



**CURRICULUM VITAE  
DE FRANÇOIS FAGES  
DIRECTEUR DE RECHERCHE DR2  
NOVEMBRE 2005**

## FICHE INDIVIDUELLE DE RENSEIGNEMENTS

Date et lieu de naissance : 23/08/1959, Paris 14<sup>ème</sup>  
 N° de téléphone : +33 01 39 63 57 09  
 Adresse électronique : Francois.Fages@inria.fr  
 Page Web personnelle (facultatif) <http://contraintes.inria.fr/~fages/>

Unité de recherche : Rocquencourt  
 Projet de recherche : Contraintes

Date du recrutement à l'INRIA : 1er octobre 1999  
 Date du recrutement en qualité de directeur de recherche : 1er octobre 1999

## DIPLÔMES FRANÇAIS OU ÉTRANGERS

Doctorat(s) :

- Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris 7, "Aspects sémantiques et algorithmiques de la déduction automatique", soutenue à l'École Normale Supérieure le 8 mai 1992.
- Thèse de Doctorat de Troisième Cycle, Université Paris 6, "Formes canoniques dans les algèbres booléennes, et application à la démonstration automatique en logique du premier ordre", soutenue à Jussieu le 28 juin 1983.

Autres diplômes (à partir du niveau maîtrise) :

- DEA "Langages, Algorithmes, Programmation", Université Paris 6, mention très bien, juin 1981.
- Maîtrise d'Informatique, Université Paris 6, juin 1980.

## PRINCIPALES ÉTAPES DU PARCOURS PROFESSIONNEL AVANT LE RECRUTEMENT À L'INRIA

| ÉTABLISSEMENTS<br>français ou étrangers | FONCTIONS ET STATUTS<br>(salarié, boursier, etc.) | DATES                   |                             | OBSERVATIONS       |
|---|---|-------------------------|-----------------------------|--------------------|
|   |   | d'entrée en<br>fonction | de cessation de<br>fonction |                    |
| INRIA & LITP                            | Doctorant boursier DGRST                          | 01/09/1981              | 30/09/1983                  |                    |
| CNRS LITP                               | Chargé de Recherche                               | 01/10/1983              | 30/09/1988                  |                    |
| Thomson-CSF                             | Chef de laboratoire                               | 01/09/1985              | 30/09/1988                  | détaché du CNRS    |
| École Polytechnique                     | Chef de Travaux Pratiques                         | 01/09/1985              | 31/08/1990                  | exercice partiel   |
| CNRS ENS                                | Chargé de Recherche                               | 01/10/1988              | 30/09/1999                  |                    |
| Thomson-CSF                             | Chef de laboratoire                               | 01/10/1988              | 31/12/1995                  | consultant salarié |
| École Polytechnique                     | Maître de conférence                              | 01/09/1990              | 31/08/1998                  | exercice partiel   |
| INRIA                                   | Directeur de Recherche                            | 01/10/1999              | -                           |                    |

## RÉSUMÉ DU PROGRAMME DE RECHERCHE

Nom: FAGES      Prénom: François

Titre du programme de recherche : **Programmation par Contraintes**

La Programmation Logique avec Contraintes est porteuse d'une grande ambition pour la programmation : celle d'en faire essentiellement une tâche de modélisation, par des équations, des contraintes, des formules logiques.

Mes recherches portent sur les langages et environnements de programmation par contraintes, depuis

- leurs **fondements sémantiques** en logique mathématique, incluant la logique linéaire,
- la conception de nouvelles méthodes de preuve,
- la conception de nouveaux **modèles d'exécution**, par exemple réactifs, interactifs ou combinant propagation de contraintes et changement d'états,
- la recherche d'algorithmes efficaces de **résolution de contraintes**, jusqu'à
- leurs **implantations**,
- la diffusion des logiciels réalisés,
- l'exploration d'**applications nouvelles**.

Le succès de la Programmation par Contraintes en **résolution de problèmes combinatoires** dans le monde industriel illustre bien l'apport de ces concepts originaux de programmation, et participe en fait à un véritable renouveau du domaine traditionnel de la Recherche Opérationnelle. Nous souhaitons poursuivre nos travaux dans ce domaine d'excellence de la programmation par contraintes avec nos partenaires industriels habituels, notamment ILOG dans le cadre du projet RNTL MANIFICO, et récemment TOTAL dans le cadre d'une thèse Cifre.

Cependant, nous nous intéressons aussi à de nouveaux domaines d'application de ces concepts de programmation. Depuis quatre ans, nous avons entrepris des recherches en **biologie des systèmes**, centrées sur l'application des méthodes formelles en modélisation des processus cellulaires. D'abord initiés dans le cadre de l'Action de Recherche Coopérative CPBIO "Calculs de Processus et Biologie des Réseaux Modéculaires", nos travaux portent sur l'utilisation de la **logique temporelle** comme langage de formalisation des propriétés biologiques des systèmes vivants (accessibilité, points de passage obligés, états stationnaires, cycles, etc.). En particulier, nous avons réalisé et diffusons le logiciel de modélisation BIOCHAM (Machine Abstraite Biochimique) qui plante ces concepts de modélisation à trois niveaux d'abstraction : booléen (présence/absence de molécules), concentrations (équations différentielles), et populations (sémantique stochastique). Cette démarche fondée sur les langages logiques nous permet également de développer, dans le cadre du projet Européen STREP APRIL II, des techniques originales d'apprentissage automatique de modèles à partir de contraintes temporelles.

Enfin, le **Web sémantique** fournit un nouveau challenge pour la programmation par règles et par contraintes auquel nous contribuons dans le cadre du Réseau d'Excellence REWERSE, en ce qui concerne la conception de langages de haut niveau et les applications pilotes en bio-informatique.

## SYNTHÈSE DE L'ACTIVITÉ PROFESSIONNELLE

Nom: FAGES Prénom: François

## 1. Résumé de l'activité de recherche

De façon générale, mes recherches portent sur l'analyse des connexions entre les langages de programmation et la logique mathématique dans le paradigme de la programmation logique au sens large, qui repose sur les identifications *programme=formule logique, exécution=recherche de preuves*.

Les langages de programmation par contraintes issus de ce courant de travaux depuis le milieu des années 80, connaissent aujourd'hui un succès important pour la résolution pratique de problèmes combinatoires, que ce soit au cœur d'applications industrielles ou dans des nouveaux domaines comme en bio-informatique. Je mène des recherches fondamentales et expérimentales sur ces langages de programmation, concernant :

- leurs sémantiques formelles,
- leur pouvoir d'expression,
- leurs modèles d'exécution,
- leurs applications.

Je me suis intéressé successivement :

- à la théorie de l'unification [30, 104], aux algorithmes d'unification [29, 103] et à leur complexité [21, 93], dans le contexte de la démonstration automatique et des calculs de réécriture,
- à la programmation réactive par règles [28, 100, 101, 25, 24] dans le contexte de l'aide à la décision temps-réel,
- à la théorie de la négation en programmation logique [96, 26, 20, 85, 17, 78, 72] et aux procédures de négation en programmation logique avec contraintes [18, 19],
- aux algorithmes de propagation de contraintes [10, 55, 95], aux modèles d'exécution de la programmation par contraintes [34, 16, 83, 87, 90, 22], à ses systèmes de types [37, 41, 57, 62, 65, 67, 14, 71], à ses environnements de mise au point [9, 60] et à ses applications en optimisation combinatoire [118, 66, 80, 86, 127, 92]
- à la sémantique en logique linéaire des langages concurrents avec contraintes [13, 70, 74, 76, 75]
- à la conception de langages et d'outils formels pour la biologie des systèmes moléculaires [8, 7, 35, 36, 12, 45, 11, 59, 63].

L'analyse de la correspondance entre les langages de programmation concurrente avec contraintes et la logique linéaire de Jean-Yves Girard a conduit à une généralisation des systèmes de contraintes qui ouvre de nouvelles perspectives au problème fondamental qu'il y a à combiner propagation de contraintes et changements d'états. Ceci constitue un axe central de mes recherches actuellement, car il se décline de multiples façons, allant des questions de modèles d'exécution et d'implantation de la programmation par contraintes, aux questions de modélisation dans des domaines variés, et notamment en biologie des systèmes. Dans ce domaine on peut résumer l'aspect le plus original de notre démarche par les identifications suivantes : *propriété biologique=formule de logique temporelle, validation biologique=model-checking*.

## 2. Huit publications principales

- N. Chabrier et F. Fages. Symbolic model checking of biochemical networks. Actes de **Computational Methods in Systems Biology** CMSB'03, Rovereto, Springer-Verlag LNCS 2602 :149-162, mars 2003.  
*Cet article introduit des techniques de vérification symbolique de modèles en biologie des systèmes, en proposant l'utilisation de la logique temporelle CTL comme langage d'expression des propriétés biolo-*

- giques temporelles des systèmes biochimiques. Le logiciel BIOCHAM est fondé sur ces concepts.*
- F. Fages, P. Ruet et S. Soliman. Linear concurrent constraint programming : operational and phase semantics. **Information and Computation** 165(1) :14-41. Février 2001.  
*Cet article établit la sémantique des langages concurrents avec contraintes en logique linéaire et jette les bases d'un langage très puissant combinant contraintes, concurrence et changement d'états. Le logiciel SiLCC en cours de développement est fondé sur cette théorie.*
  - F. Fages et E. Coquery. Typing Constraint Logic Programs. **Journal of Theory and Practice of Logic Programming** TPLP 1(6) :751-777. Novembre 2001.
  - F. Fages, J. Fowler et T. Sola. Experiments in Reactive Constraint Logic Programming. **Journal of Logic Programming** 37 :1-3 :185-212. Juillet 1998.  
*Dans cet article, qui est une version révisée de [83], nous introduisons un modèle d'exécution réactif pour la PLC, et, pour les besoins d'une preuve, le cadre formel des itérations chaotiques de Patrick Cousot comme fondement théorique des algorithmes de propagation de contraintes. Ce cadre sera développé de façon systématique par Krzysztof Apt.*
  - F. Fages. Constructive negation by pruning. **Journal of Logic Programming** 32(2) :85-118, 1997 .
  - F. Fages. Consistency of Clark's Completion and Existence of Stable Models. **Methods of Logic in Computer Science**, 1 :51-60, 1994.  
*Cet article est le plus cité, comme "Fages's theorem" de surcroît. Il fournit un critère syntaxique d'équivalence entre raisonnement non-monotone et raisonnement classique, et montre les théorèmes de cohérence qui en découlent.*
  - F. Fages. A new fixpoint semantics for general logic programs compared with the well-founded and the stable model semantics. **New Generation Computing** , 9 :425-443, 1991.
  - F. Fages. Associative-commutative unification. **Journal of Symbolic Computation**, 3 :257-275, 1987.

### 3. Réalisation et diffusion de logiciels

- 03/- **BIOCHAM** machine abstraite biochimique [59], développée avec Nathalie Chabrier-Rivier et Sylvain Soliman, pour la modélisation des systèmes biochimiques par des règles, la formalisation de leurs propriétés biologiques en logique temporelle, et l'apprentissage de modèles à partir de propriétés temporelles. La version 2.4 est disponible sur <http://contraintes.inria.fr/BIOCHAM>.
- 01/02 **CLPGUI** interface graphique [61] pour les programmes logiques avec contraintes permettant la visualisation en 2D ou 3D de l'arbre de recherche et de la propagation des contraintes. Utilisé pour l'enseignement, pour la mise au point de programmes et dans le cadre du projet RNTL OaDymPpac. <http://contraintes.inria.fr/~fages/CLPGUI> plus les sites de Sicstus-Prolog et de GNU-Prolog.
- 95/96 Bibliothèque Prolog de Programmation Logique avec Contraintes sur les domaines finis **CLP(FD)**, destinée principalement à des fins d'enseignement [4]. Utilisée pour l'enseignement à l'ENS et à l'X jusqu'en 1998. <http://contraintes.inria.fr/~fages/Book/clpFD.html>.
- 91/95 Réalisation en programmation logique avec contraintes de systèmes d'allocation de fréquences à des réseaux de communication [87], de séquençement des vols en contrôle du trafic aérien [92] [16], [16], de partitionnement et placement de données sur machines parallèles de traitement du signal [80].
- 90/93 Conception et développement à Thomson-CSF du langage Meta(F) de programmation logique avec contraintes sur les domaines finis et les algèbres booléennes.
- 85/88 Principal inventeur du langage réactif de programmation par règles XReTe dédié à la réalisation de systèmes experts temps-réel [25] [24] [27]. Commercialisé sous licence Thomson-CSF et développé par ILOG depuis 1990 sous le nom ILOG-Rules.

### 4. Valorisation et transfert technologique

- 04/08 Resp. réseau d'excellence **REWERSE** 6ième PCRD "Reasoning on the Web with Rules and Semantics" avec 30 partenaires, coordination Prof. François Bry, Université Ludwig-Maximilians à Munich, Allemagne.
- 04/07 Resp. projet FET Open STREP **APRIL II** 6ième PCRD "Applications of Probabilistic Inductive

- Logic Programming” avec Imperial College of Science, Technology and Medecine à Londres, l’Université d’Helsinki, l’Université de Florence, l’Institut Max Planck à Saarbrück, l’Université de York, coordination Prof. Luc de Raedt, Université Albert-Ludwigs à Fribourg, Allemagne.
- 04/07 Resp. Contrat de collaboration industrielle et thèse Cifre avec **TOTAL** sur “Programmation par contraintes pour l’optimisation du mélange des bruts”.
- 04/- Part. **ACI VICANNE** “Modélisation dynamique et simulation des systèmes biologiques” coord. J.P. Mazat.
- 03/06 Resp. projet RNTL **MANIFICO** “Metacompilation non intrusive du filtrage avec contraintes” avec ILOG et le LORIA projet Protheo.
- 03/- Collaboration avec Evelyne Lutton, projet Fractale/Complexe, sur l’hybridation contraintes-évolutionisme sur un problème d’affectation de ressources distribuée.
- 02/05 Part. réseau d’excellence 5ième PCRD **COLOGNET** “Computational Logic”.
- 01/04 Coordinateur **ARC CPBIO** “Calculs de Processus et Biologie des Réseaux Moléculaires” avec le LORIA projet MODBIO, le CNRS PPS Paris 7 et le GENOSCOPE Evry.
- 00/04 Part. projet RNTL **OaDymPpac** “Outils pour l’analyse dynamique et la mise au point de programmes avec contraintes” avec COSYTEC, ILOG, l’Ecole des Mines de Nantes, INSA Rennes, l’Université d’Orléans, coordination Pierre Deransart, INRIA Rocquencourt.
- 00/02 Resp. contrat de recherche avec **MICROSOFT Cambridge**, Marc Shapiro, “Log-based reconciliation in nomadic applications”.
- 00/- Resp. **ERCIM Working Group on Constraints**.
- 01/03 Resp. convention de coopération universitaire franco-bavaroise avec l’Université Ludwig Maximilians de Munich, François Bry et Thom Frühwirth.
- 99/02 Coordinateur contrat **CNRS-NSF** “Logic-based specification and verification tools for concurrent languages”, avec Dale Miller et Catuscia Palamidessi, Penn State University, USA.
- 98/02 Part. projet Européen **TMR “Linear Logic”** avec Univ. Marseille IML, J.Y. Girard, Univ. Paris, Vincent Danos, Edimburgh, Samson Abramsky, Cambridge, Martin Hyland, Rome, Michele Abrusci, Bologne, Andréa Asperti, Lisbonne, Luis Monteiro.
- 95/97 Resp. contrat de recherche entre le LIENS et BOUYGUES Yves Caseau, sur “Etude expérimentale de problèmes de gestion de ressources”.
- 93/96 Resp. convention CIFRE entre le LIENS et Thomson-CSF pour la thèse de Paul Ruet.
- 93/95 Resp. contrat MESR 93S0051 inter-PRC “Langages logiques concurrents avec contraintes” [126] entre l’INRIA, le LABRI, le LIM, le LIENS et le LIX.
- 92/95 Resp. convention CIFRE entre Thomson-CSF et l’Université d’Orsay pour la thèse de Julian Fowler.
- 92/94 Coordinateur contrat MESR 92S0777 “Langage concurrent avec contraintes pour la planification multi-utilisateur” [127], entre le LIENS, Thomson-CSF et Syseca.
- 91/93 Resp. contrat DRET Thomson-CSF “Extension réactive de la programmation logique avec contraintes et applications aux problèmes d’optimisation combinatoire dans un environnement dynamique”.
- 87/90 Resp. contrat DRET Thomson-CSF “Systèmes experts temps réel d’identification de radars”.

## 5. Encadrement d’activités de recherche

J’ai dirigé les thèses suivantes, la position actuelle de mes anciens doctorants est indiquée :

- Aurélie Strobbe (bourse CIFRE, contrat Total) soutenance prévue en 2007.  
“Ordonnement du traitement des bruts dans une raffinerie en programmation par contraintes”.
- Rémy Haemmerlé (Allocation INRIA, contrat RNTL MANIFICO)  
“Langage linéaire concurrent avec contraintes noyau LCC(K)”. Prévue 2006.
- Nathalie Chabrier-Rivier (Allocation INRIA, contrat EU STREP APRIL II)  
“Modélisation et interrogation de modèles formels de systèmes biochimiques”. Prévue début 2006.
- Emmanuel Coquery (Bourse MENRST Paris 6 puis ATER CNAM, Univ. Paris 6)) Maître de Conférence, Univ. Lyon 1. “Typage et programmation en logique avec contraintes”. Soutenue le 3 décembre 2004.
- Sorin Craciunescu (AMX, ATER Paris 12, Ecole Polytechnique) Ingénieur eFront  
“Preuves d’équivalence de programmes logiques”. Mars 2004.
- Sylvain Soliman (LIENS, X Armement, Univ. Paris 7) Chargé de Recherche INRIA Rocquencourt.

- “Programmation concurrente avec contraintes et logique linéaire”. Avril 2001.
  - Vincent Schächter (AMN ENS Paris, Univ. Orsay) Directeur Bioinformatique, GENOSCOPE Evry.  
“Programmation concurrente avec contraintes fondée sur la logique linéaire”. Décembre 1999.
  - Massimo Paltrinieri (Paris 7) Ingénieur Dresdner Bank, Francfort, Allemagne.  
“Programmation visuelle par contraintes et typage statique”. Mars 1998.
  - Etienne Gaudin (Bourse INRETS, Thomson, Paris 7) Ingénieur de Recherche BOUYGUES St Quentin.  
“Contribution de la programmation par contraintes au transport : définition et résolution d’un modèle complexe de gestion de flotte”. Novembre 1997.
  - Paul Ruet (Contrat Cifre LIENS, Thomson, Paris 7) Chargé de Recherche CNRS IML, Marseille.  
“Logique linéaire non-commutative mixte et programmation concurrente par contraintes”. Oct. 1997.
  - Laurent Perron (AMN ENS Paris, Univ. Orsay) Ingénieur de Recherche, ILOG Gentilly.  
“ $CC(\mathcal{M})$  un noyau parallèle d’implantation des langages de contraintes concurrents”, Juillet 1997.
  - Thierry Sola (Thomson, Univ. Orsay) Ingénieur, ILOG Gentilly.  
“Modèles d’exécution de la Programmation Logique fondés sur le graphe de dépendance des liaisons : backtracking intelligent, maintien des déductions et contraintes”. Décembre 1995.
  - Julian Fowler (contrat CIFRE, Thomson, Univ. Orsay) Ingénieur, ILOG Londres, Angleterre.  
“Extension réactive de la programmation logique avec contraintes et applications en optimisation combinatoire.” Mai 1995.
  - Jean Jourdan (Thomson, Paris 7) Directeur de Recherche, THALES Corbeville.  
“Concurrence et coopération de modèles multiples dans les langages CLP et CC : vers une méthodologie de programmation par modélisation”. Février 1995.
  - Rémi Lissajoux (X Mines, Thomson, Paris 7) Directeur Transport, ILOG Gentilly.  
“Spécification de systèmes de transitions avec négation”. Non soutenue. 1994.
  - Marcos Cavalcanti (Thomson, Univ. Orsay) Professeur, Université Rio de Janeiro, Brésil  
“Les mondes possibles dans les systèmes de production : un metalangage pour la gestion d’hypothèses et le raisonnement non-monotone.” Juin 1993.
  - Pierre Savéant (Thomson, Paris 6) Ingénieur de Recherche, THALES Corbeville.  
“Raisonnement hypothétique et temps multiforme discret dans les systèmes de production”. 1990. (*co-direction avec Norbert Cot*)
  - Luc Albert (INRIA, Univ. Orsay) Professeur Lycée Charlemagne, Paris.  
“Quelques analyses de complexité en moyenne sur les algorithmes de multi-filtrage, d’unification et de requêtes multiples”. Université Orsay. 1990. (*co-direction avec Philippe Flajolet*)
  - Philippe Codognot (contrat CIFRE, Thomson, Univ. Bordeaux) Professeur Université Paris 6.  
“Backtracking intelligent en programmation logique : de la théorie à l’implémentation et à l’application au parallélisme.” 1989. (*co-direction avec Gilberto Filé*)
- Ces dernières années, j’ai encadré les stagiaires suivants :
- 2005 : stages du MMFAI ENS Ulm de Sakina Ayata, de l’ENSTA de Sylvain Sécherre, de l’ECP et Université de Berlin d’Olivier Bouissou, de l’EPITA de Loïc Fosse, de l’IIT New Dehli de Rahul Narain, Neha Mittal (co-encadrée avec Sylvain Soliman) et Sadhika Sharma.
  - 2004 : stages de DEA SPP de Lucie Gentils (co-encadré avec Sylvain Soliman), d’Ecole EFREI de Martin Pernollet (co-encadré avec Evelyne Lutton), de l’IIT New Dehli de Rajiv Dinesh et de Rajagopalan Schrivaths et de l’Ecole ENIB de Jean-Marie Leconte.
  - 2003 : stages de DEA SPP de Rémy Haemmerlé, de DEA OJME de Daniela Grosu (co-encadrée avec Sylvain Soliman), du DEA IARFA de Mathieu Pierrès (co-encadré avec Evelyne Lutton), du MMFAI ENS Ulm de Nathalie Sznajder, d’option de l’Ecole Polytechnique de Rémi Coolen, de l’INSA Rouen d’Annabelle Ballista et de l’IIT Kanpur de Sumit Kumar.
  - 2002 : stages de DEA IARFA de Nathalie Chabrier, de DEA SPP de Rachid Kaddouche, de fin d’école ESIEE de Rémy Haemmerlé et de l’IIT New Dehli d’Anupam Agarwal et d’Akash Lal.
  - 2001 : stages de MMFAI ENS Ulm d’Alexis Saurin, de première année ESIEE de Rémy Haemmerlé et stage d’été de Jean-Michel Leconte.

## 6. Enseignement

### Troisième cycle :

- 04/- Co-responsable du cours de “Bioinformatique formelle” avec Vincent Danos et Vincent Schächter au Master Parisien de Recherche en Informatique MPRI.
- 04/- Cours de “Programmation par Contraintes” avec Sylvain Soliman au Master Parisien de Recherche en Informatique MPRI.
- 95/04 Responsable du cours de “Programmation par Contraintes”, filière “Langages” du DEA “Sémantique, Preuves et Programmation”. Cours donné avec Yves Caseau, puis Philippe Codognet et Sylvain Soliman.
- 95/03 Ecole Jeunes Chercheurs en Programmation : cours de “Programmation logique avec contraintes” [115] donné souvent avec Andréas Podelski, Max Planck Institut Saarbrück.
- 00/04 Cours de “Programmation logique avec contraintes” du DEA d’Informatique de l’Université d’Orléans, donné avec Gérard Ferrand et Pierre Deransart.
- 97,01 Cours “Constraint Logic Programming” Ecoles Européennes ESSLLI’97, Aix-en-Provence, et ESSLLI’01 Helsinki [117].
- 94/95 Filière “Sémantique et preuves” du DEA IMA “Informatique, Mathématiques et Applications”. Cours de “Langages logiques et contraintes” donné avec Roberto Giacobazzi.
- 1992 Cours de programmation logique et fonctionnelle au CIMPA, Ismaëlia, Egypte.
- 1990 Cours de programmation logique au CIMPA, Nice.
- 1985 Cours de DEA d’Informatique de l’université de Nice.
- 1984 Participation au cours de DEA d’Informatique Fondamentale, Université Paris 7.

### Deuxième cycle :

- 2003 Cours d’option de programmation par contraintes, à l’Ecole Centrale de Lyon.
- 88/98 Magistère de Mathématiques Fondamentales et Appliquées et d’Informatique MMFAI de l’Ecole Normale Supérieure. Cours de “Programmation par contraintes” donné avec Yves Caseau de 1996 à 1998.
- 85/98 École Polytechnique (en qualité de CTP puis Maître de Conférence d’exercice partiel) :
  - Enseignement de tronc commun d’Informatique
  - Responsable du cours de programmation logique par contraintes [128] [4]
- 1996 Cours d’option Intelligence Artificielle à l’ISIA, École des Mines de Paris, Sophia-Antipolis.
- 1984 Cours d’Informatique (amphi+TDs) de la licence de Mathématiques de l’Université Paris IX Dauphine.

## 7. Diffusion de l’information scientifique

Je participe régulièrement à l’organisation de visites pour des personnes extérieures étudiants ou industriels, et à des dossiers de presse. J’ai organisé une rencontre ILIATECH le 28 avril 2003 avec Benoît Rottembourg de Bouygues sur la “Programmation par contraintes pour la résolution de problèmes combinatoires”.

## 8. Mobilité

Voir parcours professionnel (pièce 1). Pas de séjour de longue durée dans des laboratoires étrangers.

## 9. Responsabilités collectives

Depuis 1985, j’ai dirigé des équipes de chercheurs, initialement au laboratoire central de recherches de Thomson-CSF (maintenant Thalès), puis au Laboratoire d’Informatique de l’ENS. Je dirige le projet Contraintes de l’INRIA Rocquencourt que j’ai créé en mars 2000 à la suite du projet LOCO. Je suis actuellement :

- Président de l’**ERCIM Working Group on Constraints** depuis 2001,
- Editeur de la revue **RAIRO OR Operations Research** depuis 2004,
- Membre du Conseil Scientifique du projet Epigenomics du Genopole d’Evry depuis 2005,
- Membre du Conseil Scientifique de l’**Institut Liapunov** depuis 2000.
- Vice-Président de l’Association Française de Programmation par Contraintes **AFPC** (ex-Président de l’AFPLC), qui organise le congrès annuel JFPC (ex JFPLC) et des séminaires thématiques.

- Membre suppléant de la commission de spécialistes de l'Université Paris 7.

J'ai été :

- Président puis membre jusqu'en 2005 du comité d'organisation de la conférence ACM SIGPLAN **PPDP** "Principles and Practice of Declarative Languages" <http://contraintes.inria.fr/~pages/PPDP>
- Membre fondateur, ex Trésorier, de l'Association Française des Sciences et Technologies de l'Information, **ASTI** <http://www.asti.org>
- Président de la commission des détachements et délégations de l'UR de Rocquencourt en 2002, 03 et 04,
- Membre du jury du concours CR2 à l'INRIA Rocquencourt en 2000, 01, 02,
- Membre titulaire des commissions de spécialistes de l'ENS Ulm, de l'Université d'Orléans, Université d'Orsay, et membre du conseil de laboratoire du LIENS.
- Membre du Collège Scientifique et Technique du groupe Thomson.

J'ai été membre des comités de programme des conférences suivantes depuis 1996 :

- WCB'05, Workshop on Constraint-based Methods for Bioinformatics, associé à ICLP'05, Sitgès, sep. 2005.
- PPSWR'05 (*Program Chair*), Third Int. Workshop on Principles and Practice of Semantic Web Reasoning, Dagstuhl, Allemagne, octobre 2005.
- CSCLP'05, Joint ERCIM COLOGNET Workshop on Constraints, Uppsala Suède, juin 2005.
- JFPC'05, Journées Francophones de Programmation par Contraintes, Lens, juin 2005.
- CMSB'05, Workshop on Computational Methods in Systems Biology, Edinburgh, avril 2005.
- ICLP'04, International Conference on Logic Programming, Saint-Malo, France, septembre 2004.
- KI'04, 27th German Conference on Artificial Intelligence, Ulm, Allemagne, septembre 2004.
- PPSWR'04, Workshop on Principles and Practice of Semantic Web Reasoning, Saint-Malo, sep. 2004.
- CSCLP'04, Joint ERCIM COLOGNET Workshop on Constraints, Lausanne, Suisse, juin 2004.
- CMSB'04, Second Int. Workshop on Computational Methods in Systems Biology, Paris, avril 2004.
- JFPLC'04, Journées Francophones de Programmation en Logique et par Contraintes, Angers, juin 2004.
- CP-CV'04 workshop Constraint Programming and Constraint for Verification, Barcelone, avril 2004.
- FLOPS'04, Seventh Int. Symposium on Functional and Logic Programming, Nara, Japon, mars 2004.
- CMSB'03, First Int. Workshop on Computational Method in Systems Biology, Rovereto, Italie, mars 2003.
- JFPLC'03, Journées Francophones de Programmation en Logique et par Contraintes, Amiens, mai 2003.
- Joint ERCIM COLOGNET Workshop Constraints, Budapest, Hongrie, juin 2003.
- ICLP'2002, Int. Conf. on Logic Programming, Copenhague, Danemark, juillet 2002.
- PPDP'2002, ACM SIGPLAN Principles and Practice of Declarative Programming, Pittsburg, oct. 2002.
- WFLP'2002, Int. Workshop on Functional and (constraint) Logic Programming, Grado, Italie, juin 2002.
- Joint ERCIM COLOGNET Workshop Constraints, Cork, Irlande, juin 2002.
- RULE'2002, ACM SIGPLAN Workshop on Rule-Based Programming, Pittsburg, USA, octobre 2002.
- Workshop partenariat et transfert technologique, journées du RNTL, Toulouse, octobre 2002.
- Workshop Formal Methods in Systems Biology associé à ICSB'02, Stockholm, Suède, décembre 2002.
- JFPLC'2001, Journées Francophones de Programmation en Logique et par Contraintes, Paris, avril 2001.
- ASTI'01 (*Organisateur*) Congrès Sciences et Technologies de l'Information, Paris, avril 2001.
- Challenge ROADEF 2001 Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, juin 2001.
- Workshop Musical Constraints associé à la conférence CP'2001, Paphos, Chypre, décembre 2001.
- Workshop Rule-Based Constraint Reasoning and Programming CP'2000, Singapour, septembre 2000.
- JFPLC'00, Journées Francophones de Programmation en Logique et par Contraintes, Marseille, juin 2000.
- CP'99 Int. Conf. on Principles and Practice of Constraint Programming, Alexandria, USA, octobre 1999.
- PPDP'99 (*Conference Chair*) ACM SIGPLAN Int. Conf. on Principles and Practice of Declarative Programming, Paris, oct. 1999.
- JFPLC'99 (*Program Chair*), Journées Francophones de Programmation en Logique et par Contraintes, Lyon, juin 1999.
- TCLP'98, workshop Types for Constraint Logic Programming associé à JICLP'98, Manchester, juin 1998.
- PLILP/ALP'98. Int. Conf. on Algebraic and Logic Programming, Pise, Italie, septembre 1998.
- JFPLC'97, Journées Francophones de Programmation en Logique et par Contraintes, Orléans, juin 1997.
- ALP'97, Int. Conf. on Algebraic and Logic Programming, Southampton UK, septembre 1997.
- JFPLC'96, Journées Francophones de Programmation en Logique et par Contraintes, 1996.

J'anime le séminaire Contraintes de Rocquencourt <http://contraintes.inria.fr/~fages/SEMINAIRE> et organise des séminaires thématiques. Hormis les thèses que j'ai dirigées, j'ai participé aux jurys suivants :

*Habilitations :*

- Christine Solnon, *Rapporteur*, Université de Lyon, décembre 2005.
- Jean-Charles Régim, Université de Nice, juillet 2004.
- Frédéric Saubion, Université d'Angers, novembre 2003.
- Narendra Jussien, EMN Nantes, *Président du jury*, septembre 2003.
- Eric Monfroy, Université de Nantes, *Rapporteur*, novembre 2002.
- Slim Abdennadher, Université Ludwig-Maximilians à Munich, *Rapporteur*, juillet 2001.
- Maribel Fernandez, ENS, Université Orsay, septembre 2000.
- Frédéric Benhamou, Université Orléans, janvier 1997.
- Gilles Richard, Université Orléans, *Rapporteur*, novembre 1996.
- Yves Caseau, Université Paris VII, mai 1995.

*Thèses de doctorat :*

- Claudia Zepeda Cortes, Université de Puebla, *Rapporteur*, Mexique, décembre 2005.
- Manuel Pech Palacio, Université de Puebla, Mexique, décembre 2005.
- Andreï Legtchenko, Université d'Orléans, *Rapporteur*, Orléans, septembre 2005.
- Sébastien Chemin, Université de France-Comté, *Rapporteur*, Besançon, mars 2005.
- Jean-Marc Notin, Université Henri Poincaré, *Rapporteur*, Nancy, décembre 2004.
- Frédéric Boyer, Université Joseph Fourier, Grenoble, juillet 2004.
- Alexandre Frey, Ecole des Mines, *Rapporteur*, juin 2004.
- Thierry Benoist, Université d'Avignon, juin 2004.
- Lucas Bordeaux, Université de Nantes, *Rapporteur*, septembre 2003.
- Jean-Vincent Loddo, Université Paris 7, *Rapporteur*, décembre 2002.
- Fabrice Parnes, Université Paris 6, *Rapporteur*, mai 2002.
- Hubert Dubois, Université Henri Poincaré de Nancy, *Rapporteur*, septembre 2001.
- Wendelin Serwe, Université de Grenoble, *Rapporteur*, mai 2001.
- Thi Bich Han Dao, Université de la Méditerranée, *Rapporteur*, octobre 2000.
- Pawel Rychlikowski et Thomas Truderung, Université de Wroclaw, Pologne, *Rapporteur*, janvier 2000.
- Sébastien Hoarau, Université de l'Ile de la Réunion, *Rapporteur*, octobre 1999.
- David-Olivier Azulay, Université de la Méditerranée, *Rapporteur*, janvier 1999.
- Carlos Castro, Université Henri Poincaré de Nancy, *Président du jury*, décembre 1998.
- Jean Leneutre, ENST, Paris, *Rapporteur*, septembre 1998.
- François Laburthe, Université Paris 7, septembre 1998.
- Nicolas Singer, Université Clermont-Ferrand, *Rapporteur*, décembre 1997.
- Christophe Guettier, Ecole des Mines de Paris, *Rapporteur*, décembre 1997.
- Narendra Jussien, Université de Rennes, *Rapporteur*, octobre 1997.
- Philippe Refalo, Université Marseille, *Rapporteur et Président du jury*, avril 1997.
- Jianyang Zhou, Université Marseille, *Rapporteur*, mars 1997.
- Jean-Hughes Réty, Université Orléans, *Rapporteur*, janvier 1997.
- Alexandre Tessier, Université Orléans, *Rapporteur et Président du jury*, janvier 1997.
- Karine Liogier, Université Marseille, *Rapporteur*, décembre 1996.
- Frédéric Saubion, Université Orléans, *Rapporteur*, novembre 1996.
- Michel Tegua, Université d'Orléans, février 1990.
- Christian Codognet, Université Paris 7, janvier 1989.

## 10. Prix et distinctions

Nous avons remporté avec Sylvain Soliman le prix du “meilleur concept d'interface graphique” au 15th ACM Symposium on User Interface Software and Technology Contest UIST à Paris en septembre 2002, avec une version dédiée du logiciel CLPGUI développée avec Sylvain Soliman pour traiter des problèmes de placement avec rotations.

Pièce 5  
CURRICULUM VITAE

### Etat civil, coordonnées et loisirs

Né le 23 août 1959 à Paris 14<sup>ème</sup>.  
Marié, trois enfants nés en 1985, 87 et 88.

Domicile : 32 rue de la châtaigneraie, 78720 Senlisse.  
Tél. +33 1 30 52 57 98.

Loisirs : bricolage, jardinage, VTT, voilier, montagne,  
voyages, photographie (collection de 400 photos du Tibet),  
musique, piano et alto (participation à la fête de la musique de l'AGOS).



### Livres et monographies

- [1] B. Faltings, F. Fages, F. Rossi, A. Petcu, *New Trends in Constraints, selected papers from the Joint ERCIM/Colognet Workshop CSCLP'04, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, 2005.
- [2] K. Apt, F. Fages, F. Rossi, P. Szeredi, J. Vancza, *Recent Advances in Constraints, selected papers from the Joint ERCIM/Colognet Workshop CSCLP'03, LNAI*, 3010, Springer-Verlag, 2004.
- [3] F. Fages, *Actes des 8ièmes journées francophones de programmation logique et programmation par contraintes*, Hermès, Paris (312p), 1999.
- [4] F. Fages, *Programmation Logique par Contraintes, Collection Cours de l'Ecole Polytechnique*, Ed. Ellipses, Paris (192p), 1996.

### Thèse et habilitation à diriger des recherches

- [5] F. Fages, *Aspects sémantiques et algorithmiques de la déduction automatique*, Habilitation à diriger des recherches, Univ. Paris VII. Jury composé de Gérard Huet (Président), Krzysztof Apt, Rapporteur, Jean Gallier, Rapporteur, Jean-Pierre Jouannaud, Rapporteur, Alain Colmerauer, Guy Cousineau, Claude Puech, Ecole Normale Supérieure, May 1992.
- [6] F. Fages, *Formes canoniques dans les algèbres booléennes, et application à la démonstration automatique en logique du premier ordre*, Thèse de troisième cycle, Univ. Paris VI. Jury composé de Bernard Robinet, Président, Gérard Huet, Rapporteur, Jean-Pierre Jouannaud, Rapporteur, Guy Cousineau, Directeur de thèse, Alain Colmerauer, Maurice Nivat, Jean-François Perrot, June 1983.

### Articles et chapitres de livre

- [7] L. Calzone, N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, "Langages formels dans la machine abstraite biochimique BIOCHAM", *Techniques et Sciences Informatiques*, submitted 2005.
- [8] L. Calzone, N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, "Machine learning biochemical networks from temporal logic properties", *Transactions on Computational Systems Biology*, submitted 2005.
- [9] F. Fages, S. Soliman, R. Coolen, "CLPGUI : a Generic Graphical User Interface for Constraint Logic Programming", *Journal of Constraints, Special Issue on User-Interaction in Constraint Satisfaction 9*, 4, October 2004, p. 241-262.
- [10] F. Fages, A. Lal, "A Constraint Programming Approach to Cutset Problems", *Journal Computers and Operations Research*, 2004, to appear.

- [11] N. Chabrier-Rivier, M. Chiaverini, V. Danos, F. Fages, V. Schächter, “Modeling and querying biochemical interaction networks”, *Theoretical Computer Science* 325, 1, September 2004, p. 25–44.
- [12] F. Fages, S. Soliman, N. Chabrier-Rivier, “Modelling and Querying Interaction Networks in the Biochemical Abstract Machine BIOCHAM”, *Journal of Biological Physics and Chemistry* 4, 2, October 2004, p. 64–73.
- [13] F. Fages, P. Ruet, S. Soliman, “Linear concurrent constraint programming : operational and phase semantics”, *Information and Computation* 165, 1, February 2001, p. 14–41.
- [14] F. Fages, E. Coquery, “Typing Constraint Logic Programs”, *Journal of Theory and Practice of Logic Programming* 1, 6, November 2001, p. 751–777.
- [15] F. Fages, “Dossier spécial sur les méthodes formelles en génie logiciel : survol des concepts formels”, *Syseca Magazine (19)*, January 1999.
- [16] F. Fages, J. Fowler, T. Sola, “Experiments in Reactive Constraint Logic Programming”, *Journal of Logic Programming* 37 :1-3, October 1998, p. 185–212.
- [17] P. Ruet, F. Fages, “Combining explicit negation and negation by failure via Belnap’s logic”, *Theoretical Computer Science* 171, January 1997, p. 61–75.
- [18] F. Fages, “Constructive negation by pruning”, *Journal of Logic Programming* 32(2), August 1997, p. 85–118.
- [19] F. Fages, “Constructive negation by pruning and optimization higher-order predicates for CLP and CC languages”, in : *Constraint Programming : Basics and Trends*, A. Podelski (editor), *LNCS 910*, Springer-Verlag, 1995, p. 68–89.
- [20] F. Fages, “Consistency of Clark’s Completion and Existence of Stable Models”, *Methods of Logic in Computer Science* 1, 1994, p. 51–60.
- [21] L. Albert, R. Casas, F. Fages, “Average case analysis of unification algorithms”, *Theoretical Computer Science* 113, 1993, p. 3–34.
- [22] P. Codognet, F. Fages, T. Sola, “A meta-level compiler for CLP(FD) and its combination with intelligent backtracking”, in : *Constraint Logic Programming : Selected Research*, A. Colmerauer and F. Benhamou (editors), MIT Press, 1993, ch. 23.
- [23] F. Fages, J. Jourdan, “Optimisation combinatoire et programmation logique avec contraintes”, *Bulletin d’information Thomson-CSF*, September 1992, p. 1–13.
- [24] F. Fages, R. Lissajoux, “Sémantique opérationnelle et compilation des systèmes de production”, *Revue d’Intelligence Artificielle* 6, 4, 1992, p. 431–456.
- [25] P. Albert, F. Fages, “XRete : un générateur de systèmes experts temps-réel”, *Revue de Génie Logiciel*, September 1992.
- [26] F. Fages, “A new fixpoint semantics for general logic programs compared with the well-founded and the stable model semantics”, *New Generation Computing* 9, 1991, p. 425–443.
- [27] F. Fages, R. Lissajoux, “Systèmes experts temps réel : une introduction au langage XRete”, *Revue technique Thomson-CSF* 23, September 1990.
- [28] F. Fages, “On the Proceduralization of Rules in Expert Systems”, in : *Programming of Future Generation Computers*, M. Nivat and K. Fuchi (editors), North-Holland, 1988.
- [29] F. Fages, “Associative-Commutative Unification”, *Journal of Symbolic Computation* 3, 1987, p. 257–275.
- [30] F. Fages, G. Huet, “Complete Sets of Unifiers and Matchers in Equational Theories”, *Theoretical Computer Science* 43, July 1986, p. 189–200.

## Communications à des congrès, colloques, etc.

- [31] L. Calzone, N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, “Apprentissage de règles de réactions biochimiques à partir de propriétés en logique temporelle”, in : *Actes de JOBIM’05*, 2005.
- [32] F. Fages, “Biologie formelle dans la machine abstraite biochimique BIOCHAM (exposé invité)”, in : *Proc. Journées Francophones des Langages Applicatifs, JFLA’04*, Obernai, March 2005.
- [33] R. Haemmerlé, F. Fages, “Closures are needed for closed module systems”, in : *Proceedings of joint ERCIM/Colognet workshop on constraint solving and constraint logic programming CSCLP’05*, Uppsala Univ., 2005.
- [34] R. Haemmerlé, F. Fages, “Closures for closed module systems”, in : *Proc. of CICLOPS’05 workshop associated to International Conference on Logic Programming ICLP’05*, University of Barcelona, September 2005.

- [35] L. Calzone, N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, “A Machine Learning approach to Biochemical Reaction Rules Discovery”, in : *Proceedings of Foundations of Systems Biology and Engineering FOSBE'05*, F. J. D. III (editor), p. 375–379, Santa Barbara, 2005.
- [36] L. Calzone, N. Chabrier-Rivier, F. Fages, L. Gentils, S. Soliman, “Machine learning bio-molecular interactions from temporal logic properties”, in : *CMSB'05 : Proceedings of the third Workshop on Computational Methods in Systems Biology*, G. Plotkin (editor), 2005.
- [37] E. Coquery, F. Fages, “A prescriptive type system for CHR (short paper)”, in : *Proceedings of International Conference on Logic Programming ICLP 2005, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, 2005.
- [38] F. Fages, “Temporal logic constraints in the biochemical abstract machine BIOCHAM”, in : *Franco-Japanese Workshop on Constraint Programming*, Le Croisic, October 2005.
- [39] F. Fages, “Temporal logic constraints in the biochemical abstract machine BIOCHAM (invited talk)”, in : *Proceedings of LOPSTR'05*, Imperial College, London, joint with SAS'05, September 2005.
- [40] F. Fages, “Temporal logic constraints in the biochemical abstract machine BIOCHAM (survey talk)”, in : *Proceedings of Joint ERCIM/Colognet workshop CSCLP'05*, University of Uppsala, June 2005.
- [41] E. Coquery, F. Fages, “A type system for CHR”, in : *Proceedings of Joint ERCIM/Colognet workshop CSCLP'05*, University of Uppsala, 2005.
- [42] R. Haemmerlé, F. Fages, “Un système de modules fermé pour la PLC”, in : *Actes de Journées Francophones de Programmation par Contraintes JFPC'05*, 2005.
- [43] E. Coquery, F. Fages, “Un système de types pour CHR”, in : *Actes de Journées Francophones de Programmation par Contraintes JFPC'05*, 2005.
- [44] F. Fages, “Automated reasoning tools for molecular biology (invited talk)”, in : *Proceedings of the 27th Annual German Conference on AI, KI'04, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3238*, Springer-Verlag, Ulm, Germany, September 2004.
- [45] N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, “The Biochemical Abstract Machine BIOCHAM”, in : *CMSB'04 : Proceedings of the second Workshop on Computational Methods in Systems Biology*, V. Danos, V. Schächter (editors), *Lecture Notes in Bioinformatics, 3082*, Springer-Verlag, p. 172–191, 2004.
- [46] N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, “The Biochemical Abstract Machine BIOCHAM”, in : *Proceedings of the Evry Spring School on Modelling and Simulation of Biological Processes in the Context of Genomics*, P. Amar, J.-P. Cornet, F. Képès, V. Norris (editors), Platypus Press, p. 35–49, 2004.
- [47] S. Soliman, F. Fages, “CMBSlib : a Library for Comparing Formalisms and Models of Biological Systems”, in : *CMSB'04 : Proceedings of the second Workshop on Computational Methods in Systems Biology*, V. Danos, V. Schächter (editors), *Lecture Notes in Bioinformatics, 3082*, Springer-Verlag, p. 231–235, 2004.
- [48] F. Fages, “Constraint-based Model Checking of Non-deterministic Hybrid Systems : A First Experiment in Systems Biology (invited talk)”, in : *Proc. Workshop on Constraint Programming and Constraints for Verification CP+CV'04 of ETAPS'04*, Barcelona, March 2004.
- [49] F. Fages, “From Syntax to Semantics in Systems Biology - Towards Automated Reasoning Tools”, in : *Converging Sciences*, Trento, Italy, December 2004.
- [50] N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, “Poster : The Biochemical Abstract Machine BIOCHAM”, in : *Proceedings of the 5th International Conference on Systems Biology ICSB'04*, October 2004.
- [51] R. Backofen, M. Badea, P. Barahona, L. Badea, F. Bry, G. Dawelbait, A. Doms, F. Fages, C. Goble, A. Henschel, A. Hotaran, B. Huang, L. Krippahl, P. Lambrix, W. Nutt, M. Schroeder, S. Soliman, S. Will, “Poster : Towards a semantic web for bioinformatics”, in : *Proceedings of Bioinformatics 2004*, SocBIN - Society for Bioinformatics in the Nordic countries, Linköping, Sweden, June 2004.
- [52] F. Fages, “SiLCC a Concurrent Constraint Programming Language Based on Linear Logic”, in : *Franco-Japanese Workshop on Constraint Programming*, Tokyo, Japan, October 2004.
- [53] N. Chabrier, F. Fages, “The Biochemical Abstract Machine BIOCHAM”, in : *Poster proceedings of European Conference on Computational Biology ECCB'03*, C. Christophe, H. Lenhof, M. Sagot (editors), Paris, September 2003.
- [54] E. Coquery, F. Fages, “Contraintes de sous-typage dans les quasi-treillis”, in : *Actes des Journées Francophones de la Programmation en Logique avec Contraintes JFPLC'2003*, M. Ducassé (editor), *special issue of RSTI, Hermès*, p. 253–266, Amiens (France), June 2003.
- [55] F. Fages, A. Lal, “A Global Constraint for Cutset Problems”, in : *Proceedings of Fifth International Workshop on Integration of AI and OR techniques in constraint programming for combinatorial optimization problems CPAIOR'03*, M. Gendreau, G. Pesant, L. Rousseau (editors), Montreal, Canada, April 2003.

- [56] N. Chabrier, F. Fages, “Model-checking” symbolique de réseaux biochimiques”, in : *Actes des Journées Francophones de la Programmation en Logique avec Contraintes JFPLC'2003*, M. Ducassé (editor), special issue of *RSTI*, Hermès, p. 155–168, Amiens (France), June 2003.
- [57] E. Coquery, F. Fages, “Subtyping constraints in quasi-lattices”, in : *Proceedings of the 23rd conference on foundations of software technology and theoretical computer science, FSTTCS'2003*, P. Pandya, J. Radhakrishnan (editors), *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Mumbai, India, December 2003.
- [58] F. Fages, “Symbolic model checking for biochemical systems (invited tutorial)”, in : *Proceedings of International Conference on Logic Programming ICLP'03*, MIT Press, Mumbai, India, December 2003.
- [59] N. Chabrier, F. Fages, “Symbolic model checking of biochemical networks”, in : *CMSB'03 : Proceedings of the first Workshop on Computational Methods in Systems Biology*, C. Priami (editor), *Lecture Notes in Computer Science*, 2602, Springer-Verlag, p. 149–162, Rovereto, Italy, March 2003.
- [60] F. Fages, “3D Visualization and Control in CLPGUI”, in : *Workshop on User Interaction in Constraint Satisfaction UICS'02 associated to Principles and Practice of Constraint Programming CP'02*, Ithaca, USA, September 2002.
- [61] F. Fages, “CLPGUI : a generic graphical user interface for constraint logic programming over finite domains”, in : *Workshop on Logic Programming Environments WLPE'02 associated to ICLP'02 and FLOC'02*, Copenhagen, Denmark, August 2002.
- [62] E. Coquery, F. Fages, “Surcharge et sous-typage dans TCLP”, in : *Actes des Journées Francophones de Programmation en Logique et programmation par Contraintes, JFPLC'2002*, Hermès, 2002.
- [63] F. Fages, “Symbolic model checking of biochemical networks (invited talk)”, in : *Proceedings of First Workshop on Formal Methods and Biological Reasoning associated to the 3rd International Conference on Systems Biology ICSB'02*, Stockholm, December 2002.
- [64] N. Chabrier, F. Fages, “Symbolic model checking of biological systems”, in : *Poster proceedings of European Conference on Computational Biology ECCB'02*, Saarbrück, September 2002.
- [65] E. Coquery, F. Fages, “TCLP : overloading, subtyping and parametric polymorphism made practical for constraint logic programming”, in : *Proceedings of International Conference on Logic Programming ICLP 2002*, MIT Press, 2002.
- [66] F. Fages, “CLP versus LS on Log-based Reconciliation Problems”, in : *Proceedings of 6th ERCIM workshop of the Constraint Group*, Prague, Czech Republic, May 2001.
- [67] E. Coquery, F. Fages, “From Typing Constraints to Typed Constraint Systems in CHR”, in : *Proceedings of Third workshop on Rule-based Constraint Reasoning and Programming, CP'01*, Cyprus, November 2001.
- [68] E. Coquery, F. Fages, “From Typing Constraints to Typed Constraint Systems in CHR”, in : *Proceedings of Third workshop on Rule-based Constraint Reasoning and Programming, associated to CP'01*, November 2001.
- [69] E. Coquery, F. Fages, “Programmes logiques avec contraintes typés”, in : *Actes des Journées Francophones de la Programmation en Logique avec Contraintes JFPLC'2001*, p. 223–237, June 2001.
- [70] F. Fages, “Concurrent constraint programming and linear logic (invited talk)”, in : *Proceedings of ACM Sigplan conference on Principles and Practice of Declarative Programming PDP'2000*, ACM Publishing Company, Montreal, Canada, September 2000.
- [71] J.-G. Smaus, F. Fages, P. Deransart, “Using Modes to Ensure Subject Reduction for Typed Logic Programs with Subtyping”, in : *Proceedings of FSTTCS '2000, Lecture Notes in Computer Science*, 1974, Springer-Verlag, 2000.
- [72] F. Fages, R. Gori, “Analysis of normal logic programs”, in : *Proc. Static Analysis SAS'98*, LNCS 1503, Springer-Verlag, p. 82–98, Pisa, 1998.
- [73] F. Fages, M. Paltrinieri, “A generic type system for CLP(X)”, in : *Proc. JICSLP'98, Poster paper*, MIT Press, Manchester, UK, 1998.
- [74] F. Fages, P. Ruet, S. Soliman, “Phase Semantics and Verification of Concurrent Constraint Programs”, in : *Proceedings of the 13th Annual IEEE Symposium on Logic In Computer Science*, IEEE Computer Society, p. 141–152, Indianapolis, 1998.
- [75] P. Ruet, F. Fages, “Concurrent constraint programming and mixed non-commutative linear logic”, in : *Proc. of Computer Science Logic CSL'97, Lecture Notes in Computer Science*, 1414, Springer-Verlag, p. 406–423, August 1997.
- [76] F. Fages, P. Ruet, S. Soliman, “Linear concurrent constraint programming : operational and phase semantics”, in : *Proc. COMPULOG Workshop associated to Constraint Programming Conf. CP'97*, Linz, Austria, October 1997.

- [77] F. Fages, “From constraint minimization to goal optimization in CLP languages”, *in : Proc. Constraint Programming CP’96, Poster paper*, Boston, 1996.
- [78] F. Fages, R. Gori, “A Hierarchy of Operational and Denotational Semantics for General Constraint Logic Programming Languages”, *in : Proc. International Conference on Algebraic and Logic Programming, ALP’96, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Aachen, 1996.
- [79] P. Ruet, F. Fages, “Programmation concurrente par contraintes et logique linéaire non commutative”, *in : Actes des Journées du GDR Programmation du CNRS*, Orléans, 1996.
- [80] J. Jourdan, F. Fages, D. Rozzonelli, A. Demeure, “Data alignment and task scheduling on parallel machine using concurrent model-based programming”, *in : Proc. of Concurrent Constraint Programming, CCP’95*, Venice, 1995.
- [81] F. Fages, “From constraint minimization to goal optimization in CLP languages”, *in : Proc. International Logic Programming Symposium, ILPS’95, Post-Conference Workshop on Constraints, Databases and Logic Programming*, Portland, 1995.
- [82] F. Fages, “Négation constructive en programmation logique avec contraintes”, *in : Actes des Journées du GDR Programmation du CNRS*, Grenoble, 1995.
- [83] F. Fages, J. Fowler, T. Sola, “A Reactive Constraint Logic Programming Scheme”, *in : Proc. International Conference on Logic Programming ICLP’95*, L. Sterling (editor), MIT Press, Tokyo, 1995.
- [84] J. Fowler, T. Sola, F. Fages, “Un modèle d’exécution réactif et interactif pour la programmation logique avec contraintes”, *in : Actes des Journées francophones de programmation logique, JFPL’95*, Hermès, Dijon, 1995.
- [85] P. Ruet, F. Fages, “Combining explicit negation and negation by failure via Belnap’s logic”, *in : Proc. Workshop on Uncertainty in Logic Programming, International Symposium on Logic Programming, ILPS’94*, Ithaca, NY, 1994. Revised version to appear in *Theoretical Computer Science*.
- [86] J. Jourdan, F. Fages, D. Rozzonelli, A. Demeure, “Data alignment and task scheduling on parallel machine using concurrent model-based programming”, *in : Proc. Poster paper, International Symposium on Logic Programming, ILPS’94*, MIT Press, Ithaca, NY, 1994.
- [87] F. Fages, J. Fowler, T. Sola, “Handling preferences in constraint logic programming with relational optimization”, *in : Proc. Programming Language Implementation and Logic Programming, PLILP’94, LNCS 844*, Springer-Verlag, p. 261–276, Madrid, 1994.
- [88] F. Fages, “Négation constructive par élagage”, *in : Actes Ecole de Printemps d’Informatique Théorique*, Châtillon-sur-Seine, 1994.
- [89] F. Fages, “On optimization predicates in constraint logic programming”, *in : Proc. Third Workshop on Constraint Logic Programming, WCLP’93*, Marseille, March 1993.
- [90] F. Fages, “On the semantics of optimization predicates in CLP languages”, *in : Proc. 13th Conference Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science FSTTCS’93*, R. Shyamasundar (editor), LNCS 761, Springer-Verlag, p. 193–204, Bombay, December 1993.
- [91] F. Fages, “On the semantics of optimization predicates in CLP languages”, *in : Proc. of the first workshop on Principles and Practice of Constraint Programming, PP’93*, Newport, April 1993.
- [92] P. Codognet, F. Fages, J. Jourdan, R. Lissajoux, T. Sola, “On the design of Meta(F) and its applications in Air Traffic Control”, *in : Proc. of the Constraints Workshop of International Conference and Symposium on Logic Programming, ICSLP’92*, Washington, November 1992.
- [93] L. Albert, R. Casas, F. Fages, P. Zimmermann, “Average case analysis of unification algorithm”, *in : Proc. Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS’91, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Hamburg, February 1991.
- [94] F. Fages, “Consistency of Clark’s completion and existence of stable models”, *in : Proc. of Convegno sulla Programmazione Logica, GULP’91*, Pisa, June 1991.
- [95] F. Fages, T. Sola, “Delay mechanisms with priorities for constraint solving”, *in : Proc. of the first Workshop on Constraint Logic Programming, WCLP’91*, Marseille, 1991.
- [96] F. Fages, “A new fixpoint semantics for general logic programs compared with the well-founded and the stable model semantics”, *in : Proc. Seventh International Conference on Logic Programming, ICLP’90*, Jerusalem, June 1990.
- [97] F. Fages, “On the existence of stable models for general logic programs”, *in : Proc. Workshop on non-monotonic reasoning and logic programming, NAACP’90*, Austin, 1990.

- [98] F. Fages, “Généralisations basées sur la preuve dans Prolog”, in : *Actes Ecole de Printemps d'Informatique Théorique*, Albi, 1989.
- [99] F. Fages, “Optimizations of Rete Algorithm, and Implementation of Logical Dependencies”, in : *Proc. AAAI Spring Symposium*, Stanford, March 1989.
- [100] L. Albert, F. Fages, “Average Case Complexity Analysis of the Rete Multi-Pattern Match Algorithm”, in : *Proc. International Conference on Automata, Languages and Programming ICALP'88*, Springer-Verlag, Tampere, July 1988.
- [101] T. Shang, F. Fages, “Real-Time Expert System for On-Board Radar Identification”, in : *Proc. 55th Symposium AVP-AGARD on Software Engineering and its Applications*, Cesme, Turkey, April 1988.
- [102] F. Fages, “Rule-Based Extensions of Programming Languages : a Proposal to Integrate Expert Systems into Applications at the Target Language Level”, in : *Proc. 8èmes journées sur les Systèmes Experts et leurs Applications*, Avignon, June 1988.
- [103] F. Fages, “Associative-Commutative Unification”, in : *Proc. of seventh Conference on Automated Deduction CADE'84, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Napa Valley, May 1984.
- [104] F. Fages, G. Huet, “Unification and Matching in Equational Theories”, in : *Proc. of CAAP'83, 8th Colloquium on Trees in Algebra and Programming, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, p. 205–220, L'aquila, March 1983.

## Rapports de recherche et publications internes

- [105] N. Chabrier, F. Fages, S. Soliman, *BIOCHAM's user manual*, INRIA, 2003–2005.
- [106] S. Sécherre, F. Fages, “Allocation distribuée de ressources dans le système CONSENSUS”, *research report number RT 0308*, INRIA, August 2005.
- [107] R. Haemmerlé, F. Fages, “Closures are needed for closed module systems”, *research report number RR-5575*, INRIA, 2005.
- [108] N. Chabrier-Rivier, F. Fages, S. Soliman, L. Calzone, “Learning transition rules from temporal logic properties”, *Research Report number 5543*, INRIA, April 2005.
- [109] E. Coquery, F. Fages, “A type system for CHR”, *research report number RR-5565*, INRIA, mai 2005.
- [110] R. Backofen, L. Badea, P. Barahona, A. Burger, G. Dawelbait, A. Doms, F. Fages, A. Hotaran, V. Jakoniene, L. Krippahl, P. Lambrix, K. McLeod, S. Möller, W. Nutt, B. Olsson, M. Schroeder, S. Soliman, H. Tan, D. Tilivea, S. Will, “Usage of Bioinformatics Tools and Identification of Information Sources”, *deliverable number A2-D2*, Lisbon, 2005.
- [111] H. Cirstea, E. Coquery, W. Drabent, F. Fages, C. Kirchner, J. Maluszynski, B. Wack, “Reasoning on the Web with Rules and Semantics”, *deliverable number I3-D1*, Linköping, 2004.
- [112] R. Backofen, M. Badea, A. Burger, F. Fages, P. Lambrix, W. Nutt, M. Schroeder, S. Soliman, S. Will, “State-of-the-art in Bioinformatics”, *deliverable number A2-D1*, Dresden, 2004.
- [113] H. Cirstea, E. Coquery, W. Drabent, F. Fages, C. Kirchner, J. Maluszynski, B. Wack, “Types for Web Rule Languages : a preliminary study”, *deliverable number I3-D2*, LORIA, 2004.
- [114] E. Coquery, F. Fages, “Subtyping constraints in quasi-lattices”, *research report number RR-4926*, INRIA Rocquencourt, September 2003.
- [115] F. Fages, *Programmation Logique avec Contraintes*, 2002, Notes de cours de l'Ecole Jeunes Chercheurs en Programmation, EJC'2005 Dinard, EJC'2003 Aussois, EJC'2002 Rennes, EJC'2000 Lyon, EJC'98 Nantes, EJC'97 Sophia-Antipolis, EJC'96 Bordeaux, EJC'95 Nancy.
- [116] E. Coquery, F. Fages, “TCLP : overloading, subtyping and parametric polymorphism made practical for constraint logic programming”, *research report number RR-4926*, INRIA Rocquencourt, 2002.
- [117] F. Fages, *Constraint Logic Programming*, Ninth European Summer School in Logic, Language and Information, Helsinki, Finland, August 2001, ESSLLI'01.
- [118] F. Fages, “A Constraint Programming Approach to Log-based Reconciliation Problems for Nomadic Applications”, *research report*, INRIA, August 2001.
- [119] J.-G. Smaus, F. Fages, P. Deransart, “Using Modes to Ensure Subject Reduction for Typed Logic Programs with Subtyping”, *research report number RR4020*, INRIA, October 2000, Complete version of the paper presented at FSTTCS'2000.

- [120] F. Fages, S. Soliman, V. Vianu, “Expressiveness and complexity of concurrent constraint programming : a finite model theoretic approach”, *research report*, Ecole Normale Supérieure LIENS-98-14, December 1998.
- [121] F. Fages, *Constraint Logic Programming*, Ninth European Summer School in Logic, Language and Information, Aix-en-Provence, France, August 1997, ESSLLI’97.
- [122] F. Laburthe, F. Fages, “Etude expérimentale de problèmes de gestion de ressources”, *research report*, Ecole Normale Supérieure, Rapport intermédiaire du contrat de collaboration Bouygues-CNRS ENS dans le cadre du projet Esprit CHIC-2, 1997.
- [123] F. Fages, M. Paltrinieri, “A generic type system for CLP(X)”, *research report*, Ecole Normale Supérieure LIENS 97-16, December 1997.
- [124] F. Fages, *Programmation logique par contraintes*, Ecole Normale Supérieure, Paris, 1996, Cours de la Majeure d’Informatique Fondamentale et Applications.
- [125] F. Fages, *Travaux Dirigés de Programmation Logique par Contraintes*, Ecole Normale Supérieure, Paris, 1996, Cours du Magistère MMFAI, Rapport LIENS-96-5.
- [126] P. Codognet, R. Cousot, F. Fages, R. Giacobazzi, J.-L. Imbert, J.-F. Pique, A. Rauzy, “Langages Logiques concurrents avec contraintes”, *research report*, Ecole Normale Supérieure, Rapport final de l’action inter-PRC Informatique MESR 93S0051, “Opérations de recherches coordonnées en calcul parallèle et distribué”, October 1995.
- [127] F. Fages, R. Lissajoux, L. Perron, “Langage concurrent avec contraintes pour la planification multi-utilisateurs”, *research report*, Ecole Normale Supérieure, Rapport final du contrat MESR 92S0777, 1994.
- [128] F. Fages, *Programmation Logique*, Ecole Polytechnique, 1993, Cours de la Majeure d’Informatique Fondamentale et Applications.
- [129] F. Fages, *Logical Semantics of Non-monotonic Rule Bases*, Institut de l’Ecole Normale Supérieure, Thomson, Jouy en Josas, 1989, Ecole d’Automne sur l’Intelligence Artificielle.

## Divers

- [130] É. Parizot, S. Soliman, F. Fages, “La programmation par contraintes”, Dossier algorithmique du site web de vulgarisation interstices.info, February 2004.
- [131] S. Spreeuwenberg, P. Albert, F. Fages, A. Lonjon, J. Vanthienen, “Manifeste pour les règles métiers : les principes de l’indépendance des règles”, 2004.

## PROGRAMME DE RECHERCHE

Nom: FAGES      Prénom: François

Titre du programme de recherche : **Programmation par Contraintes**

On peut dire qu'aujourd'hui la Programmation par Contraintes participe à un véritable renouveau de la Recherche Opérationnelle pour la résolution des problèmes combinatoires en milieu industriel, et que ce succès illustre principalement l'apport des recherches sur les *langages déclaratifs* pour combiner efficacement des techniques de résolution hétérogènes : numériques, symboliques, déductives, heuristiques. L'utilisation de langages de haut niveau pour la modélisation à la fois du problème à résoudre et des stratégies de résolution, entraîne une diminution importante des coûts de développement et de maintenance. Cette contribution double de génie logiciel et d'algorithmique permet d'attaquer des problèmes nouveaux, NP-difficiles, combinant plusieurs composantes, ce qui était difficilement envisageable sans des outils adaptés pour les programmer. Le traitement de nouvelles applications motive la recherche de nouvelles extensions des outils existants, ayant pour but de traiter de nouveaux domaines de contraintes, de concevoir de nouveaux solveurs ou de nouvelles combinaisons de solveurs, ainsi que de nouvelles procédures de recherche. Les outils de programmation par contraintes pourraient aussi être plus faciles d'utilisation, et toucher un plus grand nombre d'utilisateurs. La mise au point des programmes, la détection des erreurs, l'interrogation de ce qui se passe à l'exécution, ne sont pas des problèmes bien résolus aujourd'hui.

Notre programme de recherche porte sur :

1. les langages de programmation par contraintes, leurs fondements sémantiques, leur implantation, leurs environnements de mise au point ;
2. les techniques de résolution de contraintes, les règles de simplification et de propagation, les contraintes globales, les procédures de recherche locale ;
3. la biologie des systèmes, où nous mettons en œuvre ces concepts de modélisation.

L'étude des langages concurrents avec contraintes (CC) se trouve au centre de notre projet. Elle fournit en effet un cadre conceptuel pour étudier plusieurs aspects pourtant bien distincts de la programmation par contraintes, comme les techniques de résolution de contraintes, les langages de modélisation multiple concurrente, les implantations, les applications réactives.

Nous considérons principalement trois domaines applicatifs :

- la résolution de problèmes combinatoires, domaine d'excellence de la programmation par contraintes aujourd'hui ;
- le Web sémantique qui présente un challenge naturel et d'actualité pour les langages de règles et contraintes ;
- la bioinformatique, où, au delà du traitement de problèmes combinatoires en biologie, les langages logiques avec contraintes offrent des outils puissants de modélisation et d'analyse des systèmes biochimiques au niveau cellulaire, de façon qualitative et quantitative. Dans ce domaine, nous nous intéressons en particulier au traitement des contraintes temporelles dans les systèmes à dynamique discrète et continues.

## 1 Langages concurrents avec contraintes

La classe des langages concurrents avec contraintes, introduite par V. Saraswat au début des années 90, est une abstraction représentative des systèmes de programmation par contraintes, qui se prête bien à l'étude de leurs propriétés fondamentales, tant en termes d'expressivité, de complexité, de modèles d'exécution ou de coopération, que de méthodes de vérification.

Cette classe de langages, notée  $CC(\mathcal{X})$ , est paramétrée par le domaine du discours  $\mathcal{X}$  donné avec son langage de contraintes (arithmétique entière ou réelle, linéaire ou non, domaines finis, contraintes symboliques, etc.). Elle généralise la classe  $CLP(\mathcal{X})$  des programmes logiques avec contraintes par l'introduction d'une primitive de synchronisation basée sur l'implication de contraintes, et constitue de ce fait un paradigme de programmation concurrente. Schématiquement les agents  $CC$  partagent des variables (qui jouent le rôle de canaux de communication dynamiques comme en  $\pi$ -calcul asynchrone) et une mémoire de contraintes portant sur ces variables, dans laquelle chaque agent peut écrire, par l'opération d'ajout de contrainte, et lire, par l'opération de test d'implication de contraintes.

Un des succès notoires du cadre  $CC$  a été la reconstruction simple et élégante de solveurs de contraintes sur les domaines finis, ainsi que la coopération de modélisations multiples pour la résolution de problèmes combinatoires. L'utilisation du cadre  $CC$  pour la programmation de systèmes réactifs nécessite quant à elle de rompre avec l'hypothèse d'évolution monotone de la mémoire des contraintes, et d'autoriser le retrait de contraintes pour la prise en compte de l'évolution temporelle du problème.

### 1.1 Langages linéaires concurrents avec contraintes $LCC(X)$

Les théorèmes de complétude qui existent entre l'exécution des programmes  $CLP$  et leur traduction en logique classique, et qui sont à la base de méthodes simples et puissantes de raisonnement sur les programmes, ne résistent pas à l'opération de synchronisation des programmes  $CC$ . La recherche d'une sémantique logique des langages  $CC$ , dans le paradigme général de la programmation logique — programme=formule, exécution=recherche de preuve — nous a conduit à une traduction des programmes  $CC$  dans la *logique linéaire* de Jean-Yves Girard. Cette traduction permet de caractériser les ensembles de contraintes accessibles et les succès [13]. La traduction dans la logique non-commutative de Ruet-Abrusci permet en outre de caractériser les suspensions [75].

Ces résultats ouvrent des perspectives nouvelles que nous étudions pour aborder plusieurs problèmes importants de la programmation par contraintes aujourd'hui :

- valider les programmes concurrents avec contraintes;
- combiner propagation de contraintes et changement d'état;
- faire coopérer des méthodes de propagation locale avec des solveurs de contraintes globales.

L'approche utilisée dans les deux derniers cas repose sur une extension naturelle des langages  $CC$ , nommée  $LCC$ , qui consiste simplement à considérer des systèmes de contraintes fondés sur la logique linéaire au lieu de la logique classique. Cette généralisation des systèmes de contraintes permet de rendre compte des changements d'états par le biais des consommations de ressources dans la mémoire des contraintes, lors de l'opération de synchronisation modélisée par l'implication linéaire.

### 1.2 Implantation noyau $LCC(K)$

Notre projet consiste à développer une implantation modulaire des langages  $LCC(X)$  où  $X$  est le système de contraintes auquel on s'intéresse. Pour cela nous cherchons à définir un système de contraintes noyau  $K$ , d'une part suffisamment simple pour être implanté dans une extension simple de la machine abstraite de Warren (suivant la technologie de compilation en code natif du système GNU-Prolog développée par Daniel Diaz dans le projet), et d'autre part, suffisamment expressif pour permettre de développer des solveurs de contraintes dans  $LCC(K)$ , et reconstruire un système complet tel que GNU-Prolog de façon modulaire par des bibliothèques.

L'apport d'une architecture modulaire [33] reposant sur un langage noyau minimal est fondamentale du point de vue de l'extensibilité du langage (nouveaux domaines de contraintes, méthodes hybrides), de son implantation (maintenance, optimisation, contributions extérieures) ainsi que du point de vue de l'enseignement (cadre conceptuel simple).

### 1.3 Environnements de programmation

Le traitement de plusieurs centaines ou milliers de contraintes hétérogènes sur autant de variables est un processus qu'il n'est pas vraiment possible d'appréhender sans des outils de visualisation des différents

aspects de l'exécution, des environnements de mise au point des programmes, et des méthodes d'analyse et de vérification des programmes.

Dans le cadre du projet RNTL OADymPPaC qui est achevé, nous avons développé des méthodes de visualisation des contraintes et de l'espace de recherche qui s'articulent autour d'un format de trace générique (multi-solveur, multi-visualiseur) et qui se sont concrétisées avec l'outil CLPGUI [9, 61].

Ce format de trace générique repose sur une sémantique formelle des propagateurs de contraintes, commune à des outils aussi variés que GNU-Prolog, CHIP, Ilog Solver et Choco. Une suite possible de ces résultats est la conception de systèmes d'explication en programmation par contraintes pour le programmeur ou pour l'utilisateur final. Une autre suite possible est d'utiliser le format de trace générique et la sémantique formelle développée dans le projet pour lancer un effort de standardisation des contraintes.

## 1.4 Typage

L'étude entreprise depuis plusieurs années sur un système de types suffisamment puissant pour la programmation logique avec contraintes [14] a abouti à l'implantation du système TPLP de vérification et inférence de types pour les programmes du monde réel, incluant des coercions entre domaines de contraintes et des prédicats de metaprogrammation. La puissance du système de type repose sur la combinaison de plusieurs formes de polymorphisme et la résolution de contraintes d'ordre dans les quasi-treillis dont nous avons montré la décidabilité dans [57].

Au delà de l'intérêt de ce système de typage pour la programmation par contraintes, l'étude se poursuit sur les contraintes d'ordre dans les ontologies et le typage des langages de règles et contraintes pour le Web sémantique développés dans le cadre du projet REVERSE.

## 2 Solveurs de contraintes

Les domaines applicatifs que nous considérons utilisent différents systèmes de contraintes, en particulier :

- contraintes sur les domaines finis (nombres entiers naturels bornés) : contraintes primitives d'appartenance à un domaine fini, contraintes numériques, symboliques, contraintes globales, contraintes d'ordre supérieur ;
- contraintes sur les réels : algorithme du Simplexe pour les contraintes linéaires, méthodes d'intervalles pour les contraintes non-linéaires ;
- contraintes temporelles : booléennes CTL, et LTL ou PCTL avec contraintes numériques.

Cette diversité des algorithmes de résolution pose le problème de la coopération des solveurs, que ce soit au sein d'un même domaine de contraintes pour accélérer la résolution ou traiter des contraintes de types différents, ou entre différents domaines pour traiter les aspects hétérogènes d'un problème, ou bien des relaxations du problème.

### 2.1 Contraintes globales

Suite à une étude menée en collaboration avec Marc Shapiro alors au centre de recherche Microsoft à Cambridge, concernant un problème combinatoire de réconciliation d'actions dans les applications nomades, nous avons défini une contrainte globale de coupure acyclique (*cutset* dans un graphe [10, 55]). Les résultats obtenus ont montré une accélération de deux ordres de grandeurs sur des tests de la littérature et des problèmes de réconciliation, par rapport aux méthodes polyédrales proposées pour ce problème dans la littérature, ainsi que par rapport à un programme avec contraintes sans la contrainte globale de coupure. Nous souhaitons poursuivre ces travaux en cherchant à améliorer l'algorithme de filtrage qui, pour obtenir une complexité en temps linéaire, réalise un compromis sur les inférences qu'il est possible de faire. Nous envisageons également de développer une contrainte globale de *cutwidth* dans un graphe, notamment pour son importance dans les diagrammes de décision binaire en vérification symbolique de modèles.

Enfin dans le cadre de notre contrat de recherche avec TOTAL nous étudions un problème d'ordonnement de mélange des bruts dans une raffinerie, qui se fonde sur une nouvelle contrainte globale de flot avec contraintes de mélange.

## 2.2 Hybridation contraintes, recherche locale, évolutionnisme

Les techniques de recherche locale sont des techniques complémentaires de la propagation de contraintes pour trouver des solutions dans des problèmes de grande taille. De plus elles permettent de traiter des contraintes de préférences dans la mesure où elles permettent de seulement maximiser le nombre de contraintes satisfaites. En collaboration avec Evelyne Lutton du projet Complexe, nous avons entrepris le développement d'un système d'affectation de locaux aux équipes à Rocquencourt. Il s'agit d'un système distribué multi-utilisateur, qui propose des solutions aux utilisateurs et, en fonction des notes données à ces solutions, cherche à déterminer les préférences des utilisateurs et à proposer les solutions les plus consensuelles. Techniquement, le système repose sur une architecture originale qui hybride des techniques de recherche locale pour la recherche des solutions satisfaisant des contraintes de préférences, avec des techniques de programmation linéaire pour l'apprentissage des préférences des utilisateurs [106].

Cette expérience se poursuit dans le but de dégager une architecture générale de coopération contraintes/ recherche locale/évolutionnisme pour la réalisation de systèmes d'aide à la décision consensuelle multi-utilisateur.

## 3 Biologie formelle de la cellule

La production en masse de données post génomiques, telle que l'expression des ARNs, la synthèse de protéines, et les interactions protéines-protéines, soulève le besoin d'un effort parallèle important sur la représentation formelle des réseaux biochimiques à l'échelle cellulaire. Ces questions constituent un challenge pour les informaticiens et les logiciens qui sont de plus en plus nombreux à s'y intéresser. En particulier, la conception de langages pour modéliser les processus complexes et raisonner sur leur dynamique discrète ou continue, est une voie de recherche prometteuse à laquelle les méthodes de vérification symbolique et de programmation par contraintes sont appelées à contribuer de façon déterminante.

Dans le cadre de l'ARC CPBIO nous avons exploré l'utilisation de techniques de *vérification symbolique de modèles* pour interroger en logique temporelle CTL des systèmes biochimiques complexes [59, 11, 12]. Sur un système de transition concurrent de 2700 réactions et 500 variables (portant sur 165 protéines de base et gènes) modélisant le contrôle du cycle cellulaire chez les mammifères, nous avons montré que les questions d'accessibilité (synthèse de protéines), de chemins (point de restriction, points de contrôle), d'états stables et d'oscillations, s'expriment simplement en logique CTL, et peuvent s'évaluer en quelques dizaines de secondes CPU avec un outil de vérification symbolique de modèles comme NuSMV.

Cette année, nous avons montré la faisabilité de cette démarche pour vérifier automatiquement des propriétés biologiques quantitatives dans des modèles à dynamique continue régie par des systèmes d'équations différentielles [8, 35]. L'algorithme de vérification de modèles avec contraintes numériques que nous avons développé réalise une simulation numérique et évalue une formule LTL avec contraintes sur la trace de la simulation (vue comme une structure de Kripke linéaire).

Ce travail ouvre de nombreuses perspectives, tant du point de vue de la biologie des systèmes que du point de vue des méthodes d'estimation de paramètres dans les systèmes dynamiques, ou des méthodes de vérification de modèles avec contraintes (combinaison avec des procédures de recherche d'états, liens avec les automates hybrides et les outils de vérification de systèmes hybrides). Dans le cadre du projet STREp APRIL II, nous développons les méthodes d'apprentissage automatique de règles de réaction à partir de propriétés temporelles [8, 36].

Ces résultats sont intégrés et diffusés dans le logiciel BIOCHAM qui constitue notre base d'expérimentation [105]. La rapidité à laquelle nous développons ce logiciel est liée à son implantation en Prolog. A présent notre ambition est d'obtenir des contributions originales en biologie grâce à ces nouveaux concepts de modélisation du vivant. Dans cette voie, nous nous intéressons à un modèle couplé du cycle cellulaire et du cycle circadien.