

ENSEIRB
Projet HiePACS (Labri) .

Candidat

Nom
AGULLO

Prénom
Emmanuel

**DOSSIER DE CANDIDATURE
AU CONCOURS EXTERNE
DE MAÎTRE DE CONFÉRENCE
SECTION 27
POUR L'ANNÉE 2009**

DÉPÔT DES CANDIDATURES

Le dossier de candidature est constitué de :

- Formulaire 1 : Activité d'enseignement
- Formulaire 2 : Projet d'enseignement
- Formulaire 3 : Elements marquants de l'activité de recherche
- Formulaire 4 : Programme de recherche
- Formulaire 5 : Curriculum vitae détaillé
- Formulaire 6 : Liste complète des publications

- Les rapports de thèse ou de doctorat ;
- Lettres de recommandation ;
- Copie des derniers titres et diplômes.

ACTIVITE D'ENSEIGNEMENT (MONITORAT)

J'ai effectué mon monitorat à l'École Normale Supérieure de Lyon au sein du Département d'Informatique dirigé par le Professeur Yves Robert (voir lettre de recommandation ci-jointe). C'est donc naturellement au sein de ce département que j'ai effectué la plupart de mon enseignement (160 heures équivalent TD). Afin de diversifier mon expérience d'enseignement, j'ai néanmoins obtenu la possibilité d'effectuer une partie de ce service (32 heures équivalent TD) à l'Université Lumière Lyon 2. Voici un descriptif de ces différents enseignements. Sauf mention contraire, les enseignements qui viennent ont été donnés au Département d'Informatique de l'École Normale Supérieure de Lyon.

- 2005-2006, semestre 1, 32h : *Technologies de l'information et de la communication pour l'éducation*, niveau L1, facultés de sociologie (16h) et d'anthropologie (16h) de l'Université Lumière Lyon 2. Il s'est agi d'apprendre à maîtriser certains outils informatiques de base tel le traitement de texte et les logiciels d'aide à la présentation (pouvant servir de support visuel à une présentation orale). J'ai hérité des sujets de TPs des années précédentes (basés sur la suite Microsoft), mais, en accord avec le responsable du module, j'en ai modifié une partie pour permettre aux étudiants les plus curieux de découvrir un autre environnement logiciel (la suite OpenOffice).
- 2005-2006, semestre 2, 32h : *Systèmes d'Exploitation*, niveau L3. Le responsable du cours était Eddy Caron. Le but était d'apprendre les mécanismes de base d'un système d'exploitation. L'accent était porté sur la pratique, et les étudiants ont écrit plusieurs fonctionnalités de base d'un système d'exploitation éducatif, *Nachos*. Le semestre a été articulé autour du rendu de 3 devoirs sur machine que les étudiants effectuaient en classe et terminaient chez eux.
- 2006-2007, semestre 1, 32h : *Algorithmes et Architectures Parallèles*, niveau M1. Le responsable du cours était Yves Robert. Le but était d'apprendre les différentes architectures parallèles et les algorithmes sous-jacents. Les TDs renforçaient les acquis théoriques du cours. Les TPs permettaient de les expérimenter. En particulier, un DM encadré sur machine a permis de développer un vrai code parallèle de résolution de systèmes linéaires tridiagonaux par blocs par la méthode parallèle de Jacobi par bloc. J'ai écrit le sujet du DM et le code séquentiel sous-jacent à cet effet (10 jours de préparation, en réécrivant notamment un code Fortran existant en C) que les étudiants devaient paralléliser en MPI. L'efficacité des codes des différents groupes était finalement comparée sur de véritables machines parallèles (au centre de calcul de l'IDRIS).
- 2006-2007, semestre 2, 32h : *Architectures, Systèmes et Réseaux*, niveau L3. Le responsable du cours était Eddy Caron. Le but était d'apprendre les mécanismes de base des systèmes d'exploitation, des architectures et des réseaux. Quelques TPs du cours de Système d'Exploitation de l'année 2005-2006 ont été repris, mais, principalement, nous avons remodelé l'organisation des séances dans le cadre d'une refonte du programme d'enseignement, en coordination avec Eddy Caron, responsable du cours. En particulier, nous avons proposé de nouveaux TDs/TPs de réseau sur machine. En fin de semestre, les étudiants étaient capables de cabler et d'administrer un réseau basique.
- 2007-2008, semestre 1, 32h : *Algorithmes et Architectures Parallèles*, niveau M1. Le responsable du cours était Anne Benoît. Bien que le responsable du cours ait changé, l'essentiel des TDs/TPs ont été repris sur l'année précédente. J'ai néanmoins réécrit le sujet de partiel en me basant sur une article de recherche sur les PRAM.
- 2007-2008, semestre 2, 32h : *Architectures, Systèmes et Réseaux*, niveau L3. Le responsable du cours était Éric Fleury. Bien qu'il s'agisse du même cours que celui de l'année 2006-2007, avec l'arrivée d'un nouveau responsable de cours, l'intégralité des TDs/TPs a été changée. En collaboration avec Raphaël Bolze, codeman, et sous la direction d'Éric Fleury, nous avons écrit et mis en place la plupart des TDs/TPs. Les étudiants ont exploré le cœur du noyau Linux auquel ils ont rajouté des appels systèmes de base et quelques modules. Ils ont testé leurs projets en mode utilisateur grâce à l'émulateur *Qemu*. Ensuite des TDs/TPs sur la manipulation de thread et les problèmes sous-jacents (synchronisation, deadlocks, ...) ont été étudiés. Enfin, les réseaux ont été étudiés en TD et TP.

Au-delà de ce service, je suis intervenu dans le cadre du cours de M2 de Jean-Yves L'Excellent *Algorithmes Numériques Parallèle* (1h). J'ai présenté une partie de mes travaux de thèse. J'ai beaucoup apprécié une

telle expérience où l'on présente les travaux dont on est l'initiateur. Toujours dans le cadre du Département Informatique de l'ÉNS Lyon, je me suis porté volontaire pour participer au jury d'*anglais scientifique* des étudiants de L3. J'étais en charge de valider l'aspect scientifique lors des présentations orales des étudiants. Enfin, j'ai été rapporteur d'une partie des rapports de fin de stage des étudiants de L3 informatique de l'ENS Lyon et membre du jury de soutenance correspondant.

Dans une perspective de vulgarisation de la recherche, je suis également intervenu dans le séminaire *Actualité des nombres et du calcul* au CRDP d'Amiens en février 2006. J'ai effectué une présentation de trois heures sur la thématique suivante (liée à mon domaine de recherche) : *Résolution de systèmes linéaires creux de grande taille pour des applications de simulation*.

PROJET D'ENSEIGNEMENT

Je peux bien entendu enseigner les disciplines que j'ai eu dans le cadre de mon monitorat :

- Systèmes d'exploitation ;
- Réseaux ;
- Algorithmique et algorithmique parallèle ;
- Technologies de l'information et de la communication pour l'éducation ;

Mes participations à des projets logiciels conséquents écrits dans différents langages me donnent la motivation d'enseigner également la programmation (Fortran, C/C++, Java, ...) ainsi que la conception logicielle (génie logiciel, gestion de projet, ...).

J'apprécierais également d'enseigner mes thématiques de recherche : calcul haute-performance, algèbre linéaire dense et creuse, calculs sur architectures multi-cœur et GPU. Enfin, je suis en mesure d'enseigner les autres thématiques étudiées dans les quipes de recherche dont j'ai fait partie : grille, ordonnancement, systèmes distribués, systèmes pair-à-pair.

De manière générale, j'aime autant étudier et enseigner les aspects théoriques (preuves de NP-complétude rédigées dans mon manuscrit de thèse ou enseignées en TDs en algorithmique parallèles) que les aspects pratiques et même bas niveau (développement d'une couche d'entrée-sortie bas niveau pour le logiciel MUMPS, TPs réseaux bas niveau, TPs sur le noyau Linux, TPs MPI, ...) et je suis largement ouvert à de nouveaux enseignements. J'ai eu la chance d'enseigner à plusieurs niveaux (L1 à M2) et plusieurs publics (informaticiens et non informaticiens) et j'espère avoir la possibilité de continuer d'effectuer des enseignements aussi variés. Enfin, il est à noter que la liste des matières pouvant être enseignées donnée ci-dessus est indicative et non limitative.

ELEMENTS MARQUANTS DE L'ACTIVITE DE RECHERCHE

Nom: AGULLO Prénom: Emmanuel

Equipes Projets d'affectation souhaitées/Assignment wishes :

1. Résumé de l'activité de recherche

Facotorisation hors-mémoire (out-of-core) de matrices creuses de grande taille

Les solveurs creux directs sont très utilisés pour la simulation numérique de nombreux problèmes. Du fait de leur besoin mémoire conséquent, le recours à des solveurs *hors-mémoire* (*out-of-core*) est nécessaire pour résoudre des problèmes à grande échelle (plusieurs millions d'équations) : le disque est utilisé pour étendre la capacité de la mémoire centrale. Dans un cadre hors-mémoire, le volume d'entrée-sortie (quantité de données copiées entre la mémoire centrale et les disques) est critique. Dans le cadre de ma thèse, nous avons travaillé sur la réduction de ce volume dans le cas de la méthode multifrontale séquentielle classique en proposant différents algorithmes optimaux ou heuristiques en fonction du schéma d'assemblage de données temporaires (appelées blocs de contribution). Nous avons ensuite tendu ce travail au cas de la méthode multifrontale flexible, où les matrices frontales peuvent être pré-allouées. Nous avons montré que le problème de décision associé à la minimisation du volume d'entrée-sortie dans ce cadre est NP-complet et nous avons proposé une heuristique efficace.

Un séjour de 6 mois au Lawrence Berkeley National Laboratory sous la direction de Xiaoye S. Li et Esmond Ng a permis de poursuivre l'étude sur une autre classe de méthode : les méthodes supernodales. Dans le cadre de la méthode *left-looking* (une méthode supernodale particulière), le volume d'entrées/sorties dépend du partitionnement initial de l'arbre des tâches de la factorisation. Nous avons écrit un prototype d'une extension hors-mémoire du logiciel *SuperLU*. Nous avons également montré que le problème de décision associé à la recherche d'un partitionnement minimisant le volume d'entrée-sortie est NP-complet dans le cas de la méthode *left-looking*. Nous avons ensuite proposé une heuristique efficace pour réduire ce volume. Le volume d'entrée-sortie peut être davantage réduit grâce à l'emploi d'une méthode supernodale hybride *left-looking/right-looking*. Nous avons proposé un nouvel algorithme dont nous avons montré l'optimalité dans ce cadre.

Nous avons également mis au point un solveur multifrontal hors-mémoire parallèle robuste basé sur le logiciel *MUMPS* dans le but de résoudre des systèmes linéaires creux de très grande taille (jusqu'à plusieurs millions d'équations et centaines de millions de valeurs non nulles). Ce solveur gère hors-mémoire les facteurs (mais pas les données temporaires). Nous avons montré que le choix (et la qualité) des mécanismes d'entrée-sortie bas-niveau ont un impact sur la performance globale de la factorisation. Nous avons souligné différents travers des mécanismes d'entrée-sortie généralement utilisés dans les autres solveurs directs hors-mémoire (qui en général utilisent implicitement les tampons système) : non reproductibilité des résultats, augmentation du temps de factorisation, surcoût mémoire pouvant engendrer une activité de pagination dégradant les performances. Nous avons alors proposé une couche bas-niveau robuste et efficace qui évite les perturbations introduites par les tampons système tout en permettant de maintenir une performance élevée de manière consistante. Basé sur des entrées/sorties qui court-circuitent les tampons système, appelées entrées/sorties directes, ce mécanisme évite en effet les écueils possibles de la gestion par le système de ses propres tampons.

Afin de réduire encore davantage les besoins mémoire, il est possible de traiter de surcroît les données temporaires hors-mémoire. Nous avons proposé des modèles algorithmiques pour résoudre ce problème. Nous avons étudié leur potentiel en terme de besoin mémoire et de volume d'entrée/sortie dans le cas séquentiel ainsi que leur limite dans le cas parallèle.

Nous avons enfin développé un nouvel ordonnanceur parallèle dont le but est de traiter des problèmes de taille la plus grande possible (plusieurs dizaines de millions d'équations). Nous sommes en train de le valider et de l'utiliser pour mener une étude expérimentale venant clore les travaux de thèse.

Algèbre linéaire dense pour architectures multi-cœurs

En tant que Sr. Research Associate à l'Innovative Computing Laboratory¹, sous la direction du Professeur Jack Dongarra à l'University of Tennessee Knoxville, j'ai entamé un travail de recherche sur les algorithmes d'algèbre linéaire dense pour les machines multi-cœurs, dans le contexte du projet PLASMA². J'ai intégré le projet en janvier 2009. Je travaille actuellement sur l'expérimentation et la comparaison de différents codes de factorisation dense sur ce type d'architecture. Je devrais ensuite participer au développement d'un ordonnanceur dynamique et à son intégration dans PLASMA.

2. Publications

Voici la liste des 3 publications jugées les plus importantes ainsi qu'une brève description de leur contenu et de leur portée :

- [2] Description des algorithmes implémentées dans l'extension out-of-core de MUMPS et étude expérimentale démontrant l'importance des couches bas-niveau d'entrées-sorties.
- [3] Présentation d'algorithmes de minimisation du volume d'entrée-sortie pour la méthode multifrontale séquentielle.
- [8] Présentation d'un prototype d'une méthode parallèle de résolution de systèmes linéaires creux passant à l'échelle.

3. Developpements technologiques : Description de Logiciel ou Autre Réalisation

J'ai participé au développement d'une extension hors-mémoire (out-of-core) de deux logiciels de résolution de systèmes linéaires creux : MUMPS³ et SuperLU⁴.

1. Description courte du logiciel ou de la réalisation

1. MUMPS est un logiciel de résolution de systèmes linéaires creux parallèle asynchrone. Il implémente une méthode directe particulière, la méthode multifrontale.
2. SuperLU est un autre logiciel de résolution de systèmes linéaires creux. Il implémente une méthode supernodale ; j'ai travaillé sur la version séquentielle.

2. Contribution du candidat

1. Les auteurs principaux de MUMPS sont Patrick Amestoy, Professeur à l'INPT-ENSEEIH, IRIT, Toulouse ; Alfredo Buttari, chargé de recherche CNRS à l'IRIT, Toulouse ; Abdou Guermouche, maître de conférences au LABRI, Bordeaux ; Jean-Yves L'Excellent, chargé de recherche INRIA au LIP, ENS Lyon ; Bora Ucar, chargé de recherche CNRS au LIP, ENS Lyon. J'ai participé au développement des couches bas-niveau d'entrées/sorties, à la réorganisation de la séquence d'accès aux données ainsi qu'à la réécriture des ordonnanceurs. J'ai enfin écrit plusieurs simulateurs pour étudier différents comportements mémoire possibles. Le code fait 200.000 lignes. J'ai dû en écrire 10.000. La difficulté n'a pas tant été le nombre de lignes écrites que leur intégration dans un code complexe.

¹<http://icl.cs.utk.edu/>

²<http://icl.cs.utk.edu/plasma/>

³<http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS>

⁴<http://crd.lbl.gov/~xiaoye/SuperLU>

2. L’auteur principal de SuperLU est X. S. Li, du Lawrence Berkeley National Laboratory. Le code fait 40.000 lignes. Ma contribution a été de développer une extension hors-mémoire ainsi que de réorganiser tout le code afin de minimiser la quantité d’accès disque. J’ai dû maîtriser l’ensemble du code afin de réorganiser l’ordonnancement des calculs et minimiser le volume de données accédées sur les disques.

3. Originalité et difficulté

MUMPS et SuperLU, dans leur version parallèle distribuée asynchrone sont parmi les logiciels de résolution de systèmes linéaires creux les plus distribués et les plus utilisés dans les mondes académiques et industriels. Cela a donc été une très bonne opportunité de faire le lien entre ces deux logiciels concurrents. Dans le cas séquentiel, d’autres solveurs hors-mémoire existent : Sivan Toledo (Tel-Aviv University / MIT), référence dans le domaine des solveurs creux hors-mémoire a rapporté ma thèse (cf. rapport ci-joint).

1. L’extension hors-mémoire de MUMPS est le premier solveur creux parallèle asynchrone distribué hors-mémoire. Un résultat original est que nous avons pu conserver une factorisation aussi rapide dans le cas hors-mémoire (out-of-core) que dans le cas d’une factorisation en mémoire (in-core). En effet, nous avons mis en place une couche bas-niveau qui permet de recouvrir entièrement les accès disques par les calculs.
2. En général, du fait de leur complexité, les codes recherche hors-mémoire sont réécrits entièrement afin de pouvoir rapidement illustrer un aspect algorithmique, quitte à ne pas implémenter certaines fonctionnalités (schémas complexes de pivotage numérique, optimisation des accès au cache, ...). L’originalité de l’extension hors-mémoire de SuperLU est de minimiser le volume d’entrées/sorties tout en conservant un accès bloqué aux données (pour limiter les défauts de cache) ainsi que l’ensemble des fonctionnalités présentes dans SuperLU. Cela a nécessité de repenser et réorganiser l’ensemble d’un code complexe. L’intérêt est de pouvoir à terme distribuer notre code au sein de la bibliothèque SuperLU et d’impacter ainsi un grand nombre d’utilisateurs (SuperLU est le logiciel le plus téléchargé du Department Of Energy).

4. Validation et impact

1. L’extension hors-mémoire de MUMPS a été intensivement testée et validée et fait maintenant partie du package MUMPS qui a plus d’un millier d’utilisateurs académiques et industriels. Parmi les utilisateurs intensifs de la fonctionnalité hors-mémoire, nous pouvons citer : EADS, ESI Group et Samtech (cf. Lettre de Stéphane Pralet). Cela leur a permis de traiter des problèmes de taille considérable.
2. L’extension hors-mémoire de SuperLU est au stade de prototype. Elle doit être davantage validée avant d’être distribué.

5. Diffusion

L’extension hors-mémoire de MUMPS est désormais distribuée dans la librairie MUMPS, en tant que logiciel domaine public. J’ai galemment participé à la documentation de la fonctionnalité hors-mémoire. Finalement, cette documentation a été intégrée dans le guide utilisateur⁵ de la librairie MUMPS. Je suis également intervenu lors de la journée des utilisateurs MUMPS⁶ pour présenter la fonctionnalité hors-mémoire, alors nouvelle, du logiciel.

⁵http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS/doc/userguide_4.8.4.pdf

⁶http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS/index.php?page=users_day

4. Transferts technologiques résultant de la recherche

1. Objet du transfert

Le développement de l'extension hors-mémoire de MUMPS a été guidé par les besoins applicatifs. Un contrat industriel autour de la fonctionnalité de résolution hors-mémoire a été noué avec la société Samtech⁷. Le livrable a été un logiciel abouti.

2. Modalités

Il s'est agi d'un contrat de recherche collaborative : nous avons développé la fonctionnalité de résolution hors-mémoire tandis que Samtech nous a fourni des matrices de très grande taille. Samtech a également participé à la validation du code en nous donnant des retours sur des versions préliminaires. Un contrat de 24 mois et 20.000 euros a été signé.

⁷<http://www.samcef.com/>

Formulaire 4
PROGRAMME DE RECHERCHE

Nom: AGULLO Prénom: Emmanuel

Equipe de recherche : HiePACS (Labri)

Intitulé du programme de recherche : ALGÈBRE LINÉAIRE POUR LES CALCULATEURS PETA-EXA SCALE

L'émergence récente des architectures multi-cœurs marque le début d'une marche forcée vers une nouvelle ère pour le calcul haute-performance, dans laquelle les applications doivent être capables d'exploiter le parallélisme et l'hétérogénéité à une échelle sans précédent. Cela confronte la communauté du calcul scientifique à un challenge et une opportunité uniques. Le challenge vient de l'inadéquation des bibliothèques logicielles existantes - sur lesquelles reposent les applications de calcul scientifique - à ces nouvelles architectures - centaines de milliers de nœuds, un million voire davantage de cœurs, quantité de mémoire par cœur réduite, bande-passante mémoire limitée. Il est donc nécessaire de trouver de nouvelles méthodes et des algorithmes qui parviennent à exploiter les différents niveaux de parallélisme ainsi que la complexité d'ordonnancement sous-jacente. L'opportunité est de résoudre des problèmes de plusieurs ordres de grandeur supérieurs que ne le permet l'offre matérielle et logicielle actuelle, et ce avec une performance d'autant plus accrue.

Algorithmes et bibliothèques pour les processeurs multi-cœurs

L'approche de la limite physique de l'accroissement de la fréquence des processeurs - *power wall* - incite les fondeurs à développer des processeurs dont le nombre de cœurs ne cesse de croître. Ce type d'architecture est en passe de devenir un standard *de facto* aussi bien sur les machines grand public que sur les super-calculateurs. L'exploration d'algorithmes spécifiques aux processeurs multi-cœurs est donc à la fois :

- *essentielle* au développement de bibliothèques scientifiques efficaces pour les machines grand public de demain ;
- et *nécessaire* en tant que préalable à la mise au point d'algorithmes plus complexes pour les futures générations de super-calculateurs composés de grappes de processeurs multi-cœurs.

Je m'intéresserai plus particulièrement aux trois axes de recherche suivants :

1. *Trouver de nouveaux algorithmes hautement parallélisables.* Un travail préliminaire dans PLASMA⁸ a montré qu'un nombre conséquent d'algorithmes d'algèbre linéaire dense peuvent être exprimés comme des algorithmes par pavés (tile algorithms). Cette approche a été récemment appliquée aux factorisations denses de Cholesky, LU et QR en améliorant sensiblement la performance de ces opérations sur les processeurs multi-cœurs. Démontrer l'applicabilité de ce concept à une gamme plus large d'algorithmes d'algèbre linéaire est un problème ouvert. En premier lieu, en collaboration avec l'Université du Tennessee et dans le cadre du projet PLASMA, il s'agira d'étudier dans ce contexte les décompositions denses en valeurs singulières et en valeurs propres, comme par exemple les réductions bi-diagonale, tri-diagonale ou Hessenberg. Nous travaillerons en collaboration avec le projet Runtime pour les aspects support d'exécution ainsi qu'avec des partenaires académiques (D. Komatitsch du projet INRIA Magique3D) et industriels (TOTAL) avec qui les membres d'HiePACS ont des travaux en cours ou programmés sur les accélérateurs de calcul (GPGPU, Cell).
2. *Développer une abstraction pour exprimer le parallélisme.* En partant des concepts bien établis d'architectures de flux de données, en collaboration avec l'Université du Tennessee à Knoxville et dans le cadre du projet PLASMA, nous participerons au développement d'abstractions haut-niveau (comme

⁸<http://icl.cs.utk.edu/plasma/>

le sont les directives OpenMP ou SMPs) et indépendantes des langages pour décrire les algorithmes en rendant explicites les dépendances des tâches et en facilitant leur ordonnancement sur les systèmes multi-cœurs.

3. *Implémenter des méthodes d'ordonnancement dynamique de tâches et de synchronisation pour les systèmes multi-cœurs.* Les architectures multi-cœurs introduisent de l'hétérogénéité au sein même des puces. Nous étudierons la mise au point d'un ordonnanceur dynamique des tâches couplé à un mécanisme léger de synchronisation. Le but n'est pas de réinventer un tel système mais d'appliquer les techniques existantes les plus adaptées aux mécanismes d'ordonnancement où le graphe de tâches évolue au cours de l'exécution.

Algorithmes et bibliothèques pour les calculateurs Peta-Exa Scale

Les super-calculateurs de nouvelle génération sont des grappes de multi-cœurs. Si cette technologie permet déjà d'atteindre 1 Petaflops (par seconde) sur une opération précise (Linpack), nul n'a encore soutenu une telle puissance de calcul sur une application non triviale de simulation. C'est l'objectif de la création d'un laboratoire commun entre l'INRIA (initialement le projet Grand Large) et l'Université de l'Illinois à Urbana Champaign dans le cadre de la construction en 2011 de la machine Blue Waters. La réussite de ce défi passe entre autres par la mise au point de bibliothèques d'algèbre linéaire spécifiques. Cela nécessitera de pleinement exploiter les capacités des processeurs multi-cœurs localement tout en gérant globalement un système à mémoire distribuée.

1. *Mettre au point des ordonnanceurs passant à l'échelle.* Nous allons poursuivre les travaux d'ordonnement afin de développer des techniques permettant la prise en charge d'un parallélisme massif. Outre le niveau accru d'hétérogénéité, la problématique de l'ordonnement de DAG représente plusieurs challenges, en particulier dans le contexte d'un environnement à mémoire distribuée. L'ordonnement dynamique étant un problème difficile en général, un compromis entre une réutilisation maximale des données et une traversée agressive du DAG le long du chemin critique devra être trouvé. L'ordonnement est un des sujets étudiés aussi dans Grand Large dans le cadre du projet Digiteo X-Scale-NL.
2. *Participer au développement des solveurs creux hybrides hiérarchiques.* Les solveurs hybrides hiérarchiques ont un potentiel considérable pour passer à l'échelle sur un très grand nombre de cœurs tout en conservant un bon comportement numérique. Ils représentent ainsi des candidats naturels au calcul Peta-Exa Scale. Nous étudierons le comportement algorithmique de deux types de méthodes hybrides sur les architectures Peta-Exa Scale :
 - *L'approche par décomposition de domaine.* Notre cadre applicatif sera le solveur direct/itératif A2S2, qui effectue une factorisation creuse directe sur chaque domaine et applique l'algorithme itératif de Schwarz Additif sur le complément de Schur. Ce solveur a été développé dans le cadre de la thèse d'Azzam Haidar sous la direction de Luc Giraud, membres du projet HiePACS.
 - *L'approche par résolution multigrille/direct.* Nous nous appuierons sur les résultats issus de la collaboration de l'INRIA (projet HiePACS) et du CEA-CESTA dans le cadre de la thèse de Mathieu Chanaud.

Robustesse algorithmique et logicielle sur les calculateurs Peta-Exa Scale

La plupart des algorithmes parallèles de factorisation matricielle ont été pensés dans le but de minimiser le temps d'exécution des applications. La robustesse était naturelle pour les algorithmes numériquement stables (*e.g.*, Cholesky) tandis que différentes techniques de pivotage assuraient en pratique la robustesse des algorithmes numériquement instables (*e.g.*, LU). Depuis, les applicatifs tentent de résoudre des problèmes de taille toujours plus grande, requérant des capacités mémoire très importantes distribuées sur de nombreux cœurs. Dans ces conditions, la robustesse est sujette à deux conditions supplémentaires :

1. *Faire scaler la mémoire avec le nombre de cœurs.* Pour exploiter idéalement la mémoire, un algorithme parallèle exécuté sur p cœurs devrait utiliser une quantité de mémoire (par cœur) deux fois moindre que lorsqu'il est exécuté sur $p/2$ cœurs. Un travail préliminaire, réalisé au cours de ma thèse, a permis

de montrer que l'algorithme de mapping classique - *proportional mapping* - utilisé pour les méthodes de factorisations creuses parallèles ne permet pas d'atteindre cet objectif : la quantité de mémoire utilisée sur chaque cœur peut parfois rapidement atteindre une borne inférieure non négligeable lorsque le nombre de cœurs augmente. Nous avons développé un prototype d'un algorithme capable d'exploiter au mieux la mémoire et de maximiser l'efficacité en fonction de la mémoire disponible par cœur. Ce prototype est basé sur le logiciel MUMPS - supporté entre autres par l'INRIA - et doit encore être validé sur un nombre plus conséquent de matrices. Nous étudierons également le comportement mémoire des solveurs hybrides : nous tâcherons de montrer que, grâce à leur encombrement mémoire "quasi-linéaire" avec le nombre d'inconnues, ils représentent une méthode de choix pour le passage à l'échelle qu'exige par le calcul Peta-Exa Scale.

2. *Tolérer les pannes.* La haute probabilité de panne d'un cœur au cours d'une exécution sur plusieurs centaines de milliers de cœurs rend nécessaire la tolérance aux pannes. Une approche consiste à utiliser une couche logicielle intermédiaire prenant elle-même en charge les pannes éventuelles de manière transparente pour l'application, comme par exemple MPI-FT. Il est également possible d'anticiper les pannes au niveau applicatif afin d'exploiter au mieux la connaissance du déroulement des calculs pour minimiser le sur-coût. En particulier, les applications hors-mémoire (*out-of-core*) représentent une aubaine pour la gestion explicite des pannes : si un cœur tombe en panne, le calcul peut reprendre à partir des données sauvegardées sur disque. Les travaux effectués au cours de ma thèse sur la résolution hors-mémoire de systèmes linéaires creux de grande taille pourront être prolongés afin d'étudier leur capacité à la tolérance aux pannes. Un objectif ambitieux serait de fournir une version tolérante aux pannes des bibliothèques MUMPS (dont A. Guermouche du projet HiePACS est co-développeur) et SuperLU. Nous développerons des mécanismes d'itération asynchrone ainsi que des points de reprise algorithmique, propres aux méthodes de Krylov, afin d'assurer la tolérance aux pannes des solveurs hybrides lors de la phase itérative.

Formulaire 5

Prénom : Emmanuel

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

- Sexe : M

Sexe : M

- Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

- Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

Sexe : M

- [3] Présentation d’algorithmes de minimisation du volume d’entrée-sortie pour la méthode multifrontale séquentielle.
- [8] Présentation d’un prototype d’une méthode parallèle de résolution de systèmes linéaires creux passant à l’échelle.

4. Développements technologiques : Description de Logiciel ou Autre Réalisation

- Extension hors-mémoire de la bibliothèque MUMPS (supporté par l’INRIA) : ajout d’environ 10.000 lignes de code dans un code complexe de 200.000 lignes. Délivrable : logiciel robuste.
- Extension hors-mémoire de la version séquentielle de la bibliothèque SuperLU (supporté par le Department Of Energy) : refactorisation de 40.000 lignes de code. Statut : prototype.

5. Transferts technologiques résultant de la recherche

Contrat industriel avec Samtech sur la résolution de systèmes linéaires creux hors-mémoire. Délivrable : logiciel abouti permettant de traiter des problèmes à plus grande échelle. Cf. lettre de Stéphane Pralet.

6. Expérience d’encadrement

Dans le cadre du projet PLASMA, en binôme avec Jakub Kurzak, nous allons superviser un *graduate student* pour l’intégration d’un outil de visualisation de traces à la bibliothèque d’algèbre linéaire PLASMA.

7. Enseignement

- **École Normale Supérieure de Lyon**, *Lyon, France*, Architectures, Systèmes et Réseaux - avancé, 32 h - L3 - Printemps 2008
- **École Normale Supérieure de Lyon**, *Lyon, France*, Algorithmes et Architectures Parallèles, 32 h - M1 - Automne 2007
- **École Normale Supérieure de Lyon**, *Lyon, France*, Architectures, Systèmes et Réseaux - avancé, 32 h - L3 - Printemps 2007
- **École Normale Supérieure de Lyon**, *Lyon, France*, Algorithmes et Architectures Parallèles, 32 h - M1 - Automne 2006
- **École Normale Supérieure de Lyon**, *Lyon, France*, Systèmes d’exploitation, systèmes d’exploitation distribués, 32 h - L3 - Printemps 2006
- **Université Lumière Lyon 2**, *Lyon, France*, Technologies de l’Information et de la Communication, 32 h - L1 - Automne 2005

8. Diffusion de l’information scientifique

- Vulgarisation de la thématique de recherche : intervention de 3 heures au CRDP d’Amiens auprès des professeurs de mathématiques (enseignants du secondaire).
- L’extension hors-mémoire de MUMPS est distribuée dans la librairie MUMPS, en tant que logiciel domaine public. J’ai également participé à la documentation de la fonctionnalité hors-mémoire. Finalement, cette documentation a été intégrée dans le guide utilisateur¹² de la librairie MUMPS.
- Présentation d’une contribution logicielle issue de ma thèse (extension hors-mémoire de MUMPS) lors de la journée des utilisateurs MUMPS¹³.

¹²http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS/doc/userguide_4.8.4.pdf

¹³http://graal.ens-lyon.fr/MUMPS/index.php?page=users_day

9. Collaborations, mobilité

- **Postdoctorat à l’Innovative Computing Laboratory, University of Tennessee, USA, Janvier 2009 -** Sr. Research Associate à l’Innovative Computing Laboratory¹⁴ sous la direction de Jack Dongarra à l’University of Tennessee Knoxville. Ma recherche se concentre sur les algorithmes d’algèbre linéaire dense pour les machines multi-coeurs, dans le contexte du projet PLASMA.
- **Visite de six mois au Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, Juin 2007 - Novembre 2007.** Visite de six mois au Lawrence Berkeley National Laboratory¹⁵ dans l’équipe Computational Research Division sous la direction de X. S. Li et E. Ng, supportée par l’INRIA (programme Explorateur) et la région Rhône-Alpes (programme Explora’Doc). J’ai travaillé sur les méthodes supernodales non-symétriques out-of-core pour la résolution de systèmes linéaires creux de grande taille. Un prototype d’une extension out-of-core de la version séquentielle du logiciel SuperLU a été mis au point. Ce travail a donné lieu à un chapitre de thèse que nous sommes en train d’extraire afin de le publier dans un journal.
- **Stage de trois mois à l’École Polytechnique de Montréal, Canada, juin - septembre 2004.** Stage d’ingénieur au sein du laboratoire de recherche MADITUC¹⁶ dans le domaine de l’informatique appliquée aux transports. J’ai développé une logiciel à but pédagogique (destiné aux étudiants) permettant d’analyser et de convertir différents formats de Systèmes d’Information Géographique. J’ai exposé les résultats de mes travaux devant la classe de maîtrise qui allait ensuite utiliser le logiciel développé.

10. Responsabilités collectives

- Membre du conseil de laboratoire, LIP, ENS Lyon ;
- responsable du groupe de travail de l’équipe-projet GRAAL, LIP, ENS Lyon¹⁷ ;
- membre du comité de programme du workshop *Scheduling for Large-Scale Systems*, Knoxville, TN, USA, 13-15 Mai 2009¹⁸ ;
- reviewer pour le journal *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)* ;
- rapporteur de stage de L3 informatique à l’ENS Lyon et membre du jury de stage ;
- membre du jury d’anglais de L3 informatique (validation de l’aspect scientifique des exposés) de l’ENS Lyon.

¹⁴<http://icl.cs.utk.edu/>

¹⁵<http://www.lbl.gov/>

¹⁶<http://www.transport.polymtl.ca/>

¹⁷<http://graal.ens-lyon.fr/~eagullo/GDT/>

¹⁸<http://graal.ens-lyon.fr/~abenoit/knoxville/>

LISTE COMPLÈTE DES PUBLICATIONS

Nom: AGULLO Prénom: Emmanuel

Thèse de doctorat

- [1] Emmanuel Agullo. *On the Out-of-core Factorization of Large Sparse Matrices*. PhD thesis, École Normale Supérieure de Lyon. Submitted October 2008.

Revue internationale

- [2] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. A parallel out-of-core multifrontal method : Storage of factors on disk and analysis of models for an out-of-core active memory. *Parallel Computing, Special Issue on Parallel Matrix Algorithms*, 34(6-8) :296–317, 2008.

Revue internationale (soumis)

- [3] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. On reducing the I/O volume in sparse out-of-core multifrontal methods. *SIAM Journal on Scientific Computing*, Submitted, 2008.

Conférences internationales avec actes et comité de lecture

- [4] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. A preliminary out-of-core extension of a parallel multifrontal solver. In *EuroPar'06 Parallel Processing*, pages 1053–1063, 2006.
- [5] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. On reducing the I/O volume in a sparse out-of-core solver. In *HiPC'07 14th International Conference On High Performance Computing*, number 4873 in Lecture Notes in Computer Science, pages 47–58, Goa, India, December 17-20 2007.
- [6] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. On the I/O volume in out-of-core multifrontal methods with a flexible allocation scheme. In J.M.L.M. Palma et al., editor, *VECPAR'08 International Meeting on High Performance Computing for Computational Science*, volume 5336 of *LNCS*, pages 328–335. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, jun 2008.

Conférences nationales avec actes et comité de lecture

- [7] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. étude mémoire d'une méthode multifrontale parallèle hors-mémoire. In *17e Rencontres Francophones en Parallélisme (RenPar'16)*, Perpignan, France, pages 220–227, 2006.

Conférences internationales sans actes

- [8] Emmanuel Agullo. Memory-aware scheduling for parallel out-of-core multifrontal factorizations, March 2009. SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE09), Mini-Symposium on Parallel Sparse Matrix Computations and Enabling Algorithms, Miami, Florida.

Posters

- [9] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. An out-of-core extension of a parallel multifrontal solver, June 2005. Poster Session of the Second International Workshop on Combinatorial Scientific Computing (CSC05), CERFACS, Toulouse, France.

Autres communications

- [10] Emmanuel Agullo. Résolution de systèmes linéaires creux de grande taille pour des applications de simulation, February 2006. Invited talk, Actualité des nombres et du calcul, CRDP Amiens.
- [11] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. Out-of-core parallel factorization, June 2006. MUMPS Users Day 2006, ENS Lyon, Lyon, France.
- [12] Emmanuel Agullo, Abdou Guermouche, and Jean-Yves L'Excellent. Towards a parallel out-of-core multifrontal solver : A preliminary study, September 2006. Invited talk, Scientific Computing Seminars, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [13] Emmanuel Agullo. Another memory wall : Improving the memory scalability of sparse direct solvers, January 2009. ICL - Microsoft Meeting, Knoxville.

אוניברסיטת תל-אביב



TEL AVIV UNIVERSITY

School of Computer Science
Sackler Faculty of Exact Sciences
Tel-Aviv University
Tel-Aviv 69978
Israel

Current address:
MIT Stata Center Room 32-G918
32 Vassar St.
Cambridge, MA 02139
USA

6 November 2008

Professor Jacques Samarut
Directeur de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon
46, allée d'Italie
69364 Lyon cedex 07
France

Dear Professor Samarut:

I am writing as a Rapporteur for the thesis submitted by Emmanuel Agullo, as requested in your letter from October 13.

Before I begin my report, I would like to state that I have been familiar with Mr. Agullo's research results even before I was asked to review his thesis. I was on the program committee of HiPC '07, where some of Mr. Agullo's work was presented. I was the chair of the application track, where Agullo's paper was presented, and I read that paper carefully. I subsequently also studied the technical report "Reducing the I/O Volume in an out-of-core sparse multifrontal solver", by Agullo, Guermouche, and L'Excellent. The results of these papers are described in the paper, along with additional more recent results.

Mr. Agullo's thesis describes several important original contributions to the field of direct solvers for sparse linear systems of equations. In this field, the main challenge is to efficiently factor the coefficient matrix of the linear system. Although the basic algorithm has been

known since Gauss's time (it is even called Gaussian Elimination), it is a major computational challenge when carried out on matrices with millions of rows and columns. Agullo's contributions are to a particular approach, in which the huge data structures required to factor the matrix are stored on disks during the factorization. This approach allows the computer to solve problems that cannot be solved if all the data structures must be stored in memory. But since writing to and reading from disk are relatively slow operations (compared to accessing data in the memory of the computer), the performance of this approach depends strongly on how much data is written to and read from disk. The operation of reading from and writing to disk (files) is referred to as "I/O" in the thesis and in the rest of my report.

Agullo's main contributions are algorithms that reorder the operations of the factorization algorithm so as to minimize the volume of I/O. The thesis also studies the computational complexity of some of these problems, and the interactions between parallel algorithms and reducing the volume of transferred data.

Now let me describe the contributions of the thesis in a bit more detail. Chapter 1 covers several issues: a technical background of the field of sparse factorizations in general, a detailed survey of earlier research on out-of-core sparse direct solvers, and a description of the experimental environment that is used in the rest of the thesis. It does not contain original research contributions but is obviously necessary (and interesting; in particular, the survey of earlier work brings together many results that were originally published separately; I am sure that new researchers in the field will find it useful in the future).

Chapter 2 develops the technical tools for the algorithms that minimize the volume of I/O. The chapter explains the degrees of freedom in the class of factorization algorithms that is optimized later, called multifrontal algorithms. These degrees of freedom include the order in which blocks of rows and columns are eliminated, and the order in which parts of the reduced matrix are updated (these operations are called factorization and assembly operations). The main tools that Agullo develops in this chapter are closed formulas for the total volume of I/O given a particular order for these operations. Expressing the volume of I/O allows Agullo to minimize the I/O volume in later chapters, and to show that this minimization problem is computationally intractable in some cases. This technique was

pioneered by Joseph Liu many years ago, but for a different problem, that of minimizing the memory requirements (of a solver that does not use disks).

These tools are first used constructively in Chapter 3. Here Agullo shows how to minimize the I/O volume in one family of multifrontal algorithms. He has implemented the method (as he has done for other methods later in the thesis) and he presents experimental results to indicate the utility of his new algorithm. This is a new and effective use of Liu's technique. The chapter contains another interesting result: a proof that minimizing the memory requirement, as in Liu's original technique, might result in a much larger I/O volume than in the optimal ordering that Agullo derives. This establishes that Agullo's algorithm produces fundamentally different results than existing algorithms and that existing algorithms are not effective for this particular problem.

The experimental results include both detailed investigations of the behavior of the new algorithm on specific test matrices (under different orderings), and cumulative results that allow the reader to assess the utility of the method more generally.

Chapter 4 studies a more flexible class of schedules for the operations of the multifrontal method. Here the results are somewhat different. Agullo found here that although one can still express the minimization problem analytically, actually solving it is computationally intractable (NP-Hard, which means that any algorithm that solves it exactly is likely to have an exponential computational cost). The chapter also proposes a fast heuristic for reducing the I/O volume; it is not optimal, but it is shown experimentally to work well. Agullo also shows that in this setting too, algorithms designed to minimize a different metric (memory usage) can perform terribly in terms of I/O, thereby motivating again the goal of explicitly minimizing I/O.

These two chapters together comprise a very nice set of results, showing excellent methodology. This is how algorithmic research in computer science should be done: a formal setting of the problem, a derivation of optimal algorithms for tractable cases, a proof that more general cases are intractable, and experimental evidence to demonstrate effectiveness in practice. Solid results with a classic methodology.

Chapter 5 is more technical in nature. It shows that all the operation schedules that were proposed in Chapters 3 and 4 can be implemented using a very simple memory manager that uses only two stacks. This eliminates a possible concern, namely, that minimizing the I/O volume would require a potentially expensive dynamic memory manager. Some researchers do strive to avoid dynamic memory managers, which provides the motivation for this chapter. On the other hand, the thesis does not provide evidence that dynamic memory allocation is indeed so costly that it needs to be avoided. But it is good to know that in any case it is not needed in these multifrontal algorithms.

Chapter 6 closes the first part of the thesis, which focuses on sequential factorization algorithms (as opposed to parallel algorithms, which are studied in part 2 of the thesis). This chapter studies different out-of-core strategies for factorization algorithms that are not multifrontal, such as SuperLU. The study was conducted as part of Mr. Agullo's internship at the Lawrence Berkeley National Lab in the US. The study is exhaustive, and besides recommending the best variant for out-of-core implementation, it presents experimental results from an instrumented version of SuperLU (this code did not actually store data on disks, but simulated this in an otherwise working algorithm).

The second part of the thesis focuses on enhancing parallel factorization algorithms, and in particular the MUMPS solver from CERFACS, by storing data on disks. The problem here is more complex than the problem that the first part of the thesis addresses, because one has to worry about whether the load balance between processor is maintain when the algorithm is modified to write data to disks, and whether the amount of interprocessor communication increases. But the techniques and methodology that Agullo uses are quite similar to those that are used in the first part, so I will not elaborate on them.

What does merit an explicit acknowledgement is that the research reported in Part II of the thesis led Mr. Agullo to develop an out-of-core version of MUMPs. This version has already been used in production and it has allowed users to solve problems that they would not otherwise be able to solve on their machines and/or clusters. This is an important and significant contribution.

Bases on this evaluation, I find that the thesis contains significant, interesting, important, and novel results. As I wrote in the beginning of my letter, I was aware of Mr. Agullo's research for some time, and I am happy to see it reported in a strong thesis.

I therefore recommend that the thesis be defended before the appointed jury. I hope that Prof. Duff, the other Rapporteur, will recommend a similar course of action, and I am looking forward towards a productive and interesting jury meeting.

Sincerely,

Sivan Toledo
Associate Professor

Rapport de Thèse

On the Out-Of-Core Factorization of Large Sparse Matrices

Emmanuel Agullo

+++++

The solution of large sparse systems of equations lies at the heart of many if not most computations in science and engineering. The efficient solution of such problems is of crucial importance if realistic simulations are to be obtained. In recent years, there have been many advances in the direct solution of sparse linear equations including the supernodal and multifrontal methods studied in this thesis. The “Achilles heel” of sparse direct methods is the amount of storage required for the factors and the factorization and it is this crucial area that this thesis addresses with consideration given to both serial and parallel implementations.

This thesis presents an in-depth study into the efficient use of out-of-core techniques principally for multifrontal methods although there is a chapter on supernodal techniques. There is a good balance of theoretical analysis and practical algorithmic development that significantly advances the knowledge and practice in this field. The benefits of the techniques developed in the thesis are well illustrated on realistic examples.

I should stress at the beginning of this report that even without the added complication of working out-of-core an efficient sparse direct solver is very complicated and the candidate should be applauded for being able to understand and develop his ideas within this framework, here principally within the parallel multifrontal solver MUMPS and the supernodal code SuperLU. I trust that the jury will appreciate the complexity of the implementation as well as the design of the algorithms and techniques in this thesis.

The thesis is organized in ten chapters and two parts. It is very well organized with an introduction and summary in each chapter that highlight the main results of that chapter. There is also a very helpful introductory and concluding section that provides an excellent summary of the thesis. Part I of the thesis (Chapters 1 to 6) is concerned with serial implementation while Part II (Chapters 7 to 10) deals with a parallel multifrontal approach.

After a concisely written introductory chapter that has a nice review

of the graphical underpinning of sparse direct methods and of earlier work in the out-of-core context, Chapter 2 discusses the issue of I/O volume as a function of available memory and shows that it can be represented by a piecewise linear function. This chapter also describes the different models used in multifrontal factorization, in particular regarding the assignment of the frontal matrices and the assembly of the contributions from the children into the frontal matrix. The fact that the thesis considers all these cases in a coherent way is very important and contributes to the originality of this work.

In Chapter 3, the case where the frontal matrix is allocated after the computations at all of its children are completed is discussed and an optimal algorithm for I/O minimization is described. One interesting point that is demonstrated in this chapter is that I/O minimization is radically different from memory minimization and in fact memory minimization algorithms can be arbitrarily bad for the minimization of I/O. On first thinking this is somewhat counter-intuitive so it is nice to see this discussed in such detail. The model investigated in Chapter 4 is one where the frontal matrix can be assigned before all children are completed (so-called flexible allocation) and here it is shown that, although the minimum storage algorithm is polynomial, the minimum I/O algorithm is NP complete. Not only is such a result of great interest theoretically, it is important in practice since it means that a good heuristic algorithm must be sought and one is indeed given for this problem. In Chapter 5 the memory management for the stacks and the frontal matrices in the out-of-core case is discussed and this is explored in detail for all models of frontal matrix assembly.

Chapter 6 discusses the case of supernodal techniques with the target code being a serial version of SuperLU. The main issues here concern whether the global algorithm is left-looking (ll) or right-looking (rl) (for reducing I/O the left-looking is better) and similarly for the factorization on the superpanels. The combinations ll-rl and ll-ll are examined in detail where I/O minimization in the latter case is shown to be NP complete. This is again a very nice analysis although it would have been nice to see some experimental results even if the implementation has not advanced sufficiently to obtain timings.

If Part I of the thesis dealt with a tough problem, it suddenly became even tougher in Part II when parallel multifrontal algorithms are considered,

the algorithms and experiments using versions of the MUMPS package. After an introduction to parallel implementation and the notion of storage peaks in Chapter 7, a detailed comparison of the handling of I/O is presented in Chapter 8 in the case when only the factors are stored on disk. It is shown that sometimes very big savings can be obtained by using asynchronous I/O under user control rather than using a default system I/O. Chapter 9 extends this work to the case when the contribution blocks are held on disk. It is shown how the memory peaks can be reduced by modifying thresholds for the load balancing. In the final chapter, after it is shown that a strict proportional mapping of the tree to the processors can be very poor in the out-of-core case, this mapping is modified to be memory-aware basically by deviating from a proportional mapping when the subtree would violate memory constraints. It is shown that this needs to be combined with node splitting to achieve good memory efficiency. This work is to some extent work-in-progress since, although the memory requirements (and hence volume of I/O) is much reduced and good memory scalability is achieved, a significant time penalty is reported over the times in Chapter 8. Proposals have been made to address this although they are not yet implemented.

The thesis tackles really complicated and important problems in the efficient use of out-of-core memory in the direct solution of sparse equations on sequential and parallel computers. There are many original ideas and novel theoretical work much of which has been developed into working algorithms that have been shown to work well on practical problems when used within the MUMPS package.

I am very pleased to recommend that this thesis is worthy for submission and “soutenance” for the award of a PhD at l’École Normale Supérieure de Lyon in the speciality of Informatique.

Professor I. S. Duff
CERFACS, Toulouse, France
and Rutherford Appleton Laboratory
12 November 2008

Rapport de soutenance sur la thèse de Emmanuel Agullo

Vendredi 28 novembre 2008

Emmanuel Agullo a exposé avec clarté, pédagogie et conviction ses principaux travaux de thèse visant à étudier des techniques de gestion hors-mémoire (“out-of-core”) pour la résolution haute performance de grands systèmes linéaires creux par méthode directe. Cette présentation très convaincante montre incontestablement le recul et la maturité scientifique du candidat sur le sujet.

Le jury a apprécié l’importance et la qualité du travail réalisé, que ce soit au niveau algorithmique avec une démarche méthodologique et systématique ayant conduit à l’obtention de plusieurs résultats significatifs, ou que ce soit au niveau implémentation et validation expérimentale, ce qui est toujours un travail grand consommateur de temps. Emmanuel Agullo a fait preuve aussi de beaucoup de lucidité et de recul dans les réponses aux questions du jury.

L’ensemble de ce travail est particulièrement bien mis en valeur dans un manuscrit qui a fait l’unanimité auprès du jury pour sa grande clarté, son état de l’art, sa structuration et sa concision.

En conclusion, le jury décerne à Emmanuel Agullo le grade de Docteur de l’Université de Lyon délivré par l’Ecole Normale Supérieure de Lyon, spécialité Informatique, avec la mention très honorable.

École normale supérieure de Lyon

46, allée d'Italie
69364 Lyon cedex 07
Tél. +33 4 72 72 80 00
Fax +33 4 72 72 80 80
www.ens-lyon.fr

ATTESTATION

Le directeur de l'école normale supérieure de Lyon, soussignée, certifie que

*Monsieur Emmanuel AGULLO, né(e) le 18/02/81 à MONTPELLIER,
inscrit(e) à l'école normale supérieure de Lyon, sous le numéro d'étudiant 147350,
a soutenu, le 28/11/08, conformément aux règlements en vigueur, la thèse intitulée
"Méthodes directes hors-mémoire (out-of-core) pour la résolution de systèmes linéaires creux de grande taille."
devant le jury composé de :*

Président

Monsieur Jean ROMAN

Membres

Monsieur Iain DUFF

Monsieur Jean-Yves L'EXCELLENT

Madame Xiaoye Sherry LI

Monsieur Yves ROBERT

Monsieur Sivan TOLEDO

*A l'issue de cette soutenance, le jury a accordé à Monsieur Emmanuel AGULLO, le grade de Docteur
de l'Université de Lyon délivré par l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, spécialité Informatique, avec la
mention "très honorable",
pour en jouir avec les droits et prérogatives qui y sont attachés par les lois, décrets et règlements.*

Fait à Lyon le 10/12/2008, pour servir et valoir ce que de droit

Le directeur de l'École normale supérieure de Lyon

*N.B. : Le Conseil Scientifique de l'ENS Lyon a
décidé, le 06 mai 1997, de ne plus décerner la mention
"très honorable avec les félicitations du jury".*

Jacques SAMARUT





Jean-Yves L'Excellent
Chargé de recherche INRIA
LIP, ENS-Lyon,
46 Allée d'Italie, 69364 Lyon Cedex 07, France
+33 (0)4 72 72 84 33 Jean-Yves.L.Excellent@ens-lyon.fr

Lyon, le 13 mars 2009

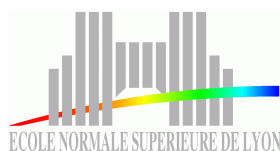
Objet: Avis sur la candidature de Monsieur Emmanuel Agullo à un poste de maître de conférences en section 27.

À qui de droit,

Je connais Emmanuel Agullo pour avoir encadré ses travaux de doctorat, en collaboration avec Abdou Guermouche (Labri, Bordeaux). Ses travaux ont alors concerné les solveurs creux directs, en particulier les approches dites hors-mémoire, ou *out-of-core*, où la mémoire physique des machines devient insuffisante compte tenu de la taille des problèmes à traiter. Il s'agit d'un domaine complexe, qui requiert un volet de compétences large allant de la théorie de l'algèbre linéaire creuse à la compréhension de mécanismes système, en passant par tous les difficultés liées au calcul haute performance et au parallélisme. Pour autant, Emmanuel s'est rapidement montré à son aise et a vite proposé de nouvelles contributions. Il a travaillé d'une part sur des aspects théoriques (modélisation et ordonnancement des tâches pour limiter le volume d'entrées-sorties par exemple) et d'autre part sur des aspects expérimentaux (expérimentations sur des machines parallèles pas toujours stables, sur lesquelles l'analyse de performance est souvent compliquée du fait de la non-reproductibilité des expériences). Sa thèse lui a aussi permis de se confronter à des aspects logiciels, en particulier avec les codes MUMPS et SuperLU, mondialement reconnus dans le domaine.

Coté communications, il a publié dans plusieurs conférences internationales avec comité de lecture (Europar, HiPC, Vecpar) et a déjà un article paru dans la revue "Parallel Computing". Un autre article a été soumis à SISC (SIAM Journal on Scientific Computing), et est en cours de révision.

Durant sa thèse, Emmanuel a tenu à effectuer un séjour de 6 mois aux États-Unis. Il a pu financer ce séjour grâce au programme de la région Exploradoc, complété par un financement du programme Explorateur de l'INRIA. Durant cette période il a travaillé avec Xiaoye S. Li (Lawrence Berkeley National Laboratory, auteur du code SuperLU) sur des algorithmes dits *left-looking*, complémentaires avec les approches multifrontales sur lesquelles nous travaillons ici. Xiaoye S. Li



Lyon 1



INRIA

Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme

Unité mixte CNRS - ENS Lyon - INRIA - UCB Lyon n°5668

m'a assuré de la qualité du travail effectué par Emmanuel durant son séjour, et un gros chapitre de sa thèse est consacré à ce travail; une soumission à un journal pourrait en être extraite prochainement.

Coté enseignement, Emmanuel a effectué un service de 192 heures (au total) dans le cadre d'un monitorat à l'ENS Lyon. Il est aussi intervenu occasionnellement dans mon cours de recherche en master sur le calcul matriciel haute performance et a participé à l'évaluation des présentations effectuées par les étudiants. Il a le souhait de vulgariser sa thématique de recherche, comme l'atteste par exemple une intervention de 3 heures qu'il a effectuée auprès de professeurs de mathématiques au CRDP d'Amiens.

De plus, il a participé activement à la vie du laboratoire et aux tâches collectives: organisation des séminaires hebdomadaires de l'équipe, participation au conseil de laboratoire, jurys de L3 ou d'anglais.

Pour finir, je dirais aussi qu'Emmanuel est sympathique, brillant, enthousiaste et concerné par l'intérêt général, et je recommande vivement sa candidature pour un poste de maître de conférences.

J.-Y. L'Excellent



Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme

École Normale Supérieure de Lyon
Unité Mixte de Recherche CNRS-INRIA-ENS LYON-UCBL n° 5668



Lyon, le 30 Mars 2009

Yves Robert
Objet : Recommandation pour Emmanuel Agullo.

J'écris cette lettre pour recommander la candidature de Emmanuel Agullo à un poste de Maître de Conférences en Informatique. Je voudrais ici couvrir les aspects liés à l'enseignement, en tant que responsable du Département d'Informatique de l'ENS Lyon où Emmanuel Agullo a effectué son service de monitorat.

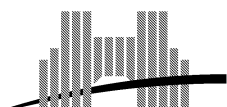
Emmanuel Agullo a effectué des TD pour notre parcours d'Informatique Fondamentale. J'ai particulièrement inter-agi avec lui pour les TD en *Algorithmique Parallèle*, car j'en assurais le cours magistral. J'ai été très satisfait de ma collaboration avec Emmanuel Agullo. Il a assuré l'ensemble de sa tâche avec sérieux, dynamisme et motivation, et je n'ai eu que des retours positifs des étudiants sur ses interventions.

Sur un plan plus large, je n'ai eu que des commentaires élogieux des collègues sur les activités d'Emmanuel Agullo. Je voudrais ajouter que j'ai eu le plaisir d'écouter plusieurs de ses exposés, en groupe de travail ou en conférence, et j'ai participé à son jury de thèse : à chaque fois, ses exposés étaient bien construits, avec une approche pédagogique du sujet et un esprit de synthèse marqué.

Sur le plan de l'enseignement, je peux donc attester de cette expérience positive : à mon sens, Emmanuel Agullo a toutes les compétences requises pour exercer les fonctions de Maître de Conférences en 27ème section, et je recommande chaleureusement sa candidature.

Avec l'expression de mon entière considération,

Yves Robert
Professeur, ENS Lyon, et Institut Universitaire de France
Responsable du Département Informatique



École Normale Supérieure de Lyon
46 Allée d'Italie, 69364 Lyon Cedex 07, France
Téléphone : +33(0)4.72.72.80.37
Télécopieur : +33(0)4.72.72.80.80
Adresse électronique : lip@ens-lyon.fr





Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme

École Normale Supérieure de Lyon
Unité Mixte de Recherche CNRS-INRIA-ENS LYON n° 5668



Lyon, le 31 Mars 2009

Objet : Recommandation pour Emmanuel Agullo.

J'écris cette lettre en soutien à la candidature de Monsieur Emmanuel Agullo à un poste de maître de conférences.

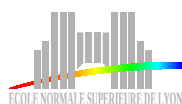
J'ai eu le plaisir de travailler avec Emmanuel qui a assuré les travaux dirigés du cours "Algorithmique et architectures parallèles" au premier semestre de l'année scolaire 2007-2008. Je suis l'enseignante de ce cours, qui concerne les étudiants en première année du master Informatique Fondamentale à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon.

Ce cours montre comment la mise en oeuvre du parallélisme impose de repenser les applications, ce qui donne une nouvelle dimension à l'algorithmique. La première partie concerne les modèles théoriques, et notamment les PRAMs. Emmanuel a conçu un sujet de partiel sur cette partie du cours en se basant sur un article de recherche sur les relations entre modèles PRAM à écriture concurrente. Il a été très autonome dans l'élaboration du sujet qui s'est avéré être très pédagogique et intéressant, ce qui a démontré l'étendue de ses compétences. Il a également été très efficace pour corriger les copies. Lors des séances de TD, les étudiants ont beaucoup apprécié les qualités pédagogiques d'Emmanuel qui a su fournir des explications claires sur des problèmes difficiles, comme par exemple les algorithmes pour machines à mémoire distribuée, ou les analyses de dépendances dans des nids de boucles.

En travaillant avec Emmanuel, j'ai été très impressionnée par sa capacité de réflexion et d'analyse, son autonomie pour créer de nouveaux sujets, et ses contacts humains avec les élèves. Il fait preuve d'une grande motivation, couplée avec un grand sérieux, et ça a été un plaisir de travailler avec lui. Grâce à toutes ses qualités, je suis convaincue qu'Emmanuel a tous les atouts pour devenir un excellent maître de conférences, et je soutiens sans réserve sa candidature.

Avec l'expression de mon entière considération,

Anne Benoit, Maître de Conférences, ENS Lyon



École Normale Supérieure de Lyon

46 Allée d'Italie, 69364 Lyon Cedex 07, France

Téléphone : +33(0)4.72.72.80.37

Télécopieur : +33(0)4.72.72.80.80

Adresse électronique : lip@ens-lyon.fr



R É P U B L I Q U E F R A N Ç A I S E

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON - UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

DIPLÔME DE MASTER

Vu le décret n°84-573 du 5 juillet 1984 modifié relatif aux diplômes nationaux de l'enseignement supérieur,

Vu l'arrêté ministériel du 4 janvier 2005 relatif aux habilitations de l'École Normale Supérieure de Lyon à délivrer des diplômes nationaux de master,

Vu les pièces justificatives produites par Monsieur Emmanuel AGULLO, né(e) le 18 février 1981 à Montpellier (Hérault) en vue de son inscription au diplôme de master Sciences, Technologies, Santé, mention INFORMATIQUE, spécialité INFORMATIQUE FONDAMENTALE,

Vu les procès-verbaux du jury attestant que l'intéressé(e) a satisfait au contrôle des connaissances et des aptitudes prévu par les textes réglementaires,

est décerné à

le **DIPLÔME DE MASTER Sciences, Technologies, Santé, mention INFORMATIQUE,**
spécialité INFORMATIQUE FONDAMENTALE,

Monsieur Emmanuel AGULLO

au titre de l'année universitaire 2004-2005.

Fait à Lyon, le 06 juillet 2006

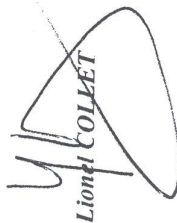
Le titulaire



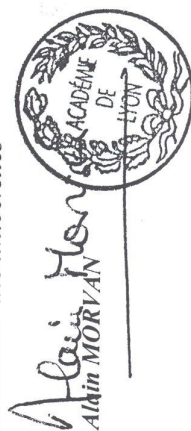
Le Directeur
de l'École Normale Supérieure
de Lyon


Philippe COLLET

Le Président
de l'Université Claude Bernard Lyon 1


Lionel COLLET

Le Recteur d'Académie,
Chancelier des universités


Alain MORVAN

N° ENSL 5894018