

# Calcul parallèle et distribué

## Thèmes de recherche

- Analyse et conception d'algorithmes parallèles manipulant des structures de données irrégulières et prise en compte de l'hétérogénéité de la plateforme d'exécution.
- Outils et langages associés dans un cadre de programmation *data-parallel* (HPF2).
- Outils de pilotage et utilisation de plate-formes objets distribuées.

## Principaux résultats

- Conception, analyse et implémentation d'algorithmes parallèles à structures de données irrégulières : applications au calcul hautes performances (algèbre linéaire creuse, dynamique des populations) et au traitement d'images.
- Réalisation d'outils dans un environnement de programmation pour un mode d'expression du parallélisme de type HPF2.
- Conception et mise en œuvre d'une plate-forme objets distribuée ; modélisation du système de threads Java et d'entités d'exécution mobiles, distribution automatique de codes objets.

## Objectifs

- Implémenter efficacement et en vraie grandeur les algorithmes étudiés, et étendre les techniques utilisées à une classe suffisamment large d'algorithmes manipulant des structures de données irrégulières ;
- Fournir un environnement de programmation opérationnel dans un cadre d'expression du parallélisme de type *data-parallel* étendu aux problèmes irréguliers ;
- Prendre en compte l'hétérogénéité du support d'exécution et étendre nos travaux, en particulier, au cadre du Meta-Computing ;
- Utiliser notre double compétence pour réaliser le portage efficace d'applications industrielles sur des machines parallèles MIMD à mémoire distribuée et pour proposer des solutions permettant le contrôle via des technologies objets de codes parallèles distribués ;
- Concevoir et mettre en œuvre une plate-forme distribuée offrant un accès homogène aux ressources hétérogènes d'un réseau ;
- Concevoir, développer et valider des outils de distribution automatique d'applications utilisant des langages orientés objets ;
- Mettre en place des actions de Transfert de Compétences en calcul parallèle et distribué en collaboration avec un grand constructeur informatique et des industriels de la Région Aquitaine.

## Chercheurs

S. Chaumette  
M.C. Counilh  
J.M. Lépine  
F. Pellegrini  
P. Ramet  
J. Roman  
F. Rubi  
B. Vauquelin

## Post-doctorants

F. Brégier  
D. Goudin  
E. Jeannot (Postdoc  
ARC INRIA OURA-  
GAN)  
A. Ugarte

## Doctorants

B. Cirou  
P. Hénon  
P. Grange  
G. Latu  
D. Masset (CNAM)  
P. Vignéras

---

## Mots-clés

Algorithmique Parallèle, Structures de Données Irrégulières, Bibliothèque de Recouvrement Calcul / Communication, Outils et Langages du parallélisme, Langage HPF2, Applications et Calcul Hautes Performances, Plateformes Homogènes et Hétérogènes, Objets et Systèmes Distribués, Technologie Java, CORBA, Agents et Codes Mobiles, Meta-Computing, Web Computing, Threads, Validation,  $\pi$ -calcul.

---

## Principales collaborations

Bordeaux 1 et 2 (A2X et MAB)  
Lille (LIFL)  
Lyon (LIP et Projet INRIA Rhône-Alpes ReMaP)  
Nice(I3S)  
RAL (UK) et CERFACS (Toulouse)  
Rennes (IRISA)  
SCAI/GMD (RFA)  
Sète (UPR CNRS)  
Toulouse (LAAS et ENSEEIHT-IRIT)  
Université du Minnesota (Minneapolis)

<h2>Invités</h2> <p>T. Brandes (SCAI/GMD, RFA) Y. Saad (UMN,USA)</p>
--

---

## Contrats

### Contrats Industriels

- CEA/CESTA : Formations avancées concernant le parallélisme, sa mise en œuvre et ses applications; Algèbre linéaire creuse parallèle; Parallélisation du code de mécanique des structures OSSAU et du code d'électromagnétisme ARLAS.
- CCETT : Parallélisation d'algorithmes de traitement d'images.
- IFP : Parallélisation d'un code d'écoulement dans les réservoirs pétroliers; Conception et mise en œuvre d'un outil de pilotage de codes de simulations numériques répartis sur Internet.
- TGS-Europe : Conception et mise en œuvre de composants distribués de type JavaBeans pour la visualisation de données.

### Contrats Européens et Nationaux

- GDR Parallélisme, Réseau et Système (ARP) : Thèmes HiPerf, Action transversale Grappes.
  - GDR Parallélisme, Réseau et Système (ARP) et GDR Algorithmes, Langages et Programmation (ALP) : Action transversale PRO.
  - Formations avancées en parallélisme (MPI et HPF) avec le CINES.
  - Collaboration avec le laboratoire de mathématiques A2X de l'Université Bordeaux 1.
-

# Introduction

Les travaux de l'équipe *Calcul Parallèle et Distribué* portent sur la conception et la mise en œuvre d'applications réelles sur des architectures parallèles ou distribuées de structure homogène ou hétérogène. Ils recouvrent deux thématiques :

- Algorithmique et environnement de programmation pour le parallélisme (Thème **ALiENor**). Les trois domaines principaux étudiés dans ce cadre sont les algorithmes pour les applications hautes performances, les modes d'expression du parallélisme, et enfin les environnements de développement et de mise au point.
- Systèmes et objets distribués (Projet **SOD**). En s'appuyant sur la technologie des objets distribués, cette thématique traite d'une part des problèmes de contrôle de codes distribués, et d'autre part de l'abstraction et de l'homogénéisation des ressources hétérogènes d'un réseau. Un autre aspect abordé dans ce cadre est la distribution automatique des applications objets.

## Algorithmique et environnement de programmation pour le parallélisme (ALiENor)

### Description des activités de recherche

Les travaux de recherche concernant l'algorithmique parallèle hautes performances et ses applications ont pour objectifs de développer le savoir-faire concernant la mise en œuvre optimisée de problèmes de calcul mettant en jeu des structures de données irrégulières, et ce en exploitant au mieux les caractéristiques de la plateforme d'exécution. Ces différents travaux sont supportés au niveau national par le Thème iHPerf du GDR ARP et conduisent à des actions de valorisation et de transfert vers le monde industriel.

Concernant les modes d'expression du parallélisme et les environnements de programmation, nous travaillons dans le cadre du modèle à parallélisme de données sur des problèmes liés aux structures de données irrégulières. Les objectifs sont la mise en œuvre efficace de mécanismes permettant de mieux gérer l'irrégularité au niveau du mode d'expression HPF2, et le développement d'environnements permettant une observation du comportement de l'application parallèle en terme de données distribuées.

### Principaux résultats

#### Algorithmique et applications parallèles

Les travaux en algorithmique parallèle hautes performances sont structurés en actions de recherche sur des problèmes génériques rencontrés lors du traitement parallèle d'algorithmes irréguliers ; des études spécifiques utilisant le savoir-faire développé dans ces actions de recherche sont aussi menées pour des domaines d'applications de calcul hautes performances.

1. Le partitionnement et le placement statique de structures de données irrégulières, la renumérotation des inconnues de grands systèmes linéaires creux : action de recherche SCOTCH.

L'objectif a été de réaliser une plateforme efficace de partitionnement et de placement statique pour des applications décrites par des graphes valués de processus ayant une topologie quelconque. La contribution originale a consisté à définir et à mettre en œuvre une approche de type "divide and conquer" pour laquelle les processus sont placés récursivement sur les processeurs en utilisant des algorithmes de bisections de graphes appliqués de manière duale au graphe inter-processus et au graphe inter-processeurs ; on peut tenir compte ainsi de la

topologie et de l'hétérogénéité du graphe valué décrivant le réseau d'interconnexion et ses ressources (puissance des processeurs, débit des liens de communication). Cette technique conduit à des placements de très bonne qualité avec un coût très faible en complexité.

A partir de ces travaux, un partitionneur de graphes basé sur une approche multi-niveaux, et dont l'objectif est de construire une partition équilibrée de l'ensemble des sommets par l'intermédiaire d'un séparateur sommet de taille minimum, a été défini et implémenté. Cette technique de partitionnement de graphes est utilisée pour générer des renumérotations des inconnues de grands systèmes linéaires creux combinant à la fois une bonne conservation du creux lors de la factorisation de la matrice ainsi qu'une bonne optimisation de l'indépendance des calculs pour une implémentation parallèle de cette factorisation. La contribution originale a été ici d'étudier et d'implémenter en vraie grandeur un couplage fin entre la méthode des dissections emboîtées et celle du degré minimum approché ; ce travail a été mené en collaboration avec Patrick Amestoy de l'ENSEEIH/IRIT à Toulouse. La méthode a été testée intensivement sur de très gros graphes provenant d'applications réelles issues du monde industriel. Ces travaux, initialisés durant la thèse de François Pellegrini, ont conduit à la réalisation d'un produit fini (SCOTCH) qui fait référence dans le domaine et qui se compare très favorablement avec le meilleur logiciel américain actuel (METIS). On pourra consulter (<http://www.labri.u-bordeaux.fr/~pelegrin/scotch/>).

**2.** La conception et la mise en œuvre d'une bibliothèque dédiée à la résolution hautes performances de grands systèmes linéaires creux : action de recherche PASTIX.

L'objectif est ici de réaliser une plateforme efficace et complète dédiée à la résolution hautes performances par méthode directe de (très) grands systèmes linéaires creux dans un cadre éléments finis. Ce travail fait l'objet d'un contrat de 3 ans avec le CEA/CESTA qui se termine le 31 août 2000 ; les applications cibles concernent la mécanique des structures et l'électromagnétisme. Ce contrat permet en particulier le financement de la bourse de thèse de David Goudin qui travaille dans cette action de recherche.

Plus précisément, nous avons tout d'abord conçu et développé un algorithme séquentiel de prétraitement de faible complexité calculant une "bonne" partition 1D et/ou 2D en blocs de la matrice creuse ainsi que sa distribution sur les processeurs de la machine cible. Ceci se fait en calculant un ordonnancement statique des calculs par blocs et des communications par l'intermédiaire d'une simulation utilisant une modélisation des opérateurs BLAS et une modélisation de la communication sur l'architecture cible. Nous avons alors conçu et mis en œuvre sur SP2 le solveur direct parallèle associé qui est complètement guidé par cet ordonnancement précalculé. Une autre originalité de ce travail a été de mettre en évidence le gain apporté par une distribution mixte 1D et 2D des blocs de la matrice ; on exploite ainsi au mieux les trois niveaux de parallélisme présents dans ce genre de traitement : le parallélisme structurel induit par le creux (provenant d'une renumérotation des sommets du graphe associé à la matrice de type "dissections emboîtées + degré minimum" – cf. action de recherche SCOTCH), le parallélisme induit par les calculs denses dans les blocs pleins, et enfin le microparallélisme provenant des calculs par blocs via les primitives BLAS3. L'ensemble a été testé intensivement sur de très grosses matrices (plus d'un million d'inconnues) provenant d'applications réelles issues du monde industriel. Ces travaux, qui font partie des thèses de Pierre Ramet et de Pascal Hénon, ont conduit à la réalisation d'un produit fini (PASTIX) qui se compare très favorablement avec les meilleurs logiciels de référence actuels comme MUMPS et PSPASES. On pourra consulter (<http://dept-info.labri.u-bordeaux.fr/~ramet/pastix/>).

Une autre étude rattachée à cette action de recherche PASTIXet plus spécifiquement menée dans le cadre de la thèse de David Goudin concerne la phase d'assemblage du système

linéaire creux dans le cadre d'une discrétisation par éléments finis. La contribution originale a été ici de concevoir un algorithme de faible complexité séquentielle pour précalculer une distribution des éléments du maillage qui est induite par celle des blocs de la matrice et qui a été optimisée pour le solveur parallèle. En choisissant un ordre de traitement des éléments sur les processeurs qui maximise le recouvrement calcul/communication, on obtient un logiciel d'assemblage parallèle très efficace qui est quasiment optimal du point de vue de la scalabilité.

L'ensemble de ces logiciels fait l'objet d'une première distribution pour le CEA/CESTA courant mai 2000.

### 3. Le recouvrement calcul/communication : action de recherche OPIUM.

Dans cette problématique, on s'est intéressé plus particulièrement à l'optimisation du recouvrement calcul/communication pour des algorithmes macro-pipelines. Nous avons mené à terme une étude générale sur des macro-pipelines réguliers admettant des phases de calculs "avant et après" communication de complexités quelconques, et une bibliothèque (OPIUM) permettant dans ce cadre le calcul de la taille (fixe) optimale des paquets a été réalisée et testée avec succès pour des applications parallèles d'algèbre linéaire dense. Ce travail, qui a fait partie de la thèse de Pierre Ramet, fait l'objet d'une collaboration suivie avec Frédéric Desprez (INRIA Rhône-Alpes Projet ReMaP et LIP-ENS Lyon). On pourra consulter (<http://dept-info.labri.u-bordeaux.fr/~ramet/opium/>).

Mises à part les applications de mécanique des structures et d'électromagnétisme du CEA/CESTA, qui sont reliées à l'installation et à l'exploitation du Laser Méga-Joule et qui sont directement liées aux actions de recherche SCOTCHet PASTIX, nous avons travaillé dans les domaines d'applications suivants.

- L'analyse d'images : Au titre d'un partenariat avec le Centre Commun d'Etudes en Télédiffusion et Télécommunications (thèse de Christophe Laurent), on s'est intéressé à l'apport du calcul parallèle dans le domaine du traitement d'images et de la séquence vidéo. Nous avons étudié plus particulièrement les techniques de codage de seconde génération pour lesquelles chaque objet de la scène est représenté par son contour et sa texture. Nous avons travaillé sur la phase de prétraitement au codage qui doit fournir, à partir d'une scène, l'ensemble des objets grâce à une étape de segmentation d'images. La technique de segmentation retenue repose sur un ensemble d'outils issus de la morphologie mathématique qui est très efficace pour ce type d'application. Cette technique consiste en un assemblage d'étapes nécessitant une grande quantité de calculs, et il s'agit donc de fournir une solution parallèle pour chacune d'entre elles afin de proposer une application parallèle de segmentation morphologique efficace pouvant être intégrée à un processus de codage. L'implémentation et les performances des algorithmes parallèles proposés ont été étudiées sur deux types d'architectures : une architecture parallèle de type IBM SP2, et une architecture multi-DSPs dédiée de type TMS320C80. Ce travail a ainsi débouché tout d'abord sur la conception d'une bibliothèque de morphologie mathématique sur processeur TMS320C80 intégrant aussi bien les opérateurs morphologiques de base que les opérateurs complexes de type filtres par reconstruction ; nous avons ensuite obtenu une parallélisation efficace sur SP2 des opérateurs morphologiques connexes, un nouvel algorithme parallèle d'étiquetage d'images, ainsi qu'un algorithme parallèle de *watershed*.

- Le coloriage de graphe : La méthode proposée consiste, à partir d'un partage des données sur les processeurs, à construire un coloriage de l'ensemble du graphe suivant un nombre de couleurs donné. Nous avons travaillé sur la stratégie de découpage du graphe et

sur la stratégie de parcours du graphe des blocs induits par cette décomposition. Au niveau de la résolution locale d'un bloc, les stratégies utilisées ne sont pas particulières au problème de coloriage, afin que cet algorithme soit facilement adaptable à d'autres problèmes, comme les problèmes de satisfaction de contraintes (CSP) ou le problème de coloriage impropre. La méthode a été implémentée et validée en vraie grandeur sur IBM SP2. Ce travail (thèse de Pierre Boiron) a fait l'objet d'une collaboration avec Antoine Rauzy (équipe Modélisation, Vérification et Test de Systèmes Informatisés), et avec Eric Sopena (équipe Combinatoire et Algorithmique).

- La dynamique des populations : Un macro-parasite du bar, *Diplectanum aequans*, constitue un élément pathogène en aquaculture. Un modèle mathématique discret a été élaboré permettant d'en rendre compte. La simulation numérique qui en est issue permet de reproduire certaines des dynamiques de population observées sur le terrain, et fournit de nouveaux éléments pour les comprendre. Les temps d'exécution du simulateur séquentiel étant rédhibitoires, une mise en œuvre parallèle hautes performances de la simulation est incontournable.

Une solution parallèle a été élaborée et des simulations ont été réalisées sur l'IBM SP2 du LaBRI, ainsi que sur celui du CINES (Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur à Montpellier). Les temps d'exécution ont été réduits notablement et la précision des calculs améliorée. Ainsi, les simulations dont la durée excédait le mois sur une station de travail ont actuellement des temps d'exécution de trois heures lorsque l'on utilise 64 processeurs de la machine du CINES. L'algorithme a de très bonnes performances en ce qui concerne sa scalabilité et son efficacité; on constate en effet une efficacité supérieure à 90 % jusqu'à une centaine de processeurs. Pour des simulations ayant un coût de 9 TFLOP, la puissance moyenne atteinte est de 19 GFLOPS sur 192 processeurs de la machine du CINES. Avec la version parallèle du simulateur, les calculs sont beaucoup plus précis (des approximations ont été enlevées) et les temps d'exécution courts permettent d'effectuer de nombreuses simulations. Dans ces conditions, nous avons obtenu des comportements dynamiques qui n'avaient pu être observés avec l'ancien simulateur et qui correspondent à des cas réels observés. Ces résultats permettront d'envisager un modèle biologique plus raffiné.

Ce travail qui fait l'objet de la thèse de Guillaume Latu donne lieu à une collaboration multidisciplinaire très serrée faisant intervenir les mathématiques appliquées pour la modélisation numérique (collaboration avec Michel Langlais du MAB et professeur à l'Université Bordeaux 2), la biologie (collaboration avec Patrick Silan, CR1 à l'UPR CNRS de Sète), et l'informatique parallèle (équipe ALiENor du LaBRI).

L'équipe ALiENor a mis en place dans le cadre de la Cellule Recherche et Développement du LaBRI un certain nombre d'actions de transfert de compétences dans le domaine du parallélisme et de ses applications. Cette mise en place s'est accompagnée de l'acquisition d'un calculateur parallèle IBM SP2, qui est opérationnel depuis mai 1996, et ce dans le cadre d'une Charte de Partenariat Université Bordeaux 1 – ENSERB – IBM FRANCE. Cette Charte a été signée le 23 septembre 1997 et comporte trois niveaux. Un premier niveau concerne les collaborations industrielles, IBM favorisant les collaborations et le développement de travaux de type applicatif avec des industriels ayant des besoins de calcul hautes performances et utilisant des plateformes de type SP : en particulier, un contrat concernant l'algèbre linéaire creuse parallèle ainsi que des contrats de formation avancée ont été signés avec le CEA/CESTA. Un deuxième niveau concerne la formation avancée académique, IBM s'impliquant dans les actions de formation en parallélisme au niveau DEA ou Ecole d'ingénieurs en accueillant des stagiaires. Enfin, un dernier niveau encore à concrétiser à ce jour concerne

le niveau recherche fondamentale, IBM étant intéressé par des travaux, avec échange de chercheurs, en commun entre le LaBRI et certains laboratoires d'IBM aux Etats-Unis.

## Modes d'expression et environnements de développement pour le parallélisme

1. Modes d'expression, mise en œuvre efficace de mécanismes permettant de mieux gérer l'irrégularité au niveau du mode d'expression HPF2 : action de recherche **Angelot**.

Du point de vue expression une nouvelle approche est étudiée. Nous proposons de représenter les structures de données irrégulières dont l'accès aux informations élémentaires se fait de manière hiérarchique sous forme d'arbres. Cette représentation a l'avantage de pouvoir être intégrée dans le langage HPF2 en utilisant les types de données dérivés. Elle permet aussi un style de programmation plus proche du cas régulier en évitant les indirections classiquement utilisées pour ce type de données. Ainsi les techniques de compilation et les supports d'exécution peuvent être plus efficaces.

Dans le cadre des applications manipulant des structures de données irrégulières, nous nous sommes également intéressés à la prise en compte des aspects liés au parallélisme qui ne sont pas exploitables directement par des compilateurs car dépendants d'informations connues uniquement à l'exécution. Notre approche est basée à la fois sur l'extension du langage HPF2 par de nouvelles directives (ou par l'extension de directives existantes comme la directive ON HOME) pour exprimer les propriétés parallèles de l'application et sur un support d'inspection/exécution permettant d'exploiter efficacement ces propriétés. Nos travaux montrent en particulier l'intérêt primordial de la prise en compte des ensembles irréguliers de processeurs actifs participant à l'exécution d'un bloc d'instructions donné. Nous avons également porté notre attention sur les applications contenant des boucles avec des dépendances inter-itérations partielles (dans le sens où certaines itérations peuvent être exécutées en parallèle) et précalculables. Afin d'exploiter le parallélisme de ces boucles, nous avons réalisé un ordonnancement du graphe des tâches obtenu en associant une tâche à chaque itération de la boucle. Nous avons aussi proposé une nouvelle opération data-parallel associée à ce type de boucles et qui permet la mise en place par le compilateur, en utilisant le paradigme d'inspection/exécution, de schémas de communications asynchrones permettant un recouvrement calcul/communication. Actuellement, deux bibliothèques sont implémentées (thèse de F. Brégier) : la bibliothèque TriDenT pour le support des arbres distribués et la bibliothèque Columbo pour le support des mécanismes d'inspection/exécution proposés. Ces travaux ont été validés sur l'algorithme de factorisation de Cholesky pour des matrices creuses : les résultats expérimentaux montrent les gains obtenus par ces optimisations.

2. Environnements de développement, conception et la mise en œuvre d'une bibliothèque permettant l'observation d'une application en terme de données distribuées : action de recherche **Visit**.

Les machines parallèles à mémoire distribuée restent majoritairement programmées au plus bas niveau en utilisant le modèle des processus séquentiels communiquant par transmission de messages. Dans le cadre d'une expression de type parallélisme dirigé par les données, la différence de niveau entre le mode utilisé par le programmeur et le modèle d'exécution rend la mise au point difficile et consommatrice de temps particulièrement dans le cas de problèmes irréguliers.

Une première manière simple de gérer ce problème est de se reposer sur l'utilisateur pour que ce soit lui qui fournisse les informations nécessaires (approche implémentée dans IVD par exemple). Une deuxième façon de procéder est d'utiliser des bibliothèques qui instrumentent les fonctionnalités de base du langage. Ce sont elles qui fournissent alors les informations

nécessaires (approche utilisée par DAQV dans le projet PTOOLS par exemple). La première solution a l'inconvénient d'être très lourde pour l'utilisateur, la seconde d'être fortement liée à un langage donné.

Nous proposons un compromis entre ces deux techniques : il consiste à fournir un cadre de travail permettant à un programmeur d'intégrer facilement la sémantique de l'implémentation d'une structure de données dans des bibliothèques. Ces bibliothèques sont ensuite utilisables pour le développement d'outils permettant l'observation du comportement d'une application parallèle. Elles remontent automatiquement la sémantique vers le modèle d'expression utilisé pour développer l'application, i.e. vers l'utilisateur.

Notre approche repose sur un modèle qui comporte trois niveaux : - le graphe d'implémentation qui décrit la structure de données internes en terme de données atomiques et de fonctions d'accès (les trois vecteurs distribués d'une CSC), - le graphe d'abstraction qui décrit la structure de données abstraite (par exemple une matrice pleine), - le graphe de vue qui décrit comment un outil montrera finalement le graphe d'abstraction, par exemple en effectuant un filtrage si l'on manipule des structures de données de taille importante. Les relations entre les différents niveaux s'expriment en terme de plongements de graphes.

Pour valider notre modèle, nous avons développé une bibliothèque fournissant des abstractions standard pour quelques implémentations elles aussi standard. S'appuyant sur cette bibliothèque, un environnement graphique *Visit* (VISualisation Integrated Tool) a été conçu. Il comporte actuellement deux outils : - Data Distribution Display qui permet la visualisation de la distribution de données d'un programme HPF ; - Trace Data Display, visualisation en terme de dépendances entre données distribués des traces d'exécution d'une application HPF. Afin de visualiser des structures de données de grande taille, ces outils ont été interfacés avec le logiciel MatView. On pourra consulter (<http://dept-info.labri.u-bordeaux.fr/~chaumett/visit/>).

Les travaux décrits ci-dessus se font pour partie au sein du projet **HPFIT** : L'objectif de HPFIT, dans sa phase 1, est de proposer un ensemble d'outils permettant d'adapter au paradigme *data-parallel* des applications industrielles à structure de données régulières ; dans sa phase 2, on s'intéresse à des structures de données creuses et irrégulières. Notre contribution a porté sur la définition et le développement d'outils intégrés à la plateforme permettant : - de visualiser une distribution éventuellement irrégulière de données éventuellement irrégulières ; - d'évaluer les performances de l'application après génération de traces. Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'une collaboration entre l'équipe PARADIS du LaBRI, l'équipe APTE du LIP et GMD/SCAI (RFA).

## Projets et perspectives

### Algorithmique et applications parallèles

Le principal objectif est de poursuivre les études algorithmiques ainsi que leurs validations expérimentales pour des cas en vraie grandeur relativement aux domaines d'applications présentés plus haut. En particulier, ces travaux évolueront pour tenir compte de la nature *hétérogène* des nouveaux calculateurs hautes performances (réseau de nœuds SMP), ainsi que de la tendance actuelle consistant à avoir une vision plus distribuée du calcul parallèle (grand réseau hétérogène de PCs, simulation numérique distribuée avec couplage de codes parallèles).

Pour l'action de recherche SCOTCH, les travaux en cours concernent tout d'abord la parallélisation du partitionneur afin de pouvoir traiter des graphes non structurés de plus en plus gros et avec des complexités intéressantes. Par la suite, l'algorithme du partitionneur sera généralisé pour intégrer une optimisation de la coupe qui soit multi-critères ce qui per-

mettra d'augmenter le spectre d'application du logiciel. Nous envisageons aussi de rajouter dans la version parallèle des fonctionnalités de repartitionnement dynamique qui sont utiles dans le cadre de la régulation dynamique de charge pour les applications irrégulières dont le comportement est imprédictible par un prétraitement statique.

Concernant les techniques de renumérotation induites par le partitionnement, nous travaillons sur la mise en œuvre d'un critère algorithmique dépendant de la topologie des graphes pour le basculement entre la dissection emboîtée et le degré minimum approché. Nous envisageons aussi de remplacer le degré minimum par une technique plus performante a priori comme celle dite de *minimum fill*.

L'ensemble de ces évolutions intéressent des partenaires industriels comme le CEA/CESTA et EDF ce qui conduira à de nouvelles actions de valorisation. Ils s'intégreront aussi dans les collaborations académiques nationales et internationales que nous mettons actuellement en place (voir plus loin).

En ce qui concerne l'action de recherche PASTIX, les travaux actuels (relatifs au contrat CEA) consistent à étudier un critère algorithmique pour réaliser le changement de type de distribution par blocs (passage d'une distribution 2D à une distribution 1D) dans la phase de prétraitement. Le solveur actuel est basé sur une agrégation totale en mémoire des contributions distantes ce qui induit un surcoût mémoire; nous travaillons actuellement à la mise en œuvre d'une agrégation partielle pour améliorer la scalabilité mémoire tout en perdant le moins possible en vitesse de traitement. D'autre part, nous avons commencé à travailler à la généralisation de nos techniques pour des architectures hétérogènes (grappes hétérogènes de processeurs ou de nœuds SMP), ainsi qu'à la mise en œuvre de techniques *out-of-core* distribuées pour traiter des systèmes toujours plus gros.

Concernant l'assemblage parallèle des matrices d'éléments finis, nous généralisons actuellement notre technique au cas où la matrice est distribuée de manière 2D ou 2D+1D. Nous poursuivrons là aussi par une évolution des algorithmes pour prendre en compte l'hétérogénéité de l'architecture cible.

Tous ces travaux se feront dans le cadre du projet "OMSPar : Ordering, Mapping and Scheduling in Parallel Sparse Direct Solvers" qui fait l'objet actuellement d'une demande de financement pour l'année 2001 auprès des FONDS FRANCE-BERKELEY dans le cadre d'une collaboration entre l'U.C. Berkeley (coordinateur James Demmel) et les laboratoires français LaBRI et ENSEEIHT-IRIT (coordinateur Jean Roman).

Enfin, l'étude novatrice et la contribution attendue la plus intéressante pour passer la limite en taille des solveurs parallèles actuels (on vise les 10 millions d'inconnues pour des problèmes tridimensionnels) est celle relative à un couplage fin entre méthodes directes et méthodes itératives. Ceci se fera dans le cadre d'un Projet NSF/INRIA en cours de mise en place mettant en commun les compétences de spécialistes américains (Yousef Saad/Minneapolis, Randall Bramley/Indiana, Esmond Ng/Berkeley, Maria Sosonkina/Minneapolis) et français (Patrick Amestoy/ENSEEIHT-IRIT, Bernard Philippe/IRISA, Frédéric Desprez/INRIA Rhône-Alpes, Jean Roman/LaBRI) des deux types de méthodes.

Pour ce qui est de l'action de recherche OPIUM, la suite naturelle de nos travaux consiste à définir et à mettre en œuvre un calcul *adaptatif* de la taille optimale des paquets pour les problèmes irréguliers. Celui-ci devra pouvoir s'intégrer directement dans les algorithmes via une bibliothèque. Des résultats ont déjà été obtenus pour l'algorithme de Cholesky sur des matrices denses symétriques.

En ce qui concerne les domaines applicatifs, et hormis celles étudiés avec le CEA/CESTA, nous commençons une collaboration avec l'Institut Français du Pétrole pour la gestion dis-

tribuée de simulations parallèles d'écoulements mono et polyphasiques dans les réservoirs. Ceci devrait donner lieu à un contrat ainsi qu'au financement d'un postdoc ou d'une thèse à partir de l'automne 2000.

Nous continuons aussi sur la simulation en dynamique des populations et sur les évolutions de la modélisation biomathématique. En particulier, l'apport d'une approche stochastique paraît mieux adaptée à la pathologie parasitaire. Or, l'introduction de processus de type aléatoire dans les calculs et de méthodes de Monte-Carlo ajoutera encore à la complexité du problème par l'irrégularité qu'elle engendre. Les coûts en calcul augmenteront en conséquence d'où la nécessité d'aller encore plus loin dans la qualité de performance du simulateur parallèle.

## Modes d'expression et environnements de développement pour le parallélisme

Dans le domaine des **Modes d'expression**, notre objectif est de poursuivre nos travaux en ciblant des architectures parallèles et/ou distribuées hétérogènes (par exemple des grappes de processeurs à mémoire partagée). Pour traiter l'irrégularité, nous envisageons l'utilisation d'un support d'exécution basé sur le concept de processus légers permettant une régulation dynamique de charge par migration des données et du calcul. Ce travail donnera lieu à une collaboration avec J.F. Méhaut et R. Namyst (LIP et projet INRIA ReMaP). Nous nous intéressons également au couplage de code parallèle en utilisant notamment le concept d'objets parallèles. Nous étudierons enfin comment transposer les solutions issues de ces travaux dans un contexte de compilation OpenMP adapté à la programmation des clusters de SMP.

Dans le domaine des **environnements de développement**, nous sommes à la fin de la phase 2 du projet HPFIT. Nous offrirons ainsi un ensemble d'outils pour adapter des applications industrielles au paradigme *data-parallel* tout en prenant en compte l'aspect creux et irrégulier des structures de données. Les outils proposés permettront aussi de mettre au point et d'évaluer les performances des programmes.

Une autre action **DHPCCM** ( Distributed High Performance Computing Center) rejoignant la problématique du méta-computing est une collaboration entre l'équipe PARADIS du LaBRI, le Commissariat à l'Energie Atomique et l'Institut Français du Pétrole. Ces deux organismes disposent de centres de calcul répartis sur le réseau Internet. L'ensemble de leurs machines constitue un centre de calcul haute performance distribué (DHPCC). Le projet a pour objectif la définition d'un gestionnaire permettant à un utilisateur d'exploiter au mieux les ressources matérielles et logicielles du DHPCC. Il est à l'intersection des activités de type parallélisme et de type systèmes distribués de l'équipe et en valide la complémentarité.

Les travaux concernant les actions de recherche SCOTCH, PASTIX et **Visit** font aussi partie de l'Action de Recherche Coopérative INRIA OURAGAN "Outils de Résolution Appliquée aux Grands Calculs Numériques" qui a effectivement débuté courant 1999.

SciLab est un environnement logiciel interactif qui permet le développement et le prototypage d'applications mathématiques et de calcul numérique. Le problème des outils de ce type est leur faible efficacité. Le but de l'ARC OURAGANest de proposer une version de SciLab efficace en utilisant des bibliothèques de calcul parallèle. La contribution d'ALiENor consiste à interfacier des serveurs contenant les outils issus des travaux de l'action Visit et les algorithmes issus des actions SCOTCHet PASTIXavec la plateforme de Métacomputing SciLab parallèle. Les équipes ou projets impliqués dans l'action OURAGANsont le projet Méta-2 – INRIA Rocquencourt, le projet ReMAP – INRIA Rhône-Alpes et LIP ENS-Lyon, le projet Résédas – LORIA INRIA Lorraine et enfin l'équipe PARADIS du LaBRI.

# Le projet SOD

## Description des activités de recherche

Dans les évolutions récentes qui marquent le domaine du parallélisme, on constate une nette tendance à substituer aux machines massivement parallèles classiques des réseaux rapides de stations de travail. Certaines architectures dites parallèles jouent aussi cette approche. Par exemple la machine SP2 d'IBM dont nous disposons au LaBRI peut de façon schématique être comparée à un réseau rapide de RS6000. De fait, le monde du parallélisme a très nettement évolué du massif vers le distribué. Ceci est dû non seulement à l'augmentation de la puissance des processeurs des stations de travail mais aussi à la vitesse sans cesse croissante des réseaux de communication. Les échanges de données devenant plus rapides, on peut donc envisager d'utiliser conjointement des machines disséminées sur le réseau, et tendre vers une approche de type calcul distribué.

Cette tendance à l'utilisation de réseaux rapides plutôt que de machines réellement parallèles ne transforme pas fondamentalement les besoins de l'utilisateur final. Sa demande reste de pouvoir exécuter son application de façon transparente sur la meilleure configuration disponible. Selon son niveau de compétence et l'importance que revêt son application, il souhaitera néanmoins avoir un contrôle plus ou moins fin du support sous-jacent – pour réaliser par exemple un réglage de performance ou une collecte de traces d'exécution –. Au niveau du logiciel, pour accompagner ce mouvement, au delà des bibliothèques de communication classiques, c'est un support d'exécution distribué qui est maintenant nécessaire aux utilisateurs. En particulier, des mécanismes de pilotage et de contrôle, d'équilibrage de charge, de migration de code ou de données, etc., doivent être proposés. C'est donc au niveau des supports d'exécution que les transformations qui découlent de cette évolution sont d'une ampleur considérable. Les problèmes clefs aujourd'hui pour le développeur d'applications sont liés à l'hétérogénéité, l'équilibrage de charge dynamique, etc. Pour le concepteur d'environnements ou de supports d'exécution les solutions clefs sont des applications portables, la migration de code et de données, les *threads*, etc.

C'est donc tout naturellement qu'une partie de l'équipe, jusqu'alors spécialisée sur les environnements, s'est intéressée aux approches de type objets distribués.

## Principaux résultats

Le projet Jem<sup>1</sup>, *Experimentation environment for Java* est le projet fédérateur du thème *Systèmes et Objets Distribués*. Il consiste à développer une plate-forme distribuée basée sur Java, RMI et CORBA, que l'on puisse exploiter selon les approches de type calcul et réseau personnel. Ce thème s'inscrit au sein de l'équipe *Calcul Parallèle et Distribué*.

Jem est basé<sup>2</sup> sur ces technologies de type objets distribués. Il a pour objectif de fournir une **plate-forme** offrant un accès homogène aux ressources hétérogènes et distribuées d'un réseau et bien entendu d'exploiter cette plate-forme. Nous nous intéressons en particulier, mais de façon non restrictive, à une **approche calcul** de type *meta* ou *cluster computing* d'une part et à une approche **réseau personnel** à la Jini d'autre part. Ce sont les deux facettes par lesquelles on aborde aujourd'hui les systèmes distribués hétérogènes et c'est donc une approche mixte que nous proposons.

L'objectif du projet Jem est d'abord de faciliter pour l'utilisateur final et le programmeur

---

<sup>1</sup>Le premier dossier décrivant ce projet et ayant permis d'obtenir un co-financement de la Région Aquitaine a été conçu et réalisé avec Alain Miniussi qui a travaillé dans la société ILOG à Sophia-Antipolis et maintenant chez HP à Cupertino, USA.

<sup>2</sup>Nous utiliserons le masculin ou le féminin pour parler de Jem, selon que nous ferons référence au projet ou à la plate-forme.

la manipulation des ressources hétérogènes disséminées sur un réseau. L'approche que nous développons est différente de celles qui existent par ailleurs. En effet, nous intégrons à la fois l'approche réseau et l'approche calcul au sein de Jem. On parlera d'**approche mixte**. Dans Jem nous sommes attachés à la volonté de s'abstraire des ressources physiques. Cette préoccupation apparaissait déjà dans nos travaux sur les environnements dans le cadre de la transmission de messages. Une fois cette abstraction réalisée, nous nous attachons à proposer une couche fonctionnelle qui ne présume en rien de l'utilisation qui sera faite des ressources. Cette couche de gestion, la plate-forme Jem, nous permet de manipuler les ressources sur lesquelles nous avons appliqué notre abstraction en les réifiant toutes de manière homogène. La technologie Java nous permet de gérer l'aspect hétérogénéité, par réification des ressources et par la portabilité qu'elle nous offre. Les technologies RMI et CORBA nous permettent de gérer les aspects distribués, grâce en particulier à l'invocation de méthodes distantes et au transfert d'objets à travers le réseau. Pour l'**utilisateur** final et le programmeur on obtient un accès homogène aux ressources hétérogènes du réseau. Il est simple de **contribuer au système** pour y intégrer de nouvelles ressources, donc de l'étendre.

Ces travaux se déroulent pour partie au sein de l'action transversale PRO, *Parallélisme, Répartition et Objets*, commune aux GDR ALP (Algorithmique, Langages et Programmation) et ARP (Architecture, Réseaux et systèmes, Parallélisme). Ils s'intègrent aussi dans l'action transversale *Grappes* du GDR ARP qui regroupe des équipes « dont les travaux coordonnés permettront de développer l'utilisation des stations de travail interconnectées par des réseaux à hautes performances ("grappes") ». Nos activités sont aussi référencées par le *Java Special Interest Group* d'*EuroTools*, pendant européen du *Java Grande Forum* américain.

Ce thème est en partie financé par l'Université Bordeaux 1, La Région Aquitaine, le CNRS, des conventions d'étude et des contrats industriels. En particulier :

- Nous avons mis en place deux contrats de collaboration qui s'appuient sur des conventions CORTECHS (Convention de recherche pour les techniciens supérieurs). Les sociétés concernées sont des PME Bordelaises que nous faisons bénéficier de notre compétence dans le domaine de la technologie Java. Il s'agit du Cabinet Régis Barbier et de European Data.

- Nous avons mis en place une convention d'étude avec la société TGS-Europe autour de composants graphiques distribués de type *JavaBeans*. Dans ce cadre nous avons tout d'abord étudié l'intégration de leurs outils dédiés au domaine du graphisme et de la visualisation scientifique avec la technologie Java. Nous abordons maintenant la seconde partie de l'étude qui consiste à distribuer ces composants sur le réseau.

- Nous participons à une convention d'étude entre l'IFP et le LaBRI qui couvre en fait trois thématiques. Nous avons mis en place la partie de cette convention qui définit le projet DHPCCM, qui consiste à concevoir et mettre en œuvre une architecture de type Java/CORBA pour la gestion de codes de simulation disséminés sur le réseau. Ce projet se poursuit actuellement avec un post-doctorat financé par l'IFP.

- Nous avons des collaborations informelles avec d'autres partenaires industriels qui, à terme, déboucheront probablement sur la mise en place de conventions d'étude et/ou de recherche. Je pense en particulier au CEA avec lequel nous collaborons déjà dans le cadre du projet DHPCCM cité au paragraphe précédent.

## Projets et perspectives

La plate-forme Jem offre déjà, de fait, une architecture de type **réseau personnel**, à la Jini. C'est donc sur l'**approche calcul** que nous faisons porter nos efforts, d'autant que cette approche est dans la ligne directe des activités de l'équipe Calcul Parallèle et Distribué

dans le domaine du parallélisme.

En particulier, un des objectifs est d'étudier et de mettre en place un système de distribution automatique de code objet et d'équilibrage de charge dynamique dans Jem. Ces travaux seront réalisés dans le cadre de deux thèses qui ont débuté pour l'une à la rentrée 1998-1999 et pour l'autre à la rentrée 1999-2000. On étudiera aussi l'interfaçage de Jem avec des bibliothèques de calcul. Ainsi, nous aurons une couche de gestion manipulable très simplement via Jem et son API ou son interpréteur Java pour contrôler ces codes tout en ayant l'efficacité calculatoire de ces mêmes codes. Nous pourrons ainsi évaluer la qualité de Jem dans le cadre original où approche réseau personnel - la couche de gestion de Jem - et approche calculatoire sont combinées.

## Thèses

- Boiron (P.). – *Contribution à l'étude de la résolution du problème de coloriage de graphes : extensions, heuristiques, parallélisation.* – Thèse de PhD, LaBRI, Université Bordeaux 1, Octobre 1997.
- Brégier (F.). – *Extensions du langage HPF pour la mise en œuvre de programmes parallèles manipulant des structures de données irrégulières.* – Thèse de PhD, Université Bordeaux I - LaBRI, décembre 1999.
- Goudin (D.). – *Mise en œuvre d'une Bibliothèque d'Outils pour la Résolution Parallèle Hautes Performances par Méthode Directe de Grands Systèmes Linéaires Creux et application à un Code de Mécanique des Structures.* – Thèse de PhD, LaBRI, Université Bordeaux 1, Novembre 2000.
- Laurent (C.). – *Conception d'algorithmes parallèles pour le traitement d'images utilisant la morphologie mathématique. Application à la segmentation d'images.* – Thèse de PhD, LaBRI, Université Bordeaux 1, Septembre 1998.
- Ramet (P.). – *Optimisation de la Communication et de la Distribution des Données pour des Solveurs Parallèles Directs en Algèbre Linéaire Dense et Creuse.* – Thèse de PhD, LaBRI, Université Bordeaux I, Talence, France, janvier 2000.
- Ugarte (A.). – *Mise en œuvre d'un environnement objet distribuée et modélisation des threads Java.* – Thèse de PhD, LaBRI, Université Bordeaux 1, Janvier 2001.

## Habilitations

- Chaumette (S.). – *Du parallélisme massif aux objets distribués.* – Thèse, Université Bordeaux I, LaBRI, janvier 2000.

## Reuves avec Comité de lecture

- Brandes (T.), Chaumette (S.), Counilh (M.C.), Roman (J.), Darté (A.), Desprez (F.) et Mignot (J.C.). – HPFIT : A Set of Integrated Tools for the Parallelization of Applications Using High Performance Fortran. Part I : HPFIT and the TransTOOL Environment. *Parallel Computing*, vol. 23, 1997, pp. 71–87. – Edited by J. Dongarra and B. Tourancheau.
- Brandes (T.), Chaumette (S.), Counilh (M.C.), Roman (J.), Darté (A.), Desprez (F.) et Mignot (J.C.). – HPFIT : A Set of Integrated Tools for the Parallelization of Applications Using High Performance Fortran. Part II : Data Structures Visualization and HPF Support for Irregular Data Structures with Hierarchical Scheme. *Parallel Computing*, vol. 23, 1997, pp. 89–105. – Edited by J. Dongarra and B. Tourancheau.
- Brégier (F.), Counilh (M.C.) et Roman (J.). – Scheduling loops with partial loop-carried dependencies. *Parallel Computing, Special Issue on "Parallel Computing for Irregular Applications"*, vol. 26, n° 13–14, décembre 2000, pp. 1789–1806.
- Goudin (D.), Hénon (P.), Pellegrini (F.), Ramet (P.), Roman (J.) et Pesqué (J.-J.). – Parallel sparse linear algebra and application to structural mechanics. *Numerical Algorithms, Baltzer Science Publisher*, vol. 24, 2000, pp. 371–391.
- Hénon (P.), Ramet (P.) et Roman (J.). – PaStiX : a High-Performance Parallel Direct Solver for Sparse Symmetric Positive Definite Systems. *Soumis à Parallel Computing, Special issue*, 2001.
- Latu (G.). – Solution parallèle pour un problème de dynamique des populations. *Techniques et Sciences Informatiques, Numéro spécial RenPar'11*, vol. 19, juin 2000, pp. 767–790.
- Laurent (C.). – Approche parallèle asynchrone et générique pour l'étiquetage d'image en composantes connexes. *Techniques et Sciences Informatiques, Numéro spécial RenPar'9*, vol. 17, n° 5, 1998, pp. 563–588.
- Pellegrini (F.). – Graph partitioning based methods and tools for scientific computing. *Parallel Computing*, vol. 23, 1997, pp. 153–164.
- Pellegrini (F.), Roman (J.) et Amestoy (P.). – Hybridizing nested dissection and halo approximate minimum degree for efficient sparse matrix ordering. *Concurrency : Practice and Experience, Special issue*, vol. 12, 2000, pp. 69–84.
- Ugarte (A.). – Mise en œuvre d'un environnement multitâche, multi-utilisateur et distribué en Java. *CPRSR, Réseaux et Systèmes Répartis, Calculateurs Parallèles*, vol. 12, n° 5-6, décembre 2000, pp. 511–535.
- Vignéras (P.). – Jacob : un support pour la distribution et le calcul. *CPRSR, Réseaux et Systèmes Répartis, Calculateurs Parallèles*, vol. 12, n° 5-6, décembre 2000, pp. 537–563.

## Colloques avec Comité de programme et Actes

- Brandes (T.), Brégier (F.), Counilh (M.C.) et Roman (J.). – Contribution to Better Handling of Irregular Problems in HPF2. *In : Proceedings of EURO-PAR'98, LNCS 1470*, éd. par Springer-Verlag, pp. 639–649. – Southampton, UK, novembre 1998.
- Brandes (T.), Chaumette (S.) et Desprez (F.). – TransTOOL : a tool for porting scientific applications on parallel distributed memory machines. *In : Proceedings of the 2nd European School of Computer Science : Parallel Programming Environments For High Performance Computing*, éd. par Chassin de Kergommeaux (Jacques) et Trystram (Denis), pp. 175–178. – Alpe d'Huez, 1996.
- Brégier (F.), Counilh (M.C.) et Roman (J.). – Asynchronous Irregular Prefix Operation in HPF2. *In : PDP'2000 - 8th Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing - IEEE*, pp. 275–282. – Rhodes, Grèce, janvier 2000.
- Chaumette (S.). – JEM-DOOS : the Java based Distributed Objects Operating System of the JEM project. *In : Proceedings of the Second International Symposium on Object Oriented Parallel Environments, ISCOPE 98, LNCS 1505*, éd. par Caromel (D.), Oldehoeft (R.R.) et Tholburn (M.). pp. 135–142. – Springer-Verlag, December 1998. Santa Fe, NM, USA.
- Chaumette (S.). – The DHPCCM Project : Distributed High Performance Computing Center Manager. *In : Proceedings of SIMNET'99, High Performance Networks and Numerical Simulation*, éd. par d'Anfray (Philippe), Guyon (Marc) et Juliette (Ryan). – LAGA, Institut Galilée, Université Paris 13, Villetaneuse, Mai 1999.
- Chaumette (S.), Rubi (F.) et Lépine (J.M.). – A graph based framework for the definition of tools dealing with sparse and irregular distributed data structures. *In : Proceedings of the Third International Workshop on High-Level Parallel Programming Models and Supportive Environments*, éd. par IEEE, pp. 62–70. – Orlando, Florida, USA, March 1998.
- Chaumette (S.) et Ugarte (A.). – A formal model of the java multi-threading system and its validation on a known problem. *In : FMPPTA'2001, 6th International Workshop on Formal Methods for Parallel Programming : Theory and Applications*.
- Chaumette (S.) et Vigneras (P.). – Jacob : a software framework to support the development of e-services, and its comparison to enterprise java beans. *In : PADDA 2001, International Workshop on Performance-Oriented Program Development for Distributed Architectures Perspectives for Scientific and Commercial Environments*.
- Desprez (F.), Ramet (P.) et Roman (J.). – Optimal grain size computation for pipelined algorithms. *In : Proceedings of Euro-Par'96, Lyon, LNCS 1123*. pp. 165–172. – Springer Verlag, 1996.
- Goudin (D.), Hénon (P.), Pellegrini (F.), Ramet (P.), Roman (J.) et Pesqué (J.-J.). – Description of the EMILIO software processing chain and application to structural mechanics. *In : PMAA2000, Neuchâtel, Suisse*. – août 2000.
- Goudin (D.) et Roman (J.). – A scalable parallel assembly for irregular meshes based on a block distribution for a parallel block direct solver. *In : Proceedings of PARA'2000, LNCS 1947*. – 2000.
- Hénon (P.), Ramet (P.) et Roman (J.). – A Mapping and Scheduling Algorithm for Parallel Sparse Fan-In Numerical Factorization. *In : EuroPAR'99 Parallel Processing, LNCS 1685*, éd. par Amestoy (P.), Berger (P.), Daydé (M.), Duff (I.), Frayssé (V.), Giraud (L.) et Ruiz (D.). pp. 1059–1067. – Springer Verlag, 1999.
- Hénon (P.), Ramet (P.) et Roman (J.). – PaStiX : A high-performance parallel direct solver for sparse symmetric definite systems. *In : PMAA2000, Neuchâtel, Suisse*. – août 2000.
- Hénon (P.), Ramet (P.) et Roman (J.). – PaStiX : A Parallel Sparse Direct Solver Based on a Static Scheduling for Mixed 1D/2D Block Distributions. *In : Proceedings of Irregular'2000, LNCS 1800*. pp. 519–525. – Springer Verlag, 2000.
- Hénon (P.), Ramet (P.) et Roman (J.). – PaStiX : A Parallel Direct Solver for Sparse SPD Matrices based on Efficient Static Scheduling and Memory Management. – mars 2001. Accepted in Tenth SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Portsmouth, Virginie, USA.
- Langlais (M.), Latu (G.), Roman (J.) et Silan (P.). – Parallel numerical simulation of a marine host-parasite system. *In : Europar'99 Parallel Processing*, éd. par Amestoy (P.), Berger (P.), Daydé (M.), Duff (I.), Frayssé (V.), Giraud (L.) et Ruiz (D.). pp. 677–685. – LNCS 1685 - Springer Verlag, 1999.
- Laurent (C.) et Bouville (C.). – Parallel implementation of greyscale morphological operators on mvp. *In : Proceedings of Visual Communications and Image Processing'97*, éd. par SPIE Press (IEEE), pp. 502–513. – San Jose-Californie (USA), Février 1997.
- Laurent (C.) et Bouville (C.). – Reconstruction morphologique sur architecture parallèle à grain fin. *In : Actes du colloque GRETSI'97*. – Grenoble, Septembre 1997.

Laurent (C.) et Roman (J.). – Parallel implementations of morphological connected operators based on irregular data structures. In : *Proceedings of VecPar'98*, éd. par Springer-Verlag, pp. 579–592. – 1999.

Michel (J.), Pellegrini (F.) et Roman (J.). – Unstructured graph partitioning for sparse linear system solving. In : *Proceedings of Irregular'97, Paderborn, LNCS 1253*, pp. 273–286. – juin 1997.

Pellegrini (F.) et Roman (J.). – SCOTCH : A software package for static mapping by dual recursive bi-partitioning of process and architecture graphs. In : *Proceedings of HPCN'96, Brussels, LNCS 1067*, pp. 493–498. – avril 1996.

Pellegrini (F.) et Roman (J.). – Sparse matrix ordering with SCOTCH. In : *Proceedings of HPCN'97, Vienna, LNCS 1225*, pp. 370–378. – avril 1997.

Pellegrini (F.), Roman (J.) et Amestoy (P.). – Hybridizing nested dissection and halo approximate minimum degree for efficient sparse matrix ordering. In : *Proceedings of Irregular'99, San Juan, LNCS 1586*, pp. 986–995. – avril 1999.

## Conférences invitées

Amestoy (P.), Davis (T.), Duff (I.) et Roman (J.). – Preprocessing issues in sparse matrix computations. In : *Actes de Stratagem'96, Nice*. INRIA Sophia-Antipolis, pp. 111–128. – juillet 1996.

Chaumette (S.). – Java apis. In : *Eurographics*. – Budapest, 1997. Tutoriel invité.

Chaumette (S.). – Programation parallèle et distribuée en Java. In : *Actes des tutriels du Colloque sur les Nouvelles Technologies de la Répartition, NOTERE'98*. – Université de Montréal, Université du Québec, ETS, Centre de Recherche en Informatique, Montréal, Québec, Canada, Octobre 1998. Tutoriel invité.

Chaumette (S.). – Parallel and distributed programming in Java. In : *Actes des tutoriels de EuroPar'99*. – Toulouse, Septembre 1999. Tutoriel invité.

Goudin (D.), Hénon (P.), Pellegrini (F.), Ramet (P.), Roman (J.) et Pesqué (J.-J.). – Algèbre linéaire creuse parallèle pour les méthodes directes : Application à la parallélisation d'un code de mécanique des structures. In : *Journées sur l'Algèbre Linéaire Creuse et ses Applications Industrielles, IRISA, Rennes*. – 1999.

Goudin (D.), Hénon (P.), Pellegrini (F.), Ramet (P.), Roman (J.) et Pesqué (J.-J.). – Parallel sparse linear algebra and application to structural mechanics. In : *SPWorld'99*. – 1999.

Goudin (D.), Hénon (P.), Pellegrini (F.), Ramet (P.), Roman (J.) et Pesqué (J.-J.). – Parallel sparse linear algebra and application to structural mechanics. In : *European ACTC Workshop 2000, Paris*. – Mai 2000.

Guitton (P.), Roman (J.) et Subrenat (G.). – Data-oriented parallelism for image synthesis. In : *Actes de Stratagem'96, Nice*. INRIA Sophia-Antipolis, pp. 203–216. – juillet 1996.

Langlais (M.), Latu (G.), Roman (J.) et Silan (P.). – Contribution to an host-parasite system model by high-performance computing. In : *DESTOBIO 2000, Purdue University*. – Août 2000.

Langlais (M.), Latu (G.), Roman (J.) et Silan (P.). – Parallel numerical simulation of a marine host-parasite system. In : *European ACTC Workshop 2000, Paris*. – Mai 2000.

Pellegrini (F.). – Application of graph partitioning techniques to static mapping and domain decomposition. In : *Proceedings of STRATAGEM'96, INRIA, Sophia-Antipolis*, pp. 131–141. – juillet 1996.

## Chapitres d'ouvrages collectifs

Cosnard (Michel), Jeannot (Emmanuel) et Yang (Tao). – Symbolic scheduling of parameterized task graphs on parallel machines. In : *Nonlinear Assignment Problems : Algorithms and Applications*, éd. par Pitsoulis (Leonidas) et Pardalos (Panos). – Kluwer Books, 1999.

## Notices d'emplois de logiciels

Goudin (D.). – *Manuel Utilisateur de la chaîne EMILIO*. – Rapport technique, LaBRI, Université Bordeaux I, décembre 2000.

Pellegrini (F.). – SCOTCH Static Mapping Package v3.1. – septembre 1996. <http://www.labri.u-bordeaux.fr/~pelegrin/scotch/>.

Pellegrini (F.). – SCOTCH 3.1 *User's guide*. – Rapport Technique n° 1137-96, LaBRI, Université Bordeaux I, août 1996.

## Rapports de fin de contrat

- Goudin (D.). – *Mise en oeuvre d'une Bibliothèque d'Outils pour la Résolution par Méthode Directe de Grands Systèmes Linéaires Creux Symétriques Définis Positifs sur Machine Parallèle.* – Rapport technique, C.E.A. / C.E.S.T.A, 1998. Premier Rapport Semestriel.
- Goudin (D.). – *Mise en oeuvre d'une Bibliothèque d'Outils pour la Résolution par Méthode Directe de Grands Systèmes Linéaires Creux Symétriques Définis Positifs sur Machine Parallèle.* – Rapport technique, C.E.A. / C.E.S.T.A, 1999. Rapport Final de la Première Partie.
- Goudin (D.). – *Mise en oeuvre d'une Bibliothèque d'Outils pour la Résolution par Méthode Directe de Grands Systèmes Linéaires Creux Symétriques Définis Positifs sur Machine Parallèle.* – Rapport technique, C.E.A. / C.E.S.T.A, 1999. Rapport Semestriel de la Deuxième Partie.
- Goudin (D.). – *Mise en oeuvre d'une Bibliothèque d'Outils pour la Résolution par Méthode Directe de Grands Systèmes Linéaires Creux Symétriques Définis Positifs sur Machine Parallèle.* – Rapport technique, C.E.A. / C.E.S.T.A, 2000. Rapport Final de la Deuxième Partie.
- Goudin (D.), Pellegrini (F.) et Roman (J.). – *Pré-étude de la parallélisation du code OSSAU de mécanique des structures.* – Rapport technique, C.E.A. / C.E.S.T.A, 1997. Étude commandée par le C.E.A. / C.E.S.T.A.
- Pellegrini (F.), Roman (J.) et Desprez (F.). – *Résolution par méthode directe de grands systèmes linéaires creux sur machines parallèles à mémoire distribuée – état de l'art.* – 1997. Étude commandée par le C.E.A.
- Ramet (P.) et Roman (J.). – *Analyse et Étude de Faisabilité de la Résolution par Méthode Directe sur Machine Parallèle de Grands Systèmes Linéaires Symétriques Définis positifs pour des Problèmes d'Electromagnétisme avec Couplage Eléments Finis – Equations Intégrales.* – Rapport technique, C.E.A. / C.E.S.T.A, 2000. Rapport à mi-parcours.
- Roman (J.) et Others. – *STRATAGÈME : Une méthodologie de programmation parallèle pour les problèmes non structurés.* – Rapport technique n° 97-004, PRISM–UVSQ, 1997. 62 pages.

## Rapports internes et autres publications

- Amestoy (P.), Desprez (F.), Ramet (P.) et Roman (J.). – *Optimisation des communications et régulation de charge pour la résolution par méthode directe de grands systèmes linéaires creux.* In : *ACTES ICaRE'97, CNRS, Groupes thématiques de PRS Capa-Rumeur-Exec*, pp. 467–488. – 1997.
- Barth (D.) et Pellegrini (F.). – *Placement statique et émulation.* In : *Actes de ICaRE'97, CNRS, Groupes thématiques de PRS Capa-Rumeur-Exec*, pp. 405–426. – décembre 1997.
- Brandes (T.), Brégier (F.), Counilh (M.C.) et Roman (J.). – *Contribution to Better Handling of Irregular Problems in HPF2.* – Rapport technique n° 120598, Université Bordeaux I, LaBRI, mai 1998.
- Brandes (T.), Brégier (F.), Counilh (M.C.) et Roman (J.). – *Contribution to Better Handling of Irregular Problems in HPF2.* In : *Actes de COCA'98 (Journées sur le Calcul Out of core et Compilation Adaptative).* – Baie de Somme, France, septembre 1998.
- Brandes (T.), Chaumette (S.), Counilh (M.-C.), Darte (A.), Desprez (F.), Mignot (J.C.) et Roman (J.). – *HPFIT : A Set of Integrated Tools for the Parallelization of Applications Using High Performance Fortran.* – Rapport de Recherche n° 3059, INRIA, 1996. Thème 1 – Réseaux et Systèmes, Projet ReMaP.
- Brégier (F.). – *Contribution to Better Handling of Irregular Problems in HPF2.* – HUG'98 - HPF User Group Meeting, Porto, Portugal, juin 1998.
- Brégier (F.). – *Propositions de Gestion de l'Irrégularité avec HPF2.* In : *Conférence RenPar'10.* – Strasbourg, France, juin 1998. Prix IEEE Jeune Chercheur.
- Chaumette (S.). – *technosphere.* – <http://www.technosphere.tm.fr/>.
- Chaumette (S.). – *Comprendre WWW et créer ses propres services.* In : *XIVe congrès INFORSID.* – Bordeaux, Juin 1996.
- Chaumette (S.). – *Réalisation d'un outil intégré de portage et de mise au point pour la parallélisation d'applications industrielles.* In : *Journée GDR PRS-Exec.* – Janvier 1996.
- Chaumette (S.). – *Applicatifs Java.* In : *Compte rendu des 2ièmes journées réseau, JRES 97*, pp. 169–171. – La Rochelle, Octobre 1997. Organisé par le Comité réseau des universités, l'Unité réseau du CNRS et la participation de l'Université de la Rochelle.
- Chaumette (S.). – *A graph based framework for the manipulation of sparse and irregular data-structures.* – Rapport Interne n° 6211-97, Université Bordeaux I — LaBRI, 1997.
- Chaumette (S.). – *Programmation parallèle et distribuée en Java.* – Support de cours, 1998.
- Chaumette (S.). – *Du client serveur au 3-tiers.* In : *Assises du CSIER.* – Pompadour, Mai 1999.

- Chaumette (S.). – JEM : Expérimentation environMent for Java. *In : Actes de RenPar'11, 11ièmes Rencontres Francophones du Parallélisme.* – Juin 1999. Rennes.
- Chaumette (S.), Eyrolles (G.) et Miniussi (A.). – *Java in a nutshell – Edition Française.* – Editions O'Reilly International Thompson, 1996. Traduit de : *Java in a Nutshell*, Flanagan, D., O'Reilly & Associates Inc.
- Chaumette (S.) et Miniussi (A.). – *Branché Java.* – International Thomson Publishing, 1996. Traduit de : *Hooked on Java*, van Hoff, A., Shaio, S. and Starbuck, O., Addison-Wesley Publishing Company.
- Chaumette (S.) et Miniussi (A.). – Java, état des lieux et perspectives. *Tribunix*, vol. 12, n° 67, 1996, pp. 37–39.
- Chaumette (S.) et Miniussi (A.). – *Le langage Java.* – International Thomson Publishing, 1996. Traduit de : *The Java Programming Language*, Arnold, K. and Gosling, J., Addison-Wesley Publishing Company.
- Chaumette (S.) et Miniussi (A.). – Une présentation du langage Java. *Tribunix*, vol. 12, n° 64, 1996, pp. 19–22. – Aussi disponible dans la revue électronique VIRTUL de l'AFUU.
- Chaumette (S.) et Ugarte (A.). – Une modélisation du système de threads du langage Java. *In : Rencontre sur la modélisation et la vérification de systèmes répartis.* – CIRM, Centre International de Rencontres Mathématiques, Luminy, Decembre 1998.
- Chaumette (S.) et Ugarte (A.). – JEM : a different approach of heterogeneous parallel and distributed computing based on Java. – Third International Symposium on Object Oriented Parallel Environments, ISCOPE 99, December 1999. San Francisco, CA, USA. Poster.
- Chaumette (S.) et Vigneras (P.). – Active containers : an alternative approach to mobile agents systems. – Second International Symposium on Object Oriented Parallel Environments, ISCOPE 98, December 1998. Santa Fe, NM, USA. Poster.
- Goudin (D.), Hénon (P.), Pellegrini (F.), Ramet (P.) et Roman (J.). – Résolution parallèle de grands systèmes linéaires creux. *In : Actes des JSFT'2000, Monastir, Tunisie.* – octobre 2000.
- Goudin (D.), Hénon (P.), Pellegrini (F.), Ramet (P.), Roman (J.) et Pesque (J.-J.). – Algèbre Linéaire Creuse Hautes Performances : Application à la Mécanique des Structures. *In : Actes de iHPerf'2000, CNRS, Aussois, France.* – décembre 2000.
- Hénon (P.) et Ramet (P.). – Pastix : Un solveur parallèle direct pour des matrices creuses symétriques définies positives basé sur un ordonnancement statique performant et sur une gestion mémoire efficace. – 2001. Soumis à RenPar'2001.
- Latu (G.). – Solution parallèle pour un problème de dynamique des populations. *In : RenPar'11, 11<sup>ème</sup> Rencontres francophones du parallélisme des architectures et des systèmes (Rennes)*, pp. 121–126. – 1999.
- Laurent (C.). – *Un algorithme parallèle asynchrone pour l'étiquetage de composantes connexes avec une contrainte de taille.* – Rapport technique n° 1142-96, Université Bordeaux 1, LaBRI, Mai 1996.
- Laurent (C.). – Algorithme parallèle efficace pour l'étiquetage d'image. *In : Actes de RenPar'9*, pp. 49–52. – EPFL-Lausanne (Suisse), Mai 1997.
- Laurent (C.). – *Une approche parallèle à grain fin pour le filtrage morphologique par reconstruction.* – Rapport technique n° 1169-97, Université Bordeaux 1, LaBRI, Mars 1997.
- Laurent (C.) et Bouville (C.). – Algorithme parallèle efficace pour la reconstruction morphologique sur architecture mvp. *In : Actes des journées CORESA'97.* – Issy-Les-Moulineaux, Mars 1997.
- Michel (J.), Pellegrini (F.) et Roman (J.). – Techniques de partitionnement, de renumérotation, et de distribution de données pour la factorisation parallèle de Cholesky de matrices creuses. *In : Second séminaire sur les techniques nouvelles de traitement des matrices creuses pour les problèmes industriels, USTL, Lille.* – avril 1997.
- Pellegrini (F.). – Application de techniques de partition de graphes au calcul numérique : le projet SCOTCH. *In : Séminaire d'informatique, Faculté Polytechnique de Mons.* – décembre 1996.
- Pellegrini (F.). – Application de techniques de partition de graphes au calcul numérique : le projet SCOTCH. *In : Séminaire du LaBRI, Bordeaux.* – décembre 1996.
- Pellegrini (F.). – état de l'art en décomposition de domaines. *In : Séminaire CEA/EDF/ONERA sur la décomposition de domaines, Saclay.* – décembre 1996.
- Pellegrini (F.). – Méthodes et outils de partition de graphes appliqués au calcul scientifique. *In : Journée d'inauguration du calculateur parallèle SP-2, École des Mines de Paris, Fontainebleau.* – octobre 1996.
- Pellegrini (F.). – Application de techniques de partition de graphes au calcul numérique : le projet SCOTCH. *In : Séminaire INRIA, Sophia-Antipolis.* – janvier 1997.
- Pellegrini (F.). – Application de techniques de partition de graphes au calcul numérique : le projet SCOTCH. *In : Séminaire du LIP, E.N.S. Lyon.* – janvier 1997.

- Pellegrini (F.). – Recent advances in graph partitioning and the SCOTCH project. *In : Parasol workshop, CERFACS, Toulouse.* – septembre 1997.
- Pellegrini (F.). – SCOTCH 3.2 : Outil de partitionnement, de renumérotation de graphes et de placement statique. *In : Atelier CEA/EDF/ONERA – Génération et découpage de maillages pour le calcul parallèle, Saclay.* – janvier 1997.
- Pellegrini (F.). – Méthodes et outils parallèles de partitionnement de graphes. *In : Deuxième Atelier CEA/EDF/ONERA – Génération et découpage de maillages pour le calcul parallèle, ONERA, Châtillon.* – janvier 1998.
- Pellegrini (F.). – Partitionnement de graphes irréguliers pour la résolution de systèmes linéaires creux – application à un problème de mécanique des structures. *In : Séminaire du LIP, E.N.S. Lyon.* – novembre 1998.
- Pellegrini (F.). – Partitionnement de graphes irréguliers pour la résolution de systèmes linéaires creux – application à un code de mécanique des structures. *In : Séminaire EDF, Chatou.* – décembre 1999.
- Pellegrini (F.) et Roman (J.). – *Experimental Analysis of the Dual Recursive Bipartitioning Algorithm for Static Mapping.* – Rapport de Recherche n° 1138-96, LaBRI, Université Bordeaux I, septembre 1996. [http://www.labri.u-bordeaux.fr/~pelegrin/papers/scotch\\_expanalysis.ps.gz](http://www.labri.u-bordeaux.fr/~pelegrin/papers/scotch_expanalysis.ps.gz).
- Pellegrini (F.) et Roman (J.). – Application de techniques de partitionnement de graphes au placement statique et à la résolution parallèle de grands systèmes linéaires creux. *In : Actes de l'École d'Automne sur l'Informatique Parallèle et Distribuée, ParDi'99, Oujda.* – octobre 1999.
- Petiton (S.), Roman (J.) et Saad (Y.). – Bibliothèques scientifiques pour le calcul parallèle – Le cas des matrices creuses. *In : Séminaire IDRIS – CRI Orsay.* – juin 1997.
- Ramet (P.). – Calcul de la taille optimale des paquets pour les algorithmes macro-pipelines. *In : ACTES RenPar'8*, pp. 21–24. – 1996.
- Ramet (P.). – Calcul de la suite optimale de taille de paquets pour la factorisation de cholesky. *In : ACTES RenPar'9*, pp. 111–114. – 1997.
- Ugarte (A.). – Les systèmes multi-threadés : efficacité et sémantique dans un cadre de type technologie java et contribution à jem. – Journées PRO : Parallélisme, Répartition et Objets, Novembre 1999. Lille, action transversale commune aux PRC-GDR ALP et ARP.
- Vignéras (P.). – Agents mobiles, régulation de charge et mise au point dans un environnement java distribué. – Journées PRO : parallélisme, répartition et objets, Novembre 1999. Lille, action transversale commune aux PRC-GDR ALP et ARP.