

# Thomas Dufaud

Docteur / Ingénieur  
Mathématiques Appliquées  
28 ans

15 Place des Lices

35000 Rennes

☎ 06.80.26.35.30

✉ thomas.dufaud@inria.fr

🌐 <http://people.rennes.inria.fr/Thomas.Dufaud/>

---

## SITUATION PROFESSIONNELLE

2012-2013 **Post-Doctorat**, INRIA - Rennes - Bretagne Atlantique / Équipe projet SAGE (Dir. J.Erhel),  
Projet ARC-GEOFRAC, <http://www.irisa.fr/sage/geofrac>.

---

## FORMATION

2008-2011 **Doctorat en Mathématiques Appliquées**, ICJ-CNRS-UMR5208 / UCBL Lyon1.

2005-2008 **Étude d'ingénieur en Mathématiques Appliquées et Modélisation**, ISTIL (aujourd'hui  
Polytech'Lyon) / UCBL Lyon1.

2002-2005 **Classes Préparatoires aux Grandes Écoles**, PSI, Lycée Jean-Perrin Lyon.

2002 **Baccalauréat S**, spécialité Physique - option SI.

---

## RECHERCHE ENCADRÉE

2008-2011 **Thèse (soutenue le 25/11/2011)** : Contribution au développement du préconditionnement Aitken Schwarz Additif Restreint et son application aux systèmes linéaires issus de la différentiation automatique des solutions de Navier-Stokes dépendant des paramètres de la simulation.  
**Résumé** : Un préconditionneur à deux niveaux, reposant sur la technique d'accélération d'Aitken d'une suite de  $q$  vecteurs solutions de l'interface d'un processus itératif de Schwarz Additif Restreint, est conçu. Cette nouvelle technique, dénommée ARAS( $q$ ), utilise une approximation grossière de la solution sur l'interface. Différentes méthodes sont proposées, aboutissant au développement d'une technique d'approximation par Décomposition en Valeurs Singulières de la suite de vecteurs. Des implémentations parallèles des méthodes d'Aitken-Schwarz sont proposées et l'étude conduit à l'implémentation d'un code totalement algébrique, sur un ou deux niveaux de parallélisation MPI, écrit dans l'environnement de la bibliothèque PETSc. Cette implémentation pleinement parallèle et algébrique procure un outil flexible pour la résolution de systèmes linéaires tels que ceux issus de la différentiation automatique des solutions de Navier-Stokes dépendant des paramètres de la simulation.

**Mots clés** : Accélération d'Aitken, Calcul parallèle, Décomposition en Valeurs Singulières, Espace d'approximation grossier, Implémentation MPI deux niveaux, Préconditionnement deux niveaux, Schwarz Additif Restreint, Technique algébrique.

**Jury** : S. Aubert (Examinateur), J. Erhel (Présidente du Jury), L. Giraud (Rapporteur), E. de Sturler (Rapporteur), D. Tromeur-Dervout (Directeur de thèse)

Fin d'Etude 2008 **Stage au département d'ingénierie mécanique de LSU (Louisiane - USA)** encadré par Pr.Nikitopoulos et Dr.Moldovan.

**Sujet** : Développement et vérification d'un code de simulation hybride de dynamique moléculaire et continue.

**Résumé** : Ces travaux ont pour objet de développer et mettre en œuvre une méthode de couplage entre un code de dynamique moléculaire et un code de code de mécanique des fluides incompressible sur le problème d'une cavité entraînée. Ils ont conduit à la généralisation et l'amélioration des codes existants en vue du couplage et de l'adaptation à la physique du problème. Une méthodologie de la méthode de couplage a été proposé.

Été 2007 **Stage à l'ICJ-CNRS-UMR5208** encadré par Pr. Tromeur-Dervout.

**Sujet** : Parallélisation de méthodes de déflation pour le préconditionnement de système linéaire.

---

## THÈMES DE RECHERCHE

- Analyse numérique
- Algèbre linéaire
- Méthodes de décomposition de domaine
- Méthodes de préconditionnement et de résolution parallèle
- Calcul haute performance
- Outils pour la simulation de phénomènes physiques (Mécanique des fluides, Environnement)

---

## PRIX ET DISTINCTIONS

- NSF RII Award 2008 – Baton Rouge, Louisiana USA – Second prix

---

## RESPONSABILITÉS COLLECTIVES

- Membre de la commission consultative paritaire (CCP) INRIA (2012)
- Correspondant technique pour les demandes d'heures de calcul aux CINES et IDRIS (2009-2011)

---

## RÉALISATIONS

### Logiciels

- Libraero- Préconditionneur Restricted Additive Schwarz accéléré par Aitken  
Schwarz <https://www.projet-plume.org/fr/relier/libraero-schwarz>
- Porous DDM pour la résolution des équations de Darcy 3D avec une distribution log-normale de la perméabilité  
<https://www.projet-plume.org/fr/relier/porous>

### Sites Web

- geofrac Site pour le projet ARC-GEOFRAC INRIA, <http://www.irisa.fr/sage/geofrac/>
- parcfd Site pour la conférence internationale PARCFD 2008, <https://cdcs.univ-lyon1.fr/parcfd/>

---

## AUTRES COMPÉTENCES

### Informatique

Programmation Fortran/C/C++/Java/MPI/MATLAB/FreeFem/Comsol/Femlab/PETSc  
HTML et PHP, LATEX  
Base de données (SQL)

Systèmes Linux, Windows

Logiciels Pack Office - Libre Office - SAS / StatGraphics

### Langues

Anglais TOEIC : 855, 6 mois aux États Unis, Rédaction scientifique (articles, mémoire), exposés  
Espagnol notions scolaires

# ACTIVITÉS DE RECHERCHE

## RAPPORT D'ACTIVITÉ

Ma principale activité de recherche réside dans les travaux de thèse initiés par la recherche de méthodes de résolution et de préconditionnement pour la résolution de systèmes linéaires issus de la différentiation automatique des solutions des équations de Navier-Stokes. Ces systèmes linéaires creux de grande taille possèdent des **matrices ne présentant pas de propriétés de symétrie, et n'étant pas définies positives**. Compte tenu de la quantité de mémoire à utiliser, on envisage l'utilisation des méthodes itératives de type GMRES préconditionné. Le **préconditionneur doit être construit de manière algébrique**. Afin de répondre à cette question nous nous sommes intéressés aux méthodes de décomposition de domaine de type Schwarz. Afin d'obtenir un processus de résolution peu coûteux en terme de mémoire et de temps CPU, mon étude a porté sur l'accélération de la convergence de la **méthode de Schwarz** par la technique d'**accélération des suites de Aitken** dans un **espace grossier**. Les premiers tests et études théoriques ont été effectués dans le cadre de la résolution des équations de Darcy 3D avec un champ de perméabilité variant fortement suivant une loi Log Normale ([A2],[P2]) permettant alors de concevoir les méthodes pour les systèmes linéaires du partenaire industriel FLUOREM.

Deux types d'approximations de la solution dans un espace grossier permettant la construction de l'opérateur de transfert d'erreur  $P$  nécessaire à l'application de la formule d'Aitken ont été mis en évidence. Dès lors, on distinguera les approximations par troncatures de l'opérateur dans des bases exprimées analytiquement (base de valeurs propres, base de Fourier) et les approximations dans des bases construites de manière explicite (SVD des traces de Schwarz sur l'interface). Cette dernière s'est avérée être la plus efficace sur les problèmes considérés.

L'application des méthodes de résolution de Schwarz et Aitken-Schwarz aux problèmes industriels peut conduire à des processus divergents. Une **formulation d'un nouveau préconditionneur de type Aitken-Schwarz** a donc été étudiée et proposée [A1]. La formulation de type préconditionnement, appelé ARAS, permet une plus grande flexibilité quant à la qualité de l'accélération d'Aitken et donc de la qualité de l'espace grossier [P4]. Ces recherches ont donné lieu à une étude de convergence de cette technique dans le cas des problèmes elliptiques.

Ces travaux sont également marqués par l'étude de l'**implémentation des techniques proposées** en vue d'une utilisation orientée vers le **calcul parallèle intensif**. L'extensibilité et les performances numériques des différents algorithmes appliqués à la résolution des équations de Darcy 3D, ont ainsi pu être testées et étudiées sur la machine SGI du CINES pour résoudre des problèmes de **plusieurs centaines de millions d'inconnues sur 2048 coeurs** ([A2],[P1]).

Afin de permettre une utilisation de la technique par nos partenaires et une diffusion à la communauté, le préconditionneur ARAS a été implémenté via l'interface de la **bibliothèque PETSc**. Une **implémentation à deux niveaux MPI** a également été proposée et intégrée au sein de cette bibliothèque pour permettre une meilleure extensibilité du code ([A3], [P3]). Il est à noter que ce type d'implémentation n'était pas prévu dans PETSc et qu'un effort de conception a été nécessaire afin d'intégrer ces concepts au sein de la bibliothèque.

J'étudie aujourd'hui la conception d'**outils pour la simulation d'écoulement dans les milieux poreux-fracturés 3D** et son intégration au sein de la plateforme H2OLAB. Le travail a d'abord consisté à établir le choix du modèle ainsi qu'à proposer une méthode numérique reposant sur les techniques d'éléments finis mixte-hybrides dans les différents milieux avec l'équipe POMDAPI. Une contrainte forte dans la résolution de ces problèmes est la complexité des réseaux de fractures proposés par SAGE et Géosciences Rennes. La solution technique pour la génération des maillages associés est proposée par GAMMA3. Nous étudions la qualité des maillages générées pour la méthode que nous utilisons.

Les différents types de systèmes linéaires que je suis amené à résoudre m'ont également conduit à proposer une nouvelle technique de préconditionnement algébrique à deux niveaux s'inspirant des techniques de grille grossière construite à partir de la SVD des traces d'un processus itératif [P5].

---

## PUBLICATIONS

### Chapitres de livre

- [C1] L. Berenguer, T. Dufaud, and D. Tromeur-Dervout. *Acceleration of Convergence for Domain Decomposition Methods* Computational Technology Reviews, Volume 7, 2013, Saxe-Coburg Publications (To appear)

### Revue internationale

- [A1] T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *Aitken's acceleration of the restricted additive Schwarz preconditioning using coarse approximations on the interface*. C. R. Math. Acad. Sci. Paris, vol. 348, no. 13-14, pages 821–824, 2010.
- [A2] L. Berenguer, T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *Aitken's acceleration of the Schwarz process using singular value decomposition for heterogeneous 3D groundwater flow problems*. Computers and Fluids, 2011.
- [A3] T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *Efficient parallel implementation of the fully algebraic preconditioning technique ARAS2*. Advances in Engineering Software, 2011.

### Actes de conférences internationales avec comités de lecture

- [P1] L. Berenguer, T. Dufaud, T. Pham and D. Tromeur-Dervout. *On-the-fly Singular Value Decomposition for Aitken's Acceleration of the Schwarz Domain Decomposition Method*. In Proc. Int. Conf. Parallel Computing 2011, 2011.
- [P2] T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *Adaptive Aitken-Schwarz Method for Non Separable Operator on Multiprocessor Systems*. In Rupak Biswas and NASA Advanced Supercomputing Division NASA Ames Research Center, Parallel Computational Fluid Dynamics Recent Advances & Future Directions, pages 297–305. DEStech Publications, 2010.
- [P3] T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *Numerical Investigations and Parallel Implementation of the ARAS2 Preconditioning Technique*. In P. Ivanyi and B.H.V. Topping, 95 Proceedings of the second international conference on parallel, distributed, grid and cloud computing for engineering, 2011.
- [P4] T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *ARAS2 preconditioning technique for CFD industrial cases*. In ddm.org, Domain Decomposition Method 2011, San Diego, CA.

### Actes de conférences internationales en révision mineure

- [P5] T. Dufaud. *A two-level preconditioning framework based on a Richardson iterative process*. In ddm.org, Domain Decomposition Method 2012, Rennes, France.

### Acte de conférence nationale avec comité de lecture

- [P6] L. Berenguer, T. Dufaud, D. Tromeur-Dervout. *Une méthode de décomposition de domaine pour résoudre l'équation de Darcy 3D dans les milieux poreux fortement hétérogènes* Congrès Français de Mécanique, Septembre 2011, Besançon

### En révision

- [A4] T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *ARAS: fully algebraic two-level domain decomposition preconditioning technique with approximation on coarse interfaces*.

### En préparation

- [A5] L. Berenguer, T. Dufaud and D. Tromeur-Dervout. *Algebraic Aitken-Schwarz methodologies for large scale computing of Darcy flows in highly heterogeneous media*. Journal of Computational Physic.
- [A6] T. Dufaud. *On constructing coarse levels of a preconditioning technique algebraically considering the associated Richardson process*.

---

## COMMUNICATIONS

### Exposés

- SM2A 3<sup>ème</sup> Conférence Internationale de la Société Marocaine de Mathématiques Appliquées (SM2A) Marrakech 10 - 13 Septembre 2012, Participation au Mini-Syposium Problems in porous media: modeling and solving techniques
- DD21 21st International Conference on Domain Decomposition Methods, INRIA Rennes - Bretagne Atlantique, Rennes, France, June 25-29, 2012.
- CFM 2011 Congrès Français de Mécanique, Septembre 2011, Besançon
- PARCFD 23rd international conference on parallel computational fluid dynamics – 2011 May 16-20 2011 – Barcelona : participation au symposium Design and implementation of scalable Parallel Algebraical Preconditioners
- PARENG The Second International Conference on Parallel, Distributed, Grid and Cloud Computing for Engineering Ajaccio, Corsica, France - 12-15 April 2011 : participation au symposium Parallel Preconditioning Techniques
- DD20 20th International Conference on Domain Decomposition Methods, UC San-Diego, La Jolla, California, February 7-11, 2011.
- PARCFD 21st international conference on parallel computational fluid dynamics – 2009 May 18-22 – 2009 Moffet Field, California, USA

### Posters

- SMAI 2011 Guidel : L. Berenguer, T. Dufaud, D.Tromeur-Dervout. Recent developments on Aitken-Schwarz domain decomposition methodology
- NSF 2008 All-hands Meeting for the NSF RII Award 2008 – Baton Rouge, Louisiana USA – **2nd place** for the poster Hybrid Coupled Continuum-Molecular Dynamics Simulation Tool for the CFDToolkit

---

## ORGANISATION

- DD21 Membre du comité de programme de "21th International Conference on Domain Decomposition Methods" 25-29 Juin 2012, INRIA Rennes-Bretagne-Atlantique
- DD21 Co-organisation d'un mini-symposium intitulé "Robust Multilevel Methods for Multiscale Problems" avec J. Kraus, C. Pechstein, R. Scheichl et J. Willems.

---

## ENCADREMENTS

- 2010 Stage de 3 mois d'un Élève ingénieur ISTIL (Polytech'Lyon), deuxième année MAM  
**Sujet :** Intégration de la génération de champ de perméabilité aléatoire parallèle dans le code porous. Conception d'un code de résolution de système linéaire par méthode de décomposition de domaine en C++.

# ACTIVITÉS D'ENSEIGNEMENT

## ENSEIGNEMENTS

- 2009-2010 **Méthodes numériques** : première année d'école d'ingénieur (L3) EPU-ISTIL, 48 heures Travaux Dirigés.  
**Statistiques** : deuxième année d'école d'ingénieur (M1) EPU-ISTIL, 8 heures Travaux Pratique.

## CONTENU DE L'ENSEIGNEMENT

**École d'ingénieur, 1ère année (L3), tronc commun (Polytech'Lyon, anciennement EPU-ISTIL)**  
*Travaux dirigés de Méthodes Numériques de Base* : équations non-linéaires, interpolation numérique, intégration numérique, résolution d'équations différentielles, systèmes d'équations algébriques  
*Travaux pratiques d'Application numérique* : Approche de l'implémentation d'algorithmes numériques ainsi que de l'utilisation de bibliothèque de calcul avec MATLAB.

**École d'ingénieur, 2ème année (M1), filière MAM (Mathématiques Appliquées et Modélisation) (Polytech'Lyon, anciennement EPU-ISTIL)**

*Travaux pratiques de Statistiques* : (Création du support) Prise en main du logiciel StatGraphics Plus, Statistique descriptive d'un échantillon de donnée, Exécution de tests statistiques et compréhension des sorties.

## MOTIVATIONS

Mes activités d'enseignement se sont déroulées dans le cadre de vacances pour l'école Polytech'Lyon. J'ai effectué 48 h T.D. pour l'enseignement des méthodes numériques pour l'ingénieur (première année d'école d'ingénieur, Niveau L3). Cet enseignement s'intéresse aux méthodes dédiées à la recherche de zéro, méthode d'interpolation numérique, d'intégration numérique, résolution d'équation aux dérivées ordinaires et résolution de systèmes linéaires. Pour chaque thème, une à deux séances de T.D. sur feuilles sont effectuées. Puis quatre séances de quatre heures chacune sont effectuées sur machines avec le logiciel MATLAB.

J'ai également proposé des séances de T.P. de Statistiques pour les élèves de deuxième année de la filière Mathématiques Appliquées et Modélisation de cette même école (Niveau M1). Malgré le nombre d'heures réduit (8h), j'ai conçu le sujet de ce T.P. se déroulant sur machine avec le logiciel StatGraphics. Les étudiants devaient proposer l'étude statistique de problèmes simples, puis s'intéresser à un problème relatif à l'ensemencement des nuages. Leur réponse nécessitait l'utilisation des Statistiques descriptives, des tests statistiques et une première approche de l'ANOVA.

Cette expérience m'a permis de découvrir l'enseignement. Ces enseignements parfois éloignés des thématiques de recherche permettent une ouverture sur l'ensemble des mathématiques appliquées. Le fait d'enseigner favorise la capacité d'expliquer et de présenter son travail de manière claire et pédagogique.

De plus, de part mes travaux de recherche je porte un intérêt croissant aux méthodes mathématiques et aux outils de calculs scientifiques permettant l'étude de problèmes issus de la mécanique des fluides. Je suis amené à proposer des choix et des solutions techniques concernant les méthodes numériques ou les algorithmes de résolution de systèmes linéaires adaptés aux architectures des machines de calcul employées.

Et les techniciens, ingénieurs et chercheurs de demain dans le domaine des mathématiques appliquées, par exemple à la mécanique et aux sciences de l'environnement, doivent être en mesure d'utiliser les ressources de calculs mises à leur disposition afin de pouvoir répondre aux exigences des problématiques futures. Ceci implique une formation des étudiants à la programmation informatique, une sensibilisation aux architectures des machines de calculs ainsi qu'une formation aux méthodes de calculs nouvelles permettant aux machines de produire des résultats de manière efficace et précise.

C'est dans cet esprit que je souhaite transmettre les connaissances que j'accumule et qu'il me sera donné d'accumuler au cours de ma carrière sur les points du calcul haute performance, et des connaissances en informatiques nécessaires à l'élaboration de ces techniques.