

Proposition de renouvellement du  
**Laboratoire International Franco-Québécois  
de Recherche en Combinatoire (LIRCO)**

Laboratoire International Associé (LIA) du CNRS

établi entre le

**Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LaBRI)**

LaBRI, UMR 5800 du CNRS, Université de Bordeaux  
351, cours de la Libération,  
33405 Talence Cedex, FRANCE

et le

**Laboratoire de Combinatoire et d'Informatique Mathématique (LaCIM)**

LaCIM, Université du Québec à Montréal  
CP 8888 Succursale "Centre Ville"  
Montréal (Québec), CANADA H3C 3P8

Dossier présenté à

---

INSTITUT PRINCIPAL : **INS2I**

Directeur : **Michel Bidoit**

---

INSTITUT SECONDAIRE : **INSMI**

Directeur : **Christoph Sorger**

---

par

**Mireille Bousquet-Mélou**  
Directrice de recherche CNRS

Laboratoire Bordelais de Recherche en  
Informatique (LaBRI)

**Srečko Brlek**  
Directeur

Laboratoire de Combinatoire et  
d'Informatique Mathématique (LaCIM)

22 août 2014



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition initiale du LIRCO</b>	<b>6</b>
1.1	Laboratoires en France : 70 chercheurs . . . . .	6
1.2	LaCIM : 27 chercheurs . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Bilan des activités de 2011 à aujourd’hui</b>	<b>7</b>
2.1	Réalisations . . . . .	7
2.2	Organisation de conférences, écoles d’été, ateliers, etc. . . . .	13
2.3	Formation d’étudiants . . . . .	14
2.4	Bilans financiers . . . . .	17
2.4.1	Année 2011 . . . . .	18
2.4.2	Année 2012 . . . . .	19
2.4.3	Année 2013 . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Projet 2015 - 2018</b>	<b>21</b>
3.1	Combinatoire énumérative et algébrique . . . . .	21
3.2	Géométrie discrète et combinatoire des mots. . . . .	24
3.3	Bio-informatique combinatoire et visualisation. . . . .	26
3.4	Projet Sage-Combinat . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Budget Prévisionnel</b>	<b>29</b>
	<b>Annexes</b>	<b>A1</b>
<b>A</b>	<b>Publications communes</b>	<b>A1</b>



# Avant-propos

Le LIRCO a été créé par convention en 2011 avec pour administrateurs :

- Directeurs : **P. Weil** (LaBRI) et **F. Bergeron** (LaCIM) ;
- Responsables scientifiques : **J.-C. Aval** (LaBRI) et **S. Brlek** (LaCIM)

Depuis le 1er juin 2014 le nouveau directeur du LaCIM est **S. Brlek**.

La demande de renouvellement pour la période allant du 1er janvier 2015 au 31 décembre 2018 est présentée par **M. Bousquet-Mélou** (LaBRI) qui sera co-responsable scientifique en remplacement de **J.-C. Aval**, et **S. Brlek** (LaCIM).

La composition du LIRCO reste essentiellement la même avec simplement l'ajout des chercheurs suivants :

- **Vincent Delecroix** (LaBRI, Bordeaux), **Wolfgang Steiner** (LIAFA, Paris)
- **Frédérique Bassino**, **Andrea Sportiello** (LIPN, Villetaneuse)
- **Matthieu Josuat-Verges**, **Philippe Gambette** (LIGM, Marne-la-Vallée)
- **Philippe Nadeau**, **Frédéric Jouhet** (Institut Jordan, Lyon)
- **Gilles Didier** (I2M, Marseille), **Vincent Pilaud** (LIX, Palaiseau)
- **Engelbert Mephu**, **David Hill** (LIMOS, Clermont-Ferrand)
- **Krister Swenson**, **Séverine Bérard** (LIRMM, Montpellier)
- **Franco Saliola**, **Alexandre Blondin Massé** (LaCIM, UQAM)
- **Aida Ouangraoua**, (LaCIM, Sherbrooke)

**Note :** La structure de laboratoire est différente au Canada. Un laboratoire est y créé sur la base d'un groupe de recherche homogène dont les membres bénéficient d'une *subvention de recherche individuelle*<sup>1</sup>. Ainsi le LaCIM est un laboratoire basé à l'UQAM mais dont les membres peuvent provenir d'autres universités. Cela explique pourquoi le LaCIM est le seul laboratoire concerné au Québec.

---

<sup>1</sup>en conséquence, les missions co-financées puisent dans la subvention du chercheur canadien invitant.

# 1 Composition initiale du LIRCO

Les laboratoires participants en France sont

- i1. **INS2I** : LaBRI (Bordeaux), LIAFA (Paris VI), LIGM (Paris-Est), LIRMM (Montpellier), LIX (École polytechnique), LRI (Paris-Sud), LORIA (Nancy), LIPN (Villetaneuse), Laboratoire de Biométrie et Biologie Évolutive (Lyon I), I3S (Nice-Sophia Antipolis), LINA (Nantes), LIMOS (Clermont-Ferrand);
- i2. **INSMI** : Institut Camille Jordan (Lyon I), IRMA (Strasbourg), I2M (Marseille), LAMA (Chambéry), IMB (Bordeaux), Laboratoire J.A. Dieudonné (Nice), Département MMIP, AgroParisTech (Paris).

Les chercheurs impliqués dans la demande initiale sont identifiés ci-dessous. Cette liste n'était pas restrictive et plusieurs chercheurs et étudiants ont ensuite participé au projet, par exemple I. Goulden (Waterloo) ou son étudiant M. Guay-Paquet, dont on verra les noms dans les pages suivantes.

## 1.1 Laboratoires en France : 70 chercheurs

### INS2I : 52 chercheurs

J. Allali, D. Auber, J.-C. Aval, M.-P. Béal, V. Berthé, J. Bétréma, G. Blin, N. Bonichon, Y. Le Borgne, R. Bourqui, M. Bousquet-Mélou, A. Boussicault, M. Bouvel, G. Chapuy, A. Chateau, R. Cori, S. Corteel, M. Crochemore, A. Denise, M. Delest, E. Domenjoud, E. Duchi, P. Duchon, I. Dutour, S. Dulucq, J.-M. Fédou, V. Féray, P. Ferraro, C. Fiorio, O. Guibert, F. Hivert, D. Jamet, J.-G. Luque, R. Mantaci, J.-F. Marckert, G. Melançon, T. Monteil, F. de Montgolfier, P. Narbel, J.-C. Novelli, C. Paul, J.-G. Penaud, D. Perrin, J.-E. Pin, M. Raffinot, D. Rossin, J.-Y. Thibon, L. Santocanale, G. Schaeffer, S. Vialette, X. Viennot, A. Zvonkin.

### INSMI : 18 chercheurs

P. Arnoux, P. Baumann, R. Biagioli, Y. Bugeaud, J. Cassaigne, F. Chapoton, S. Ferenczi, L. Foissy, A. Guénoche, L. Habsieger, C. Kassel, M. Koskas, J.-O. Lachaud, M. Mendès France, F. Patras, X. Provençal, N. M. Thiéry, L. Vuillon.

## 1.2 LaCIM : 27 chercheurs

### Membres réguliers

I. Assem, L. Bélair,  
A. Bergeron, F. Bergeron,  
R. Bédard, P. Bouchard,  
S. Brlek, C. Chauve,  
S. Hamel, C. Hohlweg,  
A. Joyal, G. Labelle,  
L. Laforest, V. Makarenkov,  
M. Mishna, C. Reutenauer,  
D. Thérien, T. Walsh

### Membres associés

N. Bergeron (York U).  
T. Brüstle (U. Sherbrooke)  
Y. Chiricota (UQ à Chicoutimi)  
L. Devroye (McGill Un.)  
A. Goupil (UQ à Trois Rivières)  
S. Liu (U. Sherbrooke)  
O. Marcotte (U. de Montréal)  
B. Reed (McGill)  
D. Rochon (UQ à Trois Rivières)

**Note** : Dans ce qui suit les membres figurant dans le LIRCO initial sont indiqués en **gras**.

## 2 Bilan des activités de 2011 à aujourd'hui

Le programme scientifique du LIRCO est structuré autour de trois axes de recherche et d'un développement logiciel transverse aux thèmes de recherche. Y ont participé à divers degrés une quarantaine de chercheurs ainsi qu'une vingtaine d'étudiants. Nous avons choisi de présenter les résultats les plus récents (ceux de 2014 ; les bilans détaillés des années antérieures sont disponibles par ailleurs). Au demeurant, ces résultats se basent souvent sur les acquis des années précédentes.

### 2.1 Réalisations

**Combinatoire énumérative et algébrique.** Ce sujet, par la variété des thèmes abordés et le nombre de chercheurs impliqués tant en France qu'au Canada, est l'un des moteurs du LIRCO. L'année 2014 a vu la poursuite des chantiers mis en route depuis 2011.

- (1) *Espaces co-invariants.* **J.-C. Aval** et **F. Bergeron** poursuivent leur étude des espaces de polynômes co-invariants en plusieurs alphabets. Suite aux travaux de 2012, la prochaine étape est d'essayer de décrire explicitement la série de Hilbert de ces espaces, dont ils ont déjà montré qu'il existait une formule indépendante de la taille des alphabets. Cette étude est toujours en cours.
- (2) *Treillis d'arbres.* Cette étude est née du sujet précédent : certaines formules obtenues algébriquement dans le contexte des co-invariants diagonaux posent de remarquables problèmes d'énumération sur les treillis d'arbres. Ces treillis, dits de  $m$ -Tamari, sont une généralisation nouvelle des treillis de Tamari. La thèse de Viviane Pons (rapporteurs : **F. Bergeron** et **F. Chapoton**) donne un nouvel éclairage prometteur à ces questions, via l'introduction de nouveaux objets combinatoires, nommés *intervalles-posets*.  
**F. Chapoton** et L.-F. Préville-Ratelle travaillent sur une possible généralisation.
- (3) *Combinatoire des polyominos parallélogrammes étiquetés.* Il s'agit de travaux menés par **F. Bergeron**, **J.-C. Aval** et A. Garsia : l'étude du modèle du tas de sable sur le graphe complet biparti conduit à une combinatoire surprenante sur les polyominos parallélogrammes. Dans un article soumis récemment est étudiée l'action du groupe symétrique sur ces objets. De nombreuses formules ont été obtenues, en lien avec la théorie des polynômes de Macdonald. Ce travail semble être le point de départ d'une recherche foisonnante.
- (4) *Formules d'équerres multi-paramétrées.* Travaux menés par **V. Féray**, I. Goulden<sup>2</sup> et (au départ) A. Lascoux. Il s'agit d'établir des formules d'équerre avec de nombreux

---

<sup>2</sup>Waterloo, Canada

paramètres qui apparaissent en théorie des représentations. Une partie de ces travaux est publiée, une autre est en cours de rédaction.

- (5) *Théorie des supercaractères de  $U_n(F_q)$  et analogues de la mesure de Plancherel.* Travail mené par **V. Féray**, **F. Saliola** et Ch. Berg<sup>3</sup>. Kerov, Ivanov et Olshanski ont proposé dans un article de 2003 une preuve majoritairement combinatoire d'un théorème central limite pour des grands diagrammes de Young sous la mesure de Plancherel. Une question naturelle est de voir si leurs techniques pourraient être utilisées pour d'autres objets combinatoires. Il semble qu'un contexte prometteur soit les partitions d'ensemble, qui indexent les supercaractères du groupe des matrices triangulaires supérieures inversibles à entrées dans le corps à 2 éléments.
- (6) *Combinatoire de diagrammes de paires de permutations.* Il s'agit d'un travail qui a été mené par **Ch. Kassel** et **Ch. Reutenauer** sur ces objets qui permettent une description du lieu singulier des variétés de Schubert, et ont été très étudiés ces dernières années par les combinatoristes italiens (Incitti, Disanto, Rinaldi *et al.*). Un article relatif à ces travaux a été accepté pour publication.
- (7) *Monoïdes de tresses duaux et d'algèbres de Koszul.* Travaux menés par **P. Nadeau** V. Ripoll<sup>3</sup> et **Ch. Hohlweg**. Une avancée importante est que la présentation de monoïdes qui existe pour les groupes cristallographiques finis est aussi définissable pour certains groupes de réflexion complexes.
- (8) *Éléments totalement commutatifs.* Travaux menés par **P. Nadeau**, **Ch. Hohlweg** et F. Jouhet. À la suite de certains travaux de **P. Nadeau** et **F. Jouhet**, un projet intéressant est de mieux comprendre la répartition géométrique des "chambres de Weyl" correspondant à ces éléments dans la représentation géométrique habituelle du groupe de Coxeter de départ.
- (9) *Automates et monoïdes de Cartier-Foata.* Travaux menés par **P. Nadeau** et M. Guay-Paquet<sup>3</sup>. Une piste de recherche prometteuse est la construction par ces deux chercheurs d'un automate explicite reconnaissant les représentants lexicographiquement minimaux d'un monoïde de Cartier-Foata.
- (10) *Combinatoire des cartes.* Travaux menés par **G. Chapuy** et M. Guay-Paquet<sup>3</sup>. Ces travaux en cours concernent la combinatoire des cartes et ses liens avec la combinatoire algébrique. Plus précisément, un objectif est de faire le lien entre les approches combinatoires développées principalement par les combinatoristes français et les approches à base de hiérarchies intégrables bien représentées par les combinatoristes canadiens. Le séjour de **G. Chapuy** à Montréal a été l'occasion de discussions avec M. Guay-Paquet

---

<sup>3</sup>Postdoctorant au LaCIM

au sujet des nombres de Hurwitz monotones. Ces travaux en cours consistent en la généralisation conjointe de ses travaux avec ceux de Goulden, Jackson et Vakil sur les nombres de Hurwitz classiques.

- (11) *Réalisabilité des triangulations de  $L_1$ -Delaunay.* Travail mené par **N. Bonichon**, P. Bose et S. Verdonshot<sup>4</sup>. On dit qu'une triangulation (vue comme une carte combinatoire) est *Delaunay réalisable* s'il existe un nuage de points tel que la triangulation de Delaunay de ce nuage de points soit la triangulation initiale. Il existe un algorithme polynomial pour déterminer si une triangulation est Delaunay réalisable mais il n'existe pas de propriété simple caractérisant ces triangulations. Récemment il a été montré que toutes les triangulations du plan sont TD-Delaunay réalisables (les triangulations de TD-Delaunay sont une variante des triangulations de Delaunay définies à partir d'une *distance triangulaire*). Afin de caractériser les triangulations  $L_1$ -Delaunay réalisables, nous avons étudié les propriétés des *structures transverses*. Nous en avons déduit des conditions nécessaires et des conditions suffisantes, mais pas encore de caractérisations.
- (12) *Stretch routable des triangulations de Delaunay.* Travail mené par **N. Bonichon**, P. Bose, J.-L. De Carufel<sup>4</sup> et A. van Renssen. L'*étirement* d'un graphe géométrique est défini comme le plus grand ratio entre la distance dans le graphe et la distance Euclidienne séparant deux points du graphe. L'*étirement* des triangulations de Delaunay (ainsi que celui de nombreux autres graphes géométriques) fait l'objet d'une abondante littérature. Avoir un faible étirement est souhaitable, mais avoir un algorithme de routage permettant de définir des routes de faible étirement est encore mieux. Nous avons proposé une borne inférieure non triviale sur l'*étirement routable* des triangulations de Delaunay. Nous avons également proposé un algorithme de routage dans les triangulations de Delaunay.

**Géométrie discrète et combinatoire des mots.** Cette thématique du LIRCO s'est bien développée au cours des premières années, et on sent l'impact des missions transnationales et des thèses en co-tutelle sur la fécondité de cette recherche.

- (1) *Langages formels.* Les travaux de doctorat de J. Fortier (co-encadré par **S. Brlek** et **L. Santocanale**) ont fourni une caractérisation explicite des fonctions ensemblistes définissables via les notions catégoriques de produit, coproduit, algèbre initiale et co-algèbre initiale des foncteurs.
- (2) *Mots parfaits.* Travaux menés par **S. Brlek** et **J.-M. Fédou**. Pour un mot fini sur un alphabet fini, on définit son suffixe palindromique comme le plus long palindrome qui est aussi suffixe du mot. Un mot fini ou infini sera alors dit parfait lorsque les suffixes

---

<sup>4</sup>Carleton University, Ottawa

palindromiques de ses préfixes sont tous différents. Les travaux sur ces notions sont nombreux et plusieurs problèmes restent ouverts.

Une première question est de trouver une formule close pour le nombre de mots parfaits de longueur  $n$ , sur l'alphabet à deux lettres (suite A216264 du Sloane). Étant donné que tout mot parfait sur deux lettres a au moins une extension parfaite à droite, il est naturel de considérer les mots parfaits n'ayant qu'une extension parfaite à droite. Savoir caractériser cette classe de mots "parfaits mais pas trop", permettrait peut-être de déduire une formule d'énumération. Une autre classe de mots intéressante est celle des mots qui ont le même suffixe et préfixe palindromique, et qui sont parfaits lorsqu'on leur enlève la dernière lettre. Ici aussi, ce serait une avancée de pouvoir caractériser ces mots.

Pour les mots finis, on dispose d'une formule (dite de Brlek-Reutenauer- BR) reliant le *défaut* d'un mot (le nombre de redondances de ses facteurs palindromiques), son nombre de facteurs et son nombre de palindromes. Cette formule se généralise parfois aux mots infinis. La question est donc de comprendre sous quelles conditions.

L'identité de BR reste encore mystérieuse. Dans le cas où l'on considère le langage palindromique d'un arbre non orienté, une généralisation naturelle des mots, **X. Provençal** et **S. Brlek** ont initié l'étude de leurs lacunes palindromiques. Une autre direction consiste à étudier le langage des  $f$ -palindromes, les facteurs vérifiant  $u = f(\tilde{u})$  où  $f$  est une permutation de l'alphabet fixée. Dans ce cadre Nadia Lafrenière effectue une maîtrise sous la co-direction de **S. Brlek** et **X. Provençal**.

- (3) *Codes bifixes*. Travaux menés par **V. Berthé**, **D. Perrin** et **Ch. Reutenauer**. L'idée de cette recherche est d'étudier les liens entre codes bifixes, certaines familles de mots comme les codages d'échanges d'intervalles et les sous-groupes d'indice fini de groupes libres, dans le contexte de l'étude de la stabilité par décodage par codes bifixes maximaux de certaines classes de mots infinis. Ce sujet mêle à la combinatoire des mots (mots de retour) des problématiques issues de la théorie des codes, des langages formels, et de l'étude des groupes libres.

### **Bio-informatique combinatoire et visualisation.**

- (1) *Algorithmes pour l'analyse du génome*. Ce travail est la poursuite de ceux de 2012. Il est mené principalement par **G. Blin** et **S. Hamel** et se focalise sur le problème de recherche d'un ordre consensus. Compte tenu de la quantité astronomique de données disponibles dans les bases biologiques, il devient très difficile pour les scientifiques d'obtenir des solutions raisonnables à leur requête. Un exemple typique en médecine concerne la recherche d'informations sur les gènes responsables d'une maladie donnée. Les requêtes posées sur différents portails web fournissent un ensemble important de résultats non ordonnés ; ce qui rend difficile l'exploitation de ces derniers. Bien

que plusieurs approches d'ordonnement aient été proposées, aucune n'est considérée comme prometteuse. Une nouvelle approche consiste à générer un ordre consensus – également appelé médiane – mettant en exergue les points communs de l'ensemble des résultats obtenus tout en minimisant leur désaccord. Tout laisse à penser que ce problème est difficile (sans preuve effective pour l'instant), et une solution exacte basée sur la programmation pseudo-booléenne a été obtenue.

- (2) *Comparaison de la structure secondaire de l'ARN.* Ces travaux sont menés par **C. Chauve**, **P. Ferraro**, **J. Allali**, A.-L. Gaillard et L. Bourgeade.

Le séquençage de nouvelle génération (Next Generation Sequencing ou NGS) a non seulement créé une formidable opportunité d'accéder à un flux important de données "Omiques" à fouiller et analyser, mais a surtout permis de lever le voile sur une face cachée du génome à l'origine d'une révolution du dogme de la génétique – centré jusqu'alors sur le rôle prépondérant des gènes codant des protéines – ceci grâce à la découverte d'un nombre croissant d'éléments dit non-codants (ARN, pseudogènes) à rôle fonctionnel. Alors que l'annotation des protéines est une tâche considérée comme relativement bien résolue, une grande partie des gènes d'ARN et les pseudogènes restent encore aujourd'hui hors d'atteinte. Cette matière noire constitue de fait un nouvel espace de recherches à explorer et décrypter, indispensable à l'amélioration de la modélisation des mécanismes évolutifs et des algorithmes de traitements des données de l'information génétique.

Dans le cadre de cette collaboration, les principaux objectifs sont :

- (a) évaluer et étendre un filtre efficace de détection et de clustering d'ARNs par la modélisation, l'indexation et le chaînage de graines sur des arborescences modélisant la structure secondaire de ces ARNs ;
- (b) reconstituer et modéliser l'histoire évolutive des pseudogènes au sein de génomes bactériens par la reconstruction en séquence des génomes ancestraux et le développement d'une méthode bioinformatique -PSEUDOE- permettant l'automatisation de l'identification et de l'analyse comparative des pseudogènes, et la formalisation des règles régissant la linguistique et l'architecture du "génom non-codant";
- (c) faire converger ces deux approches parallèles afin d'inférer l'état d'obsolescence des objets géniques au moyen de l'utilisation du degré de conservation de leur structure secondaire, et les classer.

- (3) *Consensus d'arbres phylogénétiques.* Ces travaux sont menés par **A. Guénoche** et **V. Makarenkov** et portent sur le consensus d'arbres phylogénétiques qui ne portent pas sur les mêmes espèces. Le problème du consensus d'arbre (étant donné un ensemble d'arbres phylogénétiques, établir un arbre médian) est bien connu et résolu quand les arbres ont le même ensemble de feuilles, qui correspondent aux espèces. Quand les

arbres ne portent pas sur les mêmes espèces (certaines sont absentes) le problème est largement ouvert. Ce problème s'applique aux arbres de gènes, qu'il faudrait concilier en un arbre des espèces. Un article est en cours de réalisation.

- (4) *Visualisation d'information*. Ces travaux en cours sont menés par **Y. Chiricota, D. Auber, M. Delest, G. Melançon**. F. Queyroi, doctorant au LaBRI poursuit une collaboration avec Yves Chiricota de l'UQAC (Chicoutimi).

**Projet Sage-Combinat**. Sage-Combinat est un projet logiciel qui a pour objectif de fournir une collection d'extensions au système mathématique (open source) Sage dans le but d'améliorer le calcul et l'exploration en combinatoire. Un grand nombre de membres du LIRCO sont très impliqués sur ce chantier. Parmi les leaders il y a en France **F. Hivert, N. M. Thiéry, V. Delecroix, A. Boussicault, D. Jamet** et S. Labbé, et au LaCIM **F. Saliola, A. Blondin Massé, Ch. Hohlweg** et **S. Brlek**.

Les contributions au logiciel couvrent tous les domaines de recherche cités plus haut et un grand nombre de rencontres sont organisées sur divers thèmes directement liés aux recherches des membres du LIRCO.

## 2.2 Organisation de conférences, écoles d'été, ateliers, etc.

Les rencontres mentionnées se limitent à celles liées aux thèmes de recherche du LIRCO, et organisées, du moins en partie, par des membres du LIRCO.

1. DGCI 2011, 16th IAPR International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery, 6-8 April 2011, Nancy, France
2. Journées de Combinatoire de Bordeaux, Bordeaux, janvier 2012.
3. Sage-Combinat days in Cernay 2012 : February 6-10 2012, Cernay-La-Ville
4. Sage Days 38, Montréal, mai 2012.
5. GASCOM 2012 et Journées Viennot, Bordeaux, juin 2012.
6. *Coxeter Groups meet Convex Geometry*, Montréal, août 2012.
7. Journées de Combinatoire de Bordeaux, Bordeaux, février 2013.
8. DGCI 2013, 17th IAPR International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery, March 20-22, 2013, Sevilla, Spain
9. Workshop on Challenges in Combinatorics on Words, Fields Institute, Toronto, Canada, avril 2013.
10. Journée P-Automatique, Paris, avril 2013.
11. Sage Day 47.5, Montreal, May 28, 2013
12. CANADAM, St-John's Memorial University, Newfoundland, Canada, juin 2013 ; 2 mini symposiums : *Algebraic combinatorics*, *Enumerative combinatorics*.
13. FPSAC 2013, *Formal Power Series and Algebraic Combinatorics*, Paris, juin 2013.
14. Sage Days 49: Free and Practical Software for (Algebraic) Combinatorics (satellite of the FPSAC conference), Paris, France, juin 2013
15. ReutenauerFest: *Words, Codes and Algebraic Combinatorics*, Cetraro, Italie, juillet 2013.
16. Journées de Combinatoire de Bordeaux, Bordeaux, février 2014.
17. *Enumerative combinatorics*, Oberwolfach, mars 2014
18. Sage Days 57: Sage-Combinat Days in Cernay-la-Ville, France, avril 2014.
19. AofA 2014: 25th International Conference on Probabilistic, Combinatorial and Asymptotic Methods for the Analysis of Algorithms Paris, France, juin 2014.
20. GASCom 2014, 9ème conférence sur la Génération aléatoire de Structures combinatoires, Bertinoro, Italie, juin 2014
21. DGCI 2014, 18th IAPR International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery, 10-12 September 2014, Siena, Italy

## 2.3 Formation d'étudiants

Au cours de ces quatre années, 19 étudiants ont été supervisés directement en rapport avec le programme de recherche bilatéral et ce à tous les niveaux : maîtrise, doctorat et postdoctorat.

### Maîtrises et stages M1

- M1. **P. Cagne**, étudiant ENS, stage M1, avril - août 2012. *Combinatorics on words – An application to the theory of polyominoes*  
Superviseurs : **S. Labbé** et **S. Brlek**.
- M2. **R. Weber**, Strasbourg  
*Un algorithme linéaire pour le calcul de l'enveloppe extérieure d'un chemin*  
M.Sc UQAM (termine à l'automne 2014)  
Directeur : **S. Brlek**
- M3. **N. Lafrenière**, Montréal  
*Complexité  $\sigma$ -palindromique*  
M.Sc UQAM (en cours)  
Directeur : **X. Provençal** (LAMA, Chambéry) et **S. Brlek** (LaCIM)
- M4. **P. Hubert** (INSA, Rouen), Stage ingénieur/ Génie mathématique (été 2014)  
*Système de calcul formel pour les fonctions symétriques*  
Directeur : **F. Bergeron**

### Stages doctoraux

- sd1. **L. Bourgade** (LaBRI, Bordeaux) 2012 (2 semaines) et 2013 (2 mois)  
*Computational methods for RNA*  
Superviseur : **C. Chauve** (SFU, Vancouver).
- sd2. **S. Giraud** (Paris-Est) 2011 (2 semaines) et 2012 (1 mois)  
*L'opérade des configurations non croisées bicolorées*  
Superviseur : **F. Saliola** (LaCIM).
- sd3. **B. Oger** (Lyon 1) 2013 (2 semaines)  
*Opérades et espèces*  
Superviseur : **F. Bergeron** (LaCIM).
- sd4. **D. Pajak** (LaBRI, Bordeaux) 2013 (2 mois)  
Superviseur : Jurek Czyzowicz (Carleton).

- sd5. **V. Pons** (Paris-Est) 2011 (2 semaines) et 2012 (2 semaines)  
*Combinatoire algébrique et permutations*  
 Superviseur : **F. Bergeron** (LaCIM).
- sd6. **L. F. Prévaille Ratelle** (LaCIM) 2011 (1 mois) et 2012  
*Combinatoire du treillis de  $m$ -Tamari*  
 Superviseur : **M. Bousquet-Mélou** (LaBRI).
- sd7. **Jean Baptiste Priez** (Orsay) 2014  
*Algèbres de Hopf et théorie des espèces*  
 Superviseurs : **F. Bergeron** et **F. Saliola** (LaCIM).
- sd8. **F. Queyroi** (LaBRI, Bordeaux) 2012 (1 mois)  
*Visualisation de graphes dans les réseaux*  
 Superviseur : **Y. Chiricota** (UQAC, Chicoutimi).
- sd9. **Vincent Vong** (LIGM, Paris-Est) 2014 (2 semaines)  
*Théorie des espèces*  
 Superviseur : **F. Bergeron** (LaCIM).

*Co-tutelles de thèse de doctorat*

- D1. **A. Blondin Massé** (LAMA, Chambéry), boursier NSERC (Canada) et Frontenac (Québec)  
*À l'intersection de la combinatoire des mots et de la géométrie discrète*  
 Directeurs : **L. Vuillon** (LAMA) et **S. Brlek** (LaCIM)  
 thèse soutenue au LaCIM le 2 décembre 2011.
- D2. **S. Labbé** (LIAFA, Paris), boursier NSERC (Canada) et Frontenac (Québec)  
*Structure des pavages, droites discrètes 3D et combinatoire des mots*  
 Directeurs : **V. Berthé** (LIAFA) et **S. Brlek** (LaCIM)  
 thèse soutenue au LaCIM le 4 mai 2012.
- D3. **J. Fortier**, boursier NSERC (Canada) et Frontenac (Québec)  
 Directeurs : **L. Santocanale** (LIF, Marseille) et **S. Brlek** (LaCIM)  
 Il termine la rédaction de sa thèse qui sera soutenue à l'automne 2014 au LaCIM.

### Stages postdoctoraux

- P1. **S. Labbé**, a effectué sa thèse en co-tutelle (voir plus haut). Il a obtenu une bourse postdoctorale du CRSNG (Canada) de 2012 à 2014. Son séjour est supervisé en France par **P. Arnoux**.
- P2. **V. Ripoll**, a passé sa thèse à Paris 7 avec David Bessis. Il a ensuite effectué son stage post-doctoral à Montréal sous la supervision de **Ch. Hohlweg** (2010 à 2013)  
Actuellement en post-doc à Vienne avec C. Krattenthaler
- P3. **K. Swenson**, a effectué un stage postdoctoral au LACIM (2011) avec **A. Bergeron** ;  
et à McGill (2012-2013) avec Mathieu Blanchette.  
Il a depuis rejoint le LIRMM en tant que chargé de recherches.

### Participation à des jurys de thèse et d'habilitation

1. Jury de HDR, L. Poinot, Paris XIII, novembre 2011.  
*Contributions à l'algèbre, à l'analyse et à la combinatoire des endomorphismes sur les espaces de séries*, **Ch. Reutenauer** (rapporteur).
2. Jury de thèse de **A. Blondin Massé**, LaCIM, Montréal, décembre 2011.  
*À l'intersection de la combinatoire des mots et de la géométrie discrète : palindromes, symétries et pavages*,  
**S. Brlek, V. Berthé, J.-O. Lachaud, Ch. Reutenauer, X. Provençal**.
3. Jury de thèse de **S. Labbé**, LaCIM, Montréal mai 2012.  
*Structure des pavages, droites discrètes 3D et combinatoire des mots*,  
**S. Brlek, V. Berthé, D. Perrin, Ch. Reutenauer, X. Provençal**.
4. Jury de thèse de Viviane Pons, Paris-Est, octobre 2013.  
*Combinatoire algébrique liée aux ordres sur les permutations*. **J.-C. Aval, F. Bergeron** (rapporteur), **F. Chapoton** (rapporteur), **J.-C. Novelli, F. Patras, J.-Y. Thibon**.
5. Jury de thèse de Claire Giraud, Montréal, décembre 2013.  
*Trois essais sur les relations entre les invariants structuraux des graphes et le spectre du Laplacien sans signe*. **A. Guénoche** (rapporteur).
6. Jury de thèse d'Alice Jacquot, LIPN Villetaneuse, avril 2014.  
*Construction par greffe, combinatoire analytique et génération aléatoire*. **O. Bodini, S. Brlek** (rapporteur), **D. Rossin**, M. Soria, B. Vallée.

## **2.4 Bilans financiers**

Le LIRCO est doté d'un montant de 20000 Euros/an.

2011 : 10 missions dont 2 étudiants

2012 : 13 missions dont 2 étudiants

2013 : 14 missions dont 3 étudiants

2014 : en cours (7 missions effectuées, 3 en projet)

On trouvera ci-dessous les bilans financiers des trois premières années.

## 2.4.1 Année 2011

**BILAN FINANCIER 2011**  
*A retourner au plus tard le 15 octobre 2011*  
*Accompagné du rapport d'activité 2011*

Nom du LIA : LIRCO  
 Responsable scientifique: J-C Aval  
 Montant reçu en euros : 20000

LIA n° :  
 Institut CNRS de rattachement : INS2I

### 1) MOBILITE

Nom du missionnaire	Dates du déplacement	Destination	Montant en €
N. Thiéry (MdC, Paris-Sud)	19/04/2011-06/05/2011	Montréal + Wolfville	390,38
G. Chapuy (CR, LIAFA)	28/09/2011 – 08/10/2011	Montréal	1186,29
F. Chapoton (CR, Lyon)	09/09/2011 – 16/10/2011	Montréal	1670,55
F. Patras (CR, Nice)	09/10/2011 – 19/10/2011	Montréal	2404,33
D. Jamet (MdC, LORIA)	17/10/2011 – 30/10/2011	Montréal	3247,35
G. Blin (MdC, LIGM)	08/10/2011 – 24/10/2011	Montréal	3488,42
V. Pons (doct, LIGM)	22/10/2011 – 07/11/2011	Montréal	3241,95
S. Giraudou (doct, LIGM)	04/11/2011 – 19/11/2011	Montréal	3157,18
V. Berthé (MdC, LIAFA)	26/11/2011 – 11/12/2011	Montréal	1045,07
A. Goupil (Ass Pr, UQ Trois Rivières)	01/10/2011 – 07/10/2011	LaBRI, Bordeaux	168,5
<b>Sous-Total</b>			<b>20000</b>

### 2) ACTIONS DE COORDINATION (Organisation de réunions, colloques,...)

Désignation	Dates	Objet	Montant en €
<b>Sous-Total</b>			<b>0</b>

### 3) AUTRES DEPENSES (limitées à 20% du total)

Désignation	Date	Objet	Montant en €
<b>Sous-Total</b>			<b>0</b>

**TOTAL GENERAL** 20000

A Talence

Le 20 octobre 2011

Signature du responsable scientifique en France: J-C Aval

## 2.4.2 Année 2012

**BILAN FINANCIER 2012**  
*A retourner au plus tard le 15 octobre 2012*  
*Accompagné du rapport d'activité 2012*

Nom du LIA : LIRCO  
 Responsable scientifique : J-C Aval  
 Montant reçu en euros : 20000

LIA n° :  
 Institut CNRS de rattachement : INS2I

### 1) MOBILITE

Nom du missionnaire	Dates du déplacement	Destination	Montant en €
V. Berthe	déc-11	Montréal	1840
J. Cassaigne	févr-12	Banff, Waterloo	1400
S. Ferenczi	févr-12	Banff	1300
J. Allal	avr-12	Vancouver	1255
L. Bourgeade	avr-12	Vancouver	1745
L. Santocanale	avr-12	Montréal	1500
N. Thiery	mai-12	Montréal	1500
V. Feray	juin-12	Montréal	1320
F. Queroy	juin-12	Chicoutimi	1800
X. Provencal	juil-12	Montréal	1000
A. Guenoche	juil-12	Montréal	1500
C. Kassel	oct-12	Montréal	1510
JC. Aval	nov-12	Montréal	2330
<b>Sous-Total</b>			<b>20000</b>

### 2) ACTIONS DE COORDINATION (Organisation de réunions, colloques,...)

Désignation	Dates	Objet	Montant en €
<b>Sous-Total</b>			

### 3) AUTRES DEPENSES (limitées à 20% du total)

Désignation	Date	Objet	Montant en €
<b>Sous-total</b>			

<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>20000</b>
----------------------	--------------

A Talence

le 12/10/2012

Signature du responsable scientifique en France : JC Aval

### 2.4.3 Année 2013

#### BILAN FINANCIER 2013

Nom du LIA : LIRCO  
 Responsable scientifique : J-C Aval  
 Montant reçu en euros : 20000

LIA n° :  
 Institut CNRS de rattachement : INS2I

##### 1) MOBILITE

Nom du missionnaire	Dates du déplacement	Destination	Montant en €
P. Ferraro	déc-12	Vancouver	1087
G. Chapuy	mars-13	Montréal	1000
M. Albenque	avr-13	Montréal	1798
J.M. Fedou	avr-13	Montréal	2000
F. Jouhet	avr-13	Montréal	1810
P. Nadeau	avr-13	Montréal	1809
V. Feray	juin-13	Saint-John	1138
L. Bourgeade	oct-13	Vancouver	1500
N. Bonichon	juin-13	Ottawa	1854
B. Oger	août-13	Montréal	1000
D. Jamet	sept-13	Montréal	1000
M. Koskas	nov-13	Montréal	1000
D. Pajak	nov-13	Ottawa	1000
V. Berthé	déc-13	Montréal	1088
<b>Sous-Total</b>			<b>18660</b>

##### 2) ACTIONS DE COORDINATION (Organisation de réunions, colloques,...)

Désignation	Dates	Objet	Montant en €
ReutenauerFest	juil-13	Cetraro (Italie)	1340
<b>Sous-Total</b>			<b>1340</b>

##### 3) AUTRES DEPENSES (limitées à 20% du total)

Désignation	Date	Objet	Montant en €
<b>Sous-Total</b>			<b>0</b>

<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>20000</b>
----------------------	--------------

A Talence

15/10/13

Signature du responsable scientifique en France : *JC Aval*

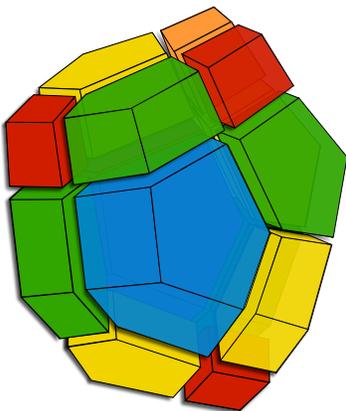
### 3 Projet 2015 - 2018

Le programme scientifique du LIRCO reste structuré autour de trois axes de recherche et d'un développement logiciel transverse aux thèmes de recherche. Outre les projets qui se poursuivent, nous allons développer les sujets suivants.

#### 3.1 Combinatoire énumérative et algébrique

*Combinatoire du treillis de  $m$ -Tamari.* L'étude de ces objets (introduit par **F. Bergeron** et **L. F. Préville Ratelle**, et dont une instance correspond à l'image en marge) est à la source de nombreux problèmes combinatoires considérés par des collaborateurs du LIRCO.

Il est au coeur de deux articles substantiels coécrits par Louis-François Préville-Ratelle (thèse sous la direction de **F. Bergeron**, UQAM) et **M. Bousquet-Mélou**, avec **Éric Fusy** dans un cas et **Guillaume Chapuy** dans l'autre. Il joue aussi une large part dans la thèse de Viviane Pons (thèse sous la direction de **J.C. Novelli** et **J.Y. Thibon**, Marne-la-Vallée).



Ces aspects combinatoires sont intimement liés à l'étude de l'espace coinvariant diagonal pour le groupe symétrique et des fonctions stationnement. À leur tour, ces notions se rattachent aux fonctions stationnement sur les polyominos parallélogrammes étudiés par **J.-C. Aval**, **F. Bergeron** et leurs collaborateurs, ainsi qu'aux espaces co-quasi invariants de groupes de réflexions aussi étudiés par eux. Autour de ces questions, toute une combinatoire, dite de Catalan rectangulaire, est en émergence ces dernières années et les membres du LIRCO (autant québécois que français) y jouent un rôle de premier plan, grandement facilité par cette collaboration. D'autre part, plusieurs jeunes doctorants français ont visité le LaCIM grâce au LIRCO, pour profiter de l'expertise particulière de **F. Bergeron** sur la théorie des espèces (qu'il a

contribué à développer). Cette théorie joue un rôle prépondérant dans le développement des algèbres de Hopf combinatoires par les collaborateurs de **J.-Ch. Novelli**, **J.-Y. Thibon**, et **F. Hivert** ; en plus d'intervenir de manière fondamentale dans la théorie des opérades étudiée par **F. Chapoton**.

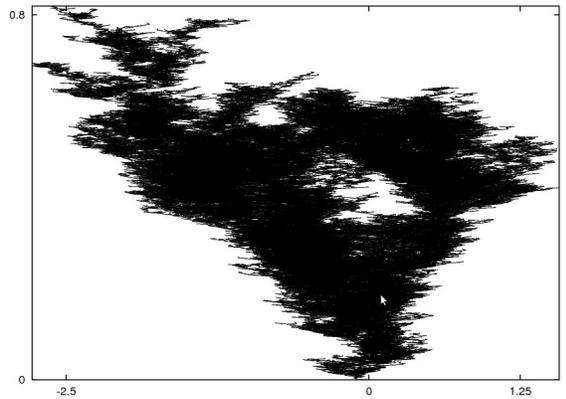
Un tout nouveau volet des travaux de **F. Bergeron** concerne l'étude des liens entre cette combinatoire de Catalan rectangulaire (et les fonctions stationnement associées) et l'algèbre de Hall elliptique introduite et développée par Olivier Schiffmann (Orsay), et Éric Vasserot (Jussieu). Une rencontre de travail entre ces chercheurs et leurs collaborateurs est planifiée à Paris pour novembre 2014.

*Sur la plus longue sous-suite croissante d'une permutation aléatoire.* Ce sujet de recherche se situe à la croisée de l'algorithmique, de la combinatoire extrémale et des probabilités. Il s'agit d'étudier une variante de ce problème célèbre, qui a fait couler beaucoup d'encre en raison de ses connexions profondes avec de nombreux domaines des mathématiques comme de son intérêt algorithmique, et qui est maintenant bien compris.

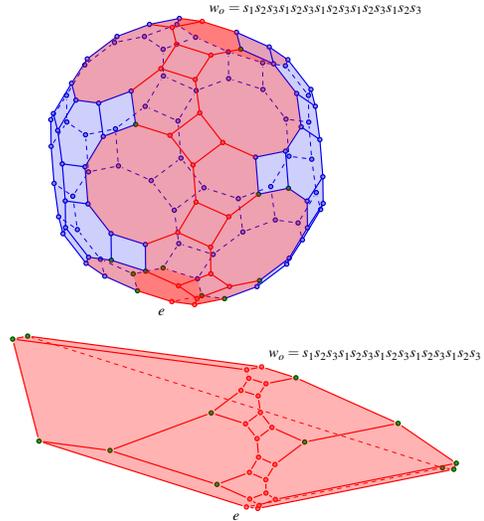
Une question récente due à Simon Griffiths serait d'étudier ce qui demeure de ces études lorsque l'on remplace les permutations par d'autres objets (dans un poset quelconque) ou qu'on les étudie sous une autre mesure. Par exemple, la plus longue sous-suite croissante dans une marche aléatoire simple de taille  $n$  a récemment été prouvée être d'ordre  $\sqrt{n} \log(n)$  (Angel, Balka, Peres, 2014). L'objectif de **L. Devroye** et **G. Chapuy** est de mener une étude systématique des problèmes de plus longues sous-suites croissantes dans les posets, de déterminer des exposants extrémaux et de tenter de lier quantitativement leurs propriétés à des propriétés générales des ordres partiels ou des mesures sous lesquels on les étudie.

*Applications probabilistes de la combinatoire énumérative.* Il s'agit d'étudier les propriétés fines de la mesure ISE, qui décrit à la fois la limite du profil métrique des cartes planaires aléatoires et la limite universelle de la "répartition spatiale" des arbres aléatoires spatiaux (**M. Bousquet-Mélou** et Janson 2006, **L. Devroye** et Janson 2008).

Des travaux récents de **M. Bousquet-Mélou** et **G. Chapuy** (2012) donnent des résultats énumératifs étonnamment simples pour le profil de ces arbres, qui suggèrent la réponse à une conjecture de **M. Bousquet-Mélou** et Janson sur la régularité du processus  $f_{\text{ISE}}$  décrivant la densité de ISE, approche rendue rigoureuse par des travaux en cours de **G. Chapuy** et **J.-F. Marckert**. Beaucoup reste à faire pour en obtenir des versions discrètes universelles, par exemple pour des arbres de Galton-Watson spatiaux généraux. On peut imaginer que de telles avancées pourraient également aider à comprendre le lien entre les arbres de Galton-Watson spatiaux et les hiérarchies d'équations différentielles intégrables apparaissant dans l'énumération des cartes  $(KP, KdV)$ , pour l'instant encore mystérieux.



*Associaèdres généralisés.* **Ch. Hohlweg** (LaCIM, UQAM) entretient des liens de recherche forts via le LIRCO avec **V. Pilaud** (LIX, École polytechnique) depuis août 2011 sur le sujet de la géométrie discrète en particulier des associaèdres généralisés, introduits par Fomin et Zelevinski dans le cadre de leur étude des algèbres amassées. **Ch. Hohlweg** est à l'origine d'une construction combinatoire de ces polytopes dont **V. Pilaud** offre une nouvelle vue grâce aux polytopes de briques. Vincent Pilaud a de nombreuses fois visité le LaCIM (été 2011, 2012, automne 2014) et Christophe à visité le LIX à l'automne 2013. **Ch. Hohlweg** entretient aussi des liens de recherche avec P. Nadeau (CNRS, Université Lyon 1). P. Nadeau a visité le LaCIM en mai 2013 et revient à l'automne 2014. **Ch. Hohlweg** a visité Lyon au printemps 2014. Leur projet de recherche commun est l'étude des automates liés aux groupes de Coxeter. Il a été démontré par Brink et Howlett dans les années 90 que le langage des mots réduits dans un groupe de Coxeter est régulier : ils ont introduit un automate de grande taille, dit canonique, dont les propriétés ont été très peu étudiées. L'étude de cet automate est le point de départ des recherches conjointes entre ces deux chercheurs.



*Théorie des représentations des monoïdes finis.* Les collaborations visent à développer les différents aspects de cette théorie et ses applications à d'autres domaines des mathématiques (notamment la théorie des probabilités à travers l'étude de certaines chaînes de Markov discrètes). Les principaux collaborateurs de **F. Saliola** en France comprennent **F. Hivert**, **N. M. Thiéry** et V. Pons, mais ce programme comprend aussi des chercheurs internationaux au Canada, aux États-Unis et en Israël. Les différents aspects du programme de recherche se résument comme suit :

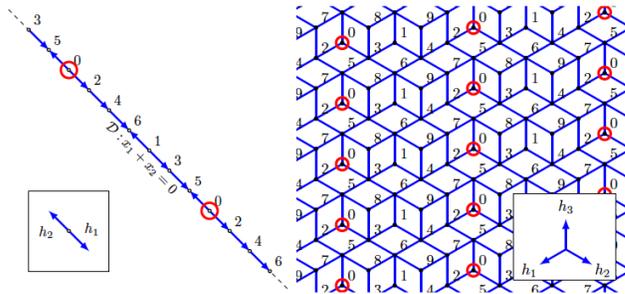
- Développer la théorie générale : il s'agit d'étendre les résultats connus pour la théorie des représentations des groupes finis aux monoïdes finis.
- Étudier des exemples spécifiques qui apparaissent naturellement en combinatoire algébrique. Du point de vue moderne, il s'agit de l'étude des propriétés homologiques (foncteurs dérivés, cohomologie de monoïdes et de petites catégories, etc.). Des résultats récents rendent évident que tous ceux-ci peuvent être abordés en utilisant des outils provenant de la combinatoire algébrique et de la topologie combinatoire.
- Faire progresser les applications. Parmi les applications courantes, on trouve des applica-

tions à la théorie des probabilités ; en particulier, l'étude de certaines chaînes de Markov discrètes importantes, qui peuvent être considérées comme des chaînes de Markov sur certains monoïdes finis. En conséquence, on peut les analyser à l'aide des outils de la théorie des représentations de monoïdes finis.

*Structures quotient d'indice fini* – **Ch. Reutenauer** et Roland Bacher<sup>5</sup> ont établi que le nombre d'idéaux à droite de codimension  $n$  dans l'algèbre associative à deux générateurs sur le corps  $F_q$  est un  $q$ -analogue du  $n$ -ème nombre de Catalan. Leur projet consiste à montrer que pour l'algèbre libre sur deux générateurs ce nombre est un  $q$ -analogue du nombre de permutations indécomposables. Un projet parallèle avec **Ch. Kassel** est d'étudier le cas commutatif.

### 3.2 Géométrie discrète et combinatoire des mots.

*Mots Sturmien et généralisations en dimension supérieure* – Bien qu'il existe une vaste littérature sur le sujet, plusieurs aspects ont été négligés jusqu'à présent. Les motivations proviennent de la géométrie digitale (discrétisation des droites), de l'étude des nombres de Markoff (il utilise les mots Sturmien sans connaître les travaux antérieurs de Christoffel pour le calcul des minima des fonctions quadratiques et des constantes associées et les nombres qui portent son nom), de la combinatoire des mots et des généralisations en dimension supérieure, sans oublier celles associées au groupe libre.



Dans la lignée des travaux de Bédaride et al. (Marseille) le calcul des fonctions symétriques bivariées s'impose pour plusieurs classes de mots Sturmien (palindromes, mots spéciaux). En particulier, **Ch. Reutenauer** et **S. Labbé** étudient une généralisation des mots de Christoffel, appelés parallélogrammes de Christoffel, qui coident en 3D les plans de coordonnées rationnelles, comme le font les mots de Christoffel pour les droites de pente rationnelle.

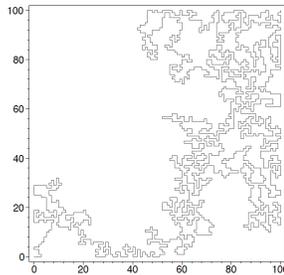
*Bases de sous-groupes de groupes libres, mots Sturmien, dynamique symbolique, et échanges d'intervalles* – L'article [24] sur les codes bifixes et les mots Sturmien à plusieurs co-auteurs (dont **Ch. Reutenauer**, **D. Perrin** et **J. Berstel**) décrit la construction des bases positives de sous-groupes d'indice fini de groupes libres, lesquelles bases sont contenues dans l'ensemble des facteurs d'une suite Sturmienne (ou épisturmienne) a donné de nombreuses

<sup>5</sup>Institut Fourier, Grenoble

directions de recherche. On y trouve une propriété combinatoire appelée “tree condition” sur les facteurs d’un mot infini satisfaite par les mots Sturmien. Ce sujet fait partie d’une part du domaine de la dynamique symbolique car il contient l’étude des échanges d’intervalles et des involutions linéaires, et d’autre part de la théorie des codes bifixes introduits par Schützenberger, qu’il généralise considérablement. Sept articles sont en projet [36, 37, 38, 39, 40, 41, 42] avec plusieurs auteurs dont **Ch. Reutenauer**, **V. Berthé**, **D. Perrin**, **V. Delecroix** et J. Leroy.

*Génération aléatoire de chemins et de polyominos.* Un algorithme linéaire a été découvert par **S. Brlek**, **M. Koskas** et **X. Provençal** pour déterminer en temps et espace linéaires si un chemin sur le réseau carré s’intersecte ou non [4].

Il repose sur le codage des chemins par des mots sur un alphabet de quatre lettres et une utilisation subtile des arbres quaternaires. Cet algorithme (appelé BKP du nom de ses auteurs) a de nombreuses applications et permet entre autres de calculer efficacement l’enveloppe extérieure d’un chemin fermé ou non, ainsi que son enveloppe convexe. On peut imaginer une utilisation de BKP pour faire de la génération de chemins auto-évitant de manière exhaustive et aussi aléatoire. Les propriétés de ces chemins sont encore mal comprises, malgré des progrès récents remarquables dus à Duminil-Copin, Hammond et Smirnov, prolongés notamment par des travaux de **M. Bousquet-Mélou** et de ses collaborateurs. On peut aussi se pencher sur des sous-familles mieux comprises (quoiqu’incomplètement) de chemins, comme les chemins dits “prudents”.



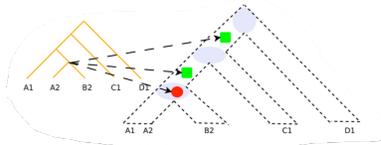
Ceci ouvre une voie prometteuse pour l’étude de la génération exhaustive et aléatoire de chemins confinés (comme dans les illustrations fournies) ou libres. Lorsqu’on regarde le cas particulier des chemins fermés sur un réseau carré, il permet d’envisager le problème de génération des polyominos de manière exhaustive ou aléatoire sous un nouvel angle.

Bien qu’on sache le faire plus ou moins agréablement pour certaines classes de polyominos comme les convexes ou les dirigés, ce problème est encore une fois très mal compris dans toute sa généralité. Des travaux récents de Jacquot et Bodini montrent que le problème de la génération uniforme de polyominos digitalement convexes est difficile bien que celle des polyominos convexes puisse se faire en temps polynomial.

### 3.3 Bio-informatique combinatoire et visualisation.

*Bio-informatique génomique.* Depuis 2008, **S. Hamel** maintient une collaboration avec plusieurs chercheurs français, dont **G. Blin**, **M. Crochemore**, **S. Vialette** du LIGM, ainsi que **A. Denise** et S. Cohen-Boulakia du LRI.

Ces chercheurs considèrent les problèmes de complexité algorithmique et des problèmes combinatoires liés à la bio-informatique génomique. Ils travaillent présentement sur deux articles qui exposeront les résultats récents.

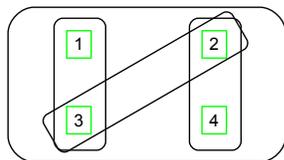
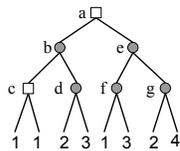


*Analyse et conception de méthodes de fouille.* Cette collaboration entre **A. Banire Diallo** (UQAM) et **E. Mephu** et **D. Hill** du LIMOS (Clermont-Ferrand) comporte deux volets. L'un à vocation scientifique et l'autre dans la dissémination des connaissances dans les pays en voie de développement.

- En exploitant les techniques de fouille de graphes et de calcul hautes performances, ils développent des méthodes de transformation des structures de protéines en graphes en vue d'appliquer différentes métriques de la théorie des graphes ainsi qu'une plate-forme de flux de données pour analyser des données de séquençage à haut débit (RNAseq).
- Mise en place d'une série d'écoles d'été en informatique. Le Président de l'Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand) était à l'UQAM en mai pour discuter d'une entente cadre à cet effet. Les contacts avec les institutions africaines sont en cours pour déterminer l'organisation de la première école.

*Annotation génomique à fine échelle.* Cette collaboration entre P. Peyret (Clermont Université), E. Peyretailade (Université d'Auvergne) et A. Banire Diallo (UQAM) porte sur l'annotation des petites protéines dans les génomes ultra-petits. Ils ont séquencé le transcriptome de plusieurs microsporidiens et développent des techniques bioinformatiques adaptées en vue d'identifier les fonctions et rôles de ces différentes séquences.

*Combinatoire et analyse des génomes.* **A. Ouangraoua** qui était précédemment à INRIA Lille jusqu'en août 2014, vient d'obtenir un poste à l'Université de Sherbrooke.



Elle collabore étroitement avec des chercheurs du LIFL, du LIRMM et du LIAFA, notamment avec J.-S. Varré du LIFL, K. Swenson (LIRMM), et **M. Raffinot** sur la combinatoire de la structure des génomes. Elle collabore également avec S. Blanquart, H. Touzet et M. Salson du LIFL dans le cadre d'une équipe associée internationale INRIA-

FQRNT (2014-2017) sur l'analyse de l'architecture des gènes.

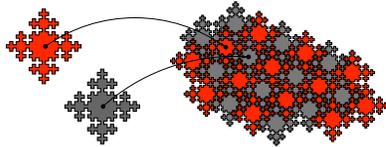
### 3.4 Projet Sage-Combinat

Ce projet transversal aux autres est animé en France principalement par **F. Hivert** et **N. M. Thiéry**. Il existe depuis 13 ans et a démontré sa viabilité et sa vigueur par l’adhésion d’un très grand nombre de chercheurs. Il suscite actuellement un intérêt accru de la communauté combinatoire dans le monde entier et particulièrement aux États-Unis où la NSF a consacré une somme de 500K\$ à une équipe internationale menée par William Stein (Washington, créateur de Sagemath.org), Dan Bump (Stanford), Gregg Musiker (Minnesota), Anne Schilling (UC at Davis), incluant aussi nos collègues susnommés.

Un bon nombre des membres du LIRCO y participent à divers degrés, incluant aussi des jeunes chercheurs tels que **A. Boussicault** et V. Delecroix (LaBRI). Des rencontres fréquentes, connues sous le nom de “Sage Days”, sont organisées sur différents thèmes liés aux recherches des membres du LIRCO. En particulier, une bibliothèque pour la combinatoire des mots est maintenant incluse dans la distribution du système Sage. Celle-ci a été développée principalement au LaCIM avec pour maître d’oeuvre **F. Saliola** qui l’a menée avec enthousiasme avec une équipe de jeunes chercheurs tels **S. Labbé** dont le directeur était le moins jeune **S. Brlek**. Il est naturel d’étendre cette librairie aux systèmes dynamiques discrets par l’adjonction des mots infinis. Parmi les nombreux thèmes en développement nous présentons particulièrement les suivants.

*Théorie des représentations des monoïdes finis.* Il s’agit d’en développer les aspects computationnels. Le programme de recherche est à la fois facilité et inspiré par des explorations informatiques. À cette fin, nous avons organisé plusieurs conférences “Sage Days” pour développer les fonctionnalités de Sage dans le domaine de la théorie de la représentation. En outre, au cours de l’année prochaine, il y aura au moins trois conférences “Sage Days” avec le même objectif : PyCon à Montréal en avril 2015 (coorganisé par V. Pons, **F. Saliola**, M. Guay-Paquet) ; UC Davis (dates à déterminer) ; Chicago (juin 2015 ; **F. Saliola** est conférencier invité).

*Librairie de géométrie digitale.* Ce projet est porté par **X. Provençal**, **J.-O. Lachaud** et **L. Vuillon** du LAMA. Y collaborent aussi **D. Jamet** (LORIA) ainsi que les collaborateurs du LaCIM. En effet, depuis une dizaine d’années **S. Brlek** s’intéresse aux interactions entre la géométrie discrète et la combinatoire des mots.



L’école uqamienne a ainsi développé une série d’algorithmes optimaux pour des problèmes de reconnaissance de propriétés géométriques de figures discrètes (polyominos) basés sur des algorithmes de combinatoire des mots. Depuis l’été 2013, une équipe de chercheurs et d’étudiants composée des professeurs **A. Blondin Massé**, **S. Brlek**, **A. Goupil** (UQTR) et **F. Saliola**, ainsi que des étudiants S. Désaulniers (UQTR), J. de Wouters (UQTR),

M. Lapointe (UQAC), M. Lavoie (UQAC), M.-È. Pellerin (UQTR) et H. Tremblay (UQAM) travaille activement sur la création d'une bibliothèque de géométrie digitale dans la perspective de l'inclure au logiciel Sage. Une partie du développement qui se concentre sur l'énumération de polyominos (voir image jointe) est disponible publiquement sur la plateforme Bitbucket à l'adresse suivante :  
<https://bitbucket.org/ablondin/polyenum>

## 4 Budget Prévisionnel

Comme les chercheurs canadiens bénéficient de leur subvention individuelle, aucun montant ne sera consacré à leurs frais de mission en France. En outre, les chercheurs canadiens peuvent contribuer au co-financement de missions de chercheurs français dans la limite des fonds disponibles de chacun.

Le budget sera donc entièrement consacré aux financements de missions de membres français du LIA LIRCO au Canada. Les missions de courte durée (2 semaines) seront privilégiées. Seront financés : les trajets (vols AR) et/ou les frais de séjour, certaines missions pouvant être cofinancées.

Le montant demandé est de 30000 euros par an.

Sur la base d'un financement global, et de missions de 2 semaines, le budget couvre environ 15 missions pour l'année 2015.

# Annexes

## A Publications communes

Nous ne mentionnons sous cette rubrique que les publications conjointes entre les membres du LaCIM et chercheurs en France des deux laboratoires.

### Articles dans des Revues avec comité de lecture

- [1] A. Blondin Massé, S. Brlek, S. Labbé, L. Vuillon, *Palindromic complexity of codings of rotations*, Theoretical Computer Science 412 Issue 46 (2011) 6455–6463.
- [2] S. Brlek, X. Provençal, *Advances in discrete geometry*, Preface, Theoretical Computer Science 412 Issue 36 (2011) 4755–4756.
- [3] A. Blondin-Massé, S. Brlek, A. Garon, S. Labbé, *Two infinite families of polyominoes that tile the plane by translation in two distinct ways*, Theoretical Computer Science 412 Issue 36 (2011) 4778–4786.
- [4] S. Brlek, M. Koskas, X. Provençal, *A linear time and space algorithm for detecting path intersection in  $Z^d$* , Theoretical Computer Science 412 Issue 36 (2011) 4841–4850.
- [5] A. Blondin-Massé, S. Brlek, A. Garon, S. Labbé, *Equations on palindromes and circular words*, Theoretical Computer Science 412 Issue 27 (2011) 2922–2930.
- [6] A. Ouangraoua, K. Swenson, C. Chauve, *A 2-approximation algorithm for the Minimum Duplication Speciation Problem*, Journal of Computational Biology 18(9) (2011) 1041–1053.
- [7] A. Blondin-Massé, S. Brlek, S. Labbé, M. Mendès France, *Fibonacci snowflakes*, Special Issue dedicated to Paulo Ribenboim, Annales des Sciences Mathématiques du Québec 35, No 2 (2011) 141–152
- [8] S. Brlek, X. Provençal, *Discrete geometry for computer imagery*, Editorial, Pattern Recognition Letters 32 Issue 9 (2011) 1355.
- [9] A. Blondin-Massé, S. Brlek, S. Labbé, M. Mendès France, *Complexity of the Fibonacci snowflake*, Fractals 20:03n04 (2012) 57–60
- [10] J.-C. Aval, F. Bergeron, *Co-quasi-invariant spaces for generalized symmetric groups*, J. of Combin. Theory, Ser. A 119 (2012) 1432–1446.
- [11] J. Allali, C. Chauve, A.L. Gaillard, P. Ferraro, *Efficient chaining of seeds in ordered trees*, Journal of Discrete Algorithms 14 (2012), 107–118.
- [12] S. Brlek, J.-P. Labbé, M. Mendès France, *Combinatorial variations on Cantor’s diagonal*, Journal of Combinatorial Theory A 119 (2012), 655–667.
- [13] M. Bousquet-Mélou, É. Fusy, L.-F. Prévaille-Ratelle, *The Number of Intervals in the  $m$ -Tamari Lattices*, Electr. J. Comb. 18 (2) (2012).

- [14] M. Bousquet-Mélou, G. Chapuy, L.-F. Prévaille-Ratelle, *The representation of the symmetric group on  $m$ -Tamari intervals*, Adv. Math. 247 (2013) 309–342.
- [15] A. Ouangraoua, V. Guignon, C. Chauve et S. Hamel, *A new algorithm for aligning nested arc-annotated sequences under arbitrary weight schemes*, Theoretical Computer Science, Volume 412, Issues 8-10 (2011) 753–764.
- [16] V. Berthé, S. Labbé, *Combinatorial methods for three-dimensional segments*, soumis à Discrete Applied Mathematics.
- [17] G. Blin, S. Cohen-Boulakia, A. Denise, S. Hamel, *Consensus rankings for biological data : hardness result, linear programming algorithm and applications*, à soumettre à Journal of Computational Biology.
- [18] A. Blondin-Massé, S. Brlek, S. Labbé, M. Mendès France, *Complexity of the Fibonacci snowflake*, Fractals 20:03n04 (2012) 57–60
- [19] J.P. Doyon, C. Chauve et S. Hamel, *An efficient method for exploring the space of gene tree/species tree reconciliations in a probabilistic framework*, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, Vol.9, No. 1 (2012) 26–39.
- [20] A. Blondin-Massé, G. Paquin, H. Tremblay, L. Vuillon, *On generalized pseudostandard words over binary alphabets*, soumis à Journal of Integer Sequences, numéro spécial en l’honneur de Jean-Paul Allouche, 2012.
- [21] S. Brlek, X. Provençal, *Some remarks on smooth tilings*, International Journal of Algebra and Computation (soumis).
- [22] F. Queyroi, Y. Chiricota, *Visualization-based communities discovering in commuting networks: a case study*, RNTI, soumis.
- [23] X. Yang, F. Sikora, G. Blin, S. Hamel, R. Rizzi, S. Aluru, *The intractability of gene losses in commun interval models*, soumis à Theoretical Computer Science (2012).
- [24] J. Berstel, C. De Felice, D. Perrin, C. Reutenauer, Giuseppina Rindone, *Bifix codes and Sturmian words*, Journal of Algebra **369** (2012) 146–202.
- [25] A. Blondin-Massé, A. Frosini, S. Rinaldi et L. Vuillon, *On the shape of permutomino tiles*, Discrete Applied Mathematics, 161(15): (2013) 2316–2327 .
- [26] S. Ferenczi, L. Zamboni, *Clustering words and interval exchanges*, Journal of Integer Sequences, Vol. 16 (2013), Article 13.2.1
- [27] A. Blondin Massé, A. Garon, S. Labbé, *Combinatorial properties of double square tiles*, Theor. Comput. Sci. 502 : 98–117 (2013).
- [28] S. Brlek, C. Reutenauer, J.-G Penaud, Préface, *Generation of Combinatorial Structures*, Theor. Comput. Sci. 502 (2013) 1–3.
- [29] M. Dodson, M. Mendès-France, *On the entropy of curves*, J. Integer Seq.16 (2013).
- [30] V. Féray, I. Goulden, A. Lascoux, *A multivariate hook formula for labelled trees*, J. of Combin. Theory A 120 (2013) 944–959.

- [31] J. Fortier, L. Santocanale, *Cuts for circular proofs : semantics and cut-elimination*, in : S. R. D. Rocca (ed.), CSL, vol. 23 of LIPIcs, Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2013.
- [32] F. Patras, L. Foissy, *Natural endomorphisms of shuffle algebras*, Int. J. Algebra and Computation Vol. 23, No. 4 (2013) 989–1009.
- [33] V. Berthé, J. Cassaigne, W. Steiner, *Balance Properties of Arnoux-Rauzy Words*, IJAC 23(4) (2013) 689–704.
- [34] A. Ouangraoua, M. Raffinot, *On the identification of conflicting contiguities in ancestral genome reconstruction*, Journal of Computational Biology 21(1) (2014) 64–79.
- [35] J.-C. Aval, F. Bergeron, A. Garsia, *Combinatorics of labelled parallelogram polyominoes*, soumis.
- [36] V. Berthé, C. De Felice, F. Dolce, D. Perrin, C. Reutenauer, G. Rindone, *Notes on sets of first return*, preprint [arXiv :1308.5618].
- [37] V. Berthé, C. De Felice, F. Dolce, J. Leroy, D. Perrin, C. Reutenauer, G. Rindone, *Maximal bifix decoding*, preprint [arXiv :1308.5396].
- [38] V. Berthé, C. De Felice, F. Dolce, J. Leroy, D. Perrin, C. Reutenauer, G. Rindone, *Acyclic, connected and tree sets*, preprint [arXiv :1308.4260].
- [39] V. Berthé, C. De Felice, F. Dolce, J. Leroy, D. Perrin, C. Reutenauer, G. Rindone, *The finite index basis property*, preprint [arXiv :1305.0127].
- [40] V. Berthé, C. De Felice, F. Dolce, D. Perrin, C. Reutenauer, G. Rindone, *Two-sided Rauzy induction*, preprint [arXiv :1305.0120].
- [41] V. Berthé, C. De Felice, F. Dolce, J. Leroy, D. Perrin, C. Reutenauer, G. Rindone, *Return words and interval exchange transformations*, preprint [arXiv:1408.0389]
- [42] V. Berthé, V. Delecroix, F. Dolce, D. Perrin, C. Reutenauer, G. Rindone, *Natural coding of linear involutions*, preprint [arXiv:1405.3529]
- [43] B. Brancotte, R. Milosz, B. Yang, G. Blin, S. Cohen-Boulakia, A. Denise, S. Hamel, *Consensus rankings with ties : One size cannot fit all*, preprint.
- [44] S. Brlek, X. Provençal, *Some remarks on smooth tilings*, International Journal of Algebra and Computation (soumis).
- [45] S. Ferenczi, L. Zamboni, *Clustering words and interval exchanges*, à paraître dans Journal of Integer Sequences.
- [46] V. Féray, I. Goulden, A. Lascoux, *An edge-weighted hook formula for labelled trees*, preprint.
- [47] C. Kassel, C. Reutenauer, *Algebraicity of the zeta function associated to a matrix over a free group algebra*, [arXiv :1303.3481], à paraître dans Algebra and Number Theory.

## Articles parus dans des conférences avec comité de lecture

- [48] F. Bergeron, N. Borie, N. Thiéry, *Deformed diagonal harmonic polynomials for complex reflection groups*, FPSAC 2011, DMTCS Proceedings, (2011) 135–146
- [49] V. Berthé, S. Labbé, *Uniformly balanced words with linear complexity and prescribed letter frequencies*, WORDS 2011, Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science 63.
- [50] V. Berthé, S. Labbé, *An Arithmetic and Combinatorial Approach to three-dimensional Discrete Lines*, DGCI 2011, Lecture Notes in Computer Science 6607 Springer (2011) 47–58.
- [51] S. Cohen-Boulakia, A. Denise, S. Hamel, *Using Medians to generate consensus rankings for biological data*, Lecture Notes in Computer Science 4580, SSDBM 2011, 73–90.
- [52] S. Brlek, J.-P. Labbé, M. Mendès France, *On the computation of Cantorian tableaux*, PP2011, 9th International Conference on Permutation Patterns (June 20-24, 2011, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, USA).
- [53] M. Bousquet-Mélou, G. Chapuy, L.-F. Préville-Ratelle, *The representation of the symmetric group on  $m$ -Tamari intervals*, FPSAC 2012 (Formal power series and algebraic combinatorics), Nagoya, Japon, août 2012. DMTCS Proceedings (2012) 351–364.
- [54] X. Yang, F. Sikora, G. Blin, S. Hamel, R. Rizzi, S. Aluru, *An Algorithmic View on Multi-related-segments : a unifying model for approximate common interval*, LNCS 7287, TAMC2012 (9th Annual Conference on Theory and Applications of Computation), (2012) pp. 319– 329.
- [55] H. Tremblay, G. Labelle, S. Brlek and A. Blondin Massé, *Exhaustive generation of atomic combinatorial differential operators*, Proc. GASCom 2012, 8th International Conference on random generation of combinatorial structures (June 25-27, Bordeaux, FRANCE) (2012) Electronic Proceedings
- [56] A. Thomas, A. Ouangraoua. J.-S. Varré, *Tandem Halving Problems by DCJ*, Proc. Workshop on Algorithms in Bioinformatics (WABI'12), LNCS 7534 (2012) 201–212.
- [57] S. Brlek, *Sur une vieille question d'Allouche et les trajectoires récurrentes d'Oldenburger*, Journée P-automatique, Institut IHP, Paris avril 2013.
- [58] V. Berthé, J. Cassaigne, W. Steiner, *Balance Properties of Arnoux-Rauzy Words*, Exposé invité à la Reutenauer Fest, "Words, Codes and Algebraic Combinatorics". (Cetraro, Italie juillet 2013).
- [59] S. Brlek, *TBA*, Exposé invité à la Reutenauer Fest, "Words, Codes and Algebraic Combinatorics". (Cetraro, Italie juillet 2013).
- [60] A. Guénoche, V. Makarenkov, *Consensus d'arbres phylogénétiques*, Colloque "Mathematical and Computational Evolutionary Biology". May 27-31, 2013. France : Hameau de l'Etoile. Saint Guilhem le Désert.
- [61] M. Bouvel, M. Mishna, C. Nicaud, *Some simple varieties of trees arising in permutation analysis*, "FPSAC 2013", Paris, juin 2013.
- [62] S. Brlek, H. Tremblay, J. Tremblay and R. Weber, *Efficient computation of the outer hull of a discrete path*, Proc. DGCI 2014, 18th IAPR International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery (September 10-12, Siena, Italia) Springer LNCS **8668** (2014) 122–133

- [63] S. Brlek, M. Koskas and R. Pinzani, *On the random generation of convex polyominoes*, Proc. GASCom 2014, 9th International Conference on random generation of combinatorial structures (June 23-25, Bertinoro, Italia) (2014) Electronic Proceedings
- [64] S. Brlek, S. Labbé, N. Lafrenière and X. Provençal, *On  $\sigma$ -palindromes and their applications*, Proc. AofA 2014, 25th International Conference on Probabilistic, Combinatorial and Asymptotic Methods for the Analysis of Algorithms, Paris, France, June 16-20 (2014) Electronic Proceedings
- [65] L. Bourgeade, J. Allali and C. Chauve, *Chaining Sequence/Structure Seeds for Computing RNA Similarity*, Computational Methods for Structural RNAs, CMSR'14, Strasbourg (France)

### **Livres et ouvrages collectifs**

- [66] S. Brlek, C. Reutenauer, J.-G. Penaud, *Generation of Combinatorial Structures*, Theoretical Computer Science **502** (2013) 248p.
- [67] S. Brlek, X. Provençal, *Advances in Discrete Geometry*, Theoretical Computer Science **412:36** (2011) 95p.
- [68] S. Brlek, X. Provençal, *Discrete geometry for computer imagery*, Pattern Recognition Letters **32:9** (2011) 65p.