, CDD RNTL]

## **Chercheurs invités**

Arnold Neumaier [professeur à l'institut de mathématiques de l'université de Vienne, Autriche, un séjour d'une semaine en février 2002]

## **Collaborateurs extérieurs**

Hélène Collavizza [maître de conférence UNSA]

Yahia Lebbah [maître assistant Université d'Oran Es-Senia, Algérie]

Frédéric Marquet [ATER Esinsa]

Jean-Pierre Regourd [maître de conférence UNSA]

## **Stagiaires**

Heikel Batnini [stagiaire DEA Informatique UNSA, du 1<sup>er</sup> février au 30 juin 2002]

Julien Hamrouni [stagiaire DESS IST VALENCIENNES, du 14 avril au 13 juillet 2002]

Gauthier Meyer [stagiaire DEA Informatique UNSA, du 25 janvier au 30 juin 2002]

Julien Touati [stagiaire 1<sup>re</sup> année ENPC du 8 avril au 5 juillet 2002]

David Baccialon [stagiaire ESSI, du 15 mars au 15 juin 2001]

Nicolas Valentino [stagiaire ESSI, du 15 mars au 15 juin 2001]

# 2. Présentation et objectifs généraux

**Mots clés :** *Contraintes, optimisation, analyse par intervalles, consistances, analyse numérique, lien formel-numérique, géométrie, génération de jeux de test, théorie des mécanismes, CAO mécanique, robotique.*

Le projet COPRIN, commun UNSA/CNRS/ENPC/INRIA, a pour motivation scientifique la résolution de systèmes de *contraintes*. Dans le cadre de ce projet, une contrainte se définit à partir d'un ensemble de relations

$f$  impliquant  $n$  inconnues  $X$  et pouvant utiliser l'ensemble des opérateurs et fonctions mathématiques usuels (ainsi la fonction  $\sin(x + y) + \log(\cos(e^x) + y^2)$  est pour nous admissible).

Les problèmes qui nous intéressent sont d'une part, la résolution de systèmes de contraintes ( $(f(X) = 0, f(X) \leq 0)$ ), d'autre part la recherche d'optimalité ou d'existence de propriété (il existe deux valeurs  $X_1, X_2$  telles que  $f(X_1) > 0$  et  $f(X_2) < 0$ ). Par ailleurs, les domaines où nous recherchons les solutions sont bornés : purement continus (intervalle) ou mixtes (mêlant intervalles et ensembles finis de réels).

Chacun des trois partenaires du projet a déjà proposé des méthodes de résolution (approche dite "par contraintes" pour l'I3S/CERMICS et "analyse par intervalles" pour l'INRIA) qui ont en commun d'utiliser l'arithmétique d'intervalles. Partager les mêmes structures de données permet de travailler indifféremment avec des méthodes des deux types et c'est en jouant sur la complémentarité des approches que nous estimons pouvoir produire un algorithmique efficace. De plus, l'utilisation de l'arithmétique d'intervalles, qui permet de gérer les erreurs d'arrondis, nous permet :

- de fournir des solutions qui sont exactes (dans le sens où l'on peut calculer les solutions avec une précision arbitraire),
- de traiter des problèmes pour lesquels les coefficients sont incertains.

Le principe général des algorithmes que nous développons est le suivant :

- traitement du domaine courant par des opérateurs d'exclusion qui garantissent l'absence de solution dans le domaine,
- si l'étape précédente échoue, on applique des opérateurs de filtrage qui permettent éventuellement de réduire la taille du domaine,
- on utilise sur le domaine réduit des opérateurs d'existence qui permettent éventuellement de détecter la présence d'un sous-domaine contenant une solution unique. Ces opérateurs sont associés à un schéma numérique permettant de calculer cette solution,
- éventuellement si la taille du domaine résiduel est petite, on peut estimer qu'il est une solution du problème,
- sinon, on crée, à partir du domaine résiduel, deux nouveaux domaines en choisissant une des variables et en coupant son domaine propre en deux parties. Ces deux domaines sont ajoutés à la liste des domaines à traiter,
- le processus est répété successivement sur chacun des domaines de la liste.

L'algorithme s'arrête lorsque l'ensemble des domaines de la liste a été traité.

Notre travail consiste donc à développer des nouveaux opérateurs soit d'application générale, soit pour des systèmes avec des structures spécifiques, en particulier ceux issus de nos domaines d'application privilégiés comme la théorie des mécanismes ou le génie logiciel.

### 3. Fondements scientifiques

**Mots clés :** *contraintes, analyse par intervalles, lien symbolique-numérique, robustesse, implantation, applications, robotique, théorie des mécanismes, chimie moléculaire, santé.*

La motivation scientifique à l'origine de COPRIN est le désir de développer une algorithmique combinant méthodes de consistance et d'analyse par intervalles pour la résolution de systèmes de *contraintes*, avec comme outil de base *l'arithmétique par intervalles*. Dans le cadre de ce projet, une contrainte se définit à partir d'un ensemble de relations  $f(X)$  pouvant utiliser l'ensemble des opérateurs et fonctions mathématiques usuels (ainsi la fonction  $\sin(x + y) + \log(\cos(e^x) + y^2)$  est pour nous admissible).

Les problèmes qui nous intéressent sont d'une part la satisfaction de systèmes de contraintes ( $(f(X) = 0, f(X) \leq 0)$ ), d'autre part la recherche d'optimalité ou d'existence de propriété (il existe une valeur de  $X$  telle que  $f(X) = 0$ , ou deux valeurs  $X_1, X_2$  telles que  $f(X_1) > 0$  et  $f(X_2) < 0$ )

Nous recherchons les solutions du problème dans un domaine borné (appelé une *boîte*), soit continu, soit mixte, c'est-à-dire où certaines variables sont dans un domaine continu alors que les autres ne peuvent avoir qu'un nombre discret de valeur.

Nos méthode consiste à développer différents opérateurs qui sont appliqués en séquence sur une boîte :

1. *opérateurs d'exclusion* : ils permettent d'affirmer qu'il n'existe pas de solution du problème dans la boîte
2. *opérateurs rétractants* : ils tentent de réduire la largeur des intervalles de la boîte
3. *opérateurs d'existence et d'unicité* : ils détectent dans la boîte courante une sous-boîte qui contient une et une seule solution du problème et ils sont en général associés à une méthode numérique qui permet de la calculer de manière sûre.

Après application de ces opérateurs, si la boîte n'a pas été rejetée en phase 1 et qu'elle n'est pas modifiée par les phases suivantes, nous procédons à une bisection d'une des variables pour créer deux nouvelles boîtes qui seront ultérieurement soumises au même traitement. Le choix de la variable de bisection permettant d'obtenir le plus rapidement une satisfaction des tests 1 ou 3 fait évidemment partie de nos recherches.

Les recherches sur ces opérateurs se font soit pour le cas le plus général soit pour des systèmes spécifiques dont la structure particulière est prise en compte pour améliorer l'efficacité des opérateurs.

Par ailleurs, nous développons des méthodes de calcul formel pour :

- rendre commode l'utilisation des algorithmes développés (pas ou peu de nécessité d'écrire du code C++ pour résoudre un système, les méthodes se chargeant de cette génération et de l'exécution du code),
- procéder à des analyses sémantiques des expressions à traiter pour générer automatiquement des opérateurs rétractants, pour obtenir une évaluation des expressions plus fines (l'arithmétique d'intervalles est très sensible à la mise en forme des équations),
- permettre le calcul de solutions avec une précision arbitraire : après isolation des solutions dans des intervalles par un programme C++, la détermination effective des solutions peut se faire dans une procédure de calcul formel avec une précision arbitraire.

## 4. Domaines d'application

### 4.1. Panorama

**Mots clés :** *chimie moléculaire, robotique, santé, théorie des mécanismes.*

Clairement, le champ d'application de nos méthodes est extrêmement large, mais il est tout aussi clair qu'au sein d'un projet de la taille de COPRIN, il ne saurait être question d'aborder l'ensemble des applications. Nous avons donc décidé de nous concentrer sur trois sujets : la théorie des mécanismes (pour lequel existe une expertise dans le projet), la chimie moléculaire et le génie logiciel.

- Théorie des mécanismes : nos activités portent sur la conception optimale des mécanismes, sur la modélisation et l'analyse géométrique, en particulier pour la machine-outil, les machines spéciales et la robotique médicale,
- Chimie moléculaire : nous nous intéressons aux particularités géométriques de molécules organiques. Certains problèmes de ce domaine ont des analogues en théorie des mécanismes, ce qui a facilité nos recherches dans cette branche,
- Génie logiciel : nous nous concentrons sur le problème de la génération automatique de jeux de tests, c'est à dire la production de données d'entrée pour lesquelles un point sélectionné dans une procédure sera exécuté.

## 5. Logiciels

### 5.1. Plate-forme logicielle générique

**Participants :** Jean-Pierre Merlet, Michel Rueher, Yves Papegay, Bertrand Neveu, Gilles Trombettoni, Claude Michel, Fang Hao, Blaise Madeline, Christophe Jermann, Heikel Batnini.

**Mots clés :** *analyse par intervalles, lien symbolique-numérique.*

Nous disposons dans le projet de deux plate-formes de résolution : Icos et Alias. Nous avons entamé cette année une réflexion approfondie sur la manière dont devrait se construire au sein du projet une plate-forme logicielle générique dont les objectifs seraient :

- un interfaçage facile avec les utilisateurs,
- de permettre aisément la construction de différents solveurs par simple spécification des briques de base et leur agencement,
- la mise en œuvre aisée de tests (qui est la seule méthode possible pour établir la complexité pratique de nos algorithmes),
- la collaboration avec d'autres solveurs (y compris ceux développés dans d'autres projets ou à l'extérieur).

La diversité des points de vue dans le projet a conduit à des discussions animées mais un consensus semble se dégager sur certains concepts clés du système.

### 5.2. Bibliothèque ALIAS

**Participants :** Jean-Pierre Merlet [correspondant], David Daney, Yves Papegay, Gauthier Meyer.

**Mots clés :** *analyse par intervalles, géométrie algébrique effective, lien symbolique-numérique, robustesse.*

La bibliothèque ALIAS (*Algorithms Library of Interval Analysis for Systems*) a pour objet d'appliquer l'analyse par intervalles aux problèmes d'analyse et de résolution des systèmes. L'écriture de cette bibliothèque a commencé en 1998.

Notre effort cette année s'est porté sur deux axes principaux :

- la gestion de plusieurs modélisations : un problème donné peut s'exprimer de deux manières extrêmes, soit avec un nombre important d'inconnues mais des équations simples, soit avec un nombre réduit d'inconnues et des équations complexes. Chacune de ces deux formulations a un désavantage important : la nécessité d'un nombre important de bisection avant que l'évaluation par intervalles puisse fournir une information. En effet dans le premier cas, on va couper un nombre important de variables avant qu'une équation puisse permettre une élimination alors que dans le second c'est la surestimation de l'analyse par intervalle due à la complexité des équations qui conduira à la nécessité d'une bisection fine. En pratique, on choisit de manière empirique une formulation se situant entre ces deux extrêmes. Nous avons voulu au contraire tester une approche multi-modélisation dans laquelle coexiste une modélisation avec un jeu d'inconnues  $X_r$  en nombre réduit (sur lesquels se fera la bisection) et une modélisation avec un jeu d'inconnues  $X_e$  en plus grand nombre mais avec des équations plus simples. Nous avons voulu évaluer les gains d'efficacité que pourrait apporter cette approche en travaillant sur un problème concret très complexe.
- le développement de solveurs spécifiques : nous avons travaillé sur l'étude des polynômes paramétrés, c'est-à-dire dont les coefficients sont des fonctions. Il s'agit par exemple, de déterminer quels sont les valeurs minimales et maximales des racines réelles de ces polynômes ou de déterminer l'ensemble  $V$  des valeurs possibles des paramètres tels que les polynômes dont les coefficients sont obtenus à partir de paramètres choisis dans  $V$  ont des racines réelles comprises dans un intervalle donné.



Ces efforts sont motivés par des problèmes soumis par des utilisateurs potentiels de l'analyse par intervalles :

- les mécaniciens pour le problème de la synthèse de robot 3R : on spécifie un certain nombre de points de passage pour l'organe terminal (au maximum 5, le système devenant sur-contraint au-delà) et l'on doit déterminer les géométries du robot qui permettent d'atteindre ces points de passage. C'est un problème réputé très difficile :
  - pour 3 points de passage, le seul résultat connu a été obtenu dans un temps variant de 2 heures à 70 heures sur une machine parallèle avec 64 processeurs à 400 MHz,
  - pour 5 points de passage aucune méthode n'a pu fournir ne serait ce qu'une solution.

La méthode multi-modélisation a été appliquée à ce problème avec un jeu  $X_r, X_e$  respectivement de 11 et 30 inconnues. Elle a permis de résoudre effectivement le problème en fournissant l'ensemble des solutions du problème en 5 jours de calcul sur le cluster de Sophia Antipolis en utilisant 25 processeurs. Ce résultat a fait l'objet d'une publication à la conférence ASME [14], nommée pour le "Best Paper Award". L'approche a donc été validée mais a nécessité un effort logiciel lourd pour la mise en équation et nous travaillons sur la possibilité de l'automatiser, au moins partiellement.

- les roboticiens et les automaticiens : dans ces deux domaines se posent fréquemment le problème de déterminer les valeurs propres d'une matrice paramétrée. Par exemple, les roboticiens sont très intéressés par celles de  $J^{-1}J^{-T}$ , où  $J$  est la matrice jacobienne du robot, puisqu'elles permettent de mesurer quelle est la contribution des actionneurs à la vitesse de l'organe terminal. En automatique, ces valeurs propres permettent de qualifier la robustesse d'une commande.

Des problèmes de ce type nous ont été posés par une équipe de l'Ircyn de Nantes, par E. Malis (projet ICARE) et par D. Henrion (LAAS). Nous avons donc développé des algorithmes spécifiques [17] dont la structure est similaire à celle proposée par d'autres équipes [3] mais dont l'implantation se distingue par :

- une plus grande généralité : alors que les autres implantations sont principalement dédiées à la gestion de coefficients polynomiaux dans les variables, notre algorithme accepte des fonctions quelconques ;
- un pré-traitement formel : Maple sert comme langage d'interface et permet une mise en forme appropriée des expressions. Par exemple, la trace de la matrice va être évaluée formellement avant d'être implantée dans les modules de filtrage en C++ de l'algorithme : une meilleure prise en compte des dépendances des expressions est ainsi assurée ;
- une prise en compte de la parallélisation : comme la plupart des algorithmes de l'analyse par intervalles, la structure des méthodes est appropriée à une implantation distribuée. Nos programmes ont été conçus à cet effet et une utilisation distribuée est possible directement à partir de l'interface Maple d'ALIAS.

Ces solveurs spécifiques ont été testés sur des problèmes pratiques et sont maintenant intégrés à ALIAS.

La version courante de la bibliothèque ALIAS est disponible sous <http://www-sop.inria.fr/coprin/logiciels/ALIAS>

## 6. Résultats nouveaux

### 6.1. Robotique et Théorie des mécanismes

**Participants :** Jean-Pierre Merlet, Yves Papegay, Luc Rolland, David Daney.

**Mots clés :** *robotique, théorie des mécanismes, robots parallèles.*

Nous avons étendu cette année nos champs applicatifs classiques (machine-outil, positionneur ultra-précis, automobile et médical) à des applications spatiales. Par ailleurs, nous poursuivons notre développement d'un micro-robot pour l'endoscopie et nous prévoyons de démarrer très prochainement les études théoriques pour la réalisation d'un robot parallèle à câbles qui devrait servir d'interface à un système de réalité virtuelle.

Du point de vue théorique, nos travaux se sont portés principalement sur l'amélioration des méthodes de synthèse, d'analyse et de conception optimale pour les mécanismes, en particulier les robots parallèles.

### 6.1.1. Analyse de mécanisme

**Participant :** Jean-Pierre Merlet.

L'analyse d'un mécanisme donné consiste à déterminer quelles seront ses performances. Le plus souvent, l'analyse se ramène à la résolution d'un problème d'optimisation : en effet, on est amené à considérer les extrema d'un index de performance (par exemple la précision de positionnement ou les valeurs propres d'une matrice) qui varient selon la configuration du mécanisme. Il faut alors calculer ces extrema pour un ensemble de configuration dans un domaine borné. Nous avons développé un algorithme, décrit dans la section ALIAS, qui permet de procéder à ce calcul. Cette approche a permis, dans le cadre de l'action ROBEA-MAX, de calculer quelle partie de l'espace de travail du robot Orthoglide, développé à l'Ircyn de Nantes, présentait les caractéristiques les plus intéressantes pour la vitesse du robot [9].

### 6.1.2. Synthèse de mécanisme et Conception optimale

**Participants :** Jean-Pierre Merlet, David Daney.

Un aspect important de la synthèse de mécanisme est la synthèse orientée espace de travail, c'est-à-dire celle où l'on cherche à déterminer l'ensemble des géométries d'un mécanisme de type donné de manière à ce que l'espace de travail des mécanismes ainsi sélectionnés contiennent un espace de travail spécifié à l'avance. Cette année, nous avons poursuivi la résolution du problème, sans solution connue à ce jour, de la détermination des géométries d'un robot constitué de 3 articulations rotoïde placées en série, ceci en collaboration avec D. Mavroidis de l'Université Rutgers. En laissant libre l'ensemble des paramètres définissant la géométrie de ce type de robot, on peut définir au plus 5 positions/orientations que doit pouvoir atteindre l'organe terminal. Un effort théorique et logiciel important (cf. section ALIAS) nous a permis de déterminer l'ensemble des géométries permettant d'atteindre 5 poses prédéfinies [14].

Pour ce qui concerne l'analyse d'autres types de performance, nous avons posé les principes de base d'une approche permettant de traiter la majeure partie des index de performances habituellement utilisés dans un cadre unifié, et ceci quel que soit l'architecture du mécanisme utilisée [20]. Cette approche part de la constatation que l'analyse des index de performance se ramène à la résolution d'un problème appartenant à une classe  $\mathcal{C}$ , relativement réduite, de problèmes mathématiques bien posés et que seuls certains éléments du problème dépendent de l'architecture du mécanisme. L'approche consiste donc à

1. déterminer, pour l'index de performance considéré, quel est le problème  $\mathcal{P}$  de  $\mathcal{C}$  auquel on peut se ramener,
2. identifier les éléments liés à l'architecture intervenant dans  $\mathcal{P}$ ,
3. utiliser le solveur de  $\mathcal{P}$ .

Pour la conception optimale, l'approche reste valide mais se complexifie en raison d'un nombre plus important de paramètres [18].

Les phases 1 et 2 posent des problèmes d'identification des index de performances et d'automatisation de la procédure. Par contre la phase 3 pose des problèmes de fond puisqu'il est nécessaire de disposer de solveurs pour des problèmes souvent difficiles. Pour mettre complètement en place cette approche, il y a donc besoin d'un travail coopératif entre mécaniciens et mathématiciens : c'est pour cela que nous avons lancé, via le Comité technique "Computational Kinematics" de l'IFTOMM, un appel à collaboration [21].

### 6.1.3. *Micro-robot*

**Participant :** Jean-Pierre Merlet.

Nous continuons notre développement d'un micro-robot parallèle à 3 degrés de liberté pour l'endoscopie dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire LMARC de l'Université de Besançon, le Technion d'Haifa et la société DG Créations, avec le soutien financier initial de l'AFIRST. Deux prototypes sont maintenant disponibles, l'un d'un diamètre de 7mm pour une longueur de 28mm, l'autre d'un diamètre de 8.6mm et de même longueur mais pouvant exercer des forces plus importantes. La partie théorique de la commande a été réalisée [15][16] mais des problèmes de personnel ne nous ont pas permis d'implanter la partie matériel. L'arrivée d'un ingénieur de l'équipe DREAM devrait cependant nous permettre de pouvoir bientôt passer aux premiers essais dans le cadre d'une ACI "Technologie de la Santé".

### 6.1.4. *Futurs prototypes*

**Participants :** Jean-Pierre Merlet, David Daney, Fang Hao.

La présence d'un post-doctorant chinois financé par Alcatel et l'arrivée dans l'équipe de D. Daney devrait nous permettre de renforcer notre activité prototype robotique qui nous semble indispensable à la fois pour renforcer la crédibilité de nos travaux théoriques et pour constituer un réservoir de problèmes réalistes. Nous prévoyons la réalisation :

- d'une maquette d'instrument spatial utilisant une technologie originale, ceci dans le cadre d'un contrat avec Alcatel
- d'un prototype de robot à câbles avec comme application privilégiée la réalité virtuelle. C'est un domaine en plein essor et nous comptons y contribuer en apportant des solutions originales dans le domaine au retour d'efforts, de l'optimisation du robot et de son fonctionnement vis-à-vis de l'application cible.

## 6.2. **Résolution de problèmes de satisfaction de contraintes en domaines finis**

### 6.2.1. *Recherche à focalisation progressive*

**Participants :** Bertrand Neveu, Nicolas Prcovic.

**Mots clés :** *algorithme, recherche arborescente, heuristique.*

En étudiant le comportement des heuristiques de choix de valeur, il a été remarqué que de mauvais choix en haut de l'arbre de recherche pouvaient avoir des conséquences catastrophiques. Pour remédier à ce phénomène, des algorithmes de recherche alternée dans différents sous-arbres (comme IDFS) ou prenant en compte les divergences par rapport au choix de l'heuristique (comme LDS ou DDS) ont été développés. Nous avons conçu un nouvel algorithme appelé recherche à focalisation progressive [23] qui au départ alterne des recherches entre les différents sous-arbres issus des premiers choix de valeur et accumule de l'information statistique sur ces sous-arbres. Cette information permet à l'algorithme de se focaliser ensuite vers le sous-arbre le plus prometteur.

### 6.2.2. *Recherche locale*

**Participants :** Bertrand Neveu, Gilles Trombettoni.

**Mots clés :** *bibliothèque logicielle, recherche locale, métaheuristique.*

Nous avons conçu une nouvelle bibliothèque de recherche locale pour résoudre les problèmes de satisfaction de contraintes en domaines finis que nous avons implantée en C++. Cette bibliothèque permet de définir facilement différents parcours de voisinage et différentes méta-heuristiques classiques telles que la méthode avec liste taboue et le recuit simulé ainsi que d'implanter de nouvelles méthodes. Un effort particulier a été fait pour l'efficacité des algorithmes en effectuant une évaluation incrémentale des mouvements et pour une gestion générale et originale du voisinage. Un algorithme gérant plusieurs configurations à la fois a aussi

été réalisé et les premiers résultats obtenus sur des problèmes de coloriage de graphes et sur des instances d'allocation de fréquences du CELAR sont encourageants.

### 6.2.3. Algorithmes génétiques pour le coloriage de graphe

**Participants :** Blaise Madeline, Bertrand Neveu.

**Mots clés :** *algorithme génétique, opérateur génétique, coloriage de graphe.*

Les algorithmes génétiques forment une méthode d'optimisation très générale, mais qui a souvent besoin d'être spécialisée par des opérateurs particuliers pour pouvoir résoudre de manière efficace un problème donné. De plus, ils nécessitent une phase de réglage des paramètres souvent longue et fastidieuse. Nous avons proposé de nouveaux opérateurs généraux à paramétrage dynamique (taux de mutation adaptatif en fonction du degré de convergence de la population, taux de mutation suivant une fonction sinus). Nous avons conçu d'autre part un nouvel opérateur de croisement multi-points, qui offre plus de possibilités de croisements que celui à N-points classique et un opérateur de diversification pour le coloriage de graphe[27]. Tous ces opérateurs ont été testés sur des problèmes de coloriage de graphe, dont certains sont issus de problèmes de dimensionnement de réseaux tout optique (technologie WDM) étudiés par le projet MASCOTTE.

### 6.3. Reconstruction de scène 3D avec contraintes

**Participants :** Gilles Trombettoni, Christophe Jermann.

**Mots clés :** *reconstruction de scène 3D, décomposition de contraintes géométriques, paramétrage minimal.*

Ce travail est effectué en collaboration avec M. Wilczkowiak du projet MOVI, INRIA Rhône-Alpes.

L'équipe MOVI développe un outil de calibrage de caméras et de reconstruction de scène en 3D à partir de photographies. Une version récente de cet outil permet à un utilisateur d'explicitier des contraintes sur la scène 3D (parallélismes, distances relatives, etc). Un système itératif de calcul (appelé « bundle adjustment »), sur une méthode de Levenberg-Marquadt, tente de minimiser les erreurs sur ces contraintes et la différence entre les valeurs successives calculées.

Le travail de collaboration a un double objectif : calculer une scène qui respecte les contraintes (sans erreurs) et appliquer les phases de « bundle adjustment » sur un sous-ensemble minimal des variables seulement (les autres étant recalculées grâce aux contraintes justement). L'algorithme de décomposition de systèmes de contraintes PDOF-général conçu en 1997/1998 est en cours d'application sur ce problème et constituera une partie du source de l'outil en C++. Il permettra de définir un paramétrage minimal, puis de recalculer les autres variables par application de routines de recalcul de sous-systèmes d'équations reposant sur des méthodes simples à la règle et au compas.

### 6.4. Résolution de système de contraintes géométriques par rigidité, consistance et analyse par intervalles

**Participants :** Christophe Jermann, Bertrand Neveu, Michel Rueher, Gilles Trombettoni.

**Mots clés :** *contraintes géométriques, rigidité, décomposition, intervalles.*

Un *système de contraintes géométriques* est constitué par un ensemble d'*objets géométriques* (points, droites, ellipses ...) et de *contraintes géométriques* (distances, angles, incidences, ...) plongés dans un espace euclidien muni d'un repère cartésien global. Les positions, orientations et dimensions des objets géométriques sont les inconnues du système. La résolution consiste à fournir des valeurs pour ces inconnues de telle sorte que toutes les contraintes du système soient satisfaites. Selon le domaine d'application, il peut être intéressant de fournir toutes les solutions (comme en conformation de molécules par exemple) ou bien de ne fournir qu'une seule solution correspondant à un critère donné (optimisation, en CAO par exemple).

Nous étudions plus particulièrement les méthodes dites de *rigidification récursive* qui tirent parti de la propriété de *rigidité* de certains systèmes de contraintes géométriques. Cette propriété est principalement étudiée par les communautés *CAO*, *théorie des mécanismes* et *topologie structurelle*. Les systèmes présentant souvent

cette propriété se trouvent dans les domaines d'applications liés à ces trois communautés : reconstruction d'image, CAO, conception de mécanisme, architecture, conformation de molécules, ...

Le schéma général de la méthode de rigidification récursive est séparé en 2 phases :

- Planification. Cette phase décompose le système en sous-systèmes rigides et fournit un ordre partiel pour l'assemblage de ces sous-systèmes.
- Assemblage. Cette phase résout d'abord chaque sous-système en respectant l'ordre fourni par la phase précédente, puis assemble les solutions des sous-systèmes en solutions du système entier.

Ce schéma permet d'obtenir toutes les solutions par un processus de retour-arrière lors de la résolution des sous-systèmes, et permet aussi d'obtenir la solution optimale pour un critère donné.

Nous avons principalement étudié les algorithmes de rigidification récursive proposés par la communauté CAO. Nos résultats portent sur les 2 phases de la méthode :

- Planification. Les algorithmes proposés par la communauté CAO reposent sur des algorithmes de flots et savent traiter tout système de contraintes géométriques en espace euclidien de dimension quelconque, ce qui leur confère un large champ d'applications potentielles. Cependant, ils utilisent une notion heuristique de rigidité basée sur une analyse des degrés de liberté. Les différences entre la rigidité et cette heuristique sont principalement dues à la présence de contraintes *redondantes* ou *singulières*. Nous avons proposé une nouvelle heuristique tirant parti de la géométrie du système étudié et qui est plus conforme à la rigidité ; nous avons aussi identifié des champs d'application où cette nouvelle heuristique correspond exactement à la rigidité. Sur la base de cette nouvelle heuristique, nous avons proposé un nouvel algorithme de flot pour identifier des sous-systèmes rigides et défini un nouveau schéma de rigidification récursive. Nous avons aussi clarifié la classe de complexité de certains problèmes relatifs à l'identification de sous-systèmes rigides.
- Assemblage. Nous avons adapté un schéma de résolution existant à la résolution de systèmes géométriques décomposés par notre méthode de rigidification récursive. Étant donné que l'ensemble des solutions peut nous intéresser, nous avons proposé d'utiliser *la propagation d'intervalles* pour résoudre le système décomposé. Cette méthode de résolution a l'avantage de permettre d'encadrer toutes les solutions avec la précision voulue. Cependant, la décomposition offre la possibilité d'utiliser des solveurs différents pour chaque sous-système issu de la planification. Aussi, nous pouvons utiliser les différentes méthodes développées au sein de l'équipe, comme les solveurs spécifiques adaptés aux contraintes de distance, ou la collaboration de solveurs symboliques et numériques par intervalles.

Ces travaux ont donné lieu à 3 publications sur la période 09/2001-09/2002 : [11][12][10].

## 6.5. Outils pour la modélisation et la simulation

**Participant :** Yves Papegay.

**Mots clés :** *modélisation, simulation, hypergraphes, calcul formel, génération de code, qualité numérique.*

Dans différents milieux industriels, le processus de modélisation/simulation s'appuie sur des théories scientifiques qui décrivent des comportements physiques et des méthodes de calculs à l'aide de formules ; il consiste à produire, à partir de ces théories, des logiciels de simulations numériques qui implémentent ces méthodes et ces calculs.

Le grand nombre de paramètres et d'équations qui entrent en jeu dans les modèles, la diversité de leur origine, les contextes et les contraintes de validité qui leurs sont attachés complexifient ce travail de production logicielle ainsi que sa phase de test.

Notre activité consiste à définir et à développer des outils pour automatiser cette production. Elle fait l'objet d'une collaboration avec une équipe de modélisation aérodynamique d'Airbus.

Cette année, dans ce cadre contractuel, nous avons traité les problèmes d'édition, de communication et d'évaluation de modèles, et fourni une implémentation sous la forme d'une maquette *Mathematica* en cours d'industrialisation chez Airbus.

Nous avons formalisé les concepts de modèles, de variables, de paramètres et utilisé la théorie des graphes et des hypergraphes pour représenter les dépendances des variables à travers les modèles. Ce formalisme permet d'utiliser les travaux réalisés dans l'équipe [1] sur la décomposition des CSP pour générer des programmes d'évaluation dans les cas où les modèles ne sont pas orientés.

L'objectif recherché est de pouvoir générer, à partir d'un même ensemble de modèles, à la fois des codes de résolution de problèmes directs pour la simulation et de problèmes inverses pour la conception.

## 6.6. Résolution de systèmes d'équations de distance

**Participants :** Heikel Batnini, Michel Rueher.

**Mots clés :** *Contraintes globales, équations quadratiques, équations de distance, algorithme de filtrage local.*

Introduction : un effort général du projet porte sur le traitement des *équations de distance*. On considère des points  $X$  dans un espace de dimension  $n$  qui sont soumis à des contraintes de distance :

$$\sum_{j=1}^{j=n} (X_i^j - X_k^j)^2 = L_{ik}^2$$

où  $L_{ik}$  représente la distance connue entre les points  $X_i, X_k$ . Parmi les points  $X$  peut exister des *points virtuels* dont les coordonnées s'expriment comme combinaison linéaire des coordonnées d'autres points (par exemple si  $l > 3$  points d'un même solide dans l'espace sont impliqués dans les équations alors il y aura  $l - 3$  points virtuels). Ce type de système apparaît fréquemment dans des problèmes de robotique ou de chimie moléculaire.

### 6.6.1. Contraintes globales pour la résolution de systèmes d'équations de distance

Les techniques issues de la programmation par contraintes sont essentiellement basées sur la bisection, couplée avec des méthodes de consistance locale ou partielle. Or ces consistances sont mises en œuvre de manière systématique et ne prennent pas en compte les propriétés spécifiques de certains sous-ensembles de contraintes. C'est le cas des systèmes de contraintes de distances entre points, pour lesquelles des propriétés géométriques intrinsèques comme les inégalités triangulaires ou les propriétés des barycentres n'apparaissent pas explicitement dans les équations. On s'est donc intéressés à la conception d'un algorithme spécialisé pour le traitement global de ce type de contraintes, dans le même état d'esprit que ce qui a été fait dans les domaines finis avec la contrainte All-diff, par exemple, ou dans les domaines continus avec la méthode du simplexe étendue. L'essentiel de ce travail a consisté d'une part à analyser les algorithmes de consistance locale, et d'autre part à introduire des contraintes redondantes pour améliorer la qualité du filtrage effectué par ces méthodes de consistance locale. Un algorithme de fermeture du graphe de contraintes a été élaboré permettant de vérifier la satisfaction des inégalités triangulaires. La structure de cet algorithme nous a permis d'introduire une procédure de filtrage à la volée des domaines des variables, à chaque traitement d'une arête du graphe.

Cette étude a débouché sur la recherche d'un algorithme plus efficace et adapté à la résolution d'un système à trois équations, et son introduction en lieu et place du filtrage à la volée décrit précédemment.

Après implantation nous avons procédé à une comparaison de cet algorithme avec la 3B-consistance. En général on constate un gain en efficacité lorsque certains cycles de convergence lente sont éliminés par l'introduction des contraintes redondantes. Cependant dans certains cas de nouveaux cycles de convergence lente peuvent apparaître et engendrer un temps de calcul supérieur.

### 6.6.2. Filtrage global pour les contraintes de distance

**Participants :** Yahia Lebbah, Michel Rueher, Claude Michel.

**Mots clés :** *contraintes de distance, contraintes globales, contraintes quadratiques, linéarisation RLT.*

Nous avons développé une contrainte globale spécifique pour la résolution d'équations quadratiques et qui s'applique particulièrement bien aux contraintes de distance. L'idée consiste à utiliser les techniques de linéarisation RLT pour relaxer le système de contraintes quadratiques et à utiliser le simplexe pour chercher les bornes de chaque variable dans le système linéaire obtenu. Combinée aux techniques de contraintes classiques sur les intervalles, cette contrainte globale nous a permis d'obtenir d'excellents résultats sur des problèmes difficiles [13].

### 6.6.3. Gestion des incertitudes

**Participants :** Julien Touati, Bertrand Neveu, Gilles Trombettoni.

**Mots clés :** *contrainte de distance, consistance, incertitudes.*

Nous avons étudié comment on pouvait gérer les incertitudes dans les paramètres d'un système d'équations de distance. En partant des solutions ponctuelles du système sans les incertitudes, nous avons réalisé une partition des domaines des variables de manière à ce que chaque solution appartienne à un seul sous-domaine et avons appliqué des techniques de consistance sur domaine continu (intervalles) pour obtenir des boîtes intérieures et extérieures des solutions du système avec incertitudes, sous l'hypothèse que ces domaines-solutions soient sans intersection.

## 6.7. Génération de jeux de test logiciel

**Participants :** Claude Michel, Yahia Lebbah, Michel Rueher.

**Mots clés :** *test structurel, génération automatique de jeux de tests, programmation par contraintes, consistances partielles, traitement des nombres flottants.*

### 6.7.1. INKA

Ce travail s'effectue dans le cadre d'une collaboration avec Thales Airborne Systems dans le cadre du projet Rntl Inka.

Le test reste une étape essentielle dans le cycle de vie du logiciel : le respect des exigences imposées par les organismes normatifs (ISO, Afnor, DoD, ...) concernant le test, représente un coût non négligeable dans le développement des logiciels lorsque les exigences de sécurité sont importantes. Une des difficultés majeures pour l'automatisation du processus de test structurel réside dans la production automatique des cas de test, c'est-à-dire la détermination d'un ensemble de valeurs d'entrée pour lesquelles un point choisi du programme sera exécuté.

Dans le cadre du projet Rntl<sup>1</sup> Inka, nous nous sommes spécialement intéressés depuis un an au traitement des nombres à virgule flottante. Les difficultés proviennent essentiellement de l'arithmétique des nombres à virgule flottante. La pauvreté des propriétés mathématiques de ces arithmétiques se traduit par une plus grande sensibilité aux problèmes sous-jacents de l'ATDG. En particulier, la correspondance entre le code source testé, qui sert de base à la génération des contraintes, et le code objet exécuté est délicate à établir. Par exemple, chaque bibliothèque mathématique a ses propres spécificités dont Inka doit tenir compte. Plus généralement, le résultat de l'évaluation d'une expression  $e(x_1, \dots, x_n)$  pour un  $n$ -uplet de nombres à virgule flottante dépend de divers paramètres (e.g., le mode d'arrondi, la bibliothèque mathématique, l'unité de calcul en virgule flottante).

Les contraintes sur les flottants étant définies par des expressions arithmétiques, l'utilisation directe des solveurs sur les intervalles<sup>2</sup> pourrait être envisagée pour résoudre des contraintes sur les flottants. L'utilisation directe de tels solveurs se heurte toutefois à deux problèmes majeurs :

<sup>1</sup>Réseau National de recherche et d'innovation en Technologies Logicielles

<sup>2</sup>Les contraintes sur les flottants sont certes des contraintes sur les domaines finis mais la taille des domaines exclut les techniques classiques des CSP (il y a plus de  $10^{18}$  nombres à virgule flottante dans l'intervalle  $[-1, 1]$  lorsque les flottants sont représentés par des double.)

- *Les solveurs sur les intervalles ne sont pas conservatifs sur les flottants* c'est-à-dire, ils peuvent supprimer des solutions sur les flottants qui ne sont pas des solutions sur les réels (e.g., l'équation  $16.0 = 16.0 + x$  est considérée par un solveur basé sur un filtrage par 2B-consistance (e.g., Prolog IV) comme étant équivalente à  $x = 16.0 - 16.0$  qui produit comme résultat  $x = 0$  alors que, sur les flottants, cette équation admet pour solution n'importe quel flottant dans l'intervalle  $[-8.88178419700125232e - 16, 1.77635683940025046e - 15]$ . Ces problèmes sont évidemment amplifiés par les transformations symboliques effectuées par certains solveurs pour mieux réduire les intervalles.
- Les solutions fournies par les solveurs sur les intervalles sont de petits intervalles qui peuvent contenir une solution sur les réels alors que les solutions recherchées sur les flottants sont des  $n$ -uplets de nombres à virgule flottante. Ainsi, PROLOG IV nous indique que des solutions de l'équation  $x^2 = 2$  peuvent être contenues dans l'intervalle  $]1.4142135, 1.4142136[$ .

Nous avons, de ce fait, proposé un nouveau solveur pour les contraintes sur les flottants [22], reposant sur un algorithme de filtrage conservatif, c'est-à-dire un algorithme qui ne supprime aucune solution sur les flottants et capable d'énumérer sur les flottants.

Schématiquement, celui-ci repose sur les principes suivants :

- Une définition d'un véritable système de contraintes sur les flottants avec notamment un mode d'évaluation des contraintes qui tient compte du mode d'arrondi et qui correspond à celui des expressions du langage C respectant le standard Ansi C.
- Un algorithme de filtrage conservatif qui permet de réduire le domaine des variables sans perdre aucune solution sur les flottants ; cet algorithme utilise en particulier des techniques de consistance partielle telles que la 2B-consistance ou la Box-consistance comme heuristique de choix.
- Un algorithme d'énumération qui permet de générer des  $n$ -uplets de flottants.

### 6.7.2. Projet RNTL Danocops

Dans le prolongement d'INKA, nous avons déposé un nouveau projet, nommé DANOCOPS, qui a été labellisé en mai 2002. Nous avons la responsabilité de la coordination des recherches du projet Rntl Danocops dont l'objectif est la réalisation d'un outil pour détecter des non-conformités aux spécifications en utilisant les techniques de programmation par contraintes. Nous proposons une technique innovante pour détecter des défauts de conformité aux spécifications. Cette technique repose sur une transformation du programme et des spécifications en systèmes de contraintes. Ce type de transformation est déjà utilisé avec succès dans différents outils ( Inka, BZ-TestingTools) pour la génération automatique de cas de tests développés par les partenaires. L'objectif du projet Danocops est d'exploiter les potentialités de cette technique pour la recherche de défauts de conformité, de développer un outil capable de l'appliquer sur des programmes écrits en C/C++/JAVA et des spécifications écrites en Uml / Ocl et d'explorer l'utilisation de cette technique dans le cas de spécifications décrites en B et Lustre.

Notre contribution scientifique dans ce projet porte sur la définition de la couche contraintes et des modules de résolution associés sous-jacents aux différents prototypes.

## 7. Contrats industriels

### 7.1. Alcatel

**Participants :** Jean-Pierre Merlet, Fang Hao.

Alcatel Space Industries nous a contacté pour participer à la conception d'un instrument spatial à hautes performances en utilisant des principes innovants. F. Hao, post-doctorant chinois a entamé une étude conceptuelle qui a conduit à une structure originale qui a été présentée à Alcatel [26]. Cette société a décidé de continuer



à nous financer pour la construction d'une maquette de faisabilité dont la géométrie sera élaborée avec notre approche de conception optimale.

## 7.2. Airbus France

**Participant :** Yves Papegay.

Pour améliorer la production de simulateurs aérodynamiques, à partir de modèles aérodynamiques, Airbus France s'intéresse à des outils tels ceux décrits en 6.5.

Cette année, nous avons été chargés d'une étude et de la réalisation d'une maquette d'édition, de communication et d'évaluation de modèles. Nous ne sommes pas autorisés à donner ici plus de détails.

# 8. Actions régionales, nationales et internationales

## 8.1. Actions nationales

### 8.1.1. *Projet RNTL "INKA"*

**Participants :** Claude Michel, Michel Rueher, Yahia Lebbah.

Nous avons la responsabilité de la coordination des recherches du projet RNTL INKA. Il s'agit d'un projet pré-compétitif dont l'objectif est la réalisation d'un outil pour la génération automatique de jeux de test structurel à partir du source de programmes C ou C++. Nos partenaires sont :

- Thales « Systèmes Aéroportés »
- Axlog Ingénierie
- le LSR (IMAG)
- le LIFC (Besançon)
- Thomson-CSF Detexis

Notre contribution scientifique dans ce projet porte sur la recherche de techniques de résolution des contraintes pour les systèmes générées à partir d'instructions manipulant des nombres flottants. La durée du projet est de deux ans.

### 8.1.2. *Projet ROBEA "MAX"*

**Participant :** Jean-Pierre Merlet.

Ce projet, financé par le CNRS, a pour but de développer des outils d'aide à la gestion et à la conception de systèmes robotiques complexes. Les partenaires sont :

- LIRMM (Montpellier)
- LASMEA, IFAMA (Clermont-Ferrand)
- IRCCYN (Nantes)

Notre contribution porte sur l'application de l'analyse par intervalles pour la détermination des performances de ce type de système, pour leur conception optimale et pour la résolution de système apparaissant en contrôle et calibration. Nous nous sommes particulièrement intéressé à la détermination de la partie de l'espace de travail du robot Orthoglide pour lequel un index de performance devait appartenir à un intervalle donné [9].

### 8.1.3. *Projet MathStic "Robot cuspidaux"*

**Participant :** Jean-Pierre Merlet.

Le but de ce projet est l'étude détaillée des robots cuspidaux, c'est-à-dire des robots qui ont la particularité de pouvoir changer de configurations (même posture de l'organe terminal mais configurations articulaires différentes) sans passer par une singularité. Les partenaires sont :

- IMAR (Rennes)
- LIP6 (Paris)
- IRCCYN (Nantes)

Notre contribution porte sur la caractérisation de l'ensemble des paramètres géométriques d'une architecture particulière de robot conduisant aux différentes formes possibles de robots cuspidaux à partir d'un critère fourni par le LIP6 et l'IMAR permettant de déterminer si un robot donné est cuspidal et à quelle catégorie il appartient.

## 8.2. Actions internationales

### 8.2.1. *Relations bilatérales internationales*

- Nous avons entamé une collaboration avec l'université de Vienne, en Autriche, qui s'est traduite par une visite d'une semaine du Pr. Neumaier dans le projet.
- Collaboration avec l'Université de Brown (Providence, USA) qui s'est traduite par un séjour d'une semaine de M. Rueher à Providence en septembre 2002 ; nous préparons actuellement un projet NFS-INRIA.

## 9. Diffusion des résultats

### 9.1. Animation de la Communauté scientifique

- J-P. Merlet est éditeur du journal électronique « Electronic Journal of Computational Kinematics ». Ce journal est soutenu par la commission technique « Computational Kinematics » de l'IFTToMM (International Federation on the Theory of Machines and Mechanisms), dont il est président.
- J-P. Merlet est membre suppléant du conseil de spécialistes (61ème section) de l'Université de Nice et de la Commission d'Evaluation de l'INRIA.
- J-P. Merlet a été membre des comités de Programme des conférences « IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation », « International Symposium on Experimental Robotics » et est membre du Comité Scientifique du XVIème Congrès Français de Mécanique
- J-P. Merlet a été relecteur pour les journaux : « IEEE Transactions on Robotics and Automation », « ASME J. of Mechanical Design », « J. of Intelligent and Robotic Systems », « Mechanism and Machine Theory », « Robotics and Autonomous System », « Robotica », « European J. of Mechanics », « Int. J. for Numerical Methods in Engineering », « Journal of Computational and Applied Mathematics ».
- J-P. Merlet a été nommé Éditeur Associé de « IEEE Transactions on Robotics and Automation ».
- B. Neveu a été membre du comité de programme des journées nationales sur la résolution pratique des problèmes NP-complets (JNPC 2002) et relecteur des JFPLC 2002. Il a été relecteur des congrès internationaux ECAI 2002 et CP 2002.
- B. Neveu a été expert pour le projet de recherche européen ECSPLAIN sur le traitement des préférences dans les problèmes de satisfaction de contraintes.
- C. Michel a été membre du comité d'organisation des **JFPLC'2002 et JNPC'2002**.

- M. Rueher est président du comité des projets du laboratoire I3S UMR 6070, du Cnrs, responsable du projet Contraintes du laboratoire I3S, il est vice-président de la Commission de Spécialistes « Mathématiques et Informatique » de l'IUFM de Nice depuis octobre 2002.
- M. Rueher a été président du comité de programme des journées francophones de programmation logique et par contraintes (JFPLC) en 2002, membre du comité de programme de la 8ème conférence internationale « Principle and Practice of Constraint Programming -CP 2002 » en septembre 2002.
- M. Rueher est relecteur d'articles pour les journaux dans « Reliable Computing », « Constraints », ToCL, « journal Annals of Mathematics and AI ».
- M. Rueher a participé au RTN « Network on constraints » dans le cadre du 6ème PCRD et a participé au comité scientifique du LIFC (Laboratoire d'Informatique de l'Université de Franche-Comté).

## 9.2. Participation à des colloques

- J-P. Merlet a donné quatre "Keynote Speech", l'une à la conférence de l'« American Society of Mechanical Engineers » (ASME) à Montréal [19], les autres lors de workshop spécialisés sur les robots parallèles [18][20][21].
- H. Batnini a présenté un article à l'Ecole d'automne proposé par le réseau européen CALCULUMUS à Pise en Italie, en octobre 2002.
- C. Jermann, B. Neveu, Y. Lebbah et Y. Papegay ont participé au colloque COCOS 2002 à Sophia-Antipolis, en octobre 2002.
- C. Jermann et B. Neveu ont participé aux journées du groupe de travail en modélisation géométrique GTMG 2002 à Nantes, en mars 2002.
- C. Jermann, B. Madeline, B. Neveu, M. Rueher, G. Trombettoni et P. Urso ont participé aux journées JNPC-JFPLC 2002 à Nice, en mai 2002.
- B. Neveu a participé au congrès ECAI (European Conference on Artificial Intelligence) à Lyon, en juillet 2002.
- Y. Papegay a présenté un exposé intitulé "MathML : enfin vraiment des mathématiques sur la toile !" lors du colloque ePrep en mai 2002.
- C. Michel a participé aux JFPLC et aux JNPC. Ces journées ont été organisées par le projet COPRIN (I3S - INRIA) et ont eu lieu à Nice, en mai 2002. Il a également participé au « Seventh international symposium on Artificial Intelligence and Mathematics » (« 7th AIMA », supporté par « Annals of Mathematics and Artificial Intelligence »), à Fort Lauderdale aux Etats-Unis, en janvier 2002.
- M. Rueher a participé à la 8<sup>e</sup> conférence internationale « Principle and Practice of Constraint Programming -CP2002 », il a présenté une communication et a été « chairman » d'une session, il a présenté un exposé au séminaire du GREYC à l'université de Caen en janvier 2002 et un exposé au séminaire du FERIA à Toulouse, en juin 2002.

## 9.3. Enseignement

Il faut souligner que l'équipe a une activité d'enseignement importante, compte-tenu de la présence en son sein d'un professeur et de deux maîtres de conférences.

### 9.3.1. Cours dans le domaine de recherche et cours de DEA

- J-P. Merlet a donné des cours de robotique à l'Ensta (3 heures) et à l'Isia (6 heures).
- B. Madeline a donné des cours et des TP (à l'IUT GTR) de Java 1 (Responsable du module) (43 heures), d'Initiation à Java, (Responsable du module) (33 heures), de langage C (74 heures), de Système Informatique (24 heures) et de Système de Gestion de Bases de Données, (9 heures de TP).

- B. Neveu a participé au cours intelligence artificielle de l'Entpe de Lyon (6 heures).
- M. Rueher, B. Neveu et G. Trombettoni ont assuré les cours et les TP de programmation par contraintes en DEA d'informatique à l'Unsa et à l'Essi (30 heures).
- C. Michel a donné des cours à l'IUT GTR, de programmation en assembleur (30 heures), de programmation en Java (36 heures), des TD de contraintes en Maîtrise d'informatique à l'Unsa (12h) et est intervenu dans le DEA d'informatique de l'Unsa (3 heures).

### 9.3.2. Jurys de thèse et d'HDR

- J-P. Merlet a été rapporteur d'une thèse et membre de deux jurys de thèse. Il co-encadre la thèse de P. Lafourcade (Cert Toulouse) sur les robots parallèles à câbles, suite au décès de C. Reboulet
- M. Rueher a été président de 2 jurys d'une thèse, rapporteur de 3 thèses, membre de 2 jurys de thèse et membre du jury de thèse de "spécif", 2002-2005.

### 9.3.3. Responsabilités d'enseignements

- M. Rueher est responsable de la filière LOG de l'Essi (Ecoles Supérieure en Sciences Informatiques de l'Unsa), responsable des cours et des TP de programmation par contraintes en DEA d'informatique à l'Unsa et à l'Essi (10 heures), responsable du cours d'introduction à la programmation par contraintes en maîtrise d'informatique à l'Unsa, responsable du cours et des TD de bases de données à l'Essi 2ème année, responsable (avec H. Collavizza) des cours et des TD de logique et de programmation en logique à l'Essi 2<sup>e</sup>année.

## 9.4. Thèses

### Thèses en cours :

1. H. Batnini, *Contraintes globales sur le continu*, université de Nice-Sophia Antipolis.
2. B. Madeline, *Algorithmes évolutionnaires, adaptatifs, spécialisés pour la résolution des problèmes de satisfaction de contraintes*, université de Nice-Sophia Antipolis.
3. C. Jermann, *Résolution de contraintes géométriques par propagation d'intervalles et propagation locale*, université de Nice-Sophia Antipolis.
4. L. Rolland, *Algorithmes algébriques pour la commande de robots parallèles de haute précision*, université de Nancy.

# 10. Bibliographie

## Bibliographie de référence

- [1] C. BLIEK, B. NEVEU, G. TROMBETTONI. *Using Graph Decomposition for Solving Continuous CSPs*. in « Principles and Practice of Constraint Programming, CP'98 », série LNCS, volume 1520, Springer, pages 102-116, 1998.
- [2] A. GOTLIEB, B. BOTELLA, M. RUEHER. *A CLP Framework for Computing Structural Test Data*. in « Proceedings of CL2000 (First International Conference on Computational Logic, Constraints Stream), London », volume 1861, LNCS, Springer Verlag, pages 399-413, 2000.
- [3] L. JAULIN, M. KIEFFER, O. DIDRIT, E. WALTER. *Applied Interval Analysis*. Springer-Verlag, 2001.
- [4] C. JERMANN, G. TROMBETTONI, B. NEVEU, M. RUEHER. *A Constraint Programming Approach for Solving Rigid Geometric Systems*. in « Proceedings of CP'2000, Sixth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming », volume 1894, LIM, pages 119-134, 2000.

- [5] J.-P. MERLET. *Parallel robots*. Kluwer, Dordrecht, Pays-Bas, 2000.
- [6] Y. PAPEGAY. *From Modeling to Simulation with Symbolic Computation : An Application to Design and Performance Analysis of Complex Optical Devices*. in « Proceedings of the Second Workshop on Computer Algebra in Scientific Computing », Springer Verlag, Munich, June, 1999.
- [7] J. RÉGIN, M. RUEHER. *A global constraint combining a sum constraint and difference constraints*. in « CP'2000, Sixth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming », volume 1894, LNCS, Springer Verlag, pages 384-395, 2000.

### Articles et chapitres de livre

- [8] H. BATNINI. *Introduction of redundant constraints for solving systems of distance equations*. in « Journal of the university of Sarbruck », Sept, 2002.

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

- [9] D. CHABLAT, J. WENGER, J.-P. MERLET. *Workspace analysis of the Orthoglide using interval analysis*. in « ARK », pages 397-406, Calle de Malavada, 29 Juin-2 Juillet, 2002.
- [10] C. JERMANN, B. NEVEU, G. TROMBETTONI. *A New Structural Rigidity for Geometric Constraint Systems*. in « Fourth International Workshop on Automated Deduction in Geometry (ADG'2002) », Hagenberg, Autriche, septembre, 2002.
- [11] C. JERMANN, B. NEVEU, G. TROMBETTONI. *De la Rigidité Structurelle*. in « Groupe de Travail en Modélisation Géométrique (GTMG'2002) », pages 106-115, Nantes, France, 2002.
- [12] C. JERMANN, G. TROMBETTONI. *Complexité de la détection de Rigidité dans des Systèmes de Contraintes Géométriques*. in « 8èmes Journées Nationales de la Résolution Pratique de Problèmes NP-Complets (JNPC'02) », pages 143-154, Nice, France, mai, 2002.
- [13] Y. LEBBAH, M. RUEHER, C. MICHEL. *A Global filtering algorithm for handling systems of quadratic equations and inequations*. in « Principles and Practice of Constraint Programming, CP'2002 », série LNCS, volume 2470, Springer Verlag, pages 109-123, Ithaca, NY, USA, 2002.
- [14] E. LEE, C. MAVROIDIS, J.-P. MERLET. *Five precision points synthesis of spatial RRR manipulators using interval analysis*. in « ASME 27th Biennial Mechanisms and Robotics Conf. », Montréal, Canada, 29 Septembre-2 Octobre, 2002.
- [15] J.-P. MERLET. *Optimal design for the micro robot MIPS*. in « IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation », Washington, USA, 11-15 Mai 2002.
- [16] J.-P. MERLET. *Micro-robot parallèle pour la chirurgie minimalement invasive*. in « MS4CMS'02 », Rocquencourt, 12-15 Novembre 2002.
- [17] J.-P. MERLET. *Determination of the minimal and maximal real roots of parametric polynomials using interval analysis*. in « 1st Int. Workshop on Global Constrained Optimization and Constraint Satisfaction (Cocos'02) »,

Sophia Antipolis, France, 2-4 Octobre 2002.

- [18] J.-P. MERLET. *The need for a systematic methodology for the evaluation and optimal design of parallel manipulators*. in « 3rd Chemnitzer Parallelkinematik Seminar », pages 49-62, Chemnitz, Allemagne, 23-25 Avril 2002.
- [19] J.-P. MERLET. *Still a long way to go on the road for parallel mechanisms*. in « ASME 27th Biennial Mechanisms and Robotics Conf. », Montréal, Canada, 29 Septembre-2 Octobre, 2002.
- [20] J.-P. MERLET. *A general methodology for certified evaluation of the performances of parallel robots*. in « 1st Int. Colloquium, Collaborative Research Centre 562 », pages 97-106, Braunschweig, Allemagne, 29-30 Mai 2002.
- [21] J.-P. MERLET. *An initiative for the kinematic study of parallel manipulators*. in « Workshop on Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators », pages 2-9, Québec, Canada, 3-4 Octobre 2002.
- [22] C. MICHEL. *Computing exact projections of constraints over floating point numbers*. in « Seventh international symposium on Artificial Intelligence and Mathematics (7th AIMA) », Fort Lauderdale, Floride, USA, janvier, 2002.
- [23] N. PRCOVIC, B. NEVEU. *Progressive Focusing Search*. in « Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2002) », pages 126-130, Lyon, France, juillet, 2002.
- [24] M. RUEHER. *Programmation en logique avec contraintes*. in « JFPLC », éditeurs H. LAVOISIER., Nice, France, 2002.

## Rapports de recherche et publications internes

- [25] B. BOTELLA, A. GOTLIEB, C. MICHEL, M. RUEHER, P. TAILLIBERT. *Génération automatique de cas de test structurels avec les techniques de programmation par contraintes*. rapport technique, 2002.
- [26] F. HAO, J.-P. MERLET. *Position controlled space telescope, 1, 2, 3*. Rapports d'étude, INRIA/Alcatel, 2002.
- [27] B. MADELINE. *New Low Cost and Undedicated Genetic Operators*. Rapport de recherche, numéro 4573, Inria, Sophia-Antipolis, France, Août, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/tr-4573.html>.
- [28] C. MICHEL, M. RUEHER, Y. LEBBAH, G. TROMBETTONI. *Rapport INKA 02 T8/T8+14 - Sous Projet 2 : extension de INKA aux flottants*. rapport technique, 2002.
- [29] C. MICHEL, M. RUEHER, Y. LEBBAH, G. TROMBETTONI. *Rapport INKA 03 T14/T14+18 - Sous Projet 2 : extension de INKA aux flottants*. rapport technique, 2002.
- [30] Y. PAPEGAY. *ypama : un assistant à la modélisation*. Rapport d'étude, INRIA/Airbus France, Janvier, 2002.