

	Compte-rendu intermédiaire	

Projet ANR- 06-BLAN-0257

EVA-Flo

Évaluation et Validation Automatique en calcul Flottant

Programme BLANC 2006

A IDENTIFICATION	1
B LIVRABLES ET JALONS	2
C RAPPORT D'AVANCEMENT SUR LA PÉRIODE CONCERNÉE.....	2
C.1 Description des travaux effectués	2
C.2 Résultats marquants (si applicable)	5
C.3 Réunions du consortium (si applicable)	5
C.4 Commentaires libres	5
D IMPACT DU PROJET DEPUIS LE DÉBUT.....	5
D.1 Indicateurs d'impact	5
D.2 Liste des publications et communications	6
D.3 Liste des éléments de valorisation	6
D.4 Personnels recrutés en CDD (hors stagiaires).....	7
D.5 État financier	8
E ANNEXES ÉVENTUELLES	8

Ce document est à remplir par le coordinateur en collaboration avec les partenaires du projet L'ensemble des partenaires doit avoir une copie de la version transmise à l'ANR.

Ce modèle doit être utilisé uniquement pour le(s) compte(s)-rendu(s) intermédiaire(s) défini(s) dans les actes attributifs de financement, hors rapport T0+6 pour lequel il existe un modèle spécifique. Il existe également un modèle spécifique au compte-rendu final.

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	EVA-Flo
Titre du projet	Évaluation et Validation Automatique en calcul Flottant
Coordinateur du projet (société/organisme)	INRIA (Centre de Recherche Grenoble - Rhône-Alpes)
Date de début du projet	06/11/2006
Date de fin du projet	05/11/2010
Site web du projet, le cas échéant	http://www.ens-lyon.fr/LIP/Arenaire/EVA-Flo/

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mme Nathalie Revol
Téléphone	04 72 72 85 83
Adresse électronique	Nathalie.Revol@ens-lyon.fr
Date de rédaction	28/02/2010
Période faisant l'objet du rapport d'activité	Période du 06/11/2006 au 05/11/2009 (rapport à 36 mois)

B LIVRABLES ET JALONS

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des jalons et livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

État *	N°	Titre	Nature (jalon, rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
	1				

*Préciser : « Livré le... » ; « Prévu le... » ; « Reprévu le... » ; « Abandonné » ;

Pas de livrable mentionné dans la proposition du projet. Le planning proposé n'a pas pu être respecté tel quel, en particulier faute de financement pour un doctorant.

Tout d'abord, il était prévu pour la première année de développer différentes techniques telles que la détermination de la précision de calcul requise pour obtenir une précision cible en sortie : cela a été réalisé et implanté dans Sollya, de déterminer le meilleur schéma d'évaluation : cela a été étudié et implanté dans CGPE, avec pour cible des processeurs embarqués.

Le travail d'identification des besoins en spécification et représentation des objets manipulés (objet mathématique exact, approximant, résultat d'un calcul en arithmétique flottante, erreur relative ou absolue...) a conduit à abandonner l'idée d'annoter les programmes, à cause de l'expressivité trop réduite des annotations. Nous avons proposé le langage LEMA, un Langage pour les Expressions Mathématiques Annotées, basé sur la partie « content » de MathML et conçu pour répondre à nos besoins (arithmétique flottante en particulier) et nous continuons à travailler à son élaboration.

Enfin, pour ce qui est du volet « automatisation », un grand nombre d'implantations logicielles ont concrétisé cet objectif, avec une automatisation de l'expertise requise pour chacune des différentes étapes menant à la génération automatique de codes numériques validés, pour différentes architectures cibles.

Le travail prévu à partir de la deuxième année sur l'interaction entre ces différents outils, pour une intégration de ces étapes en un processus complet, aurait dû être confié au doctorant demandé pour ce projet. Nous le réalisons via des réunions (presque) hebdomadaires au sein de l'équipe Arénaire, depuis 2007. L'implantation effective, prévue pour les deuxième et troisième années, se fait via LEMA, qui permet entre autres aux différents outils mentionnés plus haut de communiquer : c'est l'objet du travail (en cours) de l'ingénieur de développement recruté pour le projet. Ce recrutement s'est produit plus tardivement que prévu dans la proposition, en particulier parce que le travail préliminaire nous a pris plus de temps que prévu, faute de forces vives dédiées.

C RAPPORT D'AVANCEMENT SUR LA PÉRIODE CONCERNÉE

C.1 DESCRIPTION DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Maximum 1 à 2 pages. Travaux et résultats obtenus pendant la période concernée, conformité de l'avancement des travaux avec le plan initialement prévu. Prévision de travaux pour la (les) prochaine(s) période(s). Difficultés éventuelles rencontrées et solutions de remplacement envisagées ex : impasse technique, abandon d'un sous traitant, maîtrise des délais, maîtrise des budgets. Faut-il revoir le contenu du projet ? Faut-il revoir le calendrier du projet ?

Le projet EVA-Flo se décline selon les trois axes « Évaluation », « Validation » et « Automatisation ». Pour chacun d'eux, nous détaillons ci-dessous les résultats obtenus et les réalisations correspondantes. Les commentaires concernant la conformité avec le calendrier prévu sont donnés en partie B.

Évaluation

Les travaux ont porté sur la détermination, pour une fonction donnée par une expression mathématique, d'un bon approximant, qui satisfait des critères de proximité mathématique mais aussi des critères relatifs à son évaluation ultérieure en arithmétique flottante : coefficients représentables en arithmétique flottante, égaux à plus ou moins une puissance de 2, ... Les travaux futurs porteront sur d'autres types d'approximants : polynômes trigonométriques pour des applications de traitement du signal par exemple, et sur le cas à plusieurs variables, mais cela déborde le cadre de ce projet.

Un autre type d'approximation, l'approximation hiérarchique, porte sur l'approximation d'un polynôme de degré fixé sur un domaine D par des polynômes de petit degré (1 ou 2) sur des sous-domaines de D : nous avons mis au point des techniques de détermination et d'évaluation rapides de ces polynômes de petit degré.

L'étude de schémas d'évaluation rapide et précise de polynômes de degrés quelconques a fait l'objet de différents travaux. Citons d'une part le calcul en précision augmentée (double-double, triple-double) ou les algorithmes compensés, pour obtenir une bonne précision ou encore l'arrondi fidèle du résultat, sur processeurs généralistes. Une étude (via un simulateur) a permis de mieux comprendre l'influence du parallélisme d'instructions (ILP: Instruction Level Parallelism) sur les performances de ces derniers algorithmes. Mentionnons d'autre part la détermination de schémas d'évaluation efficaces qui prennent en compte les spécificités architecturales sur des processeurs embarqués. Enfin, l'implantation de codes numériques sur GPU (Graphics Processing Unit) vise à tirer parti de ce type d'architecture, avec pour objectif des performances en terme de vitesse dans un premier temps.

La réalisation d'un évaluateur générique de polynômes pour FPGA (Field-Programmable Gate Array) est en cours.

Validation

Les travaux se déclinent selon deux directions : validation numérique et preuve formelle.

La validation numérique est la garantie, obtenue par calcul numérique ou par preuve « manuelle », de la qualité numérique du résultat (erreur relative inférieure à un seuil donné, garantie qu'il n'y a pas de dépassement de capacité, garantie de la positivité du résultat, etc.). La spécificité du projet EVA-Flo, et plus généralement des travaux des partenaires impliqués, est de garantir la qualité des résultats calculés. Ce souci prime sur les performances, même si l'obtention de bonnes performances reste l'un de nos objectifs et que nos implantations sont compétitives avec les réalisations concurrentes. De plus, générer automatiquement un code validé permet au passage de le spécialiser et donc de le rendre très performant.

Tout d'abord, si on souhaite obtenir l'arrondi correct d'une fonction mathématique, il faut déterminer avec quelle précision les valeurs de cette fonction, pour des arguments flottants, doivent être déterminées et ce indépendamment de l'approximation choisie. Les recherches exhaustives des « pires cas », c'est-à-dire les valeurs flottantes pour lesquelles cette précision est maximale, ont progressé : traitement de la fonction puissance x^y , pour des puissances y entières ou réelles.

Pour évaluer une fonction, on la remplace par un approximant que l'on sait facilement évaluer, typiquement un polynôme. La validation de la qualité numérique d'un approximant s'obtient en majorant la norme infinie (la distance maximale) entre la fonction et son approximant, sur le domaine considéré. Elle est fournie dans le logiciel Sollya, en utilisant l'arithmétique par intervalles et plus précisément une adaptation des modèles de Taylor pour des résultats précis et garantis.

On détermine ensuite des schémas d'évaluation de ces polynômes qui sont rapides et précis. Pour les algorithmes compensés, la preuve de la précision obtenue en sortie est établie, via une borne dynamique validée et calculée en arithmétique flottante. Pour ceux de ces algorithmes qui retournent un arrondi fidèle du résultat exact, une preuve a également été établie.

L'objectif du projet Fluctuat est d'analyser un code numérique et de diagnostiquer d'éventuels problèmes numériques. Pour cela, des encadrements des valeurs calculées sont obtenues en utilisant l'arithmétique affine. Les techniques employées ont été améliorées et ces encadrements sont plus précis qu'auparavant.

Les travaux en cours portent sur l'amélioration de l'efficacité de méthodes basées sur l'arithmétique par intervalles (pour certifier la solution de systèmes linéaires), et sur l'utilisation de la différentiation automatique, qui permet de calculer des conditionnements et donc des majorants de l'erreur. Pour ce qui est de la différentiation automatique, notre collaboration avec l'équipe Tropics a conduit cette dernière à adapter son logiciel Tapenade afin qu'il puisse lire, en entrée, nos codes (C ou éventuellement LEMA).

Pour ce qui est de la preuve formelle, une modélisation probabiliste de l'accumulation des erreurs d'arrondi pour de très longs calculs a permis de mettre en évidence que le résultat calculé présente des chiffres corrects. En effet, une modélisation basée sur les pires cas d'erreurs conclut de façon pessimiste que ce résultat n'a plus aucun chiffre correct, ce qui n'est pas toujours réaliste. Cette modélisation probabiliste concerne les termes d'erreurs au premier ordre, des travaux sont en cours pour capturer les termes d'erreurs d'ordre supérieur.

Automatisation

Une problématique qui sous-tend le projet EVA-Flo est d'automatiser l'expertise acquise dans chacun des domaines précédents. Ce souci se concrétise par la réalisation d'outils logiciels. Mentionnons, par ordre alphabétique :

- CGPE (Code Generation for Polynomial Evaluation) : outil d'exploration et de génération de programmes C d'évaluation polynomiale rapides et précis, pour processeurs embarqués entiers de type VLIW ;
- FLIP (Floating-point Library for Integer Processors) : bibliothèque d'arithmétique flottante performante pour processeurs embarqués entiers (c'est-à-dire qui ne disposent pas d'unité flottante) ;
- FloPoCo (Floating-Point Cores) : générateur de cœurs arithmétiques pour FPGA essentiellement (génération de VHDL) ;
- LEMA (Langage pour les Expressions Mathématiques Annotées) : langage de spécification et de représentation des objets mathématiques utilisés dans le projet et bibliothèque de manipulation de ces objets ;
- Metalibm : outil intégrant l'utilisation de Sollya (pour la génération d'approximants de qualité mathématique et numérique certifiée) et de Gappa (pour la validation automatique) ;
- SIPE (Small Integer Plus Exponent) : outils d'arithmétique flottante à faible précision avec arrondi correct, pour le test d'algorithmes simples (par exemple TwoSum) ;
- Sollya : environnement pour l'évaluation de fonctions mathématiques avec arrondi correct : détermination d'un bon approximant, avec qualité mathématique garantie, et de son schéma d'évaluation.

Des logiciels existants ont continué à être développés et/ou ont été étendus pour prendre en compte les développements du projet EVA-Flo :

- CRLibm (Correctly Rounded Libm) : bibliothèque de fonctions mathématiques (*libm*) avec arrondi correct et performances comparables à celles des bibliothèques concurrentes sans arrondi correct ;
- Fluctuat : analyse statique de codes numériques pour étudier la propagation des erreurs d'arrondi et en particulier diagnostiquer les zones où se produisent les problèmes numériques majeurs ;
- fpLLL (floating-point LLL) : bibliothèque pour les réseaux euclidiens, en particulier calcul de bases LLL-réduites, utilisant l'arithmétique flottante ;
- Gappa (Générateur Automatique de Preuves de Propriétés Arithmétiques) : mise au point de preuves numériques et génération de preuves formelles vérifiables par un assistant de preuves (Coq) ;
- GNU MPFR (Multiple-Precision Floating-point Reliable library) et MPFI (Multiple-Precision Floating-point Interval library) : bibliothèques d'arithmétique à précision arbitraire, respectivement d'arithmétique flottante et d'arithmétique par intervalles ;
- Tapenade : différentiation automatique de codes numériques.

La liste des résultats obtenus est longue et couvre bien les différents aspects de la proposition initiale, elle les dépasse même largement.

C.2 RÉSULTATS MARQUANTS (SI APPLICABLE)

En deux lignes. Cet élément pourrait donner lieu à communication, après accord du coordinateur du projet.

La norme IEEE 754-2008 pour l'arithmétique flottante recommande de fournir les fonctions mathématiques avec arrondi correct, au vu des performances de la bibliothèque CRLibm.

La création et la présidence du groupe IEEE P1788 pour la normalisation de l'arithmétique par intervalles sont à mettre au crédit d'un membre d'EVA-Flo.

C.3 RÉUNIONS DU CONSORTIUM (SI APPLICABLE)

Date	Lieu	Partenaires présents	Thème de la réunion
11&12-04-2007	Lyon	tous	Différentiation automatique LEMA avancement des travaux
18&19-10-2007	Perpignan	tous	Architectures preuve formelle avancement des travaux
08&09-04-2008	Saclay	tous	Analyse statique certification de plusieurs problèmes d'analyse numériquement avancement des travaux
22&23-09-2009	Lyon	tous	Preuve formelle certification d'opérateurs et de programmes numériques avancement des travaux
Avril 2010	Perpignan	tous	À définir

C.4 COMMENTAIRES LIBRES

Commentaire du coordinateur

Commentaire général à l'appréciation du coordinateur, sur l'état d'avancement du projet, les interactions entre les différents partenaires...

La forte coopération entre les équipes impliquées est particulièrement visible via la mobilité des personnes : Nicolas Louvet a préparé sa thèse dans l'équipe DALI avant d'être post-doctorant puis maître de conférences dans l'équipe Arénaire, Sylvain Collange a été stagiaire dans l'équipe Arénaire avant d'aller préparer une thèse dans l'équipe DALI, Matthieu Martel était ingénieur dans l'équipe MEASI avant d'être recruté comme maître de conférences dans l'équipe DALI, d'autres nouveaux docteurs du projet candidatent dans les différentes équipes partenaires et enfin Arénaire accueillera l'été prochain un stagiaire de M2 de DALI.

Commentaire des autres partenaires

Éventuellement, commentaires libres des autres partenaires

...

Question(s) posée(s) à l'ANR

Éventuellement, question(s) posée(s) à l'ANR...

...

D IMPACT DU PROJET DEPUIS LE DÉBUT

Ce rapport rassemble des éléments cumulés depuis le début du projet qui seront suivis tout au long de l'avancée du projet et repris dans son bilan.

D.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en D.2)

Comptabiliser séparément les actions monoparttenaires, impliquant un seul partenaire, et les actions multiparttenaires résultant d'un travail en commun.

Attention : éviter une inflation artificielle des publications, mentionner uniquement celles qui résultent directement du projet (postérieures à son démarrage, et qui citent le soutien de l'ANR et la référence du projet).

		Publications multiparttenaires	Publications monoparttenaires
International	Revue à comité de lecture	1	16
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		2
	Communications (conférence)	4	51
France	Revue à comité de lecture		2
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)		2
Actions de diffusion	Articles vulgarisation		
	Conférences vulgarisation		
	Autres		7 thèses ou HDR soutenues

Autres valorisations scientifiques (à détailler en D.3)

Ce tableau dénombre et liste les brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, du savoir faire, des retombées diverses en précisant les partenariats éventuels. Voir en particulier celles annoncées dans l'annexe technique).

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation (obtention / cession)	
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	
Colloques scientifiques	SCAN 2010, 14 th GAMM-IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic and Validated Numerics
Autres (préciser)	Logiciels (7 créations et 7 extensions de logiciels existants)

D.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Répertorier les publications résultant des travaux effectués dans le cadre du projet. On suivra les catégories du premier tableau de la section Error: Reference source not found en suivant les normes éditoriales habituelles. En ce qui concerne les conférences, on spécifiera les conférences invitées.

La liste complète des publications se trouve dans le document PDF en annexe.

Les publications multi-partenaires sont signalées par une astérisque * et une mention spéciale.

D.3 LISTE DES ÉLÉMENTS DE VALORISATION

La liste des éléments de valorisation inventorie les retombées (autres que les publications) décomptées dans le deuxième tableau de la section Error: Reference source not found. On détaillera notamment :

- brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.
- logiciels et tout autre prototype
- actions de normalisation
- lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...

- le développement d'un nouveau partenariat,
- la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté
- création d'entreprise, essaimage, levées de fonds
- autres (ouverture internationale,...)

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

Nous rappelons pour mémoire les développements logiciels mentionnés plus haut (paragraphe C.1). Ces logiciels ont de nombreux utilisateurs : par exemple CRLibm est désormais la référence en matière de libm (inclusion dans gcc prévue), FloPoCo est utilisé par au moins une dizaine d'universités et entreprises en Europe, en Amérique du Nord et du Sud et en Asie, Sollya est utilisé par plusieurs membres d'EVA-Flo et par la compagnie Intel.

Ces travaux ont été valorisés à travers notre collaboration avec STMicroelectronics : la bibliothèque FLIP est développée pour les processeurs embarqués de la famille ST200 et exhibe des performances de 2 à 5 fois supérieures à celle de la bibliothèque développée en interne. Toujours sur le thème de la génération, de plus en plus automatisée, d'opérateurs et de blocs de codes numériques, d'autres collaborations se sont mises en place.

L'activité du projet est également importante en ce qui concerne la normalisation : la bibliothèque CRLibm a servi de « proof of concept » et a conduit à la recommandation, dans la révision IEEE 754-2008 de la norme sur l'arithmétique flottante, de fournir des fonctions mathématiques avec arrondi correct. Un groupe de travail, IEEE P1788, s'est créé avec pour objectif de normaliser l'arithmétique par intervalles, sous l'impulsion et désormais la présidence, d'un membre du projet.

D.4 PERSONNELS RECRUTÉS EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet. Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Des données complémentaires sur le devenir professionnel des personnes concernées seront demandées à la fin du projet. Elles pourront faire l'objet d'un suivi jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet			
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. antérieure (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Date de recrutement	Durée missions (mois) (3)
THÉVENY Philippe	H	philippe.theveny@laposte.net		IUP	France	6 en maths et 2 en informatique	Lyon	ingénieur	01/01/10	12 mois
NOVOCIN Andrew	H	andy@novocin.com		doctorat	Hors UE (USA)	1 an de postdoc	Lyon	ingénieur	01/01/10	12 mois

Aide pour le remplissage

(1) **Adresse email** : indiquer une adresse email la plus pérenne possible

(2) **Poste dans le projet** : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)

(3) **Durée missions** : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées ou prévues sur le projet

Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact>).

D.5 ÉTAT FINANCIER

Donner un état indicatif de la consommation des crédits par les partenaires. Indiquer la conformité par rapport aux prévisions et expliquer les écarts significatifs éventuels.

Nom du partenaire	Crédits consommés (en %)	Commentaire éventuel
Arénaire + Tropics	34% - 70%	Le premier pourcentage concerne le total, le second les dépenses autres que les salaires (qui seront versés en 2010, les contrats sont signés)
DALI + MEASI	60.00%	Des dépenses supplémentaires sont engagées mais n'apparaissent pas sur l'état obtenu fin 2009.

Les sommes attribuées aux partenaires Tropics et MEASI étant faibles, l'ANR a demandé à ce que les partenaires mieux dotés gèrent leur argent (ce qui complique les choses pour les partenaires du CEA...).

Les dépenses sont conformes aux prévisions, sauf pour les salaires qui avaient initialement été prévus pour la 3ème année du projet plutôt que pour la 4ème. Le retard s'explique par le fait qu'une partie du travail préliminaire aurait dû être menée par le doctorant prévu dans le projet initial, pour lequel aucun financement n'a finalement été accordé.

E ANNEXES ÉVENTUELLES