

# Dossier de candidature à un poste de Maître de Conférence

Christophe Picard

Mars 2009

Mots clefs : Calcul parallèle, décomposition de domaine, Chimera, solveur rapides, grille de calcul, simulation numérique des écoulements fluides.

Pièces Jointes:

- déclaration de candidature
- note sur le rapport de soutenance

## Table des matières

1.Récapitulatif des enseignements.....	5
2.Projet d'enseignement.....	6
3.Résumé de thèse : A posteriori error estimator framework for PDE's.....	8
4.Publications.....	10
4.1.Publications dans des revues internationales avec comités de lecture ....	10
4.2.Proceedings dans des conférences avec comités de lecture .....	10
4.3.Conférences sans comités de lecture .....	11
4.4.Poster.....	11
4.5.Dépot de brevets .....	12
4.6.Récompenses.....	12
5.Travaux de recherche.....	13
6.Animations scientifique.....	15
7.Projet de recherche : Calcul Parallèle pour la biologie et la mécanique des fluides.....	16

Aperçu

# Christophe PICARD

Adresse personnelle : 12 Bis Rue Calixte Camelle - 33400 Talence

Adresse universitaire : MAB, 351, cours de la Libération - 33405 Talence Cedex

Tél : 05 40 00 60 77

Mail: [christophe.picard@math.u-bordeaux1.fr](mailto:christophe.picard@math.u-bordeaux1.fr)

Web : <http://www.math.u-bordeaux1.fr/~picard>

## ***1. Formation***

- |  |          |      |
|--|----------|------|
| 1. Doctorat d'informatique, sous la direction de Marc Garbey, Université de Houston « A posteriori error estimator framework for PDE's » | Houston  | 2007 |
| 2. MATMECA, école d'ingénieurs en Modélisation Mathématique et Mécanique, Bordeaux   | Bordeaux | 2003 |
| 3. DEA de Mathématique appliquées, Université de Bordeaux 1  | Bordeaux | 2003 |
| 4. Maîtrise de Mathématique, Université de Bordeaux 1  | Bordeaux | 2002 |
| 5. Licence de Mathématique, Université de Bordeaux 1   | Bordeaux | 2001 |
| 6. Classes préparatoires aux grandes écoles PCSI, PSI*, Lycée Camille Guerin   | Poitiers | 2000 |
| 7. Baccalauréat S, mention assez bien, Lycée Cordouan  | Royan    | 1997 |

## ***2. Fonctions Occupées et enseignements***

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. Post-Doctorant à l'INRIA Bordeaux Sud-Ouest, Équipe MC2                     | 2008-2009 |
| 2. Cours de Calcul parallèle pour les Master 2 MIMS , Université de Bordeaux 1 | 2008      |
| 3. Cours de Fortran 90 pour les Matmeca 1, Université de Bordeaux 1            | 2008      |
| 4. Moniteur, Département d'Informatique, Université de Houston                 | 2006-2007 |
| 5. Research Assistant , Département d'Informatique, Université de Houston      | 2004-2007 |

## ***3. Activités de Recherche***

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. Méthodes numériques parallèles pour l'étude des fluides complexes à l'aide des équations de Stokes  | 2008      |
| 2. Décomposition de domaine et calcul parallèle pour les Interactions fluides-structures, estimateurs d'erreurs, Département d'Informatique, Université de Houston                               | 2004-2007 |
| 3. Été 2006 : Développement d'outils parallèle pour les équations de Navier-Stokes 3D (Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California-Dr Petri Fast)                              | Été 2006  |
| 4. Domain Decomposition algorithm using Overture Framework. Modelling of deforming bubble using overlapping grid. (Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California-Dr Petri Fast.) | Été 2005  |

## ***4. Compétences***

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 1. Informatique | Calcul parallèle, MPI, OpenMP, Threading Building Blocks, C, C++, Fortran 90, Fortran 77, Java, Python |
| 2. Modélisation | Mécanique des solides, mécanique des fluides   |
| 3. Langage      | Français, Anglais (lu, écrit et parlé), Espagnol (débutant)  |

# Enseignement

# 1. Récapitulatif des enseignements

2008:

1. MSE1215-MMKO519 : Calcul scientifique haute performance - Master Ingénierie Mathématique, Statistique et Économique, UFR de mathématiques et Informatique, Université de Bordeaux 1 ( Cours: 30h, TD: 28h) .  
*L'objet de ce cours est de proposer aux élèves l'étude complète d'algorithmes parallèle pour les EDP. Après un rappel sur les architectures et les modes de programmation parallèles, on se concentre sur le calcul parallèle par échanges de messages. Les principales fonctions de l'interface de communication « MPI » sont présentées et utilisées sur des exemples simples, mis en œuvre en Fortran 90. La difficulté consiste à concilier l'équilibre de charge et structure des communications (simples et le moins volumineux possible) est abordée dans le détail. L'application numérique est faite sur la résolution de l'équation de la chaleur 2D sur un maillage structuré.*
2. MMK111 Langages , Matmeca 1, Matmeca (Cours: 21h).  
*L'objectif de ce cours est d'introduire les concepts essentiels de la programmation et de la compilation à partir du langage Fortran 90, langage incontournable pour le calcul scientifique. Les concepts généraux de la programmation utilisés en Fortran 90 sont mis en œuvre pratiquement au cours d'exercices en TD et par l'écriture, la compilation et l'exécution de programmes sur machine en TP. En particulier, la programmation des méthodes numériques vues dans le cours d'analyse numérique est étudié.*

2007:

1. Spring 2007: COSC 3362: Numerical Methods II. Instructor. Ranked Top 10 instructor in Computer Science Department. University of Houston (Cours: 40h).  
*Numerical solutions of problems in linear algebra; systems of linear equations, matrix inversion, and eigen-value problems.*
2. Fall 2007: COSC 3361: Numerical Methods I. Instructor. Ranked Top 10 instructor in Computer Science Department. University of Houston (Cours: 40h).  
*Solution of equations, polynomial approximations, initial value problems of ordinary differential equations.*

2006:

3. Fall 2006: COSC 3361: Numerical Methods I. Instructor. Ranked Top 10 instructor in Computer Science Department. University of Houston (Cours: 40h).  
*Solution of equations, polynomial approximations, initial value problems of ordinary differential equations.*

## **2. Projet d'enseignement**

Durant ces trois dernières années, d'une part à l'Université de Houston, et d'autre part à l'Université de Bordeaux 1 au sein de laquelle est intégrée l'école MATMECA, j'ai été amené à enseigner devant des élèves au profils très variés, des cours pour le calcul scientifique. Cette diversité des expériences m'a permis d'approfondir une approche pédagogique pour un même domaine et dans des niveaux différents. J'aspire à m'investir de manière plus importante dans cette approche.

J'aimerais également avoir la possibilité d'intervenir dans des disciplines connexes, et plus spécifiquement liées à mes thèmes de recherche. Les domaines qui s'y rattachent sont l'approximation numérique pour la mécanique des fluides, le calcul scientifique, et la programmation parallèle. D'autre part, ma formation me donne une culture variée dans le domaine des mathématiques appliquées et de l'informatique ce qui me permet de justifier de l'intérêt pratique des méthodes numériques développées.

Recherche



### **3. Résumé de thèse : A posteriori error estimator framework for PDE's**

Membres du comité:

- Marc Garbey, Department of Computer Science, University of Houston
- Thierry Colin, Département de Mathématiques appliquées, Université de Bordeaux 1
- Edgar Gabriel, Department of Computer Science, University of Houston
- Venkat Subramanian, Agile Developer, Inc.
- Shishir Shah, Department of Computer Science, University of Houston

This thesis focus is on the challenge of Solution Verification (SV) and accuracy assessment for computing complex Partial Differential Equation (PDE) model. Our main target applications are bio-heat transfer and blood flow simulation problems. However our long term goal is to provide a postprocessing package that can be attached to any existing numerical simulation package, for example widely used commercial codes such as ADINA, Ansys, Fluent, Numeca, Star-CD etc... and provide an a posteriori error estimate to their simulation. Important design decision are based on simulation done with these softwares. Unfortunately we know that to verify a numerical solution and provide a quantitative assessment on the numerical accuracy of the solution is difficult.

The problem of accuracy assessment is a necessary step that comes after the code verification step and before the code validation step to complete the global task of providing a reliable virtual experiment tool.

Our major goal in this thesis is to pursue our work on the design of a new method that offer a general framework to do solution verification efficiently. The standard approach in applied mathematics to handle the problem of solution verification is to work on the approximation theory of the PDE. For each specific PDE problem, the right Finite Element (FE) approximation may provide the correct a posteriori error estimate. Unfortunately this approach may require a complete rewriting of an existing CFD code based on Finite Volume (FV) for example and lack generality. Usually a posteriori estimators fails if the PDE solution is stiff or if the grid resolution is not adequate. Since grid refinement itself is based on a posteriori estimator, this pose an obvious problem. Large Reynolds number flow are common in many applications, not to mention turbulence problems. For those applications rigorous solution verification may not be achievable by the current state of the art of numerical analysis. If the PDE problem gets complicated, for example in the presence of fluid-structure interaction, or other complex multiphysic coupling, one faces the same problem. The general practice in scientific computing is to simulate PDEs for which applied mathematics neither numerical analysis guaranty the result.

For a number of fluid dynamic methods used in bioengineering such as the immersed boundary technique, or the chimera technique there is no solid theoretical framework that can provides such rigorous a posteriori estimators. For complex bioengineering problems, the fact that there exist a functional space framework to derive a posteriori estimate is more the exception than the generality.

Because of the time lag between the development of rigorous mathematical tools and the common scientific computing practice, our goal is to improve existing SV tools such as the convergence index of Roache et Al, and the Richardson Extrapolation (RE) technique, that are used daily by practitioner, by something more elaborate and reliable that can take both advantage of existing a posteriori estimators

when they are available, and new distributed computing tools since SV is computer intensive. Our method relies on four main ideas that are (1) the embedding of the problem of error estimation into an optimum design framework that can extract the best information from a set of two or three existing numerical results, (2) solving the problem as much as possible as a (non)linear set of discrete equations to produce a general tool, and renounce on using the specific approximation theory used to compute the PDE solution since we usually have no access to the detailed knowledge of the internal structure of the code that produces the numerical solution, (3) provide a framework that can reuse any a posteriori estimator if they are available (4) take advantage of distributed computing (or grid computing) to get a cost effective SV. We will give some example of the application of our method for some stiff heat transfer problems as well as with blood flow simulation.

## 4. Publications

### 4.1. Publications dans des revues internationales avec comités de lecture

- 2008
  - [1] M. Garbey and C. Picard. A code-independent technique for computational verification of fluid mechanics and heat transfer problems. *Acta Mechanica Sinica*, Volume 24, Number 4, August 2008 , pp. 387-397(11).

### 4.2. Proceedings dans des conférences avec comités de lecture

- 2008
  - [2] M. Garbey, M. Smaoui, N. De Brye, and C. Picard. Computational Tool for a Mini-Windmill study with SOFT. 18th International Conference on Domain Decomposition Methods. Jerusalem. January 12-17, 2008.
  - [3] M. Garbey, C. Picard, V. Hilford and S. Vadakattu. Toward an Intelligent Data and Visualization Desk for Endovascular Surgery. 23rd International Conference on computers and their applications. Cancun, Mexico. AP2137. April 9-11, 2008.
- 2007
  - [4] M. Garbey and C. Picard. Toward a General Solution Verification Method for Complex PDE Problem with Hands Off Coding. 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno, Nevada. AIAA-2007-1132. 8 - 11 Jan 2005.
  - [5] C. Picard and M. Garbey. A General Solution Verification Method for Complex Heat and Flow problem with Hands off Coding. The 5th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer (ICCHMT), Canmore, Alberta, Canada, June 18-22, 2007.
  - [6] C. Picard and M. Garbey. Parallel implementation for solution verification of CFD code. 16th International Conference on Software Engineering and Data Engineering. Las Vegas, Nv. July 9-11, 2007.
- 2005
  - [7] B.O. Dia, M.Garbey, C. Picard and R. Tran Son Tay. Heterogeneous Domain-Decomposition for Multi-Scale Problems. 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno, Nevada. AIAA-2005-1092. 10 - 13 Jan 2005.
  - [8] M. Garbey and C. Picard. A least square extrapolation method for heat transfer. 16th International Conference on Domain Decomposition Methods. New York City, January 12-15, 2005.
  - [9] C. Picard, M. Garbey and V. Subramanian. Mapping LSE Method on a Grid: Software Architecture and Performance Gain. University of Maryland, College Park Campus. May 24 - 27, 2005.

- [10] M. Garbey and C. Picard. A Least Square Extrapolation Method for the a priori Error Estimate of CFD and Heat transfer Problem. C.Soize, G.I.Schueller Editors. pp871-876. Structural Dynamic Eurodyn 2005.

#### 4.3. Conférences sans comités de lecture

- 2007
  - [11] C. Picard and M. Garbey. Solution Verification in CFD and Heat Transfer - Third Annual Workshop on Interdisciplinary Computational Science. Houston, Tx. March 22-24, 2007.
- 2006
  - [12] C. Picard, M. Garbey and V. Subramanian. Solution Verification-Thanks to Distributed Computing. Computational Science 2006 Workshop. March 3, 2006, Houston, Tx.
  - [13] M. Garbey and C. Picard. A Multilevel Method for Solution Verification. 17th International Conference on Domain Decomposition Methods. St. Wolfgang-Strobl, Austria, July 3-7 2006.
  - [14] C. Picard and M. Garbey. Extrapolation method and optimum design of solutions. 7th World Congress on Computational Mechanics. Los Angeles, Ca - July 16 - 22, 2006.
- 2005
  - [15] C. Picard, M. Garbey and V. Subramanian. Solution Verification on a Grid. Workshop on Parallel Computing. Houston, Tx. April 9, 2005.
  - [16] M. Garbey, C. Picard, and F. Pacull. Heterogeneous Domain Decomposition for multi-scale problems. Multiscale Simulation of Coupled Physical Problems. Santorini in Greece, May 25-28, 2005.
  - [17] M. Garbey, C. Picard and R. Tran-Son-Tay. A Numerical Approach for Multi-Scale Biomedical Problems. 2005 BMES Annual Fall Meeting. Baltimore, Md. Sep. 28-Oct. 1, 2005.
- 2004
  - [18] M. Garbey and C.Picard. Aitken like acceleration of the Schwarz algorithm for overset methods: application to Incompressible Navier Stokes flow - 7th Symposium on Overset Composite Grid and Solution Technology - Huntington Beach, California, USA. October 5-7, 2004.

#### 4.4. Poster

- 2007
  - [19] M. Smaoui, N. DeBrye, C. Picard and M. Garbey. Simulation, Optimization, Fabrication and Testing. Computer Science Open House. University of Houston. October 20, 2007.

- [20] G. Tran-Son-Tay, C. Picard, V. Hilford, M. Garbey. Intelligent Data and Visualization Desk Computer Science Open House. University of Houston. October 20, 2007.
- 2006
  - [21] C. Picard and M. Garbey. Solution Verification Method for Complex PDE. Computer Science Open House. U. of Houston. October 20 2007. April 8, 2006.
  - [22] C. Picard and P. Fast. PETSc as a Scalable Flow Computing Engine. Lawrence Livermore National Laboratory. August 12, 2006.
- 2005
  - [23] C. Picard and P. Fast. Domain Decomposition Methods and Deforming Boundary Simulation Using Overset Grids. August 11, 2005.

#### 4.5. Dépot de brevets

- 2007
  - [24] M. Garbey and C.Picard. Interactive Hyperwall for Visualization, Simulation, Gaming. University of Houston. Patent 2483-00501. Pending.

Abstract: The interactive Hyperwall is a combination of hardware and software that allows the manipulation of multidimensional data interactively in order to have a broader perspective of a given context. The visualization is performed by the mean of multiple monitors controlled by independent workstation. The salient feature of our invention is our innovative way to combine off the shelf hardware and public domain softwares to interactively drive the hyperwall with a SINGLE remote device.

#### 4.6. Récompenses

- 2007
  - Best poster award : C. Picard, M. Smaoui, and N. DeBrye. Simulation, Optimization, Fabrication and Testing. Computer Science Open House. University of Houston. October 20 2007.

## 5. Travaux de recherche

1. Domain decomposition - University of Houston, USA  
[7,16,17,18]

The objective was to develop a Navier-Stokes solver using fast matrix solver and Aitken-Schwarz method. The computational domain can be split into sub-domain of smaller size. Each of this subdomain can make use of different solver or numerical method to solve the Navier-Stokes equations. For instance, one domain will be solved using stream-vorticity formulation and an other one will be solved using the velocity-pressure formulation .

Fluid-structure interactions simulations are one of the target of this code, since heavy computation next to the structure interface a model/solver tailored for the complexity of the resolution, and the other part of the computational domain can use a more straightforward approach.

During this project, it was required to investigate different parallel technologies and to choose the most suitable for the computing environment available. The limitations of the network (Gigabit Ethernet) and performances of the clusters (Opteron cluster) drive us to choose the aforementioned methods.

2. Domain decomposition - Lawrence Livermore National Lab., Ca, USA – 3 months internship [23].

The goal of this internship was to evaluate the Aitken-Schwarz method for a potential integration in the code Overture. Overture is a PDE solver that is based on the Chimera approach. It is used to solve fluid, structure, M.H.D. Problems.

3. Navier-Stokes Solver - Lawrence Livermore National Lab., Ca, USA - 3 months internship [22]  
The goal of this internship was to develop a 3D Navier-Stokes code for the resolution of fluid-structure interaction problems. One of the requirement was to write the code from scratch using fast and parallel solver. The code was based on the PETSC library, and was using its multigrid solver.

4. IDV desk [24]

The Intelligent Data and Visualization (IDV) is a system which combines numerical simulation with high-definition visualization and large data storage into a single desk. These three sub-systems are interdependent. They are connected to the network to get external information from various imaging systems, and to provide data mining and data processing. The IDV desk is used in endovascular applications. The challenge is to provide to surgeons an interface to access all the data of interest at once on multiple displays. The interface must be friendly and very intuitive to the surgeon. We manage to have :

- (a) multiple displays and multiple processors controlled by a single device,
- (b) near real time parallel visualization of the parallel simulation results,
- (c) secure, reliable, and robust data management,
- (d) intuitive and friendly interface and workflow,
- (e) flexible and multi-modalities database.

5. *A posteriori* error estimate– University of Houston, USA  
[1,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,21]

The goal was to develop a new framework for the verification of solution of PDEs.

The method make abstraction of the discretization (finite volume, finite differences, finite elements, ...) and allows to verify different type of equations.

An extension to parabolic PDEs was developed : it allows the verification, for example, of models of shock or models of chemicals reactions.

Finally, we designed a new method that offers a general framework to do solution verification efficiently by processing the underlying set of discrete (non)-linear equations without using a priori information on the approximation theory framework that is applied to solve the PDE. A library was developed to compute the optimized extrapolation using the surface response methodology. Any 3D Navier-Stokes code can be plug in it to compute the optimum without knowledge of the internal structure of the code. This work has evolved by establishing the conditioning number of the problem in a reduced space that approximates the main feature of the numerical solution thanks to a sensitivity analysis. Overall our method produces an a posteriori error estimation in this reduced space of approximation. Standard benchmark problems showed that more information can be extracted than by using Richardson Extrapolation.

This work was performed using some custom grid environment where communications where managed using a three-tiers approach in order to obtain the best performances from our computing environment, and thus integrate parallel code into pseudo-grid environment.

## 6. Animations scientifique

2008

1. Fête de la Science. INRIA Sud-Ouest  
[http://www.u-bordeaux2.fr/1215180268492/0/fiche\\_\\_actualite](http://www.u-bordeaux2.fr/1215180268492/0/fiche__actualite)  
Animation d'un atelier en relation avec le calcul scientifique pour un public composé de collégiens et lycéens
2. Enigmath 2008  
<http://enigmath.org/>  
Questionnaire portant sur un thème mathématique précis et qui permet d'indiquer des thèmes de recherche liés.

2007

1. Computer Science Open House. University of Houston.  
[http://www.cs.uh.edu/news\\_articles/open-house.shtml](http://www.cs.uh.edu/news_articles/open-house.shtml). October 20, 2007.  
Animation d'un atelier de vulgarisation autour du calcul scientifique et de ses applications.

2006:

1. Computer Science Open House. University of Houston.  
[http://www.cs.uh.edu/events/2006\\_0408\\_openhouse.shtml](http://www.cs.uh.edu/events/2006_0408_openhouse.shtml). April 8, 2006.  
Animation d'un atelier de vulgarisation autour du calcul scientifique et de ses applications.
2. International Conference for High Performance Computing, Networking , Storage and Analysis.  
<http://sc06.supercomputing.org/>. Tampa, Florida. November 11-17, 2006. Participation au stand de Sun Microsystem avec le département de Computer Science, University of Houston.



# 7. Projet de recherche : Calcul Parallèle pour la biologie et la mécanique des fluides

Le but de ce projet est de développer des outils de calcul parallèle qui permettent de résoudre de gros problèmes de modélisation dans le cadre des fluides complexes et de la biologie. Ce projet est présenté en trois parties.

Dans la première partie, je décris le type de problèmes physique, biologique et mathématique à traiter. La seconde partie est consacrée à une description succincte des méthodes numériques utilisées. La dernière partie est le cœur du projet: le développement d'outils informatiques et d'algorithmes adaptées aux différents problèmes.

## 1. Position du problème

Dans ce contexte, les fluides complexes sont des fluides contenant des objets de taille mésoscopique dans une expérience macroscopique. La difficulté de la modélisation du problème réside dans l'interaction entre les structures macroscopiques modélisées et le fluide. Les modèles numériques utilisés font intervenir le couplage des équations de Navier-Stokes avec des équations de mécanique des milieux continus (équation des contraintes).

Sachant que l'un des buts est de simuler des systèmes biologiques complexes, les modèles utilisés se doivent de décrire des phénomènes dans des géométries complexes et en trois dimensions d'espace.

L'ensemble de ces exigences, c'est-à-dire couplage de modèles numériques, géométries complexes et simulation en 3D, requière le développement de méthodes de calculs performantes.

Dans le cadre des fluides complexes, le modèle utilisé pour simuler les écoulements est basé sur les équations de Navier-Stokes incompressible:

$$\partial_t U + U \cdot \nabla U - \nabla \cdot (\eta (\nabla U + \nabla U^T)) = \nabla P + F$$

où  $\eta$  est la viscosité (non uniforme) du ou des fluides étudiés,  $U$  est la vitesse du fluide,  $P$  est la pression dans l'écoulement et  $F$  est un terme source qui décrit les interactions extérieures.

Différents modèles décrivant l'évolution des interfaces peuvent ensuite être couplés aux équations de Navier-Stokes via le terme de force. Dans le cas d'écoulements multiphasiques ou de mélanges, l'évolution de l'interface est décrite à l'aide de méthodes level-set. Dans le cadre de la biologie,  $F$  peut décrire l'interaction avec une paroi ou une membrane (méthode de frontière immergée).

L'équation de Stokes est le facteur limitant dans ce type d'écoulement. En effet, la complexité numérique provient essentiellement des forts gradients de viscosité dans les écoulements complexes.

## 2. Méthodologie numérique

Pour résoudre ces équations, différentes méthodes numériques sont utilisées. Tout d'abord, les problèmes sont résolus sur maillages réguliers. Ce type de maillage permet de construire des opérateurs suffisamment simple et d'utiliser des solveurs rapides.

De plus, dans le cadre de la micro-fluidique, les géométries canaux se prêtent bien au découpage par des maillages réguliers.

Mais un maillage régulier ne permet pas de traiter toutes les géométries de façon efficace. Afin d'agrandir le spectre des problèmes que l'on peut résoudre, une méthode de pénalisation est utilisé pour

traiter les formes géométriques extérieures.

En contre partie, le nombre de mailles nécessaires pour résoudre le problème est largement accru. En effet, la méthode de pénalisation permet de résoudre des problèmes à géométries complexes dans des boîtes régulières en créant des espaces vides de matière mais qui nécessite un traitement numérique.

L'avantage de combiner la méthode de pénalisation avec des grilles volumes finies régulières est de pouvoir utiliser des méthodes parallèles efficaces. Par efficace, on sous-entend des méthodes qui ont un coût de communications qui reste négligeable par rapport au coût des calculs numériques et qui permettent d'augmenter le nombre de processeurs sans pour autant trop modifier les courbes de performances.

Ce que l'on propose ici c'est d'utiliser des méthodes de décomposition de domaine afin de répartir la charge entre les processeurs de façon équitable. Le travail portera plus précisément sur les méthodes d'accélération de Schwarz qui permettent de réduire le nombre d'itérations nécessaires afin d'arriver à convergence plus rapidement. Ce traitement parallèle permettra de traiter des problèmes numériques comportant plusieurs centaines de millions de mailles sur des machines parallèles dans des temps raisonnables. Cela nécessite de traiter des équations elliptiques à coefficient discontinu, avec second membre singulier.

### **3. Traitement informatique et algorithmique**

La régularité des structures de données permet d'exploiter des algorithmes performants pour la résolution des équations aux dérivées partielles. Parmi ces algorithmes, on trouve les méthodes multigrilles et les méthodes de transformées de Fourier rapide (FFT).

Il existe différentes bibliothèques qui implémentent ces différentes méthodes pour la résolution des EDP qui décrivent les problèmes exposés dans la première partie. Parmi les plus utilisées, on peut citer les bibliothèques BLAS, LAPACK, SPARSKIT, HYPRE et FFTW.

Bien que celles-ci est fait leur preuve sur les architectures mono-processeurs, leur mise en œuvre sur des architectures parallèles à l'aide des standards MPI et OpenMP présente des limites. De plus, il est assez difficile de combiner les différentes technologies parallèles.

L'apparition depuis quelques années de nouvelles architectures disponibles pour le calcul (GPU, processeurs multicore, processeur embarqué, processeur Cell) a mis encore plus à mal ces bibliothèques et les méthodes de résolution des EDP. La multiplication de processeurs spécialisés ne fait qu'exacerber les difficultés de ces algorithmes.

L'évolution des technologies nécessite la mise en place de méthodes parallèles hiérarchiques: multi-niveau et multi-fonction.

Le parallélisme multi-fonction permet de découpler l'algorithme en fonctions élémentaires qui vont être attribuées à des processeurs spécialisés (GPU, processeurs embarqués sur les cartes réseaux), qui permettraient dans les applications médicales par exemple de faire un traitement graphique et un traitement numérique simultanément. Il est nécessaire pour cela de développer des algorithmes dynamiques performants prenant en compte les architectures disponibles (CUDA [http://www.nvidia.com/object/cuda\\_home.html](http://www.nvidia.com/object/cuda_home.html)).

Le parallélisme multi-niveau consiste à développer des algorithmes qui prennent en compte les architectures des super-calculateurs. En effet, un nombre grandissant de ceux-ci sont hybrides, c'est-à-dire que chaque nœud d'un super-ordinateur est composé de plusieurs processeurs (multicore, cell) qui ont accès à la même mémoire. Afin d'obtenir le meilleur des ressources disponibles, il serait nécessaire de combiner les technologies OpenMP ou Threading Building Blocks (<http://www.threadingbuildingblocks.org>) et MPI.

Ces algorithmes doivent être également capable de s'adapter dynamiquement aux changements d'environnement liés aux pertes temporaires de certains éléments matériels ( réseau, accès disque). Enfin, les nouveaux algorithmes doivent prendre en compte l'évolution des bibliothèques d'algèbre linéaire (Plasma <http://icl.cs.utk.edu/plasma>).

Je me propose d'adapter ces techniques aux problèmes ci-dessus. Un des angles d'approches est par exemple d'utiliser la méthode itérative suivante pour la résolution d'équations elliptiques à coefficients discontinus de la forme

$$\nabla \cdot (\eta (\nabla U)) = f$$

où  $\eta = \eta_1$  sur une région  $\Omega_1$  et  $\eta = \eta_2$  sur une région  $\Omega_2$  avec  $\eta_1 > \eta_2$ . On calcule alors pour partout la solution de

$$\eta_1 \nabla^2 U_{k+1} = \eta_1 \nabla \cdot (\eta_1 - \eta_2) 1_{\Omega_2} (\nabla U_k) + f$$

A chaque étape, il suffit donc de résoudre un laplacien à coefficients constants pour laquelle les méthodes numériques ci-dessus s'appliquent particulièrement bien.

#### **4. Conclusion**

Ma formation en informatique à l'université de Houston et ma formation initiale en mathématique appliquée et en mécanique à l'université de Bordeaux 1 sont adaptées au travail dans une équipe de mathématiques appliquées qui devra tirer partie des nouvelles architectures machines et des travaux récents en parallélisme afin de développer leur modèles et d'affiner leurs résultats.

# Activités connexes

- Participation au comité PLAFRIM pour la conception d'une plateforme commune de calcul et d'expérimentation commune à INRIA Bordeaux Sud-Ouest, IMB, LABRI.
- Participation au comité de réflexion pour la réalisation et l'achat d'une plateforme de calcul pour remplacer M3PEC <http://www.m3pec.u-bordeaux1.fr/>
- Participation à l'atelier de collecte besoins outils collaboratifs au sein de l'INRIA.
- Participation à l'atelier de collecte outils de communication au sein de l'INRIA.