
Projet SLOOP

Simulation, Langages à Objets et Parallélisme

Localisation : *Sophia Antipolis*

Mots-clés : langage à objets, parallélisme, simulation, système à événements discrets, simulation répartie, algorithmique parallèle, algorithmique distribuée, réseau d'interconnexion, communication.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Jean-Claude Bermond, DR CNRS

Responsable permanent

Philippe Mussi, CR INRIA

Assistante de projet

Ephie Deriche, TR INRIA, à temps partiel

Personnel INRIA

Bruno Gaujal, CR

Michel Syska, maître de conférences, UNSA, détaché INRIA

Personnel Université de Nice-Sophia Antipolis (UNSA)

Françoise Baude, maître de conférences, UNSA

Denis Caromel, maître de conférences, UNSA

Chercheurs invités

Paul Paulraja, université d'Anamalai, Inde, de mai à juillet

Arie Hordijk, université de Leiden, Pays Bas, à partir de septembre

Joseph Yu, université Simon Fraser, Canada, de juin à août

Chercheurs post-doctorants

Michele Flammini, université de La Sapienza Roma (IT), à partir de septembre

Stéphane Pérennes, post-doc, depuis le 1/5

Chercheurs doctorants

Bruno Beauquier, élève ENS-Cachan, depuis le 1/10
 Olivier Dalle, allocataire MENESRIP
 Éric Darrot, ATER, UNSA
 Olivier Delmas, ATER, UNSA
 Nathalie Furmento, allocataire MENESRIP
 Romain Guider, allocataire MENESRIP depuis le 1/11
 Nausica Marlin, allocataire MENESRIP depuis le 1/10
 Stéphane Pérennes, allocataire moniteur normalien jusqu'au 30/4
 Yves Roudier, allocataire MENESRIP
 David Sagnol, allocataire MENESRIP depuis le 1/10
 Günther Siegel, allocataire MENESRIP

Collaborateur extérieur

Marc Badel, ingénieur DTAT

Stagiaires

Philippe Barette, ESSI UNSA, du 15/1 au 12/4
 Bruno Beauquier, DEA ENS Cachan, du 1/4 au 30/6
 Fabrice Belloncle, DEA RSD UNSA, du 1/2 au 30/6
 Éric Bruneton, École Polytechnique, du 15/4 au 9/7
 Karim Chenikhar, DEA RSD UNSA, du 1/4 au 30/6
 Francis de Fouchier, ESSI UNSA, du 22/4 au 27/9
 Özlem Erdemir, DESS-ISI UNSA, du 22/4 au 22/9
 Delphine Finzi, maîtrise Dauphine, du 15/4 au 15/9
 Serge Gallego, DESS-ISI UNSA, du 15/1 au 12/4
 Sylvain Gamel, DEA Informatique UNSA, du 1/4 au 31/7
 Frédéric Gioanni, ESSI UNSA, jusqu'au 12/4
 Björn Grundt, DESS-ISI UNSA, du 15/1 au 12/4
 Tania Jimenez, DEA RSD UNSA, à partir du 1/8
 Tamas Kozsik, boursier CIES du 1/1 au 30/9
 Sylvain Lippi, DEA MDFI Marseille, du 1/4 au 30/6
 Nausica Marlin, DEA Mathématiques UNSA, du 1/4 au 31/7
 Pascal Robinet, DESS-ISI UNSA, du 15/1 au 12/4
 Cyril Tonin, ESSI UNSA, du 15/1 au 12/4

2 Présentation du projet

Ce projet qui est commun au CNRS, à l'UNSA (université de Nice-Sophia Antipolis) et à l'INRIA a été créé il y a un an.

Les besoins de simulation de systèmes à événements discrets de plus en plus grands et de plus en plus complexes (réseaux de télécommunications¹, autoroutes de l'information, réseaux de téléphones cellulaires, systèmes de commandement, trafic routier ou aérien) vont croissant et les limites de capacité et de vitesse des outils classiques de simulation (QNASP2, MODLINE) sont atteintes. Ainsi, la conception de simulateurs parallèles ou répartis devient aujourd'hui nécessaire. En effet ils permettent d'utiliser la grande puissance de calcul des machines multiprocesseurs actuelles ainsi que leur grande capacité mémoire.

L'objectif central du projet SLOOP est donc de développer des méthodes et des outils permettant l'utilisation efficace de machines multiprocesseurs pour la simulation de systèmes à événements discrets. La réalisation de cet objectif ne peut se faire que par la poursuite de recherches de haut niveau dans les domaines des langages à objets parallèles et de l'algorithmique parallèle et distribuée.

¹et singulièrement ceux utilisant le protocole ATM

Une plate-forme d'expérimentation, comprenant 20 stations de travail connectées par un réseau Ethernet 100Mb/s et un réseau *Myrinet* 1, 2Gb/s, est en cours d'installation à Sophia Antipolis.

3 Actions de recherche

3.1 Simulation

Les recherches du projet en simulation de systèmes à événements discrets portent à la fois sur le développement de nouvelles méthodes pour la simulation de grands systèmes (simulation équationnelle notamment) et sur la construction d'un environnement de simulation (PROSIT) intégrant ces méthodes et permettant l'écriture et l'exécution efficaces de simulations de systèmes complexes en environnements mono ou multiprocesseurs.

3.1.1 Simulation orientée objets en environnement réparti

Participants : Philippe Mussi, Günther Siegel, Bruno Gaujal, Alain Jean-Marie (MISTRAL)

Mots-clés : langage à objets, parallélisme, simulation, simulation répartie.

Environnement séquentiel PROSIT Nous avons poursuivi les recherches et les développements autour de l'environnement séquentiel PROSIT. Nous avons entre autres mis en place : une bibliothèque pour la simulation de réseaux de Petri [200], un mécanisme de trace [204] et une interface graphique permettant la génération automatique de code.

Le prototype a été déposé auprès de l'agence pour la protection des programmes et est actuellement en phase d'évaluation par la société SIMULOG.

Nous avons aussi travaillé, en collaboration avec l'équipe Mistral, à l'intégration d'un moteur de simulation équationnelle dans l'environnement PROSIT [177].

Modèle de simulation distribuée PROSIT Nous avons spécifié l'extension distribuée du modèle de simulation et conçu un modèle d'exécution associé [181]. Dans ce modèle, le programmeur crée dynamiquement des sous-systèmes (*cluster* dans la terminologie PROSIT) et distribue ses composantes parmi eux. Les objets actifs interagissent alors par des appels distants et peuvent migrer entre clusters. Sur chaque sous-système, un noyau est responsable de la progression du temps et collabore avec les autres noyaux afin de conserver une cohérence globale. Divers protocoles de synchronisation sont actuellement en cours d'implémentation.

Simulateur distribué PROSIT Afin de valider le modèle d'exécution PROSIT et de vérifier la puissance d'expression du modèle de programmation, nous sommes en train de développer un prototype distribué. Ce prototype utilise la bibliothèque SCHOONER développée dans notre projet.

Simulation mixte : PROSIT/équationnelle Pour simuler des systèmes réels complexes, nous avons mis au point une technique mixte qui utilise l'approche équationnelle pour simuler les parties simples du modèle et une approche classique dirigée par les événements pour les parties de dynamique plus complexe du modèle. Les premières expériences montrent un gain de performance par un facteur de l'ordre de dix. L'intégration de ces deux moteurs de simulation est faite dans l'environnement PROSIT qui montre ainsi son adaptativité et son ouverture [177]. Une version parallèle de ces travaux est en cours de préparation. Les premiers résultats obtenus sur un réseau de stations Alpha sont très encourageants.

Traitement statistique de résultats de simulation En collaboration avec le projet Mistral, nous avons conçu et développé STAT-TOOL [162]. STAT-TOOL est un outil statistique extensible, basé sur une architecture objet et qui supporte la répartition dynamique et automatique des traitements en environnement hétérogène.

STAT-TOOL a été validé et est maintenant incorporé à l'environnement de simulation PROSIT. L'extension des méthodes de traitement statistique supportées par STAT-TOOL a été entreprise [199].

3.1.2 Analyse des systèmes à événements discrets

Participants : François Baccelli (MISTRAL), Bruno Gaujal

Mots-clés : système à événements discrets.

Analyse structurelle des réseaux de Petri Dans un premier temps, l'analyse algébrique des réseaux de Petri à Choix libres nous permettait de mener des études quantitatives. Nous avons maintenant à notre disposition des critères de stabilité généraux pour les réseaux à entrée unique par exemple [152].

Ensuite, nous avons montré que l'approche algébrique permet aussi de démontrer des propriétés structurelles sur un réseau de Petri, par exemple la vivacité [185]. Cette approche a même été étendue par des techniques d'analyse linéaire au cas des réseaux à poids [203].

Les réseaux fluides/discrets Nous avons établi des comparaisons entre les réseaux de Petri fluides et les réseaux discrets. Les réseaux fluides étant plus faciles à analyser avec des techniques d'algèbre linéaire, l'étude d'un réseau discret passe souvent par une étape fluide avant de rediscrétiser le modèle [178].

3.1.3 Allocations optimales de clients dans des réseaux

Participants : Bruno Gaujal, Eitan Altman (MISTRAL), Arie Hordijk

Mots-clés : système à événements discrets.

Ces travaux s'inscrivent dans le prolongement des résultats de Bruce Hajek sur les allocations optimales de clients dans une file d'attente. Dans un premier temps, nous avons mené des études plus théoriques sur les mots équilibrés en dimension $n \geq 3$. Puis nous avons généralisé les travaux de Hajek pour des temps de service généraux. Nous travaillons actuellement à l'extension des résultats pour des réseaux de files d'attente.

3.2 Langages à objets parallèles

Participants : Françoise Baude, Denis Caromel, Nathalie Furmento, Yves Roudier, David Sagnol

Mots-clés : langage à objets, parallélisme.

L'objectif général de cette action est de faciliter la programmation parallèle dans le cadre des langages asynchrones et impératifs, plus particulièrement en utilisant le paradigme des langages à objets.

Une orientation privilégiée de recherche consiste à appliquer nos travaux au domaine de la simulation à événements discrets, l'objectif étant d'utiliser le potentiel de réutilisation des langages parallèles à objets afin de construire des simulateurs parallèles qui soient génériques ; [153] présente quelques résultats préliminaires.

La réutilisation constitue une seconde orientation privilégiée de cette action : nous souhaitons être capables de transformer un système séquentiel en un système parallèle, et pouvoir dériver d'un système déjà parallèle un système où le taux de parallélisme est plus important.

Un autre principe est de s'appuyer autant que possible sur une sémantique formellement définie, notamment afin d'essayer de formaliser la réutilisation et la transformation de programmes.

Globalement, la stratégie adoptée consiste maintenant à réaliser tous les développements pratiques en C++, mais à poursuivre autour d'Eiffel// (Eiffel parallèle) toutes les recherches qui visent à utiliser des techniques formelles.

3.2.1 Langage C++//

Participants : Françoise Baude, Denis Caromel, Yves Roudier, David Sagnol

Mots-clés : langage à objets, parallélisme.

Nous poursuivons actuellement la définition et l'implémentation d'un langage parallèle basé sur C++ (C++//) [156]. Ce système s'appuie sur les travaux antérieurs et actuels menés sur Eiffel//. Il reprend en particulier les objectifs de réutilisation et de transformation de programmes, et met en œuvre des techniques développées et expérimentées pour Eiffel// (polymorphisme entre objets et processus, attente par nécessité, bibliothèques facilitant la programmation des processus).

Dans le cadre de ces travaux, le projet participe activement au groupe de travail HPCN EUROPA, qui se consacre à la normalisation des extensions parallèles de C++. Les premiers résultats des investigations menées sont publiés dans [169]. Le standard Europa proposé est en cours d'implémentation, d'une part par University College London en collaboration avec London Parallel Applications Centre (LPAC), d'autre part par l'équipe SLOOP.

La première implémentation réalisée dans [156] était provisoire car elle n'utilisait pas les techniques et principes développés simultanément par le groupe Europa. L'objectif consiste maintenant, à partir d'Europa, à implémenter C++// comme une simple bibliothèque de classes.

Le rapprochement entre les aspects *langages à objets parallèles* et *bibliothèques de communications* nous permet de découpler certains aspects de l'implémentation, et d'utiliser ainsi les bibliothèques développées dans le projet, en l'occurrence SCHOONER (Section 3.2.3). Ces réalisations sont en cours, une version préliminaire est décrite dans [164].

3.2.2 Programmation du contrôle des processus

Participants : Denis Caromel, Yves Roudier

Mots-clés : langage à objets, parallélisme, algorithmique distribuée.

Cet axe consiste en l'étude et la définition de bibliothèques pour la programmation de l'activité des processus (la synchronisation des routines exportées). Celles-ci existent à différents niveaux et permettent de répondre à des besoins très différents : programmation du service des requêtes envoyées à un processus, abstractions pour la programmation du contrôle des processus, classes spécifiques à l'environnement de simulation.

Nous avons mis en évidence la possibilité d'utiliser ces techniques pour la programmation réactive [157].

3.2.3 Communications pour C++//: SCHOONER

Participants : Françoise Baude, Nathalie Furmento

Mots-clés : langage à objets, parallélisme, algorithmique distribuée, communication.

Nous continuons le développement de la bibliothèque de classes SCHOONER [176, 175] qui va servir de support d'exécution distribué pour le langage C++//. Une première version de cette bibliothèque fournissant les processus légers a été développée au dessus de l'environnement PM² [164].

Une première étude sur les améliorations possibles de la bibliothèque a été faite au niveau de la transmission d'objets C++ entre différents processus [202]. L'optimisation étudiée consiste à favoriser un recouvrement temporel entre calculs et communications par une utilisation accrue de mécanismes de « futures ». Et nous continuons également la collaboration avec la partie « Simulation » du projet afin de

valider SCHOONER en tant que support d'exécution pour applications orientées objets distribuées, telle PROSIT.

3.2.4 Réutilisation, transformation, et sémantique

Participants : Isabelle Attali (CROAP), Denis Caromel, Sidi Ould Ehmety (CROAP), Yves Roudier, David Sagnol

Mots-clés : langage à objets, parallélisme.

Nous étudions à travers les langages Eiffel et Eiffel// comment paralléliser des programmes à objets. Nous avons tout d'abord décrit la sémantique dynamique d'Eiffel en sémantique naturelle. Première application de sémantique naturelle à un vrai langage à objets, elle définit formellement héritage et liaison dynamique en présence de renommage et de redéfinition [150].

Nous avons ensuite modifié la sémantique d'Eiffel pour obtenir la sémantique d'Eiffel//. Celle-ci est décrite en termes de systèmes de transitions. Défini dans le cadre de Centaur, un environnement interactif pour le langage Eiffel// a ainsi pu être produit [159] avec notamment la visualisation graphique des systèmes d'acteurs et de leur topologie (objets actifs et passifs, requêtes en attente de service, attente par nécessité, etc.). Cet environnement est également valide pour la version séquentielle du langage, puisque la sémantique d'Eiffel// inclut celle d'Eiffel.

Enfin, nous avons exploré d'autres modélisations pour le langage Eiffel//, afin de montrer l'équivalence de programmes séquentiels et parallèles ; en particulier, nous avons étudié comment modéliser des programmes Eiffel// en TLA+ [206]. Il a été possible de prouver l'équivalence entre la version séquentielle et la version parallèle d'un arbre binaire de recherche.

Nous avons décrit la sémantique dynamique d'un autre langage : Sisal [151] (expressions multi-valuées, fonctions d'ordre supérieur, boucles, tableaux et séquences). Nous avons ensuite défini dans [160] le format intermédiaire IF1 et spécifié la traduction de Sisal vers IF1, puis des optimisations classiques sur ce format, incluses dans le compilateur OSC. Nous espérons ainsi établir la base d'une définition et d'une implantation de compilateurs validés pour le langage Sisal 2.0. A terme, l'objectif est d'étendre les techniques data-flow utilisées dans le cadre fonctionnel de Sisal afin de les appliquer à la représentation de programmes à objets Eiffel// et à leur parallélisation.

Ces travaux ont donné lieu à collaborations avec Jean-Luc Gaudiot (University of Southern California, USA) et Andrew Wendelborn (University of Adelaide, Australie), qui a accueilli Romain Guider en stage de mai à août 96, afin de travailler sur la parallélisation des boucles Sisal [184].

3.3 Communication et placement dans les architectures parallèles et distribuées

Ces travaux ont été menés principalement dans le cadre de l'action RUMEUR du GDR/PRC PRS et du projet européen HCM MAP.

3.3.1 Réseaux d'interconnexion

Participants : Jean-Claude Bermond, Éric Darrot, Olivier Delmas, Paul Paulraja, Stéphane Pérennes, Michel Syska

Mots-clés : réseau d'interconnexion.

D'une part, nous avons poursuivi les études sur les propriétés et la construction de réseaux point-à-point qui modélisent les architectures parallèles. D'autre part, nous avons accentué nos recherches sur de nouveaux types de réseaux (réseaux par bus, réseaux optiques et réseaux radio), utilisés tant dans les architectures distribuées que dans les réseaux de télécommunications.

Dans le cadre de l'étude des réseaux point-à-point, nous avons établi diverses propriétés des réseaux « logarithmiques » (réseaux de degré borné et de diamètre logarithmique en le nombre de sommets).

Par exemple, nous avons montré dans [190, 189] que les réseaux Butterfly se décomposent en cycles (circuits) hamiltoniens ; l'extension aux réseaux de de Bruijn est en cours avec P. Paulraja. Dans [193], nous avons aussi déterminé l'excentricité moyenne des graphes de de Bruijn.

Un réseau d'interconnexion par bus est constitué d'un ensemble d'éléments de calcul (les processeurs) et d'un ensemble d'éléments de communication (les bus). Chaque bus fournit un lien de communication partagé par deux ou plusieurs processeurs. Ces réseaux sont une généralisation des réseaux point-à-point (où un bus relie seulement deux processeurs). Les réseaux à faible latence et haut débit seront à la base des futures architectures parallèles (voir les références du survey [154]). Les bus permettent de modéliser les réseaux d'interconnexion optiques, ainsi que les réseaux de type LAN et « workstation clusters ».

Ces réseaux à bus peuvent être implantés grâce à divers composants opto-électroniques, passifs ou actifs (étoile passive optique, matrices de SEEDs) dont découlent autant de modèles de communication différents [183].

Enfin, dans [208], est résolue une conjecture concernant le nombre maximum de stations d'un réseau radio qu'on peut interconnecter avec un nombre limité de fréquences.

3.3.2 Communications globales

Participants : Bruno Beauquier, Jean-Claude Bermond, Éric Darrot, Olivier Delmas, Nausica Marlin, Stéphane Pérennes, Michel Syska, Joseph Yu

Mots-clés : parallélisme, algorithmique parallèle, algorithmique distribuée, réseau d'interconnexion, communication.

Nous nous sommes intéressés à l'étude des communications dans les divers types de réseaux considérés ci-dessus, et tout particulièrement aux communications dites globales (ou structurées ou collectives). Deux paradigmes de ces communications sont la diffusion (broadcasting ou One-To-All), protocole qui consiste à envoyer un message à tous les nœuds à partir d'un initiateur unique, et l'échange total (gossiping ou All-To-All), protocole qui consiste à effectuer simultanément une diffusion à partir de tous les processeurs. Les résultats obtenus dépendent du type de réseau sous-jacent mais aussi d'autres contraintes telles que :

- le mode de commutation : *commutation de messages* (store-and-forward), dans lequel un message est stocké dans les nœuds intermédiaires avant d'être renvoyé ou mode *commutation de circuits*,
- le nombre de ports de communication qui peuvent être utilisés en même temps dans un commutateur,
- ou bien encore la taille maximale autorisée des paquets transmis.

Ces sujets sont traités en détail dans les thèses d'Éric Darrot [146], d'Olivier Delmas [147], de Takako Kodate et de Stéphane Pérennes [148].

Mode de commutation de messages Dans [148, 182], nous donnons une méthodologie générale pour trouver des bornes inférieures sur le temps de la diffusion. La méthode s'applique en particulier aux cas des réseaux de degré borné, et de nouvelles bornes sont obtenues pour les réseaux de de Bruijn et butterfly. De plus, de nouveaux protocoles de diffusion, asymptotiquement optimaux, sont obtenus, par exemple, dans [168] pour les réseaux construits en itérant l'opération de passage au « graphe des arcs » (cette classe contient entre autres les réseaux de de Bruijn, Kautz, et butterfly). Enfin nous proposons des protocoles pour l'échange total [148, 191].

Le cas des messages longs nécessite de découper les messages en paquets qui sont envoyés aux destinataires en utilisant la technique dite de « pipeline ». De plus, pour la diffusion, on utilise des arbres couvrants deux à deux disjoints de faible profondeur. L'existence et la construction de tels arbres est faite dans [146, 171] pour les grilles toriques d -dimensionnelles.

Les protocoles usuels d'échange total dans le mode commutation de messages autorisent la concaténation des messages. Pour certaines applications, cette hypothèse n'est pas réaliste ; dans [167], nous avons étudié le problème lorsque la taille maximale des paquets est fixée, sous l'hypothèse Δ -ports

(les routeurs peuvent communiquer sur tous leurs ports en même temps). Le problème est résolu dans [167] pour les principaux graphes de Cayley (grille torique, hypercube, ...), et en particulier pour ceux qui admettent un automorphisme particulier que nous avons appelé une *rotation complète* (dans le cas de la grille torique 2-dimensionnelle cet automorphisme correspond à la rotation de $\frac{\pi}{2}$ dans le plan). L'étude de ces propriétés a fait l'objet du stage de N. Marlin [207].

Mode de commutation de circuits Ce mode est celui classiquement utilisé dans les réseaux de télécommunications, mais aussi par le routage appelé *wormhole* utilisé sur la génération actuelle de machines parallèles (par exemple le Cray T3E, où le réseau d'interconnexion est une grille torique 3-dimensionnelle, et les commutateurs Myrinet). Dans ce mode, à chaque étape, les communications ont lieu le long de chemins arc-disjoints.

Dans un graphe G de degré maximum Δ , sous l'hypothèse Δ -ports, le nombre maximum de nœuds qui peuvent être informés en k étapes est $(\Delta + 1)^k$. Ainsi on peut espérer obtenir un algorithme de diffusion procédant en $\log_{\Delta+1} N$ étapes, à opposer aux D étapes nécessaires en mode commutation de messages (qui constituait le mode de communication dans la génération précédente de machines). De tels algorithmes, optimaux, ont été exhibés en utilisant des méthodes issues de la théorie des *codes correcteurs d'erreurs*, pour la diffusion dans la grille torique 2-dimensionnelle [158], dans les grilles toriques d -dimensionnelles [173], pour l'échange total dans les grilles toriques 3-dimensionnelles [173] et dans l'hypercube (travaux en cours de rédaction). Une synthèse et d'autres résultats se trouvent dans la thèse d'O. Delmas [147].

Communications dans les réseaux optiques Nous étudions le modèle WDM (Wavelength Division Multiplexing), où le spectre est découpé en plusieurs longueurs d'ondes. Au cours d'une étape, des communications différentes peuvent partager un arc (fibre optique) si elles utilisent des longueurs d'onde différentes. Les commutateurs optiques sont capables de diriger un message arrivant sur une longueur d'onde sur n'importe quel canal de sortie sans modifier la longueur d'onde, cependant les commutateurs ne peuvent séparer qu'un nombre borné de longueurs d'onde. Dans le cas d'une seule longueur d'onde, le modèle est analogue à celui de la commutation de circuits. Nous nous sommes intéressés aux communications dites tout optique, qui s'effectuent en une seule étape ; le problème consiste alors à minimiser le nombre de longueurs d'onde. Les résultats obtenus figurent dans [166] ; ce travail a été prolongé par B. Beauquier [188], qui a déterminé, au cours de son stage de DEA, le nombre de longueurs d'onde requises afin d'effectuer un protocole d'échange total dans les grilles toriques d -dimensionnelles. D'autres travaux dans ce domaine doivent se poursuivre en collaboration avec des chercheurs du CNET de Lannion, ainsi que des chercheurs du Weizmann Institute, Israël (en relation avec IBM).

Un autre modèle de réseaux optiques consiste à considérer des réseaux à bus. L'étude des communications dans ce type de réseau a été menée par K. Chenikar [195] ; un protocole d'échange total (conjecturé optimal) a été proposé pour les réseaux à bus de taille bornée dans [174]. Des travaux sont en cours avec J. Yu sur les communications dans les réseaux à bus en grille.

3.3.3 Réseaux distribués

Participants : Françoise Baude, Jean-Claude Bermond, Olivier Dalle, Michele Flammini, Stéphane Pérennes

Mots-clés : parallélisme, algorithmique parallèle, algorithmique distribuée, réseau d'interconnexion, communication.

Algorithmique distribuée Le projet, qui a quelques compétences en algorithmique parallèle (par exemple sur la parallélisation de l'algorithme d'élimination de Gauss en systolique [155]), a décidé de renforcer l'étude de l'algorithmique distribuée. Ce choix est non seulement motivé par les objectifs du projet SLOOP, mais aussi par l'importance prise ces dernières années par les réseaux distribués (notamment les réseaux de stations de travail).

Ainsi, nous avons considéré les problèmes de routage en distribué. Nous avons étudié la minimisation du nombre de « buffers » (hiérarchiques) nécessaires pour éviter l'interblocage (voir [192]). Pour ce faire, nous nous sommes intéressés au problème équivalent de trouver des orientations acycliques (essentiellement deux) telles que le nombre de changements d'orientations dans tous les chemins correspondant à des requêtes soit le plus petit possible. Nous avons montré des résultats de complexité et donné des valeurs quasi optimales pour des réseaux classiques tels que la grille ou le tore. Par ailleurs, nous avons établi une borne optimale sur la taille mémoire minimale nécessaire pour réaliser un routage des plus courts chemins dans un réseau distribué général (voir [180, 179]). De ce résultat découle une borne inférieure prouvant aussi la difficulté d'implémentation d'un routeur par intervalles sur un réseau distribué irrégulier. Enfin, dans [165], nous nous sommes intéressés à un problème de prise de décision en cas de panne de processeurs (quorum systems). Dans ce cas, on prend une décision suivant l'état majoritaire de ses voisins. En particulier, nous avons étudié comment une minorité (malicieuse) peut imposer sa décision si chaque processeur ne connaît que l'état de ses voisins à une distance fixée.

Modèles de réseaux de stations de travail Nous nous intéressons à la mise au point d'algorithmes de répartition dynamique de charge dans les réseaux locaux de stations de travail. Pour faire face à la grande hétérogénéité de ce type d'architectures, il s'avère indispensable d'établir les modèles de performances de chacun de leurs éléments constitutants en fonction de leur charge. Ce travail de modélisation s'inscrit autour de deux axes principaux, l'un concernant plutôt les aspects logiciels du problème, et l'autre ses aspects matériels.

Au niveau logiciel, nous nous sommes intéressés aux techniques de modélisation empirique des performances des communications réalisées au travers de bibliothèques de communications de haut niveau, telles que PVM [187].

Au niveau matériel, afin de faciliter l'étude empirique de l'influence des niveaux de charge sur les performances et le comportement de stations de travail hétérogènes, nous avons développé *LoadBuilder*, un outil permettant la génération et le contrôle d'expériences distribuées [170, 196].

4 Actions industrielles

Les relations industrielles du projet se sont notablement développées durant l'année 1996 :

- participation à un projet (HIPERTRANS) du programme TRANSPORT de la DG VII, dont la signature est prévue en décembre. Ce projet, dirigé par l'université de Westminster et comprenant l'université de Namur, Simulog et plusieurs industriels des transports britanniques et espagnols, vise le développement de microsimulateurs de hautes performances pour le trafic routier. PROSIT y jouera un rôle central.
- des contacts sont en cours avec Sun et Novell pour des collaborations autour de la programmation à objets parallèle.
- Des discussions sont en cours avec Alcatel-Espace à Toulouse sur des problèmes de conception de réseaux pour les satellites.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

- Thème « Outils pour la Programmation en Langages d'Acteurs » (OPAL), du GDR/PRC Programmation, mené en collaboration avec l'IRIT (Toulouse), et le projet INRIA CROAP.

- Groupe de travail commun aux GDR/PRC AMI et Automatique, TROPICAL, en collaboration avec le LITP-IBP (Paris), l'école des Mines (Fontainebleau), l'INRIA (Rocquencourt: Meta2 et Sophia: Mistral), le LISA (Angers), le LGI/IMAG (Grenoble) et l'IRIT (Toulouse).
- Thème CAPA (Conception et Analyse des Algorithmes Parallèles) du GDR/PRC PRS (Parallélisme, Réseaux et Systèmes).
- Groupe de travail ROI entre d'une part les opticiens (IOTA Orsay et LOADS Georgiatech-Lorraine) et d'autre part les informaticiens (LIP Lyon, LRI Orsay, I3S Nice).
- Thème RUMEUR du GDR/PRC PRS (Parallélisme Réseaux et Systèmes Distribués) qui regroupe des équipes du LIP, du LRI, du LMC-IMAG et du LABRI. Dans ce cadre ont été organisées deux journées RUMEUR à Nice en décembre 96.
- Projet STRATAGÈME inter PRC financé par le MRE (GDR/PRC PRS et Programmation) : *Une méthodologie de programmation parallèle pour les problèmes non structurés*, réalisé en collaboration avec le LABRI (Bordeaux), le LMC-IMAG (Grenoble), le LIFL (Lille), le LIP (Lyon), PRiSM (Versailles), le LIFO (Orléans), le LAAS et l'ENSEEIH (Toulouse).

5.2 Actions européennes

5.2.1 Projets de recherche communautaires

Le projet a participé aux projets de recherche communautaires suivants :

1. MAP Programme CEE Capital Humain et Mobilité (HCM), contrat ERB-CHRX-CT92-0049. Ce programme regroupe les équipes de l'université de Paderborn (D), de l'ETSIT U. Politecnica de Catalunya Barcelone (E), de l'université La Sapienza Rome (I), de l'université de Southampton (UK), et du LIP ENS Lyon (FR). Dans ce cadre ont été financés plusieurs séjours de membres du projet à l'étranger et des visites de post-doctorants ou chercheurs confirmés européens. En particulier, S. Pérennes a passé trois mois en Italie et trois mois en Espagne. É. Darrot et O. Delmas ont effectué des séjours de respectivement trois et un mois en Espagne.
2. ALAPEDES. Projet TMR en collaboration avec l'université de Delft (PB), l'école des mines de Paris (Fontainebleau), l'INRIA-META2 (Rocquencourt), l'université catholique de Louvain (B), les laboratoires Hewlett-Packard de Bristol (UK), le LITP (Paris), l'université de Groningen (NL), et l'université de Liège (B).

5.2.2 Groupe de travail

Le projet participe au groupe de travail HPCN EUROPA-9502, qui se consacre à la normalisation des extensions parallèles de C++. Démarré en 1994, il accueille de manière continue les institutions de recherche, universités et industriels européens intéressés et agréés par ses membres. Il comprend actuellement LPAC (UK, coordinateur), Bull (FR), Cap Gemini Innovation (FR), Convex (UK), CPP (UK), Digital (IR/UK), GMD (D), ICL (UK), INRIA (FR), Tandem (UK/D), UCL (UK). Un serveur d'archives et d'informations sur EUROPA est maintenu à l'adresse suivante: <http://www.lpac.ac.uk/europa>.

Le projet participe au groupe de travail américain HPC++ (High Parallel C++). Ce groupe de travail se consacre à la normalisation des extensions parallèles de C++. Il comprend, en particulier, des chercheurs de University of California San Diego, Indiana University, Caltech, University of Colorado, University of Oregon, Los Alamos National Laboratory, University of Maryland. Un serveur d'archives et d'informations est maintenu à l'adresse <http://www.extreme.indiana.edu/hpc++>.

5.2.3 Bourses européennes

Le projet accueille le boursier TMR post-doc M. Flammini de l'université d'Aquila (Italie) sur les problèmes de routage dans les réseaux.

5.2.4 Actions intégrées

Le projet participe à l'action intégrée GALILEO, avec l'université de Salerno (Italie) ; responsables J.-C. Bermond (FR) et U. Vaccaro (IT). Dans ce cadre, séjours de J.-C. Bermond et B. Beauquier, visites de L. Gargano et U. Vaccaro.

5.3 Actions internationales

- Les travaux autour de SISAL se poursuivent en collaboration avec A. Wendelborn (University of Adelaïde, Australie) et J.-L. Gaudiot (University of Southern California, USA). R. Guider a visité l'équipe de A. Wendelborn de mai à août 96.
- D. Caromel et P. Mussi ont assuré des démonstrations des développements du projet sur un stand INRIA à Super Computing 95, San Diego, USA (2-8/12/95).
- Action franco-israélienne avec le Weizmann Institute : séjours de J.-C. Bermond et S. Pérennes ; visite de D. Peleg.
- Coopération soutenue par le CEFIPRA avec l'université d'Anamalaï (Inde) : visite de J.-C. Bermond en Inde avec coorganisation d'un colloque et séjour de trois mois de P. Paulraja comme professeur invité.
- PICS CNRS/MAE avec l'université Simon Fraser (Canada): visites de P. Hell (1 mois) et J. Yu (professeur invité 3 mois). Séjours de S. Pérennes (3 mois) et M. Syska (1 mois).

5.3.1 Séjours

- *B. Beauquier*: université de Salerno (IT), 15 jours, novembre 1996.
- *J.-C. Bermond*: Israël, Weizmann Institute, 15 jours, mai ; Italie, Salerno U., 15 jours, novembre ; Italie, U. La Sapienza Rome, 15 jours, avril ; Inde, Anamalaï U., 1 mois, décembre 95/ janvier 96
- *D. Caromel*: Dec SRC (System Research Center), Palo Alto, USA, 15 jours, décembre 95 ; NASA Langley Research Center, Hampton, Virginie, USA, 10 jours, août.
- *M. Syska*: Simon Fraser University, Vancouver, BC Canada, 1 mois, novembre.
- *S. Pérennes*: Universidad Polytechnica del Catalogna, Barcelone, Espagne, 3 mois, de janvier à mars ; Simon Fraser University, Vancouver, BC Canada, 3 mois, de juin à août.

5.4 Visiteurs de courte durée

- L. Gargano (U. Salerno Italie) 1 semaine en novembre,
- P. Hell (S.F.U. Vancouver Canada) - 15 jours en mai, 15 jours en septembre, 15 jours en novembre,
- D. Peleg (Weizmann Institute Israël) 15 jours, novembre,
- M. Flammini (Italie), 1 mois, avril.

6 Diffusion des résultats

6.1 Formation

SLOOP a pris une part importante dans la demande, la mise en place et l'organisation du DEA Réseaux et Systèmes Distribués (en collaboration avec EURECOM, le CMA, le CNET et IBM), dont le responsable est J.-C. Bermond et dont le responsable de la filière Systèmes Distribués est D. Caromel.

SLOOP est une équipe d'accueil des DEA Informatique et RSD de l'université de Nice-Sophia Antipolis et du DEA MDFI de Marseille.

6.1.1 Enseignement

- DEA MDFI à Marseille
cours « Réseaux d'interconnexion » (J.-C. Bermond) : 24h
- DEA UNSA et ESSI
 - Complexité des algorithmes parallèles (B. Gaujal) : 9h,
 - Enseignement dans le cours "Algorithmique Parallèle et Distribuée", (F. Baude, J.C. Bermond, N. Furmento, P. Mussi, M. Syska) : 30h,
 - Simulation parallèle (P. Mussi, B. Gaujal et G. Siegel) : 24h,
 - Langages de Programmation Parallèle Asynchrone (D. Caromel) : 18h,
 - Réseaux d'interconnexion (J.-C. Bermond) : 18h.
- cours « Concurrency et Parallélisme », École « Langages et modèles à objet » du CIMPA/CIMI (D. Caromel) : 3h.

6.1.2 Thèses

– L'habilitation à diriger des recherches suivante a été soutenue en 1996:

D. Caromel: Langages à objets parallèles : programmations et sémantiques

– Les thèses suivantes ont été soutenues en 1996:

É. Darrot: Communications par commutation de messages dans les réseaux d'interconnexion.

O. Delmas: Communications par commutation de circuits dans les réseaux d'interconnexion.

S. Pérennes: Communications globales dans les réseaux d'interconnexion.

Y. Roudier: Abstractions pour la programmation du contrôle des applications parallèles et réactives.

– Les thèses suivantes sont en cours dans le projet:

B. Beauquier: Communications dans les réseaux tout optique.

O. Dalle: Répartition dynamique de charge dans les architectures parallèles et distribuées.

N. Furmento: Environnements d'exécutions parallèles.

R. Guider: Représentation data-flow de programmes à objets pour une parallélisation semi-automatique, en collaboration avec Isabelle Attali (Projet CROAP).

N. Marlin: Communications dans les réseaux distribués.

D. Sagnol: Correction et optimisation de programmes à objets parallèles.

G. Siegel: Conception d'un environnement de programmation orienté objet pour la simulation à événements discrets parallèle et distribuée.

6.1.3 Stages

- F. Baude et N. Furmento ont encadré le stage de troisième année de l’ESSI de P. Barette et de C. Tonin [186], et le stage du DEA Informatique de S. Gamel [202].
- J.-C. Bermond et S. Pérennes ont encadré les stages de B. Beauquier [188] (DEA ENS Cachan), de K. Chenikhar [195] (DEA RSD UNSA), et de N. Marlin [207] (DEA Math. UNSA).
- D. Caromel a encadré les stages de DEA de F. Belloncle (DEA RSD UNSA), et de S. Lippi [206] (DEA MDFI).
- D. Caromel a encadré les stages Ingénieurs de É. Bruneton [194], École Polytechnique, et de F. de Fouchier [197], ESSI, UNSA.
- B. Gaujal et G. Siegel ont encadré le stage de maîtrise de D. Finzi [200].
- P. Mussi a encadré le stage du DESS-ISI de Ö. Erdemir [199].
- G. Siegel a encadré le projet ESSI3 de F. Gioanni.
- M. Syska a encadré les stages du DESS-ISI de S. Gallego, P. Robinet et B. Grundt [201, 205].

6.2 Participations à des conférences et colloques

6.2.1 Conférenciers invités

- *D. Caromel* : RenPar’96 (Rencontres francophones sur le parallélisme), Bordeaux, mai. ISOTAS’96, Kanazawa, Japon.
- *B. Gaujal* : Mediterranean Symposium on Control and Automation, Chania, Grèce.
- *P. Mussi*: Environments and Tools for Parallel Scientific Computing (Faverges de la Tour, France).

6.2.2 Participations à des comités de programmes ou d’organisations:

- *Jean-Claude Bermond*: SIROCCO 96, Colloque franco indien à Trichy (Inde).
- *D. Caromel*: HPCN Europe, Bruxelles. International Workshop on Parallel C++ (IWPC++), Kanazawa, Japon, (ISOTAS’96), Comité d’organisation.
- *P. Mussi*: Simulation Symposium 96, Performance tools’97

6.2.3 Présentations à des conférences

- *Françoise Baude*: Conférence STRATAGEM’96 (Sophia Antipolis).
- *B. Beauquier*: EUROPAR.
- *J.-C. Bermond*: EUROPAR (Lyon, août), Journées RUMEUR (février, juin, octobre).
- *D. Caromel* : Workshop on Languages and Models for Future Computing Systems, Vienne, Autriche; Coordination meeting between HPC++, MPC++, AND EC++, Tokyo, Japon; HPCN’96, Bruxelles, Belgique; Object-Oriented Programming: Systems, Languages, and Applications (OOPSLA’96), San Jose, CA, USA, octobre.
- *O. Dalle*: PDCS 1996 (Dijon).
- *É. Darrot*: RENPAR8 (Bordeaux).
- *O. Delmas*: RENPAR8 (Bordeaux), EUROPAR (Lyon).
- *Nathalie Furmento*: RENPAR8 (Bordeaux), PDCS 1996 (Dijon).
- *B. Gaujal*: TROPICAL (Paris), HICSS, Maui (USA)
- *T. Jimenez*: European Simulation Symposium 96, Gênes, Italie

- P. Mussi: Object Oriented Simulation 96, La Jolla, USA ; European Simulation Symposium 96, Gênes, Italie
- S. Pérennes: RUMEUR.
- G. Siegel: European Simulation Symposium 96, Gênes, Italie
- M. Syska: European School of computer science and Parallel Programming Environments for high-performance computing ESPPE'96, Workshop on Optics, Metz.

6.3 Organisation de colloques et de cours

Organisation de la conférence STRATAGEM'96 qui s'est déroulée du 8 au 10 juillet 1996 à l'INRIA Sophia Antipolis.

Organisation du Colloque Franco Indien de Combinatoire et Théorie des Nombres à Tirichirupali (Inde).

Organisation d'une session à ECC (Juillet 1997).

7 Publications

Documents d'habilitation à diriger des recherches

- [145] D. CAROMEL, *Langages à objets parallèles: programmations et sémantiques*, habilitation à diriger des recherches, université de Nice-Sophia Antipolis, novembre 1996.

Thèses

- [146] E. DARROT, *Communications par commutation de messages dans les réseaux d'interconnexion*, thèse de doctorat, université de Nice - Sophia Antipolis, I3S, décembre 1996.
- [147] O. DELMAS, *Communications par commutation de circuits dans les réseaux d'interconnexion*, thèse de doctorat, université de Nice - Sophia Antipolis, I3S, décembre 1996.
- [148] S. PÉRENNES, *Communications dans les réseaux d'interconnexion.*, thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, avril 1996.
- [149] Y. ROUDIER, *Abstractions pour la programmation du contrôle des applications parallèles et réactives*, thèse de doctorat, université de Nice - Sophia Antipolis, I3S, décembre 1996.

Articles et chapitres de livre

- [150] I. ATTALI, D. CAROMEL, S. O. EHMET, «A Natural Semantics for Eiffel Dynamic Binding», *ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS) 18*, 5, novembre 1996.
- [151] I. ATTALI, D. CAROMEL, A. WENDELBORN, «A Formal Semantics and an Interactive Environments for Sisal», in: *Tools and Environments for Parallel and Distributed Systems*, Kluwer Academic Publishers, février 1996, ISBN 0-7923-9675-8.
- [152] F. BACCELLI, S. FOSS, B. GAUJAL, «Free Choice nets: an algebraic approach», *IEEE transaction on Automatic Control*, décembre 1996.
- [153] F. BAUDE, F. BELLONCLE, D. CAROMEL, N. FURMENTO, P. MUSSI, Y. ROUDIER, G. SIEGEL, «Parallel Object-Oriented Programming for Parallel Simulations», *Information Sciences*, 1996, To appear.
- [154] J.-C. BERMOND, F. ERGINCAN, «Bus Interconnection Networks», *Discrete Applied Mathematics 68*, 1996, p. 1–15, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BeEr96.ps>.

- [155] J.-C. BERMOND, C. PEYRAT, I. SAKHO, M. TCHUENTE, «Parallelization of Gauss elimination algorithm on systolic arrays», *Journal of Parallel and Distributed Computing* 33, 1996, p. 69–75.
- [156] D. CAROMEL, F. BELLONCLE, Y. ROUDIER, «The C++// Language», in : *Parallel Programming Using C++*, MIT Press, 1996, p. 257–296, ISBN 0-262-73118-5.
- [157] D. CAROMEL, Y. ROUDIER, «Reactive Programming in Eiffel//», in : *Object-Based Parallel and Distributed Computation OBPDC'95*, J.-P. Briot, J.-M. Geib, et A. Yonezawa (réd.), *Lecture Notes in Computer Science*, 1107, Springer Verlag, 1996, p. 125–147.
- [158] J. G. PETERS, M. SYSKA, «Circuit-Switched Broadcasting in Torus Networks», *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 7, 3, 1996, p. 246–255.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [159] I. ATTALI, D. CAROMEL, S. O. EHMET, S. LIPPI, «Semantic-based visualization for parallel object-oriented programming», in : *Actes OOPSLA'96 (Object-Oriented Programming: Systems, Languages, and Applications)*, 31, number 10, ACM Press, Sigplan Notices, octobre 1996.
- [160] I. ATTALI, D. CAROMEL, R. GUIDER, A. WENDELBORN, «Optimizing Sisal Programs: a formal approach», in : *Actes Euro-Par'96, International Conference on Parallel Processing, Lyon*, Springer Verlag, août 1996. LNCS 1123-1124.
- [161] F. BACCELLI, B. GAUJAL, «Logical properties in Petri nets through timed evolution equations», in : *MSCA*, Chania, Crete, juin 1996.
- [162] M. BADEL, T. DE PRETTO, P. MUSSI, G. SIEGEL, «Stat-Tool: An extensible and Distributed Object Oriented Statistic Tool for Discrete Event Simulation», in : *Object Oriented Simulation Conference*, La Jolla – USA, janvier 1996. To appear in 1997 proceedings, <http://www.inria.fr/sloop/personnel/Gunther.Siegel/Publication/OOSC-96.ps>.
- [163] F. BAUDE, F. BELLONCLE, J.-C. BERMOND, D. CAROMEL, O. DALLE, É. DARROT, O. DELMAS, N. FURMENTO, B. GAUJAL, P. MUSSI, S. PÉRENNES, Y. ROUDIER, G. SIEGEL, M. SYSKA, «The SLOOP project: Simulations, Parallel Object-Oriented Languages, Interconnection Networks», in : *2nd European School of Computer Science, Parallel Programming Environments for High Performance Computing ESPPE'96*, p. 85–88, Alpe d'Huez, avril 1996.
- [164] F. BAUDE, N. FURMENTO, D. CAROMEL, R. NAMYST, J.-M. GEIB, J.-F. MÉHAUT, «C++// on top of PM² via SCHOONER», in : *Proceedings of Stratagem'96*, p. 41–55, Sophia Antipolis, France, juillet 1996. ISBN-2-7261-0982-9.
- [165] J.-C. BERMOND, J. BOND, D. PELEG, S. PÉRENNES, «Tight bounds on the size of 2-monopolies», in : *Proc. Conference SIROCCO96, Siena, June 96*, 1996, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BBPP96.ps>.
- [166] J.-C. BERMOND, L. GARGANO, S. PÉRENNES, A. A. RESCIGNO, U. VACCARO, «Efficient Collective Communications in Optical Networks», in : *Proc.23rd ICALP96, Paderborn, Germany, Lecture Notes in Computer Science, 1099*, Springer Verlag, p. 574–585, 1996, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BGPRV96.ps>.
- [167] J.-C. BERMOND, T. KODATE, S. PÉRENNES, «Gossiping in Cayley graphs by packets», in : *Proceedings of the Franco-Japanese conference Brest July 95, Lecture Notes in Computer Science, 1120*, Springer Verlag, p. 301–315, 1996, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BKP96.ps>.
- [168] J.-C. BERMOND, A. MARCHETTI, X. MUNOZ, «Induced broadcasting algorithms in iterated line digraphs», in : *Proc. Conference EUROPAR96, Lyon, August 96, Lecture Notes in Computer Science, 1123*, Springer Verlag, p. 313–324, 1996, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BMM96.ps>.
- [169] D. CAROMEL, P. DZWIG, R. KAUFFMAN, H. LIDDELL, A. MCEWAN, P. MUSSI, J. POOLE, M. RIGG, R. WINDER, «EC++ – EUROPA Parallel C++ : A Draft Definition», in : *Proceedings of High-Performance Computing and Networking (HPCN'96), 1067*, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), p. 848–857, apr 1996. ISBN 3-540-61142-8.

- [170] O. DALLE, «LoadBuilder: A tool for generating and modeling workloads in distributed workstations environments», in : *Proceedings of Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS'96)*, K. Yetongnon, S. Hariri (éd.), 1, International Society for Computers and their Applications (ISCA), p. 248–253, Dijon (France), septembre 1996. ISBN: 1-880843-17-X.
- [171] E. DARROT, «Diffusion *store-and-forward* dans les grilles toriques tridimensionnelles», in : *Actes RenPar'8, 8èmes Rencontres francophones sur le Parallélisme*, Bordeaux (France), p. 208, mai 1996.
- [172] O. DELMAS, S. PÉRENNES, «Circuit-Switched Gossiping in 3-Dimensional Torus Networks», in : *Proceedings of the Euro-Par'96 Parallel Processing / Second International EURO-PAR Conference*, L. Bougé, P. Fraigniaud, A. Mignotte, Y. Robert (éd.), *Lecture Notes in Computer Science, 1123*, Springer Verlag, p. 370–373, Lyon, France, août 1996, <http://www.inria.fr/RRRT/RR-2930.html>.
- [173] O. DELMAS, S. PÉRENNES, «Diffusion en mode commutation de circuits», in : *Proceedings of the 8th RenPar Conference*, R. Castanet, J. Roman (éd.), p. 53–56, Bordeaux, France, mai 1996.
- [174] Y. FUJITA, C. LAFOREST, S. PÉRENNES, «A Gossip protocol for Bus networks of bounded size», in : *Proceedings of the Euro-Par'96 Parallel Processing / Second International EURO-PAR Conference*, L. Bougé, P. Fraigniaud, A. Mignotte, Y. Robert (éd.), *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Verlag, p. 353–360, Lyon, France, août 1996.
- [175] N. FURMENTO, F. BAUDE, «Schooner: An Object-Oriented Run-time Support for Distributed Applications», in : *Proceedings of Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS'96)*, K. Yetongnon, S. Hariri (éd.), 1, International Society for Computers and their Applications (ISCA), p. 31–36, Dijon (France), septembre 1996. ISBN: 1-880843-17-X.
- [176] N. FURMENTO, «Schooner: Une librairie de communications orientée-objet pour le développement d'applications parallèles», in : *Huitièmes rencontres francophones du parallélisme (RenPar'8)*, Bordeaux (France), mai 1996.
- [177] B. GAUJAL, A. JEAN-MARIE, P. MUSSI, G. SIEGEL, «High Speed Simulation of Discrete Event Systems by Mixing Process Oriented and Equational Approaches», in : *Environments and Tools for Parallel Scientific Computing*, Faverges de la Tour – France, août 1996. À paraître dans *Parallel Computing*.
- [178] B. GAUJAL, «Some algebraic considerations for efficient computations in Timed Petri nets», in : *29th HICSS*, Maui, Hawaii, janvier 1996.
- [179] C. GAVOILLE, S. PÉRENNES, «Lower bound for the shortest path interval routing», in : *Proceedings of SIRROCO 96*, Siena, Italy, juin 1996.
- [180] C. GAVOILLE, S. PÉRENNES, «Memory requirement for routing in distributed networks», in : *Proceedings of PODC 96*, A. Press (éd.), p. 125–133, Philadelphia, USA, mai 1996. "best student paper award".
- [181] P. MUSSI, G. SIEGEL, «Extending the Prosit System to Support Distributed Simulation», in : *European Simulation Symposium*, Genoa–Italy, octobre 1996.
- [182] S. PÉRENNES, «Lower bound on broadcasting time of de Bruijn type networks.», in : *Proceedings of the Euro-Par'96 Parallel Processing / Second International EURO-PAR Conference*, L. Bougé, P. Fraigniaud, A. Mignotte, Y. Robert (éd.), *Lecture Notes in Computer Science, 1123*, Springer Verlag, p. 325–332, Lyon, France, août 1996.
- [183] M. SYSKA, «Optical Interconnection Networks Models for Parallel Processing», in : *Workshop on Optics and Computer Science*, p. 18–19, Metz, décembre 1996.

Rapports de recherche et publications internes

- [184] I. ATTALI, D. CAROMEL, R. GUIDER, A. WENDELBORN, «Parallélisation de boucles sisal: génération de pipelines», *rapport de recherche*, Journées du GDR Programmation, novembre 1996, Orléans.
- [185] F. BACCELLI, B. GAUJAL, «Liveness in Free Choice Petri nets: an algebraic approach», *RR n°2839*, INRIA, mars 1996, <http://www.inria.fr/RRRT/RR-2839.html>.

- [186] P. BARETTE, C. TONIN, « Implémentation d'une librairie de communication pour un langage C++ parallèle au dessus de PVM et d'une bibliothèque de threads », *rapport de projet de fin d'étude*, ESSI, avril 1996.
- [187] F. BAUDE, O. DALLE, « Analyse des performances de communication du protocole PVM », *rapport de recherche n°96-08*, I3S, mars 1996.
- [188] B. BEAUQUIER, *Échange total dans les réseaux d'interconnexions optiques*, rapport de stage de DEA, ENS Cachan, juin 1996.
- [189] J.-C. BERMOND, E. DARROT, O. DELMAS, S. PÉRENNES, « Hamilton circuits in directed butterfly networks », *rapport de recherche n°RR2925*, INRIA, juillet 1996, submitted to Discrete Applied Mathematics, <http://www.inria.fr/RRRT/RR-2925.html>.
- [190] J.-C. BERMOND, E. DARROT, O. DELMAS, S. PÉRENNES, « Hamilton cycle decomposition of the butterfly networks », *rapport de recherche n°RR2920*, INRIA, juin 1996, to appear in PPL, <http://www.inria.fr/RRRT/RR-2920.html>.
- [191] J.-C. BERMOND, H. HARUTYUNYAN, A. LIESTMAN, S. PÉRENNES, « A note on the dimensionality of modified Knödel Graphs », *rapport de recherche n°95-67*, I3S, 1996, to appear in the special issue on Interconnection Networks of International Journal of Foundations of Computer Science, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BLP96.ps>.
- [192] J.-C. BERMOND, M. IANNI, M. FLAMMINI, S. PÉRENNES, « Acyclic orientations for deadlock prevention in usual networks », *rapport de recherche n°95-64*, I3S, 1996, submitted to STACS97, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BDFP96.ps>.
- [193] J.-C. BERMOND, Z. LIU, M. SYSKA, « Mean eccentricities of de Bruijn networks », *rapport de recherche n°94-02*, I3S, 1994, to appear in Networks, <http://wwwi3s.unice.fr/bermond/SOURCEPS/BLS93.ps>.
- [194] E. BRUNETON, *Implantation d'un traducteur Eiffel// – II-calcul*, rapport de stage deuxième année, Ecole Polytechnique, juillet 1996.
- [195] K. CHENIKAR, *Communications dans les réseaux d'interconnexion à Bus*, rapport de stage de DEA RSD, université de Nice - Sophia Antipolis, juin 1996.
- [196] O. DALLE, « LoadBuilder: A tool for generating and modeling workloads in distributed workstations environments », *rapport de recherche n°3045*, INRIA, décembre 1996, <http://www.inria.fr/RRRT/RR-3045.html>.
- [197] F. DE FOUCHIER, *Implantation d'un préprocesseur pour le langage C++//*, rapport de stage de fin d'études, ESSI, Septembre 1996.
- [198] O. DELMAS, S. PÉRENNES, « Circuit-switched gossiping in 3-dimensional torus networks », *rapport de recherche n°RR 96-25*, I3S - CNRS URA 1376, Sophia Antipolis - France, mai 1996, version étendue de Europar.
- [199] Ö. ERDEMİR, « Étude et implémentation de nouveaux traitements dans l'outil statistique Stat-Tool », *rapport de stage de fin d'étude*, DESS-ISI, septembre 1996.
- [200] D. FINZI, *Conception et implémentation d'une bibliothèque pour la simulation de réseaux de Petri temporisés*, Mémoire, IUP Génie mathématique et informatique Dauphine, septembre 1996.
- [201] S. GALLEGRO, P. ROBINET, *Calcul distribué sur réseau de stations de travail : application à la vidéo numérique*, Mémoire, ESSI, avril 1996.
- [202] S. GAMEL, « Transmission efficace d'objets pour le langage C++// », *rapport de stage de DEA*, UNSA, 1996.
- [203] B. GAUJAL, « Liveness in Weighted Routed Nets », *RR n°2899*, INRIA, mai 1996, <http://www.inria.fr/RRRT/RR-2899.html>.
- [204] F. GIOANNI, *Mécanisme de Trace dans PROSIT*, Mémoire, ESSI, avril 1996.
- [205] B. GRUNDT, *Une plate-forme maître-esclaves sous PM²*, Mémoire, ESSI, avril 1996.

- [206] S. LIPPI, *Modélisation et preuve d'équivalence de programmes Eiffel// en TLA*, rapport de stage DEA, université de Marseille Luminy, juin 1996.
- [207] N. MARLIN, *Rotations Complètes dans les graphes de Cayley*, rapport de stage de DEA Mathématiques, université de Nice - Sophia Antipolis, juin 1996.
- [208] S. PÉRENNES, «A Proof of Jean de Rumeur's conjecture», *rapport de recherche*, I3S, 1996, to appear in Discrete Applied Mathematics.

8 Abstract

The SLOOP INRIA-I3S/CNRS-University of Nice-Sophia Antipolis project works on three main domains:

1. parallel and distributed discrete event simulation,
2. parallel object-oriented languages,
3. communication and mapping in distributed architectures.

Current developments include :

- PROSIT, a sequential **and** distributed object-oriented workbench for discrete event simulation
- STAT-TOOL, a distributed package for the statistical analysis of the results of simulations
- C++//, a parallel extension to C++
- EIFFEL//, a parallel extension to Eiffel
- enhancements and optimisations of communications in portable environments for distributed computing (PVM, MPI)
- new simulation methods based on evolution equations.