

François Févotte

Mathématiques appliquées et calcul scientifique à haut rendement

Expérience Professionnelle

depuis 2019 **Co-fondateur & Directeur Scientifique**, *TriScale innov.*

depuis 2007 **Enseignement**, *ENSTA* et *Université Paris Saclay*.

- *Introduction à la discrétisation des EDP* : 1^{ère} année ENSTA, chargé de TD (resp: P. Joly) ;
- *La méthode des éléments finis* : 2^{ème} année ENSTA, chargé de TD (resp: S. Fliss) ;
- *Modélisation et simulation du transport de particules neutres* : Master Analyse, Modélisation et Simulation (AMS), co-responsable avec G. Samba (CEA) ;
- Membre du conseil de perfectionnement de l'université Paris Saclay.

2008–2019 **Ingénieur Chercheur**, *EDF R&D*, *dept PERICLES*, *groupe Analyse et Modèles Numériques*.
Future Chaîne de Calcul des Cœurs : développement de solveurs pour la plate-forme de simulation neutronique COCAGNE, membre du comité de suivi d'APOLLO3 dans l'Institut Tri-Partite EDF-CEA-AREVA (I3P) ;

Performance et Qualité des Simulations : reponsable du lot “sujets exploratoires et méthodes avancées”, développement de l'outil VERROU pour la qualité numérique des outils de calcul ;

Écoles d'été CEA-EDF-Inria : membre du comité exécutif, représentant EDF pour l'analyse numérique.

2005 **Stage de fin d'études**, *AREVA NP*, *département Développement*.

- (6 mois)
- Développement d'un modèle de sections efficaces pour la simulation neutronique des cœurs de réacteurs nucléaires à haute température (GTMHR).
 - Utilisation des codes de calcul du CEA : APOLLO2, CRONOS2

2004 **Stage de recherche**, *Univ. de Californie, Santa Barbara (UCSB)*, *dept. Génie Chimique*.

- (4 mois)
- Analyse de sensibilité d'un processus de granulation
 - Développement d'une méthode de contrôle de la distribution de tailles de granulats produits.

Formation

2005–2008 **Thèse**, *Commissariat à l'Énergie Atomique, Saclay*.

Sujet : Simulation du transport des neutrons avec la méthode des caractéristiques.

Encadrement : Richard Sanchez, Simone Santandrea

- Développements intégrés dans le solveur TDT du code APOLLO2.

2002–2005 **Ingénieur**, *École Nationale Supérieure de Techniques Avancées (ENSTA)*.

Spécialité “modélisation des systèmes physiques” : calcul scientifique et parallèle, commande des systèmes, optimisation différentiable, physique des réacteurs, propagation des ondes.

2004–2005 **Master Modélisation et Simulation**, *INSTN, Saclay*.

Prix et distinctions

2007 **Best student paper award**, *conférence Mathematics & Computations*.

Lauréat de l'un des 3 prix décernés par un jury de l'ANS (*American Nuclear Society*) parmi tous les étudiants participant à la conférence.

2007 **Best student award**, *International Youth Conference in Energetics (IYCE)*.

Prix de la meilleure présentation à la conférence IYCE, dans la catégorie “Simulation”.

Compétences et sujets de recherche

Communication et animation d'activités scientifiques

- Encadrement & Enseignement
- Suivi et co-direction de quatre thèses avec divers partenaires : École Polytechnique de Montréal, Imperial College, Université Pierre et Marie Curie, CEA ;
 - Encadrement de 7 stagiaires ;
 - Enseignement académique en mathématiques appliquées (niveau L3 à M2) ;
 - Formation professionnelle : organisation et intervention dans plusieurs écoles d'été.
- Communication scientifique
- 34 articles et présentations dans des revues et conférences internationales, ainsi que
- Relecture d'articles pour les revues *Nuclear Science and Engineering*, *Annals of Nuclear Energy*, *European Physical Journal in Nuclear Sciences & Technologies* ;
 - Membre du comité de programme des workshops & conférences :
 - *Numerical Software Verification* (NSV 2017),
 - *Euro-Par 2019*,
 - *Numerical Reproducibility at Exascale* (NRE 2019) ;
 - *Panelist* pour le workshop *Numerical Reproducibility at Exascale 2019*.

Développement de solveurs à haut rendement, Mathématiques appliquées

- Méthodes num. Méthode des caractéristiques, éléments finis ;
- Langages (*production*) C++, Julia, Python ;
(*prototypage*) Matlab, Maxima (calcul formel) ;
- Paradigmes Méta-programmation, *multithreading*, vectorisation.

Qualité numérique des codes

- Arithmétique Arithmétiques flottante et stochastique, détection des erreurs d'arrondi ;
- Outils d'analyse Analyse des instabilités numériques :
- Utilisation de la bibliothèque CADNA (LIP6) ;
 - Développement de l'outil VERROU et application aux codes métier EDF (Code_Aster, Apogee) ;
 - Montage de l'ANR Interflop, regroupant 7 partenaires pour le développement d'outils innovants pour la qualité numérique.

Physique des Réacteurs : modélisation et simulation

- Chaîne industrielle Développement dans la future chaîne de calcul des cœurs COCAGNE :
- Solveurs d'évolution des concentrations isotopiques (modèle général, modèle spécifique aux chaînes Xénon et Samarium),
 - Méthodes de reconstruction fine du flux pour la diffusion neutronique,
 - Fonctionnalités de *rod cusping* pour les calculs instationnaires en diffusion.
- Schémas avancés Développement de solveurs pour l'équation de Boltzmann :
- Mise au point de la méthode d'accélération du solveur de transport 3D cartésien DOMINO,
 - Développement du solveur de transport 3D en géométries non structurées MICADO.

Gestion d'activités & projets techniques

- Schémas avancés en neutronique Responsable du lot "Solveurs" du projet (2017–2018) :
- Réalisation de la feuille de route de développement des solveurs de neutronique pour la période 2019–2023 (800k€ sur 5 ans) ;
 - Coordination des plans de R&D relatifs aux solveurs neutroniques avec Framatome.
- Performance et Qualité des Simulations Responsable du lot "Sujets Exploratoires et Méthodes Avancées" (2015–2019) :
- Organisation et suivi des activités du lot (2 thèses), en relation avec les acteurs d'autres départements d'EDF.

Développement logiciel

Logiciels *Open Source* (liste complète disponible sur <http://github.com/ffevotte>)

- Verrou** Outil de diagnostic & débogage des problèmes liés à l'arithmétique flottante dans les codes de calcul scientifique.
C (9k lignes) ★ 24 📄 7
 - Co-développeur principal
 - Outil utilisé par de nombreux développeurs de codes : EDF, CEA, Thalès, CNRS/IN2P3...
 - <https://github.com/edf-hpc/verrou>
- clang-tags** Outil d'indexation de code source C / C++ pour les IDE.
C++ (4k lignes) ★ 104 📄 23
 - Développeur principal
 - <https://github.com/ffevotte/clang-tags>
- AccurateArithmetic.jl** Implémentation performante d'algorithmes compensés vectorisés en langage Julia.
Julia (2k lignes) ★ 25 📄 5
 - Développeur principal
 - Performance comparable à OpenBLAS pour la somme et le produit scalaire sur architectures AVX-2 & AVX-512
 - <https://github.com/JuliaMath/AccurateArithmetic.jl>
- GFlops.jl** Outil de benchmarking permettant de déterminer la performance absolue de codes Julia.
Julia (1k lignes) ★ 35 📄 3
 - Développeur principal
 - <https://github.com/triscale-innov/GFlops.jl>

Logiciels propriétaires

- Micado** Solveur pour l'équation de Boltzmann en géométries 3D prismatiques.
C++ (11k lignes)
 - Développeur principal : architecture, méthodes numériques et implémentation
 - Méthode numérique à l'état de l'art pour les algorithmes de *splitting* 2D-1D
 - Parallélisme à 3 niveaux : mémoire distribuée (MPI) & partagée (tbb), SIMD (Eigen)
- Domino** Solveur pour l'équation de Boltzmann en géométries cartésiennes, intégré dans la plateforme de neutronique COCAGNE.
C++ (100k lignes)
 - Contributeur : méthodes numériques pour l'accélération
 - Mise au point du préconditionneur parallèle (mémoire distribuée)
- Diabolo** Solveur pour l'équation de la diffusion en géométrie cartésiennes, intégré dans la plateforme de neutronique COCAGNE.
C++ (100k lignes)
 - Contributeur : solveur instationnaire, évolutions du schéma de discrétisation spatiale
 - Mise au point des méthodes de remaillage lors de changement de géométrie au cours du temps
 - Post-traitement des éléments finis pour améliorer l'ordre de convergence spatiale

Encadrement, enseignement & formation

Enseignement académique

- depuis 2007 **ENSTA et Université Paris Saclay, 50h/an.**
- *Introduction à la discrétisation des EDP* : 1^{ère} année ENSTA, chargé de TD (resp: P. Joly) ;
 - *La méthode des éléments finis* : 2^{ème} année ENSTA, chargé de TD (resp: S. Fliss) ;
 - *Modélisation et simulation du transport de particules neutres* : Master Analyse, Modélisation et Simulation (AMS), co-responsable avec G. Samba (CEA);
 - Membre du conseil de perfectionnement de l'université Paris Saclay.

Formation professionnelle

- 2018 **Ecole d'été CEA–EDF–Inria, 40h.**
Organisation d'une école d'été d'une semaine sur le thème de la qualité numérique des codes :
○ recrutement des formateurs ;
○ préparation des séances de Travaux Pratiques autour du logiciel VERROU et des algorithmes compensés.
- 2018 **Ecole Thématique de la Simulation Numérique, 12h.**
Intervention lors d'une école co-organisée par le CEA/DAM et l'ENS Cachan (CMLA) :
○ cours magistral sur l'arithmétique stochastique pour vérifier la qualité numérique des codes ;
○ animation des Travaux Pratiques autour du logiciel VERROU.
- 2017 **Ecole d'été PRECIS (Précision et REproductibilité en Calcul Informatique et Scientifique), 3h.**
Intervention lors d'une école d'été organisée par le groupe "Calcul" du CNRS :
○ présentation de l'arithmétique stochastique et du logiciel Verrou,
○ travaux pratiques.

Encadrement de doctorants

- Wesley Ford (2016–) **Vers des méthodes d'accélération stables et efficaces en contextes parallèles appliquées à l'équation du transport des neutrons.**
○ Directeur : Christophe Calvin (CEA, Maison de la Simulation).
- Romain Picot (2015–2018) **Vérification numérique de logiciels de calculs industriels.**
○ Directrice : Fabienne Jézéquel (Université Pierre et Marie Curie, Paris 6).
- Rebecca Jeffers (2013–2016) **Goal Based Coupled Adaptive Mesh Refinement (AMR) and angular adaptivity on Cartesian Meshes for Modelling Neutron Transport in PWR Reactor Cores.**
○ Directeur : Matthew D. Eaton (Imperial College London).
- Marc-André Lajoie (2011–2017) **Développement d'un schéma de calcul prismatique généralisé parallèle en transport déterministe hétérogène 3-D.**
○ Co-directeur : Guy Marleau (École Polytechnique de Montréal).

Encadrement de stagiaires

- Morgane Steins (2018) **Amélioration de la convergence spatiale des éléments finis en neutronique.**
○ Utilisation de techniques d'analyse d'erreur *a posteriori* pour améliorer la convergence spatiale des calculs en éléments finis de Raviart-Thomas ;
○ Application à la neutronique : amélioration du calcul des intégrales du flux cellule par cellule pour la reconstruction fine de puissance ;
○ Expérimentation numérique en langage Julia.
- Mehdi Ouafi (2017) **Conditionnement des problèmes d'optimisation de la production hydraulique.**
○ Etude des liens entre conditionnement des matrices de contraintes et performance de la résolution des problèmes d'optimisation.
- Louis Denoix (2017) **Stabilité numérique des algorithmes d'optimisation.**
○ Analyse de la qualité numérique du solveur d'optimisation SoPlex à l'aide de l'outil Verrou.
- Chou Xiaochen (2016) **Gestion des erreurs numériques dans les problèmes de planification hydraulique.**
○ Analyse de l'impact de l'arithmétique flottante sur la faisabilité et la performance de résolution des problèmes de planification de la production hydraulique.
- Guy Augarde (2015) **Exploration du potentiel du langage Julia pour le calcul scientifique.**
○ Développement d'une bibliothèque d'algèbre linéaire par blocs hiérarchiques en langage Julia.
- Salli Moustafa (2013) **Vectorisation d'un algorithme de transport neutronique en géométries prismatiques.**
○ Amélioration des performances du solveur en utilisant les unités de calcul SSE / AVX,
○ Utilisation de la bibliothèque C++ Eigen pour le développement de code vectorisé performant et portable.
- Ulrick Séverin (2012) **Intégration fine du flux dans la plate-forme COCAGNE.**
○ Mise au point et application d'une méthodologie de validation des techniques de reconstruction fine du flux dans la plate-forme de neutronique COCAGNE.

Publications

Preprints

- [34] Chris Elrod and François Févotte. Accurate and efficiently vectorized sums and dot products in Julia. Preprint, August 2019.

Journaux

- [33] Devan Sohler, Pablo De Oliveira Castro, François Févotte, Bruno Lathuilière, Eric Petit, and Olivier Jamond. Confidence intervals for stochastic arithmetic. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 47(2), 2021.
- [32] Wesley Ford, Emiliano Masiello, Christophe Calvin, François Févotte, and Bruno Lathuilière. The response matrix acceleration: A new non-linear method for the 3D discrete-ordinate transport equation. *Annals of Nuclear Energy*, 146, 2020.
- [31] Rebecca S. Jeffers, József Kópházi, Matthew D. Eaton, François Févotte, Frank Hülsemann, and Jean Ragusa. Goal-based error estimation for the multi-dimensional diamond difference and box discrete ordinate (S_N) methods. *Journal of Computational and Theoretical Transport*, 2020.
- [30] Hadrien Grasland, François Févotte, Bruno Lathuilière, and David Chamont. Floating-point profiling of ACTS using Verrou. *EPJ Web Conf.*, 214, 2019.
- [29] Stef Graillat, Fabienne Jézéquel, Romain Picot, François Févotte, and Bruno Lathuilière. Auto-tuning for floating-point precision with discrete stochastic arithmetic. *Journal of Computational Science*, 36, September 2019.
- [28] Wesley Ford, Emiliano Masiello, Christophe Calvin, François Févotte, and Bruno Lathuilière. A spatially variant rebalancing method for discrete-ordinates transport equation. *Annals of Nuclear Energy*, 133:589–602, 2019.
- [27] Salli Moustafa, François Févotte, Mathieu Faverge, Laurent Plagne, and Pierre Ramet. Efficient parallel solution of the 3D stationary boltzmann transport equation for diffusive problems. *Journal of Computational Physics*, 388:335 – 349, 2019.
- [26] François Févotte. Piecewise Diffusion Synthetic Acceleration scheme for neutron transport simulations in optically thick systems. *Annals of Nuclear Energy*, 118:71–80, 2018.
- [25] Rebecca S. Jeffers, József Kópházi, Matthew D. Eaton, François Févotte, Frank Hülsemann, and Jean Ragusa. Goal-based error estimation, functional correction, h, p and hp adaptivity of the 1-D diamond difference discrete ordinate method. *Journal of Computational and Theoretical Transport*, 46(6-7):427–458, 2017.
- [24] Rebecca Jeffers, József Kópházi, Matthew D. Eaton, François Févotte, Frank Hülsemann, and Jean Ragusa. Goal-based h-adaptivity of the 1-D diamond difference discrete ordinate method. *Journal of Computational Physics*, 335:179–200, January 2017.
- [23] François Févotte and Gilles Févotte. A method of characteristics for solving population balance equations (PBE) describing the adsorption of impurities during crystallization processes. *Chemical Engineering Science*, 65(10):3191–3198, May 2010.
- [22] Simone Santandrea, Jean-Charles Jaboulay, Pierre Bellier, François Févotte, and Hervé Golfier. Improvements and validation of the linear surface characteristics scheme. *Annals of Nuclear Energy*, 36(1):46–59, January 2009.

Conférences

- [21] François Févotte and Bruno Lathuilière. Debugging and optimization of HPC programs with the Verrou tool. In *International Workshop on Software Correctness for HPC Applications (Correctness)*, Denver, CO, USA, November 2019.

- [20] Wesley Ford, Emiliano Masiello, Christophe Calvin, François Févotte, and Bruno Lathuilière. The response matrix acceleration method for the discrete-ordinate transport equation. In *International Conference on Mathematics and Computations (M&C)*, Portland, OR, USA, August 2019.
- [19] Stef Graillat, Fabienne Jézéquel, Romain Picot, François Févotte, and Bruno Lathuilière. Numerical validation in quadruple precision using stochastic arithmetic. In *Minisymposium on Trusted Numerical Computations (TNC)*, Krakow, Poland, June 2018.
- [18] François Févotte and Bruno Lathuilière. Studying the numerical quality of an industrial computing code: A case study on code_aster. In *10th International Workshop on Numerical Software Verification (NSV)*, pages 61–80, Heidelberg, Germany, July 2017.
- [17] François Févotte and Bruno Lathuilière. Tester la qualité numérique des codes de calcul avec Verrou. In *Colloque National en Calcul des Structures (CSMA)*, Giens, France, May 2017.
- [16] Ansar Calloo, David Couyras, François Févotte, and Matthieu Guillo. COCAGNE: EDF new neutronic core code for ANDROMÈDE calculation chain. In *International Conference on Mathematics & Computational Methods Applied to Nuclear Science & Engineering (M&C)*, Jeju, Korea, April 2017.
- [15] François Févotte and Bruno Lathuilière. VERROU: a CESTAC evaluation without recompilation. In *International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetics and Verified Numerics (SCAN)*, Uppsala, Sweden, September 2016.
- [14] Stef Graillat, Fabienne Jézéquel, Romain Picot, François Févotte, and Bruno Lathuilière. PROMISE: floating-point precision tuning with stochastic arithmetic. In *International symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic and Verified Numerics (SCAN)*, Uppsala, Sweden, September 2016.
- [13] François Févotte and Bruno Lathuilière. VERROU : l'arithmétique stochastique sans recompiler. In *Rencontres de l'Arithmétique Informatique et Mathématique (RAIM)*, Rennes, France, April 2015.
- [12] Matthieu Guillo, David Couyras, François Févotte, and Fabrice Hoareau. Optimized algorithm for the microscopic depletion model in the COCAGNE core code: a 2-level core partitioning approach. In *International Conference on the Physics of Reactors (PHYSOR)*, Kyoto, Japan, September 2014.
- [11] Marc-André Lajoie, François Févotte, and Guy Marleau. A generalization of 3D prismatic characteristics along a non-uniform projection mesh. In *International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications (SNA)*, Paris, France, September 2013.
- [10] Salli Moustafa, François Févotte, Bruno Lathuilière, and Laurent Plagne. Vectorization of a 2D–1D iterative algorithm for the 3D neutron transport problem in prismatic geometries. In *International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications (SNA)*, Paris, France, September 2013.
- [9] François Févotte and Bruno Lathuilière. MICADO: Parallel implementation of a 2D–1D iterative algorithm for the 3D neutron transport problem in prismatic geometries. In *International Conference on Mathematics and Computations (M&C)*, Sun Valley, ID, USA, May 2013.
- [8] David Couyras, François Févotte, and Laurent Plagne. Novel fine flux integration methods for the DIABOLO simplified transport (SP_N) solver in COCAGNE. In *International Conference on Mathematics and Computations (M&C)*, Sun Valley, ID, USA, May 2013.
- [7] François Févotte and Gilles Févotte. A new approach for the modelling of crystallization processes in impure media using Population Balance Equations (PBE). In *proceedings of the 7th IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes*, volume 42, pages 52 – 61, 2009.
- [6] François Févotte, Simone Santandrea, and Richard Sanchez. Tracking on periodic lattices for the method of characteristics. In *International Conference on the Physics of Reactors (PHYSOR)*, Interlaken, Switzerland, September 2008.
- [5] François Févotte, Simone Santandrea, and Richard Sanchez. Improved transmission probabilities for the method of characteristics. In *International Youth Conference on Energetics*, Budapest, Hungary, October 2007.

- [4] François Févotte, Simone Santandrea, and Richard Sanchez. Advanced transverse integration for the method of characteristics. In *International Conference on Mathematics and Computation (M&C)*, Monterey, CA, USA, April 2007.
- [3] François Févotte, Simone Santandrea, and Richard Sanchez. Schéma numérique pour la résolution de l'équation du transport des neutrons avec la méthode des caractéristiques. In *Rencontres Jeunes Chercheurs*, Les Houches, France, January 2007.
- [2] François Févotte and Francis J. Doyle, III. Sensitivity analysis of multi-regime population balance model for control of multiple particulate properties in granulation. In *American Control Conference*, 2005.

Thèse

- [1] François Févotte. *Techniques de traçage pour la méthode des caractéristiques appliquée à la résolution de l'équation du transport des neutrons en domaines multi-dimensionnels*. PhD thesis, Université Paris Sud 11, Orsay, October 2008.