

**Acronyme du projet : EVA-Flo**

**Titre du projet : Évaluation et Validation Automatique pour le calcul Flottant**

**Nom du porteur de projet : REVOL**

**Prénom du porteur de projet : Nathalie**

**Discipline : Informatique**

**Montant du financement ANR : 130 500 €**

**Noms, prénoms, laboratoires d'appartenance et organismes des Responsables des Partenaires :**

- DAUMAS Marc, équipe Dali, ELIAUS, Université de Perpignan Via Domitia
- GOUBAULT Éric, MeaSI, LIST, CEA Saclay
- HASCOËt Laurent. Équipe Tropics, INRIA Sophia Antipolis - Méditerranée

**Mots Clés** (5 principaux):

- qualité des calculs numériques
- évaluation en arithmétique flottante
- validation, certification, preuve
- automatisation

**Résumé du projet** (15 lignes maximum) :

Lors du passage d'une formulation mathématique à un calcul numérique sur ordinateur, on aimerait que les résultats calculés soient proches des valeurs exactes. Or les ordinateurs calculent le plus souvent en arithmétique flottante : ils utilisent une représentation de taille finie et fixée pour les nombres et commettent donc, entre autres, des erreurs d'arrondi. Le premier objectif du projet EVA-Flo est d'évaluer numériquement une formule mathématique, de façon rapide et précise. On veut pouvoir spécifier la qualité du résultat calculé, par exemple une erreur absolue ou relative entre le résultat calculé et le résultat exact, ou la garantie qu'aucun débordement ne se produit (nombres trop grands, arrondis en  $\infty$ , ou trop petits)...

Le deuxième objectif est que cette qualité soit quantifiée (par exemple « erreur relative  $\leq 10^{-14}$  ») et garantie, le dernier objectif étant que ce processus d'évaluation et de validation soit automatisé.

Les formules mathématiques visées s'expriment à l'aide d'opérations arithmétiques ou algébriques et de fonctions mathématiques (exp, sin, atanh...), ainsi que de branchements conditionnels et de boucles. Il s'agit typiquement de petites portions critiques de plus gros codes numériques.

**Verrous ou points durs** (scientifiques, technologiques, organisationnels...) à dépasser (8 lignes maximum) :

Scientifiquement, les points difficiles sont, pour le volet « évaluation », de spécifier chaque objet, de construire un bon approximant, puis un bon schéma d'évaluation de cet approximant tout en prenant en compte l'architecture cible. Pour le volet « validation », il s'agit de développer les deux angles d'attaque, validation numérique et preuve formelle.

Technologiquement, deux points difficiles se dégagent, d'une part la représentation de la sémantique et des méta-informations (point sur lequel nous progressons avec l'ingénieur en CDD) et d'autre part l'automatisation de l'expertise acquise « manuellement » pour chaque étape.

### **Résultats majeurs** (8 lignes maximum) :

Des résultats scientifiques ont été obtenus dans chacun des trois volets du projet. Citons pour le volet « évaluation » : approximation, évaluation, précision du calcul et des résultats, projet Sardanes. Des codes ont été générés pour différentes architectures : processeurs généralistes, FPGA, GPU, processeurs embarqués, étude et prise en compte de l'ILP. Pour le volet « validation », nous avons développé des bornes calculables en arithmétique flottante, des calculs par intervalles et variantes (arithmétique affine, modèles de Taylor), des preuves formelles y compris pour des modèles probabilistes de l'arithmétique flottante. Un objectif majeur est d'automatiser notre expertise, cela a été accompli avec l'extension de codes existants et la création de nouveaux outils logiciels.

LEMA, un Langage pour les Expressions Mathématiques Annotés : avec l'ingénieur recruté pour le projet, nous mettons au point un langage (extension de MathML) pour spécifier et représenter les objets intermédiaires (objets mathématiques, approximants, objets calculés en arithmétique flottante...) et une bibliothèque pour manipuler les objets représentés.

**Production Scientifique depuis le début du projet** (6 principales publications à comité de lecture, brevets, conférences invitées, nb de colloques hors conférences invitées...)

**Publications à comité de lecture** (6 principales) : sélection de 6 publications parmi les 19 relevant du projet EVA-Flo, de sorte à couvrir le plus grand nombre d'auteurs et de thèmes.

- Nicolas Brisebarre and Jean-Michel Muller. *Correctly rounded multiplication by arbitrary precision constants*. IEEE Transactions on Computers, vol. 57, no 2, pp. 165--174, 2008.
- Sylvain Collange, Marc Daumas, and David Defour. *Line-by-line spectroscopic simulations on graphics processing units*. Computer Physics Communications, vol. 178, no 2 pp. 135--143, 2008.
- Florent de Dinechin and Gilles Villard. *High precision numerical accuracy in physics research*. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, vol. 559, no 1, pp. 207--210, 2006.
- Stef Graillat, Philippe Langlois, and Nicolas Louvet. *Algorithms for accurate, validated and fast computations with polynomials*. Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, Special issue on Verified Numerical Computation, vol. 26, no 23, pp. 191—214, 2009.
- P. Kornerup, Ch. Lauter, V. Lefèvre, N. Louvet, and J.-M. Muller. *Computing correctly rounded integer powers in floating-point arithmetic*. ACM Transactions on Mathematical Software, vol. 37, no 1, 2009.
- M. Martel. *Enhancing the implementation of mathematical formulas for fixed-point and floating-point arithmetics*. Journal of Formal Methods in System Design, 2009. To appear (15 pages).

19 publications : 4 IEEE Transactions on Computers, 3 ACM Transactions on Mathematical Software, 3 Theoretical Informatics and Applications, 1 dans Computer Physics Computations, 1 dans Journal of Formal Methods in System Design, 1 dans Journal of VLSI Signal Processing Systems, 1 dans IEEE Electronic Letters, 1 dans Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, 1 dans Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, 1 dans Romanian Journal of Information, Science and Technology et 2 dans Technique et Science Informatiques (francophone).

### **Ouvrage :**

- Jean-Michel Muller (coordinateur), Nicolas Brisebarre, Florent de Dinechin, Claude-Pierre Jeannerod, Vincent Lefèvre, Guillaume Melquiond, Nathalie Revol, Damien Stehlé, Serge Torres. *Handbook of Floating-Point Arithmetic*. Birkhäuser Boston, 2009. 572 p., ISBN 978-0-8176-4704-9

ainsi que deux chapitres de livres.

**Conférences invitées** (5 principales) :

- Jean-Claude Bajard, Philippe Langlois, Dominique Michelucci, Géraldine Morin, and Nathalie Revol. Towards guaranteed geometric computations with approximate arithmetics. In Advanced Signal Processing Algorithms, Architectures, and Implementations XVIII, part of the SPIE Optics & Photonics 2008 Symposium, volume 7074, (12 p.), August 2008.
- Philippe Langlois. *Performance analysis of some accurate and validated algorithms*. In International Workshop on Verified Numerical Computations and its Applications, Miyako, Japan, March 2008.
- Jean-Michel Muller. *Exact computations with an arithmetic known to be approximate*. Invited lectures (3 hours) at the conference Numeration : Mathematics and Computer Science, CIRM, Marseille, March 2009.
- Nathalie Revol. *Introduction to interval analysis and to some interval-based software systems and libraries*. In ECMI 2008, The European Consortium For Mathematics In Industry, July 2008.
- et 6 invitations à des séminaires à Dagstuhl (Ph. Langlois, V. Lefèvre, N. Louvet, J.-M. Muller, N. Revol).

**Nombre de Colloques** (hors conférences invitées) : 41 colloques internationaux.

**Nombre de Logiciels**: 7 (CGPE, CRLibm, FLIP, FloPoCo, LEMA, Metalibm, Sollya) et extension de logiciels développés par ailleurs (Fluctuat, FPLLL, Gappa, MPFI, MPFR, Tapenade)

**Personnels (en hommes x mois)**

*Exemple : un enseignant chercheur impliqué à 30% sur 36 mois aura une implication de 10.8 hommes/mois ( $36 \times 30\% = 10,8$ )*

Chercheurs + enseignants chercheurs + ingénieurs de recherche : 208,80 hommes.mois (435% sur 48 mois)

Autres ingénieurs et techniciens : 0

Personnel recruté dans le cadre du projet (CDD sur financement ANR) : 12 mois d'ingénieur

*dont post-docs : 0*

*dont doctorants (part sur financement ANR) : 0 sur financement ANR (7 thèses soutenues, 6 thèses en cours sur les thèmes d'EVA-Flo)*

**Images**

Merci de télécharger sur le site 1 à 3 images/photos, illustrant vos travaux de recherche (résolution 300 dpi, fichiers jpeg ou gif, de préférence au format paysage).

Titre Image 1 : Introduction

Titre Image 2 : Schéma organisationnel de LEMA

Titre Image 3 :

**Nous vous remercions pour ces informations**