

Curriculum Vit de

Isabelle DUTOUR

Fait à Talence le 14 octobre 1997.

Isabelle DUTOUR

LaBRI, Université Bordeaux I
351 Av. de la Libération
33405 Talence
Tél: 05 56 84 84 27
e-mail : dutour@labri.u-bordeaux.fr
<http://dept-info.labri.u-bordeaux.fr/~dutour>

Le Plantey
33141 Saillans
Tél: 05 57 84 34 04

Née le 10 mars 1969 à Libourne
Célibataire

Docteur en Informatique Spécialités : Informatique théorique, Calcul formel

Fonctions occupées

- Septembre 1995-1997 : **ATER** à l'UFR Mathématiques et Informatique de l'Université Bordeaux I
- Octobre 1992-1995 : **Allocataire MRT** Région Aquitaine
LaBRI, URA 1304, Université Bordeaux I
- Septembre 1993-1995 : **Moniteur de l'enseignement supérieur** à l'UFR Mathématiques et Informatique de l'Université Bordeaux I.
- Année 1990-1991 : **Vacataire** à l'UFR Mathématiques et Informatique de l'Université Bordeaux I.

Séjours à l'étranger

- Séjour de 15 jours à l'université de Florence (Pr. R. Pinzani), Juin 1995, Italie.
- Séjour de 3 semaines à l'université de Montréal (Pr. P. Leroux), Janvier 1997, Canada.
- Séjour de 15 jours à l'université de Paderborn (Pr. B. Fuchssteiner), Octobre 1997, Allemagne.

Formation

- Janvier 1996 : **Thèse en Informatique** mention Très Honorable
LaBRI, URA 1304, Université Bordeaux I
*Grammaires d'objets: énumération, bijections
et génération aléatoire.*
Sous la direction de Jean-Marc Fédou.
Soutenue devant la commission d'examen suivante:
E. Barucci Florence
B. Courcelle Bordeaux I
M. Delest (président) Bordeaux I
J.M. Fédou Nice
P. Flajolet (rapporteur) INRIA Rocquencourt
C. Reutenauer (rapporteur) Montréal
- Juin 1992 : **DEA Informatique** mention Bien (Bordeaux)
Tronc commun : Algorithmique et Combinatoire - Logique et
Sémantique.
Options : Combinatoire et Réseaux d'interconnexion - Arbres et
Animaux - Synthèse d'images réalistes - Analyse d'images.
Mémoire : *Animaux dirigés 3D et approximations de séries
génératrices.* Sous la direction de Jean-Guy Penaud.
- Juin 1991 : **Maîtrise Informatique** (Bordeaux)
U.V. Bases de Données et Téléinformatique Bien
U.V. Compilation Bien
C.E.S Langages et Systèmes Assez Bien
Projet : *Visualisation de tresses simples.* (CalICo)
Sous la direction de Jean-Marc Fédou.
- Juin 1990 : **Licence Informatique** (Bordeaux)
U.V. Algorithmique Numérique Bien
U.V. Algorithmique et Structures de Données Bien
U.V. Microprocesseurs et Systèmes Bien
U.V. Programmation Assez Bien
- Juin 1989 : **DEUG A Option Physique-Informatique** (Bordeaux)
- Juin 1987 : **BAC Série C** (Libourne)

Activités d'enseignement

Pendant mes deux années de monitorat, mes enseignements ont plus particulièrement concerné l'initiation à l'informatique en DEUG 1^{ère} et 2^{ème} année. Pendant mes deux années d'ATER, j'ai enseigné la téléinformatique en Maîtrise d'Informatique, la téléinformatique et le langage Java en IUP-MIAGE 2^{ème} et 3^{ème} année ainsi que l'utilisation de systèmes informatiques en Licence d'Informatique.

Ces deux expériences sont très bénéfiques car, la première m'a permis de mieux cerner les difficultés des étudiants à appréhender l'informatique (concept et machine), et la seconde m'a permis d'aborder l'enseignement sous un aspect plus pratique. J'ai également une bonne connaissance des systèmes de calcul formel, en particulier Maple pour lequel j'ai participé à la réalisation d'une formation destinée au personnel du CEA.

1996-1997 : ATER

- TD : **Téléinformatique** Maîtrise d'Informatique
30 étudiants, service en équivalent TD: **40h**
Cours/TD: Réseaux et TéléinformatiqueIUP-MIAGE 2^{ème} année
40 étudiants, service en équivalent TD: **30h**
Programme de ces enseignements:
Couches OSI, Modèle client-serveur, Administration de réseau IP (mise en route, DNS, Mail, News), Protocoles de routage, Réseaux locaux et protocoles, Codage et cryptographie.
- TD : **Programmation avancée (objets)**IUP-MIAGE 3^{ème} année
30 étudiants, service en équivalent TD: **15h**
Programme de cet enseignement:
Initiation à la programmation orientée objet, JAVA.
- TD/TP : **Initiation à l'informatique et à la programmation** .DEUG A 2^{ème} année
20 étudiants, service en équivalent TD: **64h**
Programme de cet enseignement:
Concepts de base de l'informatique, Notions d'Algorithmique, Langage C.
- TP : **Utilisation de systèmes informatiques**Licence d'Informatique
18 étudiants, service en équivalent TD: **48h**
Programme de cet enseignement:
Initiation à l'environnement de développement sous Unix : Commandes Unix, Emacs, Compilation, Programmation Shell, Appels systèmes. Conception et correction d'un projet.
- **Encadrement d'un projet de programmation** en 3^{ème} année d'école d'ingénieurs (ENSERB). **8h**

1995-1996 : 1/2 ATER

- **TD : Téléinformatique** Maîtrise d'Informatique
30 étudiants, service en équivalent TD: **40h**
Programme de cet enseignement:
Couches OSI, Modèle client-serveur, Administration de réseau IP (mise en route, DNS, Mail, News), Protocoles de routage, Réseaux locaux et protocoles, Codage et cryptographie.
- **TD/TP : Initiation à l'informatique** DEUG A 1^{ère} année
50 étudiants (1 service 1/2), service en équivalent TD: **48h**
Programme de cet enseignement:
Présentation d'un compatible PC et de MS-DOS, Tableur et traitement de texte Works, Logiciel de calcul formel Maple, Algèbre de Boole et éléments de logique.
- **Co-encadrement de deux projets de programmation** en Maîtrise d'Informatique et en 2^{ème} année d'école d'ingénieurs (ENSERB). **14h**

1994-1995 : Moniteur

- **TD/TP : Initiation à l'informatique et à la programmation** .DEUG A 2^{ème} année
25 étudiants, service en équivalent TD: **32h**
Programme de cet enseignement:
Concepts de base de l'informatique, Notions d'Algorithmique, Langage C.
- **TD/TP : Initiation à l'informatique** DEUG A 1^{ère} année
30 étudiants, service en équivalent TD: **32h**
Programme de cet enseignement:
Présentation d'un compatible PC et de MS-DOS, Tableur et traitement de texte Works, Logiciel de calcul formel Maple, Algèbre de Boole et éléments de logique.
- **Co-encadrement d'un projet de programmation** en Maîtrise d'Informatique.

1993-1994 : Moniteur

- **TD/TP : Initiation à l'informatique et à la programmation** .DEUG A 2^{ème} année
15 étudiants, service en équivalent TD: **32h**
Programme de cet enseignement:
Concepts de base de l'informatique, Programmation Symbolique et Fonctionnelle, Langage Scheme.
- **TD/TP : Initiation à l'informatique** DEUG A 1^{ère} année
30 étudiants, service en équivalent TD: **32h**
Programme de cet enseignement:
Présentation d'un compatible PC et de MS-DOS, Tableur et traitement de texte Works, Logiciel de calcul formel Maple.

1990-1991 : Vacataire

- TD/TP : **Initiation à l'informatique** DEUG A 1^{ère} année
15 étudiants, service en équivalent TD: **25h**

Programme de cet enseignement:

Présentation d'un compatible PC et de MS-DOS, Traitement de texte Works et Tableurs Works et Multiplan.

Formation MAPLE

Guy Mélançon, Jean-Marc Fédou et moi-même avons conçu et réalisé une formation Maple pour des membres du CEA, non nécessairement informaticiens. Cette formation a eu lieu les 17, 19 et 20 Juin 1996.

Le but était une initiation générale au logiciel ainsi qu'à l'aspect programmation fonctionnelle. Nous leur avons également fourni un polycopié, support de formation.

Encadrements d'étudiants dans le cadre de CallCo

L'équipe du projet CallCo (Calcul et Image en Combinatoire) est actuellement composée de cinq membres du LaBRI : O. Baudon, M. Delest, I. Dutour, A. Ido, G. Mélançon, et un membre de l'IBS (Nice) : J.M. Fédou.

CallCo peut être considéré comme un laboratoire expérimental pour les chercheurs en combinatoire. Il offre un environnement logiciel de manipulations et visualisations d'objets combinatoires; il permet notamment de faire communiquer des interfaces graphiques spécifiques pour chaque type d'objet et des logiciels tels que Maple, Mathematica ou Caml. L'idée est de représenter les résultats de calculs effectués sur des objets par des couleurs.

Dans le cadre du projet CallCo, j'ai co-encadré

- deux projets de Maîtrise d'Informatique (1995 et 1996) : “Logiciel graphique de manipulation d'empilements 2D” et “Logiciel graphique de manipulation d'arbres”,
- deux stages d'été (Juillet à Septembre 1995) : “Interface graphique du Tuteur de CallCo” et “Mathematica et CallCo”,
- un projet de 2^{ème} année ENSERB (1996) : “Interface graphique pour le gestionnaire de communications de CallCo”,
- un projet de 3^{ème} année ENSERB (1997) : “Interface graphique pour la manipulation d'arbres planaires”.

Participations à des stages pédagogiques

Dans le cadre de mon monitorat, j'ai participé à trois stages pédagogiques organisés par le CIES (Centre d'Initiation à l'Enseignement Supérieur) :

- “Voix et Gestes I” (3 jours),
- “Voix et Gestes II” (3 jours),
- “Dynamique du Dialogue Pédagogique” (4 jours).

Autres expériences professionnelles

- Juillet 1990 et 1991 : Caisse d'épargne de Libourne
Réalisation d'un logiciel convivial pour le calcul des intérêts d'un produit (Turbo Pascal).
- Septembre 1991 : Usine BSN de Vayres
Conception et réalisation d'un logiciel pour la gestion des stages du personnel (DBase III plus).

Activités administratives

- Participation à la mise en place d'une école internationale de Combinatoire organisée par F. Bergeron et J.G. Penaud (LaBRI, 7-17 juin 1993).
- Participation à la mise en place des journées GASCom (Génération Aléatoire de Structures Combinatoires) organisées par D. Gouyou-Beauchamps et J.G. Penaud (LaBRI, 18-19 janvier 1994).
- Portage sous World Wide Web (WWW) du rapport d'activités 1992-1993 de l'équipe Combinatoire et Algorithmique du LaBRI, et maintenance des pages WWW de présentation de l'équipe.
- Maintenance de la *Sparc Station Sun 10* dédiée à l'équipe de Combinatoire du LaBRI.
- Installation et maintenance des logiciels de calcul formel *Mathematica* et *Maple*.

Activités sociales

Participation active au sein de l'AFoDIB (Association de la Formation Doctorale d'Informatique de Bordeaux), association régie par la loi du 1er juillet 1901 parue au journal officiel du 28 décembre 1994. Cette association a pour buts de promouvoir la formation doctorale d'informatique de Bordeaux et de faciliter l'insertion des étudiants issus de la formation doctorale auprès des établissements publics ou privés.

Je suis responsable du "groupe Information" (composé de 8 doctorants), qui est chargé de la diffusion des informations auprès des membres de la formation doctorale et du LaBRI, par voies d'affichage, de documents-papier et d'un serveur WWW maintenu par les membres du groupe (<http://www.labri.u-bordeaux.fr/~afodib/>).

Participation à des contrats

J'ai fait partie de trois projets nationaux et un projet européen.

Contrats nationaux :

- Projet IGaMI du GDR AMI (Resp. M. Delest) : interfaces graphiques, mathématiques et informatique.
- Projet MC2 du GDR Programmation (Resp. M. Delest) : environnement pour les mathématiques et les sciences de l'ingénieur.
- Projet GASCom (Resp. J.G. Penaud) : génération aléatoire de structures combinatoires.

Contrat européen en cours de soumission à ESPRIT (Appel 18/12/1996) :

- Projet DING (Resp. local M. Delest) : transfert technologique vers deux entreprises, AT-LANTEL et Kluwer Academic Publisher, des mécanismes de CallCo.

Ecoles doctorales

Au cours de ma thèse, j'ai assisté à deux écoles doctorales :

- l'école Jeunes Chercheurs "Combinatoire et Algorithmique" organisée par S. Dulucq, J.M. Fédou et Y. Métivier, qui s'est déroulée au LaBRI du 3 au 7 Avril 1995,
- l'école Jeunes Chercheurs du GDR-PRC AMI (Algorithmes, Modèles, Infographie) organisée par B. Martin, qui s'est déroulée à l'université de Nice du 9 au 12 Décembre 1996.

Séjours à l'étranger

- **Juin 1995** : Séjour de 15 jours à l'université de Florence (Pr. R. Pinzani).
Une collaboration s'organise autour de divers problèmes d'énumération et de génération aléatoire avec des chercheurs de l'Université de Florence : E. Barucci, A. Del Lungo, R. Pinzani.
- **Janvier 1997** : Séjour de 3 semaines à l'université de Montréal (Pr. P. Leroux) dans le cadre d'une coopération franco-qubécoise entre le LaBRI et l'UQAM.
J'y ai exposé mes résultats de recherche, puis j'ai installé le logiciel CalICo et donné des cours concernant son utilisation.
- **Octobre 1997** : Séjour de 15 jours à l'université de Paderborn (Pr. B. Fuchssteiner) au sein de l'équipe de recherche et développement du logiciel MuPAD (Multi Processing Algebra Data Tool).
Une collaboration s'organise autour de divers problèmes de calcul formel et de création de livres interactifs. Je dois, en particulier, y faire un exposé sur mes résultats de recherche, ainsi que sur l'utilisation de CalICo dans le domaine des livres interactifs.

Activités de recherche

Mes recherches abordent divers problèmes du domaine de la *combinatoire énumérative et bijective*.

Le thème de la thèse que j'ai soutenue en Janvier 1996 au LaBRI est le développement d'une théorie basée sur des descriptions récursives d'objets, les *grammaires d'objets*, ainsi que l'étude de différents domaines d'application : l'énumération, les constructions de bijections, et la génération aléatoire. Les deux principaux résultats de ma thèse sont :

- un mécanisme d'unification de bijections pour la combinatoire énumérative,
- une méthode automatique de génération aléatoire uniforme d'objets suivant des paramètres non algébriques.

Des articles sur ces deux sujets sont actuellement soumis à la revue *Theoretical Computer Science* [1] et à la revue électronique *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science* [2].

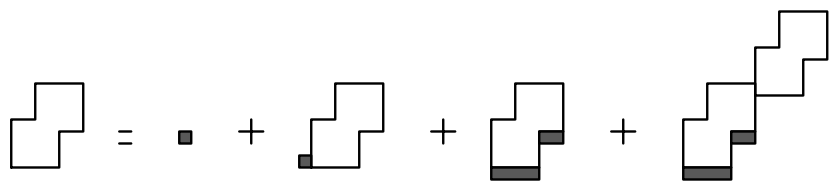
Ces travaux m'ont naturellement poussée à acquérir des compétences dans d'autres disciplines que la combinatoire, comme l'*algorithmique* et le *calcul formel*. Le problème de la visualisation d'objets combinatoires m'a également amenée à m'investir dans le développement d'interfaces graphiques, et notamment en participant activement au projet *CalICO* (Calcul et Image en Combinatoire) développé au LaBRI.

Grammaires d'objets

Une *grammaire d'objets* est un système d'équations récursives définissant un ensemble d'objets combinatoires tels que les mots, les graphes, les arbres ou les polyominos.

Le formalisme que nous établissons pour les grammaires d'objets [22, 23] est très proche des notions de base de l'Algèbre Universelle ; il généralise celui des grammaires algébriques qui est à la base d'une méthode d'énumération abondamment utilisée, la méthodologie de Schützenberger ou DSV. Son principe consiste à établir une bijection entre les objets que l'on cherche à énumérer et les mots d'un langage algébrique généré par une grammaire non ambiguë. On en déduit un système d'équations algébriques satisfait par la série génératrice des objets étudiés. Une extension de cette technique, la méthodologie des *q*-grammaires introduite par Delest et Fédou, permet d'énumérer des classes d'objets dont la série génératrice suivant certains paramètres est non algébrique. Lorsqu'on analyse le principe de la méthode DSV, ou ses extensions, on s'aperçoit que le plus important ne réside pas dans la bijection entre les objets et les mots, mais plutôt dans la décomposition des objets qu'elle induit. D'où l'idée d'une méthode DSV "sans les mots", basée uniquement sur une description récursive des objets étudiés définie à l'aide d'objets de base et d'*opérations* sur les objets. Une *opération d'objets* est une application d'un produit cartésien d'ensembles d'objets vers un ensemble d'objets. Prenons l'exemple de l'ensemble des polyominos (ou animaux 2D sur réseau carré où les points sont remplacés par des cellules unitaires). Rajouter une cellule dans chacune des colonnes d'un polyomino, rajouter une cellule au sud-ouest de la première colonne d'un polyomino, coller deux polyominos par leurs cellules nord-est et sud-ouest sont des opérations sur les polyominos. Les objets engendrés à partir d'objets de base ou éléments terminaux (cellule unitaire pour les polyominos par exemple) sont les objets obtenus en appliquant récursivement les opérations d'objets à partir des éléments

terminaux. Par exemple, une grammaire d'objets pour les polyominos parallélogrammes peut être représentée graphiquement de la manière suivante :



Énumération

Lorsque les grammaires d'objets sont non ambiguës, nous pouvons déduire automatiquement les équations fonctionnelles vérifiées par les séries énumératrices des objets engendrés. Par exemple, nous déduisons de la grammaire précédente l'équation satisfaite par la série génératrice des polyominos parallélogrammes énumérés selon la largeur (x) et la hauteur (y)

$$P(x, y) = xy + xP(x, y) + yP(x, y) + P(x, y)^2, \quad (1)$$

et aussi celle selon la largeur (x), la hauteur (y) et l'aire (q)

$$P(x, y, q) = xyq + xqP(x, y, q) + yP(xq, y, q) + P(xq, y, q)P(x, y, q). \quad (2)$$

La “non-linéarité” des paramètres de l'énumération par rapport aux opérations d'objets entraîne l'apparition de q -équations (comme l'équation 2 ci-dessus). Il n'existe pas de méthode générale de résolution pour les q -équations quelconques, mais quelques cas particuliers peuvent être traités.

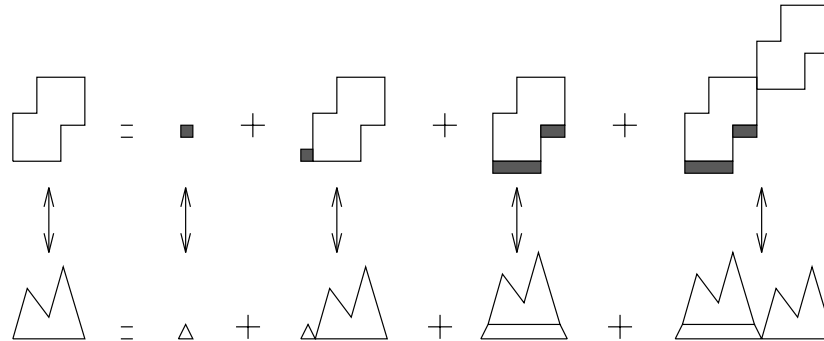
En étendant légèrement une méthode de résolution de Prellberg et Brak, nous avons trouvé de nouvelles formules d'énumération pour les chemins de Motzkin k -colorés (selon la longueur et l'aire) et pour les arbres planaires (selon le nombre de sommets et la longueur du chemin interne) [23].

En 1994, en collaboration avec J.P. Dubernard, nous avons déterminé la série génératrice des polyominos convexes dirigés selon les paramètres largeur, hauteur, aire et nombre de coins. Nous avons obtenu ainsi une unification des formules des sous-familles de polyominos convexes dirigés (diagrammes de Ferrers, polyominos tas, parallélogrammes et convexes dirigés). Ce travail a fait l'objet d'une communication au 6^{ème} Colloque *Formal Power Series and Algebraic Combinatorics* [5], puis d'un article paru dans *Discrete Mathematics* [3]. Le cas particulier des polyominos parallélogrammes a été exposé au 31^{ème} Séminaire *Lotharingien de Combinatoire* [6], ainsi que dans un article paru dans *Journal of Symbolic Computation* [4].

Bijections

Une autre application intéressante des grammaires d'objets est la *construction automatique de bijections*. Pour construire une bijection entre des ensembles d'objets, il suffit de trouver des décompositions *isomorphes* pour ces ensembles d'objets, c'est-à-dire des grammaires d'objets non

ambiguës ayant la même “structure” : le même nombre d’objets terminaux et le même nombre d’opérations d’objets de chaque arité. Nous pouvons ainsi établir une correspondance entre les arbres de dérivation des grammaires d’objets et construire automatiquement une ou plusieurs bijections entre les objets engendrés. Voici l’exemple de deux grammaires d’objets isomorphes pour les polyominos parallélogrammes et les chemins de Dyck :



Nous caractérisons alors les classes de grammaires d’objets par leur polynôme caractéristique. En dimension 1 (1 seul ensemble d’objets), c’est le polynôme dont les coefficients de degré k sont le nombre d’opérations d’arité k . Ainsi le polynôme caractéristique des deux grammaires d’objets dessinées ci-dessus est $1 + 2x + x^2$.

Par ce procédé d’isomorphisme de grammaires d’objets, il est possible de décrire de nombreuses bijections classiques de la combinatoire énumérative, en particulier pour les diverses classes d’objets comptés par les nombres de Catalan. Cette technique permet aussi d’en trouver de nouvelles, comme celle que nous avons exhibée entre les polyominos convexes dirigés et les chemins du Grand Dyck pour retrouver bijectivement le résultat étonnamment simple de Lin et Chang : le nombre de polyominos convexes dirigés de périmètre $2n + 4$ est égal au coefficient binomial $\binom{2n}{n}$.

Dans une deuxième partie, nous avons étudié une transformation sur les grammaires d’objets, la S -itération (S pour Substitution), qui consiste à réécrire une grammaire en substituant une instance d’un ensemble d’objets par son équation toute entière. La S -itération est l’analogie d’une transformation connue dans d’autres domaines comme les systèmes de réécritures, les techniques d’évaluation partielle et les transformations de programmes et de systèmes réguliers : le *dépliage* ou “unfolding”.

Notre principal théorème est que deux grammaires d’objets formées d’une seule équation et comprenant au moins une opération d’objets d’arité ≥ 2 admettent toujours des suites de S -itérations qui les rendent isomorphes. En particulier, l’ensemble des mots de Dyck (objets très connus et présents en combinatoire), engendré par la grammaire classique $D = \epsilon + xD\bar{x}D$, entre dans ce cadre. Ceci a pour conséquence que, pour tous les objets qui peuvent se décrire par une grammaire d’objets non ambiguë de dimension 1 et de degré ≥ 2 , nous savons construire une bijection avec les mots de Dyck en exhibant des grammaires d’objets isomorphes. Ce résultat fournit en particulier un élément de réponse à une question de Viennot à propos de l’omniprésence des mots de Dyck dans le codage des objets combinatoires.

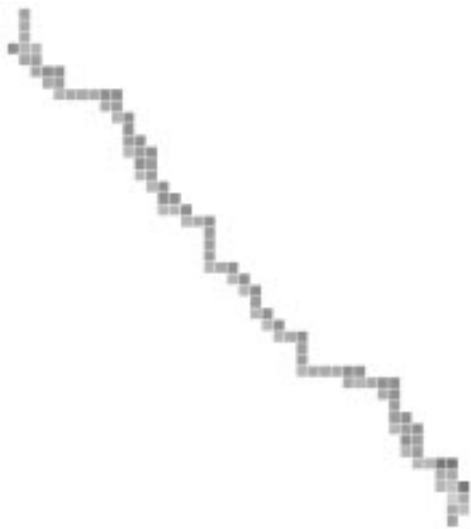
Les principaux éléments de ces résultats ont été exposés aux Journées Lanfor 95 [8], ainsi que dans deux groupes de travail internes [19]. Un article est soumis à *Theoretical Computer Science* [1].

Génération aléatoire

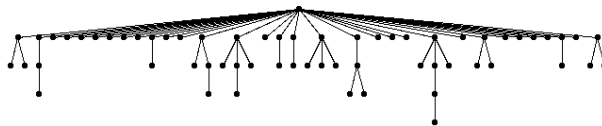
Enfin, une dernière application des grammaires d'objets que nous avons exploitée est la *génération aléatoire uniforme* d'objets combinatoires, *uniforme* signifiant que tous les objets de même "taille" ont la même probabilité d'être tirés.

Notre travail se place dans le cadre de la *méthode récursive* formalisée par Wilf en 1977. Celle-ci permet de construire pas à pas des objets aléatoires, dès que l'on connaît une interprétation constructive d'une relation de récurrence qui les compte. Récemment, Flajolet, Zimmermann et Van Custsem ont systématisé cette méthode pour des structures combinatoires décomposables : objets (étiquetés ou pas) que l'on peut décrire récursivement à partir d'atomes à l'aide des constructions union, produit, ensemble de, suite de, et cycle de. Ils déduisent automatiquement d'une telle description un programme de génération aléatoire uniforme des objets considérés comptés selon leur nombre d'atomes. (Package Maple CombStruct)

L'intérêt de l'utilisation des grammaires d'objets est d'élargir le champ des structures que l'on peut engendrer avec la méthode récursive. En particulier, les grammaires d'objets permettent la génération aléatoire d'objets selon divers paramètres linéaires pour l'énumération, mais aussi et surtout q -linéaires, ce que ne proposent pas les méthodes existantes. Les grammaires d'objets s'avèrent donc spécialement bien adaptées pour la génération d'objets spécifiques, telle que la génération des diverses classes de polyominos selon leur aire, des arbres selon la longueur du chemin interne, ou de tout autre objet défini récursivement. On trouvera ci-dessous des objets générés uniformément grâce à des grammaires d'objets.



Polyomino convexe d'aire 100



Arbre planaire de chemin interne 100

Etant donnée une grammaire d'objets non ambiguë et une valuation linéaire ou q -linéaire, nous savons construire automatiquement les procédures d'énumération et les procédures de génération aléatoire uniforme selon la valuation. Une présentation de cette méthode systématique et des premiers résultats obtenus a été faite lors d'un exposé aux Journées GASCom'95 [9], ainsi que lors de mon séjour à Florence [12].

J'ai développé cet outil automatique en Maple ; le package se nomme *q*-ALGO, et vient en complément de CombStruct. Une des premières vocations de *q*-ALGO est bien sûr de faciliter l'expérimentation pour l'étude de paramètres nouveaux, ou inaccessibles par les autres méthodes.

A titre d'exemple, j'ai réalisé quelques études expérimentales sur certaines classes de polyominoes générés selon l'aire [23] et sur des arbres. L'assistance du logiciel CallCo développé par notre équipe au LaBRI a été très confortable pour cette étude. En effet, il permet de faire communiquer des interfaces graphiques spécifiques et des logiciels de calcul formel tels que Maple ou Mathematica. Il est alors très facile de visualiser les objets générés à l'aide de Maple et *q*-ALGO grâce à l'interface graphique XAnimal ou XArbre de CallCo. Un article est soumis à *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science* [2].

Projet CallCo

Le projet CallCo (Calcul et Image en Combinatoire) a démarré en 1991. L'idée de départ du projet est de fournir aux combinatoristes un environnement dans lequel ils peuvent d'une part dessiner les objets qu'ils étudient et d'autre part effectuer des calculs sur ces objets, et enfin, rendre compte du résultat de ces calculs sur les dessins.

CallCo offre un environnement logiciel distribué de manipulations et visualisations d'objets combinatoires. Il possède une interface graphique par objet manipulé (polyominoes, chemins, permutations, graphes, arbres) et un gestionnaire de communications piloté grâce à une interface graphique spécifique. CallCo permet ainsi de faire communiquer les interfaces graphiques des objets entre elles ou avec des applications extérieures, par exemple les logiciels de calcul formel Maple ou Mathematica. Les messages transmis entre applications correspondent au codage mathématique des objets. Un système "intelligent" de copier/coller à la souris est aussi disponible, ce sont les codages mathématiques qui sont mémorisés et copiés.

Le package Maple de génération aléatoire que j'ai développé, *q*-ALGO, s'intègre donc facilement dans l'environnement de CallCo. Il suffit de transformer les définitions récursives des objets fournies par *q*-ALGO en codages mathématiques compréhensibles par les interfaces graphiques. On peut alors par un simple copier/coller visualiser les objets engendrés. J'ai programmé certaines bibliothèques de fonctions réalisant ces transformations pour les polyominoes convexes, les arbres binaires et planaires, et les chemins de Dyck et Motzkin.

Depuis le départ de Nadine Rouillon (Thèse sur CallCo) en Septembre 1995, j'assure la maintenance et la distribution du logiciel CallCo : archives sources et binaires, patch, FTP. J'ai également effectué son installation au LaBRI, ainsi que lors de mes séjours à Rouen [13] et à Montréal [15].

CallCo est l'objet de contrats Européens avec des partenaires industriels pour son utilisation dans deux types d'application :

- Encyclopédie Mathématique interactive "on line" (Kluwer Academic Publisher),
- Données en temps réel "on line" sur un serveur WWW de fournisseurs de services Internet (ATLANTEL).

On trouvera une idée des buts poursuivis et une présentation du projet CallCo à l'adresse <http://dept-info.labri.u-bordeaux.fr/~dutour/CallCo>.

Programme de recherche

Une première direction de recherche est d'étendre mes résultats obtenus dans le domaine des constructions de bijections. Le théorème à propos de la S -itération énoncé plus haut ne concerne que les grammaires d'objets de dimension 1 (1 équation) : je veux approfondir l'étude de cette itération en considérant le cas des grammaires d'objets de dimension ≥ 2 . Je souhaite également étudier les conséquences d'une autre itération qui consiste à supprimer un objet de base de l'une des équations de la grammaire d'objets. On construit ainsi des bijections à un nombre fini près d'objets. L'idée sera ensuite de combiner les deux types d'itérations pour éventuellement réduire la longueur des suites de substitutions nécessaires pour aboutir à des grammaires isomorphes.

Sous un aspect plus pratique, une deuxième direction de recherche est de poursuivre les études expérimentales menées avec mon package Maple q -ALGO et le logiciel CallCo. On peut en effet imaginer bien d'autres études statistiques sur des chemins, des arbres, etc. De nombreuses conjectures sur des valeurs moyennes de divers paramètres sont donc à portée de programme ! De plus, je suis actuellement en train de rajouter à q -ALGO l'étude des paramètres de type *min-max* (par exemple la hauteur d'un arbre ou d'un chemin). Les packages Maple CombStruct et q -ALGO se complètent, et le logiciel Cgraph écrit par François Bertault pour visualiser des structures de grande taille issues de CombStruct va être très prochainement intégré à CallCo. Ainsi, nous disposons d'un environnement logiciel performant pour l'étude expérimentale d'objets combinatoires.

D'autre part, dans le cas des structures décomposables, Flajolet, Zimmermann et Van Cutsem ont montré que la génération d'une structure de taille n est en $O(n \log n)$ en utilisant un algorithme *boustrophédon* au lieu de $O(n^2)$ pour un algorithme séquentiel. Il serait intéressant de faire une analyse similaire pour voir si l'application du principe *boustrophédon* peut améliorer de façon aussi essentielle la complexité de notre algorithme de génération.

Une autre idée d'expérimentation est plus liée à la notion de grammaires d'objets isomorphes et à la détermination des paramètres préservés par les bijections ainsi définies. Si on se donne deux grammaires d'objets isomorphes, associer les mêmes couleurs aux opérations d'objets mises en correspondance peut donner des indications sur les paramètres concernés par cette bijection. Je souhaite effectuer ce type d'expériences visuelles grâce à CallCo et q -ALGO en regroupant les opérations d'objets "classiques" pour diverses classes d'objets (chemins, arbres, etc) à l'intérieur de bibliothèques Maple. j'ai déjà réalisé certaines de ces bibliothèques pour des polyominos, des arbres et des chemins.

Enfin, d'un point de vue encore plus pratique et "applicatif", l'environnement logiciel décrit plus haut (CallCo, Cgraph,...) est déjà utilisé avec succès dans divers domaines comme les encyclopédies en ligne, l'animation d'algorithmes,... La conception et la réalisation de nombreuses applications interactives, par exemple sous WWW, peuvent être envisagées.

DEA : Animaux dirigés 3D

Le sujet de mon mémoire de DEA, sous la direction de Jean-Guy Penaud, concernait l'étude des animaux dirigés dans l'espace à trois dimensions et de leurs séries génératrices [21]. Les animaux dirigés 3D sont des configurations de points voisins sur des réseaux à maille cubique, se développant par ajout de nouveaux points dans une direction privilégiée. Ils sont une extension des animaux dirigés 2D sur une grille régulière à maille carrée ou triangulaire. Très peu de résultats sont connus pour les animaux 3D, notamment pour leur énumération qui n'a été résolue que pour un cas particulier (associé au modèle des hexagones durs) par Baxter. Le but des combinatoriciens est de trouver, pour les différents types d'animaux 3D, une solution commune au problème de leur énumération. Mon travail a consisté à mettre en œuvre un algorithme, basé sur une bijection avec des arbres 3D décrite par Penaud, afin de calculer les premiers coefficients des séries génératrices des animaux 3D. Puis j'ai étudié quelques méthodes numériques d'approximations de séries génératrices : une méthode de Bergeron et Plouffe utilisant la théorie des approximants de Padé, une méthode de Brak et Guttmann basée sur l'équation algébrique correspondante, et enfin une méthode de Viennot et Roblet manipulant les C-fractions. J'ai pu comparer leur efficacité sur diverses séries connues, mais la tentative de leur application aux premiers termes des séries génératrices des animaux 3D est restée malheureusement vaine.

Collaboration en Astronomie

Mon intérêt pour l'astronomie et ma motivation pour travailler dans ce domaine m'ont amenée à collaborer avec M. Dobrijevic et J.P. Parisot, de l'observatoire de Bordeaux, sur l'étude de systèmes de réactions chimiques en utilisant une application de la théorie des graphes, "the Signal Flow Graph theory", décrite dans les travaux de Mason (1956). On rencontre de nombreux exemples de systèmes chimiques en astronomie, que ce soit dans les nuages moléculaires du milieu interstellaire ou dans les atmosphères des planètes du Système solaire. L'étude de ces systèmes permet notamment de mieux comprendre la production de molécules complexes dans les atmosphères planétaires. La photochimie du méthane joue à ce titre un rôle prépondérant dans les atmosphères des planètes géantes et de Titan (satellite de Saturne).

Afin d'étudier la production de ces molécules, nous avons utilisé la technique des graphes à transmission de signaux (Signal Flow Graph), qui consiste tout d'abord à associer un graphe orienté au système chimique considéré, puis appliquer à ce graphe une méthode de transmission de signaux due à Mason. L'intérêt de cette technique est de pouvoir déterminer quantitativement les principaux mécanismes de production des composés, ainsi que l'effet des différents paramètres du système, tels que la température ou les concentrations initiales. Mon travail a consisté à implémenter cette méthode en C. Les structures de données et les algorithmes ont été développés en veillant particulièrement à minimiser le temps de calcul et l'espace mémoire qui sont considérables dans ce type de problème.

Notre travail a fait l'objet d'un poster au Colloque *Planetology and the origins of life* 1993 [27]. Une étude approfondie de la production d'éthane dans l'atmosphère de Neptune à partir du méthane est décrite dans deux articles parus dans *Planetary and Space Science* [25] et dans *Advances in Space Research* [26].

Publications

Articles Soumis :

- [1] *Objects grammars and bijections* (avec J.M. Fédou). Rapport LaBRI 1164-97. Soumis Theoretical Computer Science.
- [2] *Objects grammars and random generation* (avec J.M. Fédou). Rapport LaBRI 1165-97. Soumis Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science.

Revue d'audience internationale avec comité de lecture :

- [3] *Énumération de polyominos convexes dirigés* (avec J.P. Dubernard). Discrete Mathematics, vol. 157, 1996, pp. 79-90.
- [4] *Parallelogram polyominoes and corners* (avec M. Delest, J.P. Dubernard). Journal of Symbolic Computation, vol. 20, 1995, pp. 503-515.

Manifestations d'audience internationale avec comité de sélection et avec actes :

- [5] *Énumération de polyominos convexes dirigés* (avec J.P. Dubernard). Actes du 6^{ème} Colloque "Formal Power Series and Algebraic Combinatorics", Mai 1994, DIMACS, Université de Rutgers, USA, pp 109-118.

Manifestations d'audience internationale sans comité de sélection :

- [6] *Polyominos parallélogrammes, coins et mots de Motzkin* (avec M. Delest, J.P. Dubernard). Actes du 31^{ème} Séminaire Lotharingien de Combinatoire, Octobre 1993, St Narbor, France.
- [7] *Grammaires d'objets*. 38^{ème} Séminaire Lotharingien de Combinatoire, Octobre 1996, Bellagio, Italie.

Manifestations sans comité de sélection :

- [8] *Grammaires d'objets : énumération, bijections et substitutions*. Journées Lanfor, Mars 1995, Gourette, France.
- [9] *Grammaires d'objets et génération aléatoire*. Journées GASCom, Mai 1995, LaBRI (Bordeaux), France.
- [10] *Grammaires d'objets et génération aléatoire uniforme d'objets combinatoires*. Ecole Jeunes Chercheurs AMI, Décembre 1996, Nice, France.
- [11] *Grammaires d'objets et génération aléatoire uniforme d'objets combinatoires*. Journées GASCom, Janvier 1997, Caen, France.

Séminaires externes :

- [12] *Grammaires d'objets et génération aléatoire*. Séminaire invité du Département de Systèmes et Informatique, Juin 1995, Florence, Italie.
- [13] *CalICo*. Groupe de travail Calcul Formel du LIR, Janvier 1996, Rouen, France.
- [14] *Grammaires d'objets et génération aléatoire*. Séminaire du LITP, Mai 1996, Paris, France.
- [15] *Grammaires d'objets et Cours sur l'utilisation de CalICo*. Groupes de travail et Séminaires de l'UQAM, Janvier 1997, Montréal, Canada.
- [16] *Object grammars - CalICo and interactive books*. Séminaire du groupe MuPAD, Octobre 1997, Paderborn, Allemagne.

Séminaires internes :

- [17] *Grammaires d'objets*. Séminaire du LaBRI, Mars 1993.
- [18] *Grammaires d'objets et énumération de polyominos convexes dirigés*. Groupe de travail Combinatoire du LaBRI, Novembre 1993.
- [19] *Grammaires d'objets : énumération, bijections et substitutions*. Groupe de travail Graphes du LaBRI, Mars 1995, et Groupe de travail Combinatoire du LaBRI, Avril 1995.
- [20] *Génération aléatoire uniforme d'objets combinatoires à l'aide des grammaires d'objets*. Groupe de travail Combinatoire du LaBRI, Mars 1996.

Autres publications :

- [21] *Animaux dirigés 3D et approximations de séries génératrices*. Mémoire de DEA d'Informatique, Université Bordeaux I, Juin 1992.
- [22] *Grammaires d'objets* (avec J.M. Fédou). Rapport LaBRI n° 963-94, Mai 1994.
- [23] *Grammaires d'objets : énumération, bijections et génération aléatoire*. Thèse, Université Bordeaux I, Janvier 1996.
- [24] *Enumeration of convex polyominoes* (avec J.P. Dubernard). Rapport LIR n° 97.09, Septembre 1997.

Publications en Astronomie

Revue internationale avec comité de lecture :

- [25] *Study of chemical systems using the Signal Flow Graph theory: Application to Neptune* (avec M. Dobrijevic, J.P. Parisot). Planetary and Space Science, Vol. 43, nos 1/2 (1995), p. 15-24.
- [26] *Study of chemical systems using the Signal Flow Graph theory* (avec M. Dobrijevic, J.P. Parisot). Advances in Space Research. Vol. 16 (2), 1995, pp. 105.

Manifestations internationales sans comité de sélection :

- [27] *Study of chemical systems using the Signal Flow Graph theory* (avec M. Dobrijevic, J.P. Parisot). Poster au Colloque "Planetology and the origins of life", Septembre 1993, Université Paris XII (Créteil), France.