ANNÉE 2004

DOSSIER DE DEMANDE DE MUTATION

Sur un poste de Professeur des Universités

Nom : Duchamp Gérard

Section CNU : 27ème

(Informatique)

(ANNEXE B)

Déclaration de candidature $\boxed{\text{à la mutation}}$ sur un **emploi de Professeur des Universités**.

Adressée au chef d'établissement de l'

Institut Galillée (Université de Paris XIII)

`est-ce bien cela?`

Section CNU : 27ième, emploi numéro : 0951, paru au J.O. du 18 février 2004.

Je soussigné M.

NUMEN : 21 S 9326642 TKS

Nom patronymique : Duchamp

Prénoms : Gérard, Henry, Edmond

Date et lieu de naissance : 19 janvier 1951 à Paris XVème

Nationalité : Française

Adresse à laquelle seront acheminées toutes les correspondances :

35, rue Auguste Blanqui
93600 Aulnay sous Bois
France

Téléphone : (33) 1 48 66 17 97 ou 06 64 25 87 17 (+ répondeur)
Télécopie : (33) 2 35 14 00 38.
Adresse électronique : gerard.duchamp@univ-rouen.fr

Fonctions et établissement actuels :

Depuis septembre 1995, Professeur à l'Université de Rouen,
Section 27 (Informatique).
Actuellement 1ère classe.

Diplômes universitaires :

- **Doctorat d'Informatique Fondamentale (Université Paris VII; Juin 1987, mention Très Honorable). Sujet :**
  Algorithmes sur les polynômes en variables non-commutatives.
  Jury : J. Berstel, R. Cori (rapporteur), Le Dung Trang, M. Nivat, D. Perrin (directeur), J.-M. Steyaert (rapporteur), M.-P. Schützenberger (président).
- **Habilitation à diriger des recherches (Informatique; Université Paris VII; Novembre 1991). Sujet :**
  Élimination et algorithmes combinatoires sur les séries formelles.
  Jury : M. Crochemore, A. Lascoux, D. Perrin, X.-G Viennot (rapporteur), J. Désarménien (rapporteur), M.-P. Schützenberger (président).

RAPPORT D'ACTIVITÉ ANTÉRIEURES

LISTE DE PUBLICATIONS

CINQ PUBLICATIONS LES PLUS SIGNIFICATIVES

Mars 2004

Table des matières

1 Curriculum vitæ abrégé

Gérard DUCHAMP
Né le 19 Janvier 1951 à Paris XV$^{\text{ème}}$
Nationalité Française
Marié, un enfant.
Adresse personnelle : 35, rue A.Blanqui, 93600 Aulnay sous Bois.
Téléphone personnel : (33) 1 48 66 17 97.
Adresse professionnelle : LIFAR, Université de Rouen, Place Émile Blondel, 76821, Mont-Saint-Aignan CEDEX.
Téléphone professionnel : (33) 2 35 14 70 25.
Courrier éléctronique : gerard.duchamp@univ-rouen.fr
Web : http://www.univ-rouen.fr/LIFAR/CSCA/CSCA/csca.html

Fonctions actuelles :

- **Depuis septembre 1995, Professeur à l'université de Rouen, Section 27 (Informatique).**
  Actuellement 1$^{\text{ère}}$ classe.

Responsabilités administratives :

- **Responsable du DEA ITA (depuis septembre 2000).**
- **Responsable de l'équipe "Calcul Symbolique Combinatoire et Algorithmique" du LIFAR (depuis 1992).**
- **Membre du Conseil du LIFAR**
- **Co-responsable du séminaire du LIFAR (depuis janvier 2001).**
- **Membre des Conseils de Perfectionnement des IUP de Rouen et Paris VII.**
- **Membre des commission de spécialistes des Universités de Rouen et du Havre**

Diplômes universitaires :

- **DEA de Mathématiques pures (Mention Bien, Université Paris VII; 1982) sous la direction de Paul Gérardin.**
- **Doctorat d'Informatique Fondamentale (Université Paris VII; Juin 1987, mention Très Honorable). Sujet :** *Algorithmes sur les polynômes en variables non-commutatives*. **Jury : J. Berstel, R. Cori (rapporteur), Le Dung Trang, M. Nivat, D. Perrin (directeur), J.-M. Steyaert (rapporteur), M.-P. Schützenberger (président).**
- **Habilitation à diriger des recherches (Informatique; Université Paris VII; Novembre 1991). Sujet :** *Élimination et algorithmes combinatoires sur les séries formelles*. **Jury : M. Crochemore, A. Lascoux, D. Perrin, M.-P. Schützenberger (président), X.-G Viennot (rapporteur); autre rapporteur : J. Désarménien.**

Autres titres et diplômes :

- Agrégation de Mathématiques, 1974 (rang 15ème).

Fonctions antérieures :

- Professeur en Lycée 1974-1987.
- Professeur en Classes Préparatoires au Lycée Lakanal (Sceaux) 1987-1989.
- Chargé de Cours à l'Université PVI pour la préparation à l'agrégation interne.
- Interrogateur en Classes Préparatoires (Sup, Spé et sections spéciales)
- Maître de conférences 1989-1995.
- Directeur Adjoint du Laboratoire d'Informatique de Rouen (LIR, 1997)
- Responsable Scientifique de l'équipe GTSEA du projet "Objets Graphiques pour les Mathématiques" (OMaMI) du PRC/GDR : ALP (98-01).
- Responsable du projet ADAM (Rouen-Le Havre) (actions concertées du MENRT, 1999).

Thèmes de recherche :

Combinatoire (énumérative et algébrique) en liaison avec la combinatoire des structures de données (mots, tableaux etc..) et leur implémentation. Automates à multiplicités.
Le meilleur succès de ces dernières années est l'utilisation de la théorie des automates à multiplicités pour résoudre une conjecture qu'Alain Connes (professeur au Collège de France, Médaille Fields, prix Crafoord) a publié dans son livre "Non Commutative Geometry"). Ce travail est paru dans "Inventiones Mathematicæ" [22].

Direction de recherches : 10 stages de DEA, 5 thèses soutenues (O. Khadir 1994, R. Incitti 1995, É. Laugerotte 1997, M. Flouret 1999, J-G. Luque 1999), ces étudiants ont bénéficé d'allocations de recherche.
Une thèse en codirection avec J. Désarménien (J. ZHOU 1996).

Publications : Environ cinquante titres dont 29 parus ou acceptés dans des revues internationales avec comité de lecture, parmi lesquelles :
Semigroup Forum (2), RAIRO Informatique (1), Discrete Math (2), Theoretical Computer Science (6), Advances in Maths (1), Comp. Rend. Acad. Sci. (5), Journal of Algebra (1), Publications of LACIM (1), International Journal of Algebra and Computation (4), Publ. RIMS Kyoto (1), Journal of Physics A (1), Ann. Sci. Math. Quebec (1), Discrete Math. and Theoretical Computer Science (1), Communications in Algebra (1), Inventiones Mathematicæ (1),

2 Administration

2.1 Le DEA ITA

Le laboratoire avait perdu son DEA en 1997. J'ai donc, en 1999, avec le concours d'Alain Cardon, directeur du LIH (Laboratoire d'Informatique du Havre) reproposé une maquette entièrement refondue. Le travail préalable a duré plus de 6 mois (relecture et navettes avec le ministère et les autorités de l'université). La nouvelle maquette d'un DEA Rouen-Le Havre, avec sceau principal à Rouen a été acceptée telle qu'elle. Le DEA s'appelle :

Informatique Théorique et Applications (ITA)

Comme cette formation est bi-site (le sceau principal est toutefois a Rouen), elle demande des méthodes de gestion particulières.
Je suis assité dans cette tâche, localement par Philippe Chaussier (secrétaire du DEA ITA) et au Havre par Cyrille Bertelle (MCF, coordonnateur du DEA ITA pour le Havre) et Claire Roussin (secrétaire du DEA ITA au Havre).
J'assure la gestion du budget, les commandes de matériel, les emplois du temps, la coordination des stages, le montage des bourses de DEA et Cifre, l'organisation des Journees-Séminaires (6 en deux ans qui se déroulent typiquement sur une journée), la présidence des Jurys et la sélection des dossiers de demande d'inscription. Je travaille actuellement sur la refonte "mi-parcours" de la maquette.

2.2 L'équipe CSCA

En novembre 1993 est apparue la nécessité de créer un groupe de travail pour animer l'équipe de Calcul Symbolique (appellée CFCA à l'époque et CSCA - Calcul Symbolique Combinatoire et Algorithmique - depuis trois ans). Ce groupe de travail se réunit une fois par semaine à l'université et son programme est publié officiellement chaque mois (dans l'"Officiel" de la SMF).
En outre, lors de la restructuration du Laboratoire d'Informatique de Rouen, le Calcul Symbolique a trouvé sa place dans la création d'une opération de recherche de Calcul Symbolique dont j'ai continué assurer la direction.
Le volet "recherche" de cette responsabilité est décrit plus bas, je ne mentionne ici que la partie administrative : représentation de l'équipe au Conseil de Laboratoire, gestion de crédits, de matériel, coordination des chercheurs, rédaction de rapports d'activité.

3 Activités d'enseignement

3.1 Activités personnelles

On trouvera à la fin de cette partie la liste et les dates des enseignements effectués depuis 1987, date à laquelle j'ai été nommé en classes préparatoires. Les circonstances m'ont amené à enseigner à tous les niveaux depuis le FISB (qui correspond à une année de remise à niveau pour les étudiants qui n'ont pas été admis directement en DEUG), jusqu'en 3$^{\text{ème}}$ cycle (D.E.A. et École Doctorale). Également, j'ai enseigné à des publics très différents : l'analyse numérique fait partie de la maîtrise de Mathématiques (et implique l'encadrement de nombreux projets en PASCAL), le calcul formel de celle d'informatique, le DI1/2 du DEUG SNV et les D.E.A. (89-90 et 91-92) d'une formation commune en probabilité, statistique et informatique. J'ai aussi enseigné en école d'Ingénieurs et en formation continue. Enfin signalons que l'U.V. "Calcul formel" contient un cours de programmation en Maple ou MuPad et des projets réalisés dans les mêmes langage.
Depuis trois ans, j'ai crée un enseignement d'"Informatique et Finance" à l'université de Paris VII. J'y assure les cours de "Simulation et Analyse de Performance (IUP2)" et "Informatique et Modelisation (IUP3)".

3.1.1 Période 1975-1989

Avant d'être recruté (en 1989) sur un poste de maître de conférence à l'université de Rouen, j'ai été professeur de Lycée puis pendant deux ans professeur en classes préparatoires aux grandes écoles (Lycée LAKANAL). Ceci m'a parallèlement permis de faire des interrogations en Math Sup et Spé, j'ai aussi assuré des cours de préparation à l'agrégation à l'Université Pierre et Marie Curie.

3.1.2 Période 1989-2002

• **Année 1989/90 :**
- Analyse numérique (annuel, Cours et T.D.)
- Algorithmique en Pascal (DI1=Deug1, Cours et T.D.)
- DEA : Théorie des codes

• **Année 1990/91**
- Analyse numérique (annuel, T.D.)
- Initiation à la programmation (FISB, Cours et T.D.)
- Calcul formel (T.D.)
- Algorithmique en Pascal (Deug, Cours et T.D.)
- DEA : Théorie des codes

• **Année 1991/92**
- Analyse numérique (annuel, T.D.)
- Calcul Formel (T.D.)
- Algorithmique en Pascal (Deug, Cours et T.D.)

- *DEA : Calcul Formel et Combinatoire*

- **Année 1992/93**

- *Analyse numérique (annuel, T.D.)*
- *Calcul Formel (Cours)*
- *Math (Formation permanente*
- *Analyse numérique (annuel)*
- *DEA : Structures partiellement commutatives*

- **Année 1993/94**

- *Analyse numérique (annuel, T.D.)*
- *Calcul Formel (Cours)*
- *Math (Formation permanente)*
- *DEA : Structures partiellement commutatives*

- **Année 1994/95**

- *Analyse numérique (annuel, T.D.)*
- *DEUG I (Cours)*
- *Calcul Formel (Cours)*
- *Math (Formation permanente)*
- *Analyse numérique (annuel)*
- *DEA : Calcul Formel*

- **Année 1995/96**

- *Analyse numérique (annuel, TD)*
- *DEUG I (Cours)*
- *Calcul Formel MI (Cours)*
- *Calcul Formel IUP (Cours)*
- *Math (Formation permanente)*
- *Analyse numérique (annuel)*
- *DEA : Calcul Formel*

- **Année 1996/97**

- *Calcul Formel MI (Cours)*
- *Calcul Formel IUP (Cours)*
- *Calcul Formel MIM (Cours annuel)*
- *Math (Formation permanente)*
- *Calcul Formel MIM (Annuel)*
- *DEA : Calcul Formel*

- **Année 1997/98**

- *Calcul Formel MI (Cours)*
- *Calcul Exact IUP1 (Cours)*
- *Calcul Formel IUP3 (Cours)*
- *Calcul Formel MIM (Cours annuel)*
- *Math (Formation permanente)*

- **Année 1998/99**
- *Calcul Formel MI (Cours)*
- *Calcul Exact IUP1 (Cours)*
- *Calcul Formel IUP3 (Cours)*
- *Calcul Formel MIM (Cours annuel)*

- **Année 1999/00**
- *Calcul Formel MI (Cours)*
- *Calcul Exact IUP1 (Cours)*
- *Calcul Formel IUP3 (Cours)*
- *Calcul Formel MIM (Cours annuel)*
- *Informatique et probabilités IUP3 (PVII)*

- **Année 2000/01**
- *Calcul Formel MI (Cours)*
- *Calcul Exact IUP1 (Cours)*
- *Calcul Formel IUP3 (Cours)*
- *Calcul Formel MIM (Cours annuel)*
- *Simulation et Analyse de Performance IUP2 (PVII)*
- *DEA : Complexité et Calcul Symbolique*

- **Année 2001/02**
- *Calcul Formel MI (Cours)*
- *Calcul Formel IUP3 (Cours)*
- *Calcul Formel MIM (Cours annuel)*
- *Informatique et Modelisation IUP3 (PVII)*
- *Simulation et Analyse de Performance IUP2 (PVII)*
- *DEA : Complexité et Calcul Symbolique*

- **Année 2002/03**
- *Cours de DEA (en commun avec Claude Dellacherie) : Combinatoire & Calcul Formel*
- *Calcul Formel MI-MIM (Cours commun)*
- *Calcul Exact IUP1 (Cours)*
- *Calcul Formel MIM (Cours annuel)*
- *Informatique et Modelisation IUP3 (PVII)*
- *Simulation et Analyse de Performance IUP2 (PVII)*
- *DEA : Complexité et Calcul Symbolique*

3.2 Activités coordonnées avec l'équipe CSCA

À l'aide de l'équipe CSCA, nous avons développé, en MI, MIM, DESS et DEA des programmes coordonnés d'enseignement de Calcul, et ceci sur trois axes qui sont connectés aux développements actuels et à nos recherches ce sont :

- **Le Calcul Formel**
- **Le Calcul Symbolique**
- **La Combinatoire**

j'ai aussi, en 2000, participé étroitement au mouvement de l'IUP (dans lequel j'enseigne en DEUG2 et en IUP3)

– Encadrement de projet industriel.
– Coordination, par l'équipe, d'un enseignement complet de calcul sur 4 années en IUP pour la plaquette 2000.
– Participation au Conseils de Perfectionnement des IUP de Rouen et Paris VII.

4 Activités de recherche

4.1 Présentation

Les thèmes de mes travaux sont essentiellement (avec un souci d'interagir avec des sciences voisines : les Mathématiques et la Physique) la Combinatoire (énumérative et algébrique) en liaison avec la combinatoire des structures de données (mots, tableaux etc..) et leur implémentation ainsi que les Automates à multiplicités.

Le meilleur succès de ces trois dernières années est l'utilisation de la théorie des automates à multiplicités pour résoudre une conjecture qu'Alain Connes (professeur au Collège de France, Médaille Fields) avait publié dans son livre “Non Commutative Geometry”. Ce travail est paru dans “Inventiones Mathematicæ” [22].

4.2 Résultats

Les travaux présentés ici concernent les sujets suivants :

- Élimination et structures partiellement commutatives
- Projecteur orthogonal et algèbre libre
- Fonctions symétriques noncommutatives
- Représentations
- Langages et automates
- Combinatoire et physique
- Informatique et mathématiques
- Réalisations informatiques

Élimination et structures partiellement commutatives. —
Ces structures, libres sur les alphabets à commutations partielles, se prète bien à l'extension de l'élimination de Lazard et de la théorie de Magnus.
La première structure partiellement commutative présentée comme telle est certainement le monoïde de réarrangements que Cartier et Foata ont défini en 1969 à des fins combinatoires et probabilistes.
Depuis, l'histoire de ces structures est à lire parallèlement sur les trois pistes que sont l'algèbre, la combinatoire (algébrique et énumérative) et la théorie des langages.

Éliminer un générateur x_n , c'est typiquement écrire, pour une structure $STRUCT$:

$$STRUCT < x_1,x_2,\cdots x_n > \cong$$
$$SIMPLE < x_1,x_2,\cdots x_n > \diamond STRUCT1 < x_1,x,..x_{n-1} >$$

où $SIMPLE$ et $STRUCT1$ désignent des structures engendrées par les générateurs x_i.
On peut ainsi écrire pour le groupe symétrique $\mathfrak{S}_n$ et le groupe des tresses pures P_n

$$\mathfrak{S}_n \cong \mathbb{Z}/n\mathbb{Z} \diamond \mathfrak{S}_{n-1} \quad \text{et} \quad P_n \cong F_{n-1} \diamond P_{n-1}$$

dans la première de ces factorisations le carré est un simple produit et la décomposition itérée peut servir à montrer que le groupe symétrique est un groupe de Coxeter, dans la seconde, c'est un produit semi-direct et F_{n-1} est le groupe libre sur $n-1$ générateurs. Pour un alphabet donné $A = B + Z$ on peut également écrire pour le monoïde libre, le groupe libre et l'algèbre de Lie libre:

$$A^* = (B^*Z)^*B^*;\ F(A) \cong F(F(B)Z) \bowtie F(B);\ L(A) \cong L((B^*Z)) \bowtie L(B)$$

les deux dernières factorisations étant des produits semi-directs.
Ces résultats constituent l'élimination de Lazard à proprement parler, ce sont ces résultats que nous nous sommes employés à généraliser [7, 8, 11, 13], motivés par la question des bases de l'algèbre de Lie partiellement commutative libre. Des cas particuliers d'élimination et de calcul de Witt avaient d'ailleurs été traités auparavant par Dorovič.

Comme il a été dit plus haut, le monoïde partiellement commutatif libre a été introduit pour des raisons combinatoires, statistiques (sur les permutations) et énumératives (fonction de Möbius avec ou sans poids par exemple). Depuis, celui-ci a reçu une représentation géométrique suggestive en termes d'empilements qui se prête bien à l'adjonction de structures supplémentaires sur l'alphabet des indéterminées. Cette représentation, essentiellement équivalente à la notion de monoïde partiellement commutatif (Viennot), a déjà fait ses preuves dans la résolution de plusieurs problèmes combinatoires telles que les hexagones durs de Baxter, les polynômes orthogonaux et l'énumération des tresses simples. En théorie des langages le monoïde partiellement commutatif a été essentiellement employé comme modèle du parallélisme. En effet, de même qu'une suite d'actions $a,a_2,\ldots,a_n$ peut se représenter par le mot $w = aa_2..a_n$ et la juxtaposition (dans le temps) de deux telles suites, par leur concaténation dans le monoïde libre; de même des actions dont certaines peuvent se traiter "en parallèle" ou "indépendamment" peuvent être représentées par des éléments du monoïde partiellement commutatif (ou "traces") et leur composition. Cette théorie des langages, toute jeune, s'interesse donc à ce qui est parfois appellé "langage trace" [54].

Dans une note à T.C.S., Jean-Yves Thibon montre que l'algèbre des polynômes partiellement commutatifs (c'est à dire l'algèbre du monoïde partiellement commutatif) est intègre dès que l'anneau des coefficients l'est. Nous avons

retrouvé ce résultat de façon élémentaire en introduisant un algorithme de division euclidienne partiellement défini [3].
Ce fait est relié à la propriété que $K < A,\vartheta >$ est l'algèbre enveloppante de $L_K(A,\vartheta)$ mais la liberté de $K < A,\vartheta >$ (c'est à dire l'existence de bases) n'implique nullement celle de $L_K(A,\vartheta)$ ni la construction de bases combinatoires de celle-ci. Je tenais absolument à savoir si $L_{\mathbb{Z}}(A,\vartheta)$ avait ou non de la torsion (ce qui entraine, par extension des scalaires, la propriété pour les autres anneaux), la résolution de cette question d'apparence purement esthétique devait d'ailleurs (en 1990) avoir quelque utilité en théorie des langages (Varicchio). Après d'infructueux efforts pour construire explicitement une base mais ne voulant pas abandonner cette question de la torsion, je me suis résolu à démontrer l'absence de celle-ci par un argument de réduction modulo p[1]). Cette preuve n'était pas satisfaisante mais prouvait au moins "l'existence" de bases universelles. Nous nous sommes remis au travail avec D. Krob en 1989 et c'est une version partiellement commutative du procédé d'élimination de M. Lazard qui devait nous apporter la réponse [7]. Bien que ce procédé d'élimination soit apparu pour la première fois (par la nécessité combinatoire du problème) dans l'algèbre de Lie il est plus suggestif de le voir dans le monoïde.

On se souvient de la factorisation $A^* = (B^*Z)^*B^*$ (où $A = B + Z$) qui consiste à dire que, Z étant un sous alphabet de A, tout mot de A^* est "rythmé" par des lettres de Z et donc doit s'écrire de façon unique: $w = w_1z_1w_2z_2\cdots w_nz_nw_{n+1}$ où $w_i \in B^*$ et $z_i \in Z$. On observe alors facilement que les éléments w_iz_i forment un code. La factorisation de $M(A,\vartheta)$ par élimination est l'analogue parfait de ce qui précède, moyennant quelques précautions techniques commodes. D'ailleurs l'élimination est toujours possible et fournit une méthode de descente dans les structures partiellement commutatives. Ceci permet aussitôt de montrer que le monoïde partiellement commutatif libre admet une factorisation en monoïdes libres et donc une factorisation complète [8]. Les codes de ces monoïdes sont les analogues de $(BZ)^*$, ils sont apériodiques, et dans le cas d'un alphabet ordonné, l'élimination successive des lettres de poids croissant permet de montrer que la forme normale lexicographique est une section rationnelle. Ces codes seront appellés "codes Z". Par exemple pour l'alphabet $A = \{a,b,c,d\}$, l'ordre $a < b < c < d$, et le graphe de commutation $a - b - c - d$ on a :

$$A^* = (c^* + b^*c^*d(b^*d)^*a)^*(db)cd^*$$

L'algèbre de Lie admet alors une décomposition homogène (pour l'évaluation) en somme directe d'algèbres de Lie libres dont les codes sont précisément les codes Z, cette décomposition permet de montrer la liberté de $L(A,\vartheta)$ pour tous les anneaux de coefficients, de donner des algorithmes de calcul des bases et est compatibles avec toutes les bases multihomogènes, comme par excemple les bases de Lyndon partiellement commutatives[2]. Enfin un type d'élimination

1. Cette preuve ne peut pas être généralisée telle quelle à d'autre présentations, même par des mots de Lie, car celles-ci peuvent introduire de la torsion.

2. C'est un algorithme à peine different qui permet de décomposer l'algèbre de Lie $< X_{ij},1 < i < j < n; [X_{ij},X_{ik} + X_{kj}],1 < i < k < j < n >$.

un peu moins rigide (puisqu'il donne des facteurs gauches partiellement commutatifs libres et non plus libres), les "factorisations transitives", donne aussi des décomposition des algèbres de Lie [28, 39].

Toutes les structures partiellement commutatives considérées sont étroitement liées. En effet, si on considère les catégories:

- **monoïde** ($M(A,\vartheta)$)
- **groupe** ($F(A,\vartheta)$)
- **K-algèbre de Lie** ($L_K(A,\vartheta)$)
- **K-algèbre** ($K < A,\vartheta >$)
- **K-algèbre large** ($K << A,\vartheta >>$)

On a les correspondances suivantes:
1) Le monoïde partiellement commutatif, $M(A,\vartheta)$**, se plonge dans le groupe de même présentation,** $F(A,\vartheta)$**, ce qui justifie la notion de conjugaison dans** $M(A,\vartheta)$.
2) La suite centrale descendante du groupe a pour gradué l'algèbre de Lie partiellement commutative libre $L_{\mathbb{Z}}(A,\vartheta)$**, ses quotients sont donc des** $\mathbb{Z}$**-modules libres ce qui entraine que le groupe est ordonnable.**
3) L'algèbre enveloppante de $L_K(A,\vartheta)$ **est l'algèbre des polynômes partiellement commutatifs,** $K < A,\vartheta >$ **ce qui entraine les résultats de factorisation de Lyndon partiellement commutative et l'existence d'un shuffle.**
4) Mais $K < A,\vartheta >$ **est aussi l'algèbre de** $M(A,\vartheta)$ **et la longueur sur ce dernier donne des notions de degré, de valuation qui servent à definir deux algorithmes de division.**
5) $K << A,\vartheta >>$ **est, comme dans le cas libre, le complété de** $K < A,\vartheta >$ **et possède donc les mêmes propriétés d'intégrité.**
6) Le groupe $F(A,\vartheta)$ **se plonge dans celui des unités de** $K << A,\vartheta >>$ **grâce à la transformationde Magnus** $a \longrightarrow 1 + a$.
Les points (1) et (3) sont dus respectivement à Choffrut, Duboc et Thibon, les points (2) et (6) sont présentés en [9] et [11, 14], (4) est développé en [3] et le reste est pratiquement évident.
La transformation de Magnus (6) permet de construire un ordre total algorithmiquement décidable sur le groupe $F(A,\vartheta)$ **[12].**
En fait, l'algèbre des polynômes $k < A,\vartheta >$ **est douée d'une structure additionnelle, celle de** *cogèbre* obtenue en doublant l'alphabet c'est à dire en considérant les nouvelles indéterminées $A \cup A'$ (A' étant une copie de A munie des mêmes commutations et toute lettre de A commutant avec celle de A'), on peut ainsi, dans un polymôme P remplacer chaque lettre x par $x + x'$[3], on peut alors écrire, de façon condensée:

$$P(X + X') = \sum_i Q_i(X)R_i(X')$$

Cette opération (qui est le coproduit) permet de permet de résoudre deux problèmes.
Le premier vient de la constatation que l'on peut accéder à $k < A,\vartheta >$ de deux façons différentes: à partir de (A,ϑ), d'abord en formant le monoïde puis son algèbre (ce qui

3. C'est, d'ailleurs cette même technique qui permet, en théorie des fonctions symétriques, de comprendre certaines formules sur le produit intérieur.

revient à écrire $k < A,\vartheta > \cong k[M(A,\vartheta)]$) ou bien en formant l'algèbre de Lie puis son algèbre enveloppante (ce qui revient à écrire $k < A,\vartheta > \cong \mathcal{U}(L_k(A,\vartheta))$. Cette situation provient essentiellement de ce que les commutations partielles peuvent être vues à la fois comme des relations monoïdales $ab = ba$ et comme des relateurs de Lie $[a,b] = 0$ et on peut montrer que ce sont les seuls. C'est sur les idéaux bilatères de l'algèbre libre que le théorème précis s'énonce plus facilement : on dira qu'un idéal bilatère de $k < A >$ est *monoïdal* s'il est engendré par des éléments du type $u - v$ où u et v sont des mots on dira qu'il de *type Lie* s'il est engendré par des polynômes de Lie, on peut alors montrer le théorème suivant (qui utilise de façon cruciale le coproduit) [8, 13]:
Théorème de limitation : Soit k un corps de caractéristique nulle, tout idéal $\mathfrak{I} \subset k\langle X\rangle$ à la fois monoïdal et de type Lie est engendré par des différences $x - y$ et des différences $xy - yx$ (x et y sont des lettres).
Ce théorème implique qu'alors $k < A > /\mathfrak{I}$ est, de façon canonique, une algèbre $k < X,\vartheta >$.
Le deuxième problème est de savoir s'il existe une loi ⧢ qui, comme dans le cas libre, fait que les transformations "résidu" $S \to a^{-1}S$ soient des dérivations c'est à dire que l'on ait identiquement:

$$a^{-1}(P⧢Q) = a^{-1}(P)⧢Q + P⧢a^{-1}(Q)$$

La réponse est positive, mais ne s'obtient pas par passage au quotient du shuffle classique. Elle est donnée implicitement par W.Schmitt et explicitement en [10]. L'opération "résidu" (ou quotient de Eilenberg) est en fait une opération tout à fait générale sur l'espace des séries $k[[M]]$ d'un monoïde quelconque M. Elle fournit une représentation linéaire canonique (la représentation coadjointe $S \to Sx^{-1}$). Les séries reconnaissables sont les "vecteurs finis" de cette représentation, et forment une sous-algèbre $K_{rec}[[M]]$ de $K[[M]]$. D'autre part, si M est défini comme un quotient du monoïde libre (ce qui revient, de façon équivalente, à y distinguer un système de générateurs, ou encore à s'en donner une présentation) on peut considérer, comme dans le cas libre, la sous-algèbre pleine de $K[[M]]$ (c'est à dire stable par passage aux inverses) engendrée par les lettres (c'est à dire le système de générateurs privilégié) cette sous algèbre sera notée $K_{rat}[[M]]$ et le théorème de Kleene-Schützenberger peut s'énoncer

$$K_{rec}[[A^*]] = K_{rat}[[A^*]]$$

Il n'y a pas d'égalité pour un monoïde général. Pour un monoïde partiellement commutatif l'inclusion $K_{rec} << A,\vartheta >> \subseteq K_{rat} << A,\vartheta >>$ résulte de ce que la fonction de Möbius est polynômiale (cf [5]).
On peut, dans ce contexte, se demander s'il existe d'autres congruences que les commutations partielles qui soient compatibles avec le produit de shuffle. La réponse est négative en caractéristique nulle comme le montre le théorème de limitation, mais en caractéristique p, on peut montrer que les congruences qui sont solution de ce problème sont engendrées par des relateurs qui se partitionnent de façon très précise [27, 41].
Un autre interêt des séries formelles est qu'on peut facilement y calculer. On montre que, comme dans le cas non-commutatif, le groupe libre $F(A,\vartheta)$ se plonge dans le groupe des unités de $K << A,\vartheta >>$, et de ce plongement on déduit plusieurs conséquences d'accès difficile par la combinatoire des mots comme l'étude de la suite centrale descendante, l'existence d'une plus petite racine, la détermination du centralisateur de tout élément

de $F(A,\vartheta)$ et son ordonnabilité [12]. C'est d'ailleurs grâce au fait que $F(A,\vartheta)$ soit ordonnable que S.Varricchio a pu montrer la décidabilité de l'équivalence des séries rationnelles partiellement commutatives.
Il est naturel de se demander si les structures partiellement commutatives caractérisent leur graphe, c'est à dire la question suivante :
Soit $Struc(A,\vartheta)$ ($Struc = M,F,L_k,k$) une structure partiellement commutative, a-t-on

$$Struc(A,\vartheta) \cong Struc(A',\vartheta') \Longrightarrow \vartheta \cong \vartheta' \ ?$$

La réponse est positive pour les structures de groupe, d'algèbres de Lie, d'algèbre de monoïde et s'obtient à l'aide d'un théorème de Makar-Limanov (et al.) et des correspondances (1) à (6) ci-dessus.
Un problème classique est le support de l'algèbre de Lie libre, résolu en [4] pour le cas sans commutation. La reponse est que son complémentaire est formé des puissances de lettres $a^k;\ k \geq 2$ et des palindroms pairs. Les graphes de commutation tels que ce support admette une forme analogue sont completement caractérisés en [29].
Projecteur orthogonal et algèbre libre. —
Lorsque $\vartheta = \emptyset$ on peut agir sur les polynômes non commutatifs par subtitution linéaire définie, pour un endomorphisme $g : kA \longrightarrow kA$ (kA est l'espace, vectoriel engendré par les lettres) par:

$$P^g(a_1,a_2,..a_n) = P(g(a_1),g(a_2),..g(a_n))$$

cette représentation admet des sous-espaces invariants remarquables comme l'algèbre de Lie libre. On peut restreindre la représentation à Gl_n , $\mathfrak{S}_n$ et à A^A, grâce à quoi on peut répondre à la question suivante:

"Quelles formules définissent le projecteur orthogonal sur l'algèbre de Lie libre?"

On montre que ce projecteur a un action déterminée par des formules "universelles" de type $\sum_{\sigma\in\mathfrak{S}_n} \lambda(\sigma)\sigma$ c'est à dire des éléments de l'algèbre du groupe symétrique (cf [6]), dont les coefficients peuvent se calculer algorithmiquement en utilisant une base bien adaptée (voir aussi [23]). J'ai récemment obtenu une formule de redressement qui se décompose en "carrés", ceci permet de montrer que le facteur à gauche du projecteur de Dynkin est un opérateur de type positif.
On peut munir l'algèbre des polynômes d'une déformation associative des lois de shuffle et concaténation [23]. On peut aussi déformer le crochet de Lie par $[x,y]_q = xy - qyx$, qui, pour $q = -1$, donne le crochet de Jordan.
L'algèbre de Jordan spéciale libre, engendrée par les lettres pour cette opération non-associative possède une algorithmique liée à un groupe d'équivalence d'arbres (le groupe obtenu en échangeant les sous-arbres issus d'un sommet) [19]. Il existe aussi, pour le q-crochet général, en dépit de l'absence d'une formule de Dynkin-Campbell-Hausdorff convenable, une correspondance *log/exponentielle* qui permet de définir une famille d'idempotents de Lie [25]. D'autres familles d'idempotents et leurs déformations peuvent être obtenus à l'aide des fonctions symétriques non-commutives qui occupe le paragraphe suivant.

Fonctions symétriques noncommutatives. —

L' article [23], le troisième d'une série consacrée au "calcul non commutatif" traite d'une interpolation entre le produit de shuffle et la concaténation (tous deux classiques en informatique). Ceci permet des applications aussi diverses que la représentation des superalgèbres de Lie libres, une réalisation de l'espace de Fock de la physique quantique (a l'aide de la multiplication a gauche par une lettre et son adjoint l'opérateur quotient de la théorie des langages) et un raffinement de la conjecture de Zagier.
Les fonctions symétriques non-commutatives qui sont une matérialisation commode de l'algèbre des descentes de Solomon de type A, permet de retrouver, dans une famille a un paramètre, les idempotents de Lie connus (sauf le projecteur orthogonal) [16].
Poursuivant le travail de relèvement des formules classiques, nous avons obtenu de nouvelles structures qui permettent de plonger les fonctions symétriques non-commutatives dans une algèbre autoduale de matrices (cette construction généralise l'algèbre de convolution des permutations étudiée par Malvenuto et Reutenauer) [24, 30, 42].

Représentations. —
La combinatoire et l'algorithmique des représentions du groupe symétrique et des déformations de son algèbre (l'algèbre de Hecke) est riche en structures de données (tableaux e Young, de rubans, gauches mots de Yamanouchi) et elles peuvent être matérialisées par des actions d'opérateurs comme les différences divisées découvertes par Lascoux et Schützenberger. La somme $\sum_{i<n}$ des générateurs de $H_n(q)$ peut être vue comme un Hamiltonien et c'est encore un problème ouvert que d'en connaitre le spectre dans les représentations irréductibles. L'article [18] donne la solution pour les représentations à deux lignes. Les modules d'entrelacement des modules obtenus par ces représentations polynomiales sont alors bien décrits par des espaces dont on connait le nombre de paramètres [21]. Les liens de la dégénérescence $q = 0$ avec les fonctions symétriques noncommutatives sont étudiés dans [16].

Langages et automates. —
Le premier travail que j'ai achevé au sein du LITP était d'obtenir une classification complète des congruences régulières à droite sur le monoïde bicyclique [1]. Cette étude consiste à trouver des formes normales pour les chemins dans les automates. Ce travail sera repris dans [49] pour l'étude de sous-monoïdes des codes préfixes.
On peut se demander si les formules classiques de composition des automates (produits de Cauchy et de Hadamard, somme, étoile) sont optimales. Nous avons montré qu'elles l'étaient en probablité au sens suivant :
Soit A, un alphabet fini et $\mathcal{A}_i = (\lambda_i,\mu_i,\gamma_i)$ deux automates de dimensions n_i ($i = 1,2$) choisis "au hasard" dans des disques bornés non triviaux de K ($K = \mathbb{R}$ ou $\mathbb{C}$). Alors la probabilité que l'automate composé $\mathcal{A}_1 \boxplus \mathcal{A}_2$ (resp. $\mathcal{A}_1 \boxdot \mathcal{A}_2$, $\mathcal{A}_1{}^{\boxast}$) soit minimal est 1. [27]. (Nous avons maintenant complètement établi le cas du produit de produit de Hadamard, alors démontré asymptotiquement.)
Les opérateurs "quotients de Eilenberg" dont il est question plus haut peuvent se remonter aux expressions rationnelles qui décrivent les séries reconnaissables. Un théorème classique en théorie des langages (théorème de Brzozowski) montre que, dan le cas booléen, le calcul des quotients est fini si l'on identiie les expressions à l'aide de la congruenc ACI (Associativité, Commutativité, Idempotence). La question de montrer une réciproque de ce théorème dans le cas des multipliciés a été complètement résolue en [43].

Combinatoire et physique. —

Les opérateurs de création/annihilation agissent à degré donné sur l'espace de Fock standard par des "mots d'opérateurs" qui se factorisent en mots de Dyck généralisés. On peut ainsi donner des formules explicites pour les coefficients de transfert d'un niveau n à $n+k$ [20].

Informatique et mathématiques. —
La considération d'une classe particulière de séries sur le groupe (et le monoïde) libre (les séries rationnelles de la théorie des automates) permet de résoudre [22] une conjecture en théorie des opérateurs qu'Alain Connes (Collège de France, Médaille Fields, prix Crafoord) avait publiée dans son livre "Non Commutative Gometry" (Acad. Press, 1994.).

Réalisations informatiques. —
É. Laugerotte, a réalisé sous ma direction un package de calcul dans les algèbre de Hecke de type A. Ce package a été présenté en colloque international et sert actuellement a explorer des conjectures concernant l'algèbre de Hecke a $q = 0$.

SEA (Symbolic Environment for Automata) est un projet inter-équipes du LIFAR (des membres de 3 équipes y sont impliquées). Cette plate-forme logicielle a été présentée deux fois en congrès international et a motivé plusieurs articles de recherche [37], [36], [27].

ADAM ("Architechture des Automates à Multiplicités") est un projet inter-universitaire (Rouen-Le Havre) qui implique l'équipe de parallèllisme du Havre et l'équipe CSCA de Rouen. Il a été financé par la MENRT en Octobre 1999.

MuPAD Combinat : Il s'agit de l'implémentation de bibliothèques de Calcul pour le logiciel de Calcul Formel MuPAD (Université de Paderborn, DE), Éric Laugerotte a implémenté un package sur les automates à multiplicités, et l'emploi des techniques qui en résultent pour la décomposition automatique en indécomposables des modules (de longueur finie sur une algèbre de type fini) est en cours par notre thésard Hatem Hadj-Kacem.

4.3 Animation scientifique

4.3.1 Vidéos

Dans le cadre du séminaire du LIFAR, l'équipe CSCA a invité Xavier Viennot (médaille d'argent du CNRS, LaBRI) à faire un exposé transdisciplinaire sur la combinatoire des tableaux de Young (décembre 1999). Cet exposé, suivi également par des membres du laboratoire de mathématique (AMS), a été filmé par le service audiovisuel de l'Université de Rouen (58mn).
D'autre part, le film du congrès de Montréal, qui est au standard NTSC (59mn + dernier tiers avec musique par G. Duchamp) est en cours de transcription numérique pour être distribuable sur CD ou DVD.
Le service audiovisuel de l'université de Rouen a aussi monté ces deux événements sur une cassette PAL unique.

4.3.2 Séminaires extérieurs

G. Duchamp participe tous les vendredi au séminaire de combinatoire de Marne-la-Vallée et a monté, avec D. Barsky (DR CNRS), C. Tollu & C. Toumazet (MCF P13), le séminaire CIP de Villetaneuse (voir plus bas dans Combinatoire et Physique).

Des compte-rendus de travaux sont faits chaque année au séminaire du laboratoire Raphaël Salem (Rouen). Des exposés ont également été faits, par exemple, au séminaire de Physique (LPTL Paris VI) et Calcul Formel et Complexité (IRMAR Rennes).

4.3.3 Réseau ACE

Rouen est nœud secondaire (un membre appartenant à un nœud principal, ici : Marne-la Vallée) du réseau ACE (Algebraic Combinatorics European network). On peut consulter les équipes constituées à :

http://www.mat.univie.ac.at/ kratt/ace/teams.html# Marne-la-Vallee

5 Direction et administration de la recherche

5.1 Naissance et animation de l'équipe CSCA

En novembre 1993 est apparue la nécessité de créer un groupe de travail pour animer l'équipe de Calcul Symbolique (appellée CFCA à l'époque et CSCA - Calcul Symbolique Combinatoire et Algorithmique - depuis trois ans). Ce groupe de travail se réunit une fois par semaine à l'université et son programme est publié officiellement chaque mois (dans l'"Officiel" de la SMF).
En outre, lors de la restructuration du Laboratoire d'Informatique de Rouen, le Calcul Symbolique a trouvé sa place dans la création d'une opération de recherche de Calcul Symbolique dont je suis le responsable (Octobre 1996).

5.2 Responsabilité du DEA "Informatique Théorique et Applications"

Ce DEA, vient d'être créé par le ministère sur proposition de l'École Doctorale "Sciences Physiques et Mathématiques pour l'Ingénieur", il se situe sur les deux sites (Rouen et Le Havre) et a ouvert en septembre 2000. L'École Doctorale m'en a confié la responsabilité. Au point de vue de la recherche, il m'appartient de veiller à ce que les chercheurs actifs soient bien représentés au DEA.

5.3 Organisation de colloques et de workshops

• Organisation, avec G. Jacob et D. Krob, du workshop: "Traitement Algébriques et Informatiques des Séries Formelles Non Commutatives", 3-4 Avril 1990, ENS de Paris rue d'ULM.
• Organisation du colloque:
"Séries formelles et combinatoire algébrique", 2-4 mai 1991, Bordeaux.
• Organisation des :
"Journées Franco-Belges sur la Théorie des Automates et Applications". Université de Rouen, septembre 1991.
• Comité d'organisation locale du colloque:
"Séries formelles et combinatoire algébrique", 23-27 mai 1994, Dimacs (USA).
• Comité d'organisation du colloque:
"Séries formelles et combinatoire algébrique", Juin 1995, Marne la Vallée.
• Comité d'organisation du colloque:
"Séries formelles et combinatoire algébrique", Juin 2000, Moscou.
• Co-chairman d'une session invitée :
"Automates et applications des automates", Orlando (Floride), Juillet 2001.

5.4 Comités scientifiques

.
• Comité de programme du colloque:
"Séries formelles et combinatoire algébrique", 2-4 mai 1991, Bordeaux.
• Comité de programme du colloque:

“Séries formelles et combinatoire algébrique”, 15-19 juin 1992, Montréal.
• Comité de programme du colloque:
“Séries formelles et combinatoire algébrique”, Juin 1995, Marne la Vallée.
• Comité de programme du colloque:
“Conference on Implementation of Automata and Applications”.

5.5 Jurys de thèse

5.5.1 Doctorat

Thèse de Christophe CARRÉ (08/03/91)
Thèse de A. ABDERREZZAK (29/10/92)
Thèse de O. KHADIR (10/05/94) (Directeur)
Thèse de R. INCITTI (22/06/95) (Directeur)
Thèse de C. GUYON (07/12/95) (Rapporteur)
Thèse de P. ANDARY (10/12/95) (Rapporteur)
Thèse de J. ZHOU (23/10/96) (Co-Directeur, fél. Jury)
Thèse de E. LAUGEROTTE (06/10/97) (Directeur, fél. Jury)
Thèse de M. FLOURET (19/01/99) (Directeur)
Thèse de J-G. LUQUE (09/12/99) (Directeur)
Thèse de M. BIGOTTE (05/12/00) (Rapporteur)
Thèse de M. EL MARRAKI (08/01/01) (Rapporteur)
Thèse de C. DUVALLET (05/10/01) (Président)

5.5.2 Habilitations

Habilitation de Hoang Ngoc MINH (10/01/00) (Examinateur)
Habilitation de Nour-Eddine OUSSOUS (14/12/01) (Rapporteur)

5.6 Encadrements de thèse

J'ai dirigé les thèses suivantes :

Khadir Omar (Thèse soutenue le 10/05/94).
Algorithmes et combinatoire dans l'algèbre de Jordan spéciale libre

Incitti Roberto (Thèse soutenue le 22/06/95).
Combinatoire des groupes à croissance polynomiale

Laugerotte Éric (Thèse soutenue 06/11/97, félicitations du Jury).
Combinatore et calcul symbolique en théorie des représentations

Flouret Marianne (Thèse soutenue 19/01/99).
Contribution à l'algorithmique non-commutative

Luque Jean-Gabriel (Thèse soutenue le 09/12/99).
Monoï des et automates admettant un produit de mélange

J'ai co-dirigé la thèse suivante (avec Jacques Désarménien - Marne-la-Vallée) :
Zhou Jianhua (Thèse soutenue le 23/10/96, félicitations du Jury).

Je codirige actuellement deux thèses :

– Une thèse CIFRE (avec Jean-Marc Champarnaud, $1^{\text{ère}}$ année).
– Une thèse de coopération avec le gouvernement Tunisien (avec Éric laugerotte, $1^{\text{ère}}$ année).

5.7 Conférences et exposés

Les résultats ont été régulièrement exposés à des séminaires, colloques ou conférences en Informatique, Mathématiques et Physique. La liste complète est à la disposition des rapporteurs.

6 Liste des travaux et publications

Références

6.1 Publications en d'audience internationale avec comité de lecture (publiés et acceptés) :

[1] Duchamp G.,*Étude du treillis des congruences à droite sur le monoïde bicyclique*, Semigroup Forum, **33** (1986), 31-46.

[2] Duchamp G., Thibon J.Y., *Bisections reconnaissables*, Theoretical Informatics and Applications, **22** (1988), 113-128, (Gauthiers-Villars).

[3] Duchamp G., Thibon J.Y., *Theorèmes de transfert pour les polynômes partiellement commutatifs*, Theoretical Computer Science, **57**, (1988), 239-249, (North-Holland).

[4] Duchamp G., Thibon J.Y., *Le support de l'algèbre de Lie libre*, Discrete Math, **76** (1989), 123-129, (North-Holland).

[5] Duchamp G., Krob D., *Partially commutative formal power series*, L.N. in Computer Science **469** 257-276 (1990).

[6] Duchamp G., *Orthogonal projection onto the free Lie Algebra*, Theorerical Computer Science **79** (1991), 227-239.

[7] Duchamp G., Krob D., *The Free Partially commutative Lie Algebra : Bases and Ranks*, Advances in Math **95** (1992), 92-126.

[8] Duchamp G., Krob D., *Factorisations dans le monoïde partiellement commutatif libre*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. **312**, série I (1991), 189-192.

[9] Duchamp G., Krob D., *The lower central series of the Free Partially Commutative Group*, Semigroup Forum **45** (1992) 385-394.

[10] Duchamp G. Krob D., *On the partially commutative shuffle product*, Theoretical Computer Science **96** (1992) 405-410.

[11] Duchamp G., *Le groupe de Magnus partiellement commutatif : applications* , Publ. du LACIM No 10 (1992).

[12] Duchamp,G., Thibon,J.Y., *Simple orderings for free partially commutative groups*, International Journal of Algebra and Computation **2** No.3 (1992).

[13] Duchamp G., Krob D., *Free partially commutative structures*, Journal of Algebra **156**, (1993) 318-359.

[14] Duchamp G., Krob D., *Partially commutative Magnus transformations*, International Journal of Algebra and Computation **3** No 1 (1993) 15-41.

[15] Désarménien J., Duchamp G., Krob D., Melançon G,
Quelques remarques sur les superalgèbres de Lie libres C.R.A.S. $n^0 5$ (1994).

[16] Duchamp G., Krob D., Leclerc B., Thibon J.Y.,
Déformations de projecteurs de Lie C.R.A.S. **319**, série I., 909-914, (1994)

[17] Duchamp G., Krob D., Leclerc B., Thibon J.Y., *Fonctions quasi-symétriques, fonctions symétriques non commutatives et algèbres de Hecke à $q = 0$* C.R.A.S. **319**, série I., 909-914, (1994).

[18] G. Duchamp, D. Krob, A. Lascoux, B. Leclerc, T. Scharf, J.Y. Thibon, *Euler-Poincaré characteristic and polynomial representations of Iwahori-Hecke algebras, Pub. of the RIMS* **31** No 2 (1995).

[19] Duchamp G., Khadir O., *Groupe d'équivalences d'arbres et monômes de Jordan* Ann. Sci. Math. Québec **19** (1995) $n^0 1$.

[20] Duchamp G., Katriel J., *Ordering relations for q-boson operators, continued fractions techniques, and the q-CBH enigma.* Journal of Physics A **28** 7209-7225 (1995).

[21] Duchamp G., Kim S., *Intertwinning spaces associated with q-analogues of the Young symmetrizers in the Hecke algebra* in "Parameter spaces" Banach Center Pub. **36** Polish Acad. of Sciences Warszawa (1996).

[22] Duchamp G., Reutenauer C., *Un critère de rationalité provenant de la géométrie noncommutative* Invent. Math. **128** 613-622. (1997).

[23] Duchamp G., Klyachko A., Krob D., Thibon J.Y., *Noncommutative symmetric functions III: Deformations of Cauchy and convolution algebras* Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science Vol. **2** (1998).

[24] Duchamp G., Hivert F., Thibon J.Y., *Une généralisation commune des fonctions quasi-symétriques et des fonctions symétriques non-comutatives.* (C.R.A.S. 1999).

[25] Duchamp G., Krob D., E. Vassivlieva *Zassenhaus Lie idempotents, q-bracketting and a new q-exponential/logarithm correspondence*, to appear in the Journal of Algebraic Combinatorics.

[26] Dobrynin N., Duchamp G., Mikhalev S., Petrogradsky V., *On free p-algebras* Communications in Algebra (28), 5275-5302 (2000).

[27] Duchamp G., Flouret M., Laugerotte É., Luque J-G., *Direct and dual laws for automata with multiplicities* T.C.S. **267**, 105-120 (2001).

[28] Duchamp G., Luque J-G., *Transitive factorisations of partially commutative free monoids and Lie algebras.* À paraıitre dans Discrete Math.

[29] Duchamp G., Laugerotte É, Luque J-G., *On the support of graph Lie algebras*, T.C.S. **273**, 283-294 (2002)

[30] Duchamp G., Hivert F., Thibon J.Y. : *Non commutative functions VI: Free quasi-symmétric functions and related algebras*, International Journal of Algebra and Computation Vol 12, No 5 (2002).

[31] Champarnaud J.-M., Duchamp G. :*Derivatives of rational expressions and related theorems*, à paraître dans T.C.S.

6.2 Actes de conférences avec comité de lecture :

[32] G. Duchamp, D. Krob, *Partially commutative formal power series. Lect. Notes Comp. Sci.* n^o 469, pp. 257–276, Springer-Verlag, 1990.

[33] Duchamp G., Krob D., *Lazard's factorisations of the free partially commutative monoids*, in *ICALP'91*, J. Leach Albert, B. Monien et M. Rodriguez Artalejo (éd.), pp. 242–253, *Lect. Notes Comp. Sci.* n^o 510, Springer-Verlag, 1991.

[34] Duchamp G., Krob D., *Computing with P.B.W in envelopping algebras*, rapport LITP 91.11 et actes des journées Algebraic Computing in Control (1991).

[35] G. Duchamp, Krob D., *Plactic growth-like monoids* in *Proc. of the internat. conf. "Words, langages and combinatorics"*, Kyoto, JAPAN 25-28 Aug. 1992. M. Ito, H. Jurgensen (éd.), pp. 124–142, World scientific (1994).

[36] Duchamp, M. Flouret, É. Laugerotte, *Operations over automata with multiplicities*, Lecture Notes in Computer Science, **1660**, 183-191, WIA, Champarnaud, Maurel and Ziadi Eds (1998).

[37] P. Andary, P. Caron, J. M. Champarnaud, G. Duchamp, M. Flouret, É. Laugerotte, *SEA : a Symbolic Environment for Automata theory*, Proceedings, (WIA 1999).

[38] G. Duchamp, É. Laugerotte, J. G. Luque, *On the support of some free partially commutative Lie algebras*, (WORDS 1999).

[39] G. Duchamp, J. G. Luque, *Transitive factorizations of partially commutative free monoids and Lie algebras*, Proceedings, (FPSAC 1999).

[40] G. Duchamp, A. A. Mikhalev, *Graded shuffle algebras of prime characteristic*, Proceedings, (FPSAC 1999).

[41] G. Duchamp, J. G. Luque, *Congruences Compatible with the Shuffle Product* Proceedings, (FPSAC 2000), D. Krob, A.A. Mikhalev Eds., Springer.

[42] G. Duchamp, F. Hivert, J-Y. Thibon, *Some Generalizations of Quasi-Symmetric Functions* Proceedings, (FPSAC 2000), D. Krob, A.A. Mikhalev Eds., Springer.

[43] J-.M. Champarnaud, G. Duchamp, *Brzozowski's derivatives extended to multiplicities* CIAA01 Proceedings, LNCS.

[44] G. Duchamp, C. Tollu, F. Toumazet *Realizability of the q-deformed Weyl Algebras*, Group24 (XXIV International Colloquium on Group Theoretical Methods in Physics), July 15-20 2002 Paris.

[45] K.A. Penson, P. Blasiak, G. Duchamp, A. Horzela and A.I. Solomon, *Hierarchical Dobiński-type relations via substitution and the moment problem*, J. Phys. A, accepted (2004)
arXiv : `quant-ph/0312202`

6.3 Actes de conférences sans comité de lecture :

[46] Duchamp G., *Projecteur orthogonal sur l'algèbre de Lie libre* In : Traitements Algébriques et Informatiques des Séries Formelles Non Commutatives LILLE 12-13/12 (1988), actes des journées-séminaire (Publications du LIFL).

[47] Duchamp G., *Factorisations partiellement commutatives et apériodicité* actes des journées Montoises (1990), 42-48.

[48] Duchamp G., *Eliminations de générateurs dans les structures partiellement commutatives*, Séminaire Lotharingien n^o **27**, 47-64. Prépublications de I.R.M.A. (Strasbourg) (1991).

[49] Duchamp G., *Portes et factorisations d'idéaux*, Actes du Colloque Franco-Belge (1991), 91-98. Presses universitaires de ROUEN (1992)).

[50] Duchamp G., *Identité cyclotomique, superalgèbres de Lie et bicaractères*, Séminaire Lotharingien n^o31 pp59-70 (1993), Prépublications de I.R.M.A. (Strasbourg).

[51] G. Duchamp, É. Laugerotte, *Extending the scalars of minimization* SCI'01 (Orlando, Florida) Proceedings N. Callaos ed.

[52] G. Duchamp, R. Lepelletier, A. Uppman *Analysing's the structure of actions with free words* SCI'01 (Orlando, Florida) Proceedings N. Callaos ed.

[53] G. Duchamp, J-M. Champarnaud *Finite automata and boolean functions* SCI'01 (Orlando, Florida) Proceedings N. Callaos ed.

6.4 Rapports internes

Toutes les publications mentionnées ont fait l'objet de rapports internes.

6.5 Chapitres d'ouvrages

[54] Duchamp G., Krob D., *Combinatorics on traces*, Ch II du "Book of traces" (Ed. G. Rozenberg, V. Dieckert), World Scientific (1995).

6.6 Analyse de livres

[55] Duchamp G., *Free Lie algebras*, by C. Reutenauer, Bulletin (new series) of the AMS, **32**, (1995).

6.7 Thèses

[56] Duchamp G.,*Algorithmes sur les polynômes en variables non commutatives*, Doctorat d'Informatique, (1987).

[57] Duchamp G., *Élimination et algorithmes combinatoires sur les séries formelles*, Mémoire d'habilitation, (1991).

6.8 Divers

[58] Analyse statistique pour la Thèse de Docteur en médecine de Karl-Hans Schweiger (n^o 243 BORDEAUX II 28-06-1988).

6.9 En cours ou soumis

[59] Duchamp G., Hivert F., Thibon J.Y. : *Non-commutative symmetric functions VII.*

[60] Duchamp G., Laugerotte É, Luque J.-G. : *Generating prefix subsets.*

7 Programme envisagé avec le LIPN

7.1 Acquis actuels

À la rentrée 2001, nous avons lancé, au LIPN, un groupe de travail

"Combinatoire, Informatique et Physique"

tant il semblait important de fédérer les collaborations que nous pouvions avoir sur ces trois thèmes (qui s'interpénètrent) à Rouen (Informatique), Marne-la-Vallée (Combinatoire), Jussieu (Physique). Le LIPN a bénéficié d'un soutien du CNRS pour développer ce thème (ATIP jeunes chercheurs en 2001 et 2002).

Le groupe de travail est devenu en 2002 le séminaire CIP (Combinatoire, Informatique & Physique, avec D. Barsky, C. Tollu et F. Toumazet de PXIII) complémentaire des groupes de travail CSCA (à Rouen) et Combinatoire Algébrique (à Marne-la-Vallée). Ce séminaire nous permet de tisser également des liens avec le LPTL (Laboratoire de Physique théorique des Liquides, Paris VI).

Notre but est de profiter de l'accueil 2004-2005 pour améliorer la synergie de recherche "en réseau" qui existe déjà entre les trois Universités. Nous allons développer ci-après plus précisément les aspects scientifiques du projet en attirant l'attention du lecteur que la division en deux paragraphes "Informatique" et "Combinatoire et Physique" ne doit pas faire perdre de vue l'interpénétration profonde de ces trois disciplines.

7.2 Informatique

À Rouen, a été implémenté pour MuPAD (voir ci-dessus) une bibliothèque de calcul dans les automates à multiplicités. De façon surprenante, les techniques de minimisation peuvent être exploitées [52] pour la théorie des représentations qui sert en Physique [23] et en Combinatoire [30]. L'idée est d'apporter au LIPN la partie du savoir faire Rouennais appropriée au calcul automatique sur les modules.

7.3 Combinatoire et Physique

Les opérateurs de création/annihilation agissent sur l'espace de Fock standard par des "mots d'opérateurs" c'est cette particularité qui nous a permis de contribuer en tant que combinatoristes à la Science Physique (avec J. Katriel [20], puis sur une conjecture de Don Zagier [23], enfin au congrès Group24 en juin 2002 [44]). Ces opérateurs présentent des propriétés combinatoires remarquables liées à un cerain type de diagrammes de Feynmann (Bender). Nous avons entrepris d'élucider cette combinatoire en utilisant la programmation en Calcul Formel.

Un projet de recherche sur l'Intrication Quantique (Quantum Entanglement) a été soumis pour une ACI (il s'agirait d'étudier la combinatoire des invariants liés à ces phénomènes et les liens entre états cohérents et la combinatoire analytique), il implique une collaboration entre Rouen (LIFAR), Marne-la-Vallée (IGM), Paris VI (LPTL), Paris XIII (LIPN) et Open University (UK).

Sur le long terme, nous prévoyons de faire converger les différentes expertise pour créer une équipe pluridisciplinaire dans les domaines du Calcul Quantique et de l'Information Quantique.

8 Cinq publications les plus significatives

Nous avons rassemblé en annexe (fichiers publi1.pdf, publi2.pdf, publi3.pdf, publi4.pdf et publi5.pdf), les publications qui illustrent le mieux le thème :

"Combinatoire, Informatique et Physique"

et l'intrication entre ces disciplines.

1. — (publi1.pdf) : Combinatoire algébrique et mathématiques (géométrie noncommutative).

"Un critère de rationalité provenant de la géométrie noncommutative" [22]

Dans cet article, publié dans "Inventiones Mathematicæ" , on utilise la théorie des automates à multiplicités pour résoudre une conjecture qu'Alain Connes (professeur au Collège de France, Médaille Fields, prix Crafoord) a publié dans son livre "Non Commutative Geometry".

2. — (publi2.pdf) : Informatique Théorique et Physique.

"Ordering relations for q-boson operators, continued fractions techniques, and the q-CBH enigma" [20]

Dans cet article, écrit en collaboration avec un physicien (chimie-physique), publié dans le Journal of Physics A (**28** 7209-7225 (1995)), on utilise les codes de Dyck pour résoudre une question sur les coefficients de transfert des algèbres d'opérateurs de type "quons".

3. — (publi3.pdf) : Combinatoire et Physique I.

"Noncommutative symmetric functions III: Deformations of Cauchy and convolution algebras" [23]

Cet article fait le lien entre certaines déformations combinatoires de lois utilisées en Informatique (q-shuffle), le problème de réalisabilté de certains espaces de Fock (on y rectifie une conjecture de dénominateurs minimaux de D. Zagier et on démontre cette version), la géométrie des arrangements d'hyperplans et les fonctions symétriques noncommutatives.

4. — (publi4.pdf) : Combinatoire et Physique II.

"Hierarchical Dobiński-type relations via substitution and the moment problem" [45]

arXiv : `quant-ph/0312202`

Lorsque l'on réordonne des mots d'opérateurs $w = w(a,a^+)$ (du type boson, fermion ou quon) apparaissent des coefficients combinatoires (des entiers positifs) à deux indices que l'on peut organiser sous la forme d'une matrice infinie S_w à coefficients entiers dont toutes les lignes sont à support fini. Par exemple pour les bosons $[a,a^+] = 1$, on peut écrire la forme normale suivante

$$\mathcal{N}\left(\left[w(a,a^+)\right]^n\right) = \sum_{k=0}^{nm} S_w(n,nm-k)(a^+)^{nr-k}a^{ns-k} \tag{1}$$

avec $r = |w|_{a^+}$, $s = |w|_a$, $m = min(r,s)$. On a toujours 1 comme coefficient dominant.
Ces matrices définissent ainsi une généralisation naturelle des nombres de Stirling et de Bell.
Dans cet article, les condition de Sheffer de certaines matrices S_w sont démontrées. Un théorème fait lien entre la composition des substitutions analytiques et la convolution des noyaux solutions de problèmes des moments (paraétriques) de Stieltjes.

5. — (publi5.pdf) : Informatique Théorique (théorie des automates).

"Derivatives of rational expressions and related theorems", [31]

Cet article (accepté pour TCS) illustre le savoir faire rouennais en matière de théorie des automates à multiplicités. On y prouve une version valuée du théorème de Brzozowski et fait le lien entre la combinatoire des expressions rationnelles et les automates à multiplicités.