

Équipe associée avec GEOMETRICA à l'étranger

Sylvain Pion – Hervé Brönnimann

11 mars 2004

Partenaire français :

Projet : GEOMETRICA

U.R. : Sophia-Antipolis

URL : <http://www-sop.inria.fr/geometrica/>

Thème INRIA : 2B

Responsable de l'équipe : Jean-Daniel Boissonnat

Mail : Jean-Daniel.Boissonnat@sophia.inria.fr

Adresse postale : 2004 route des lucioles - BP 93, 06902 Sophia Antipolis

1 Identification du partenaire étranger.

Responsable de l'équipe : Hervé Brönnimann

Mail : hbr@poly.edu

Organisme : Université Polytechnique de Brooklyn, New York, USA.

URL de l'organisme : <http://www.poly.edu>

Adresse postale : 6 MetroTech Center, Brooklyn, NY 11201, USA.

Pays : États-Unis

Membres :

Le partenaire étranger consiste principalement en Hervé Brönnimann, ses étudiants (en thèse: Karilil Amisial et Ernest Lee (prospectif)), ainsi que ses collègues / collaborateurs (Profs. Boris Aronov, Yi-Jen Chiang, John Iacono, Torsten Suel) à l'Université Polytechnique de Brooklyn, New York, USA.

2 Historique de la collaboration

2.1 entre les équipes

H. Brönnimann, anciennement CR dans le projet PRISME (ancien nom de GEOMETRICA) de 1996 à 1998 inclus, en détachement à l'Université de Princeton durant 1999), est actuellement et depuis Janvier 2000 *Assistant Professor* à l'Université Polytechnique de Brooklyn, New York, USA. En cette qualité, il a reçu une bourse CAREER de la National Science Foundation (NSF) intitulée "Generic Software Foundations for Geometric Computing," dans laquelle il propose d'une part d'étendre l'approche de CGAL¹ en développant des concepts logiciels pour les objets géométriques, dont CGAL serait une implémentation, et d'autre part le développement de méthodes pour la manipulation robuste de ces objets.

La collaboration entre les équipes remonte à la participation de H. Brönnimann au projet CGAL, en tant que membre du comité éditorial pour toute la bibliothèque ainsi que mainteneur du noyau Cartésien. Ce travail a mené à quelques publications, dont [5, 10, 11] (ce sont les seules publications citées ci-dessous qui n'ont pas à la fois un auteur membre de GEOMETRICA et H. Brönnimann ou un membre de son

1. CGAL: Computational Geometry Algorithms Library, bibliothèque C++ à laquelle participe GEOMETRICA. <http://www.cgal.org>

équipe; néanmoins PRISME étant partenaire du projet CGAL, ces publications reflètent le travail accompli par l'équipe).

Par ailleurs, H. Brönnimann a co-encadré la thèse de Sylvain Pion à l'INRIA sur les sujets de robustesse, et ce travail a mené aux publications [3, 4, 7]. Lors de son passage au sein du projet PRISME, H. Brönnimann a notamment traduit le livre de J.-D. Boissonnat et M. Yvinec [1], et a également collaboré avec M. Yvinec sur la robustesse du calcul du signe des déterminants [8, 9].

La collaboration avec S. Pion a continué ensuite lors de son passage à New York, en tant que post-doc chez Chee Yap (NYU). Nous avons co-encadré le stage de G. Melquiond, et écrit la bibliothèque Boost pour le calcul par intervalles [2]. Ce travail a mené à une publication [6].

Finalement, H. Brönnimann est un participant régulier aux Journées Françaises de Géométrie Algorithmique, ayant donné des cours, sur les méthodes de dérandomisation en géométrie (1996), sur la bibliothèque CGAL (1998) et sur les algorithmes géométriques en ligne (2003).

2.2 entre l'INRIA et l'organisme partenaire

Depuis Janvier 2003, Keith Ross (anciennement Prof. Institut Eurecom) a rejoint l'Université Polytechnique en tant que *Full Professor*. Keith a noué plusieurs collaborations avec Philippe Nain et Eitan Altman qui vont continuer. Par ailleurs, B. Aronov a effectué plusieurs séjours dans le projet PRISME par le passé, sans relation avec la collaboration présentement proposée. Monique Teillaud (anciennement PRISME), du projet GALAAD, a également collaboré de façon informelle avec H. Brönnimann (discussions, ébauches d'articles, développement CGAL) et devrait être associée à ce projet.

3 Programme de travail

3.1 Description scientifique de ce programme de travail

Le travail envisagé consiste en l'étude et le développement d'algorithmes génériques et robustes pour la manipulation d'objets géométriques, en particulier les objets courbes, ainsi que le développement des interfaces des structures de données (graphes) supportant les objets géométriques. Nous développons ces points.

Programmation générique et noyau géométrique. La programmation générique est une méthodologie dans laquelle des concepts sont utilisés par des algorithmes via un mécanisme générique (templates en C++). Elle permet de séparer la spécification de la fonctionnalité, de l'implémentation concrète (modèle). Les algorithmes sont paramétrés par un concept dont un modèle est fourni lors de l'instantiation. Cela permet de comparer plusieurs modèles d'un même concept (expérimentation) ou bien de substituer ces modèles pour des situations différentes (par ex. modèle protégé plus lent avec validation, ou bien modèle "de course" quand on sait que le calcul ne posera pas de problèmes de robustesse). Cette approche a rencontré ailleurs du succès, par exemple avec la C++ Standard Template Library.

En mettant l'accent sur les concepts, nous proposons d'étudier les primitives sous-jacentes au calcul géométrique, les différents niveaux d'opération requis (s'agit-il d'un calcul affine, ou bien métrique? quelle fonctionnalité minimale est requise par cet algorithme?). CGAL offre une implémentation de référence mais ne distingue pas les différents concepts de noyaux utilisés. Nous proposons d'établir une sorte de dictionnaire (avec une sémantique et une syntaxe, éventuellement dans plusieurs langages de programmation) pour les différents noyaux géométriques, de façon à ce que les algorithmes puissent être développés comme des "Graphics Gems" susceptibles d'être distribués indépendamment ou au contraire facilement intégrés à CGAL. À long terme, cela devrait mener au développement d'un standard (dont CGAL serait une preuve de faisabilité) pour la programmation géométrique. Des efforts similaires ont été réalisés avec beaucoup de succès dans le domaine de l'algèbre linéaire (BLAS niveaux 1, 2 et 3) et ont conduit à plusieurs implémentations qui offrent chacune des avantages spécifiques. Idem avec les concepts de graphes (Boost Graph Library) dont les algorithmes peuvent opérer sur des graphes venant de bibliothèques distinctes (BGL, Leda, Stanford GraphBase). Notre but est un développement similaire dans le domaine des algorithmes géométriques.

Dans un premier temps, les concepts de types de nombres (coordonnées) et de noyaux géométriques seront développés. Les noyaux existants (CGAL et autres) seront intégrés. Puis les algorithmes (existants et autres, par exemple ceux récemment proposés par les partenaires) pourront être (re)paramétrés. Les concepts ainsi établis, s'ils sont adoptés par la communauté, simplifieront aussi l'enseignement du calcul géométrique car ils pourront être utilisés comme véhicule de connaissances tout en fournissant un outil concret aux étudiants pour réaliser des projets pratiques. De plus, la littérature scientifique (articles, livres) utilisant ces concepts sera directement applicable et exprimée sans ambiguïté.

Robustesse. Nous proposons de continuer notre investigation de la robustesse des algorithmes, et en particulier du paradigme du calcul *géométrique* exact, dans lequel ce sont les décisions prises par l'algorithme au cours de son exécution qui sont certifiées exactes (même si elles sont basées sur un calcul inexact). C'est un cadre déjà bien inscrit dans la bibliothèque CGAL, qui comprend beaucoup d'objets géométriques linéaires et d'algorithmes sur ceux-ci, et plus récemment des objets courbes (cercles et arcs, coniques dans un certain degré).

En particulier, un objet qui retiendra notre attention lors de la première année est l'intégration des courbes de Bezier de degré borné (en pratique, les patches cubiques sont le plus utilisés) dans le paradigme du calcul exact. Ce cas est très important en pratique du fait de son utilisation dans le moteur Postscript/Acrobat et dans les bibliothèques d'affichage graphique (PDF, QT, Quartz, Specifications "Scalable Vector Graphics" du W3C). Par ailleurs il étend le travail effectué par les partenaires sur les objets linéaires (déterminants) et courbes (arcs de cercles, coniques). Nous prévoyons de collaborer également avec Y.-J. Chiang sur les applications au graphique.

La technologie courante utilise le rendu en résolution fixe (pour impression sur imprimante ou rendu écran), mais le zoom et les situations critiques (proches de singularité) peuvent produire des artefacts incorrects lors du rendu. Il serait désirable d'avoir un moteur de calcul exact et efficace. Pour cela, deux directions de recherche:

1. le calcul exact: déterminer les prédicats et les constructions géométriques utilisés et en fournir une version générique, paramétrée par un type de nombre (qui peut être exact mais inefficace),
2. le calcul filtré: une fois ces prédicats déterminés, il faut pour les mettre en œuvre de façon efficace qu'ils ne soient appelés que lorsque le calcul flottant ne suffit pas à résoudre les incertitudes. Le développement de filtres arithmétiques utilisant des outils tels que le calcul par intervalle, la multi-précision adaptative, etc. fera du calcul exact une alternative fiable et acceptable (pas de perte de performance notable).

Structures de données. Nous proposons également d'étendre le travail de généralisation de l'interface des structures de données de type *Halfedge Data Structure* effectué par H. Brönnimann, au cas des triangulations qui sont omni-présentes dans les travaux de GEOMETRICA (et bien sûr dans CGAL), ainsi qu'à d'autres graphes permettant de représenter des diagrammes de Voronoï et des arrangements d'objets courbes (2D et 3D).

Ce travail permettra de découpler davantage (i.e. rendre plus facilement ré-utilisable) les algorithmes géométriques des structures combinatoires (graphes) sur lesquels ils opèrent. Ce dernier point est en connexion directe avec les travaux effectués dans la Boost Graph Library mentionnée plus haut. Nous pourrions collaborer également avec J. Iacono sur les aspects d'efficacité de ces structures de données.

3.2 Échanges de chercheurs

Nous prévoyons deux à trois échanges trans-atlantiques par an, avec une durée de séjour entre deux et quatre semaines (Juin 2004, NYC; Octobre 2004, INRIA; Mars 2005, INRIA; Juin/Juillet 2005, NYC; Octobre 2005, INRIA). Ci-dessous le détail des prévisions pour 2004:

3.2.1 accueil de chercheurs de votre partenaire

Octobre 2004: Visite de deux semaines de H. Brönnimann à l'INRIA, courant Octobre 2004 (lors des vacances d'Automne de Polytechnic University). Accompagné éventuellement d'un étudiant Américain en thèse (junior) qui resterait pour une durée allant jusqu'à quatre semaines pour avancer le projet discuté, dans un encadrement INRIA.

Davantage de visites sont prévues pour 2005, en mars et octobre.

3.2.2 missions INRIA vers votre partenaire

Juin 2004: À l'occasion de la conférence ACM de Géométrie Algorithmique, organisée par H. Brönnimann, visite et séjour de deux semaines par des membres INRIA (dont S. Pion, M. Yvinec, M. Teillaud).

Juin/Juillet 2004: Visite longue d'un membre junior de GEOMETRICA à New York, pour une durée de un mois.

3.3 Réunions, workshops, etc.

Juin 2004: À l'occasion de la conférence ACM de Géométrie Algorithmique (SoCG), organisée par H. Brönnimann, organisation d'un atelier des utilisateurs et développeurs de CGAL, co-organisé par des membres de GEOMETRICA. Participation forte des partenaires.

4 Formation

H. Brönnimann travaille déjà depuis Février 2003 avec un étudiant en thèse sur les sujets de sa bourse NSF CAREER (voir ci-dessus). Celui-ci vient récemment de finir ses pré-requis pour le programme du Ph.D. et va se consacrer à plein temps à la recherche. Il est fortement attendu qu'il participe de façon active au projet. Un autre étudiant de niveau DEA (Masters in CS à l'Université Polytechnique) va commencer lors du premier semestre 2004 sur les applications planes. Il serait souhaitable qu'il intègre aussi cette collaboration. Il est probable aussi que plusieurs étudiants undergraduate dernière année (niveau DEUG) fassent un projet en géométrie algorithmique lors de l'été 2004, et utilisent la bibliothèque CGAL.

5 Impact

5.1 sur la collaboration déjà existante avec votre partenaire

Le retour de S. Pion en temps que CR dans GEOMETRICA est l'occasion de renouer de manière solide des collaborations entre GEOMETRICA et l'équipe de H. Brönnimann.

Un autre aspect important de cette collaboration est la diffusion de CGAL outre atlantique, via l'échange d'étudiants et de réunions de travail.

5.2 sur la collaboration avec d'autres projets INRIA

Les questions algébriques liées aux manipulations de courbes mentionnées précédemment nécessiteront la collaboration avec des membres du projet GALAAD (M. Teillaud).

5.3 sur la collaboration avec d'autres équipes de l'organisme étranger partenaire

Sur ces mêmes questions d'objets courbes, nous comptons également collaborer (comme par le passé [4]) avec I. Emiris de l'université d'Athènes.

6 Divers

Références

- [1] J.-D. Boissonnat and M. Yvinec, traduction H. Brönnimann, *Algorithmic Geometry*, Cambridge University Press, January 1998, 520 pages, 191 exercices.

- [2] The Boost Interval Arithmetic Library: acceptée après examen public approfondi dans la bibliothèque Boost (www.boost.org). Avec S. Pion (post-doc) and G. Melquiond (étudiant). 8500 lignes de code.
- [3] H. Brönnimann, C. Burnikel et S. Pion, “Interval arithmetic yields efficient arithmetic filters for computational geometry,” *Discrete Applied Mathematics*, 109:25–47, 2001.
- [4] H. Brönnimann, I. Emiris, V. Pan et S. Pion, “Sign Detection in Residue Number Systems,” *Theoret. Computer Science, Special Issue on Real Numbers and Computers* (210), 1999, 173–197.
- [5] H. Brönnimann, L. Kettner, S. Schirra and R. Veltkamp, “Application of the Generic Programming Paradigm in the Design of CGAL,” dans *Lecture Notes in Computer Science (LNCS 1766)*, M. Jazayeri, R. G. K. Loos, D. R. Musser (Eds.), Springer Verlag, pp. 206–217, 2000.
- [6] H. Brönnimann, G. Melquiond, and S. Pion, “The Boost interval arithmetic library,” *Proc. 5th conference on Real Numbers and Computer*, September 2003.
- [7] H. Brönnimann et S. Pion, “Exact rounding for geometric constructions,” *Abstracts Symposium on Scientific Computing, Computer Arithm. and Validated Numerics (SCAN)*, pp. XIII:1–XIII:5, 1997.
- [8] H. Brönnimann et M. Yvinec, “A complete analysis of Clarkson’s algorithm for safe determinant evaluation,” Rapport de Recherche 3051, INRIA, 1996.
- [9] H. Brönnimann et M. Yvinec, “Efficient Exact Evaluation of Signs of Determinant,” *Algorithmica* 27:21–56, 2000.
- [10] “CGAL (Constructing a Geometric Algorithms Library) Reference Manual,” H. Brönnimann, S. Schirra et R. Veltkamp, eds., Versions 1.0 (March 1998) et 1.1 (June 1998).
- [11] S. Hert, M. Hoffmann, L. Kettner, S. Pion, and M. Seel, “An adaptable and extensible geometry kernel,” In *Proc. Workshop on Algorithm Engineering*, volume 2141 of *Lecture Notes Comput. Sci.*, pages 79–90. Springer-Verlag, 2001.