

# 1 Rapport Scientifique

## 1.1 Rapport scientifique des équipes

### E1 – Équipe Arithmétique et géométrie algébrique

#### Rapport de l'équipe

COMPOSITION DE L'ÉQUIPE AU 1-1-2012

**Chercheurs et Enseignants-Chercheurs** : Larry Breen (PREX), Pascal Boyer (PR2), Olivier Brinon (MCF), Farrell Brumley (MCF), Abdallah Mokrane (PR2), Tuan Ngô Dac (CR1), Benoît Stroh (CR2), Jacques Tilouine (PREX), Isabelle Vidal (MCF), Joerg Wildeshaus (PR1).

#### **Doctorants et Post-docs :**

Doctorants :

- Boufelja Alaillou (A. Mokrane),
- Moncef Amara (A. Mokrane),
- Giuseppe Ancona (J. Wildeshaus),
- Stéphane Bijakowski (P. Boyer et B. Stroh),
- R. Casalis (F. Déglise),
- Brad Drew (F. Déglise),
- Javier Fresan (J. Wildeshaus, cotutelle avec C. Soulé, IHES),
- D. Hébert (J. Wildeshaus),
- Chengyuan Lu (J. Tilouine),
- Abdelaziz Marjane (A. Mokrane),
- Giovanni Rosso (J. Tilouine, cotutelle avec J. Nicaise, Louvain),
- Aissa Saoudi (A. Mokrane),
- Amar Siad (A. Mokrane)

Postdoctorants :

- P. PELAEZ (ANR Wildeshaus, 9/2008-8/2009),
- J. SCHOLBACH (ANR Wildeshaus, 2/2010-3/2010),
- T. HAYAMA (ANR Wildeshaus, 6/2010-7/2010),
- S. TAGAKI (ANR Wildeshaus, 9/2010-10/2010),
- L. PREVIDI (ANR Wildeshaus, 4/2011-7/2011).
- M. DOUSMANIS (TMR Tilouine, 09/2007-02/2008),
- K. KLOSIN (ANR Tilouine, 6/2009-5/2010),
- W. GOLDRING (ANR Tilouine, 5/2011-4/2012)

**Responsable** : J. Tilouine

**Départs depuis 2007** : D. Barsky (2010), G. Chenevier (2008), F. Déglise (2011).

**Arrivées depuis 2007** : B. Stroh (2008), P. Boyer (2009), F. Brumley (2011).

#### THÈSES ET HABILITATIONS

**Thèses soutenues** :

- Yichao Tian (A. Abbès, soutenance novembre 2007)
- Yih-Jeng Yu (J. Tilouine soutenance décembre 2007)

F. Lemma (J. Wildeshaus, soutenance janvier 2008)  
A. Saoudi (A. Mokrane, juin 2008)  
V. Pilloni (J. Tilouine, soutenance Juillet 2009)  
B. Alaïllou (A. Mokrane, déc. 2010)  
A. Marjane (A. Mokrane, juillet 2011)  
M. Amara (A. Mokrane, déc. 2011).

**Habilitations soutenues :**

O. Brinon (déc. 2010)  
F. Déglise (juin 2010).

INVITATIONS

**Invités pour un mois :**

J. Burgos (Nov. 2011), H. Hida (mai 2010), A. Iovita (janv. 2010), P. Kassaei (janv. 2009), R. Mikhailov (2008 et 2010), Y.-C. Tian (mars 2012), Y. Varshavsky (2010), V. Vatsal (Juillet 2008).

**Invités de courte durée :**

F. Andreatta (Milan), G. Boeckle (Heidelberg), C. Kappen (Muenster), A. Iovita (Concordia), C. Sorensen (Princeton), N. Tsuzuki (Sendai), E. Viehmann (Bonn), H. Yoshida (Kyoto).

RAPPORT DE SYNTHÈSE 2007–2012

**Thèmes de recherche**

Les principaux thèmes de recherche de l'équipe sont les aspects arithmétiques et géométriques de la théorie des formes automorphes, en particulier ses aspects  $p$ -adiques, la théorie des motifs, la théorie de la ramification et la théorie des catégories. Ces sujets sont en pleine évolution et ont atteint un tel degré de développement qu'ils se combinent depuis une décennie pour produire des fruits inattendus, tels les travaux de Taylor et son école sur l'application des techniques de modularité des représentations galoisiennes à des conjectures classiques de la théorie des nombres (comme celle de Sato-Tate), la démonstration de la conjecture de Serre par Khare-Wintenberger, ou celle de la conjecture de Neukirch sur le groupe de décomposition en  $p$  de l'extension  $p$ -ramifiée maximale du corps des rationnels, par Chenevier-Clozel.

L'aspect géométrique de la théorie des formes automorphes est illustré par P. Boyer, B. Stroh et T. Ngô-Dac ; l'aspect  $p$ -adique est représenté par O. Brinon, F. Mokrane et J. Tilouine ; notons, dans ces deux dernières thématiques, les liens tissés avec l'ENS Lyon, où Vincent Pilloni est maintenant chargé de recherches, et avec qui nous organisons un séminaire tournant P13-Lyon. Pour ces thématiques, les questions traitées concernent

- la cohomologie de torsion des variétés de Shimura unitaires (Boyer),
- le lemme fondamental pour des groupes réductifs généraux (Ngô Dac),
- la construction de tour d'Igusa surconvergente (Brinon-Mokrane), avec application à une nouvelle construction des variétés de Hecke associées aux groupes symplectiques (Brinon-Mokrane-Tilouine) ; ces variétés ont également été construites en interpolant les formes de Siegel holomorphes (par Andreatta-Iovita-Pilloni),
- la modularité de certaines représentations galoisiennes de poids de Hodge-Tate non réguliers (les formes compagnons et leur recollement  $p$ -adique, d'une part pour les formes de Hilbert, en

particulier en vue de la conjecture d'Artin, et d'autre part pour les formes de Siegel, en vue de la conjecture de modularité des surfaces abéliennes, Pilloni, Stroh, Tilouine),

La théorie de la ramification est représentée par I. Vidal, qui généralise une formule de Bloch sur le conducteur de représentations  $\ell$ -adiques géométriques.

L'aspect motivique est principalement représenté par F. Déglise (jusqu'à son départ pour l'ENS de Lyon en octobre 2010), et J. Wildeshaus (et ses élèves), dont les travaux récents sur le motif d'intersection d'une variété de Shimura ouvrent de très belles perspectives. J. Wildeshaus et F. Déglise ont organisé plusieurs groupes de travail pédagogiques en théorie des motifs, qui ont attiré et contribué à former plusieurs doctorants. La théorie des catégories est illustrée principalement par L. Breen, qui collabore depuis quelques années avec Mikhailov (Moscou).

Le recrutement récent comme Maître de Conférences de F. Brumley, spécialiste des aspects analytiques de la théorie des formes automorphes (en liaison avec la conjecture de Selberg et celle d'Artin), ainsi que le recrutement d'un postdoc, ancien élève de R. Taylor, W. Goldring, nous a permis d'organiser un groupe de travail sur un thème que nous n'aurions pas pu aborder avant ces recrutements, et qui mêle techniques  $p$ -adiques, géométriques et analytiques, sur les formes automorphes de bas poids et leurs représentations galoisiennes.

### Séminaires organisés par l'équipe

Groupe de travail : "L'hypothèse de Riemann sur les corps finis d'après Deligne" 2009-2010, (F. Déglise et J. Wildeshaus).

Groupe de travail : "Cohomologie étale et formalisme des six opérations", 2008-2009, (F. Déglise et J. Wildeshaus).

Groupe de travail : "Poids et motifs" 2007-2008, (F. Déglise et J. Wildeshaus).

Groupe de travail : "Variétés de Shimura, représentations galoisiennes et formes automorphes de bas poids", Paris 13, septembre-décembre 2011 (V. Pilloni, B. Stroh et J. Tilouine).

Journées "Automorphie potentielle des systèmes compatibles de représentations galoisiennes", Paris 13 et ENS Lyon, mai-juin 2011 (V. Pilloni, B. Stroh et J. Tilouine).

Groupe de travail : "Variétés de Hecke et familles de formes surconvergentes", Paris 13, septembre-décembre 2010 (V. Pilloni, B. Stroh et J. Tilouine).

Vidéo-séminaire P13-Columbia : "Formes modulaires et théorie de Hodge  $p$ -adique", octobre-décembre 2009 (V. Pilloni et J. Tilouine).

Groupe de travail : "Prolongement analytique de formes modulaires surconvergentes", Paris 13, Nancy, Londres, janvier-juin 2009 (A. Genestier, P. Kassaei et J. Tilouine).

Groupe de travail : "Travaux de Kisin sur les modules de schémas en groupes finis et plats et les déformations de représentations galoisiennes" 2008-2009 (O. Brinon et J. Tilouine).

### Colloques organisés par les membres de l'équipe

- Conférence (A. Abbès et T. Saito) : "On ramification and vanishing cycles", 10-14 Septembre 2007, Paris 13.

- Conférence (A. Mokrane) : "Géométries", Tipaza (Algérie), 23-28 Mai 2009

- Conférence (J. Tilouine avec H. Hida et J. Nekovar) : "Formes modulaires, Théorie de Hodge  $p$ -adique et Applications", Roscoff, 13-17 juillet 2009

- École d'été (F. Déglise, J. Wildeshaus, avec V. Maillot) "Motives and Milnor conjecture", IMJ, 9-17 juin 2011

- Mini-Conférence (J. Tilouine) : “Aspects p-adiques des Formes Automorphes et Applications”, Paris 13, 15-17 juin 2011
- Conférence (J. Tilouine avec D. Blasius, C. Khare, C. Skinner, E. Urban) pour le 60ème anniversaire de H. Hida, UCLA, 18-23 juin 2012.
- Conférence (P. Boyer, avec J.-B. Bost, A. Genestier, L. Lafforgue, S. Lysenko, S. Morel, Ngô B.-C.) pour le 60ème anniversaire de G. Laumon, Orsay, 25-29 juin 2012.
- Conférence d’inauguration du VIAS à Hanoi (session de Géométrie arithmétique, T. NgoDac avec B.-C. Ngô), 20-24 Août 2012.

### **Contrats de l’équipe**

Contrat de J. Tilouine (coordinateur J. Nekovar) : - ANR-06-BLAN-0365 “Représentations galoisiennes et représentations automorphes”, nov. 2006-nov. 2010.

Contrat de J. Wildeshaus (coordinateur V. Maillot) : - ANR-07-BLAN-0142 “Méthodes à la Voevodsky, motifs mixtes et Géométrie d’Arakelov”, nov. 2007-nov. 2011.

Contrat de J. Tilouine (coordinateur) : - ANR-10-BLAN-0114 “Arithmétique des variétés de Shimura et des formes automorphes et Applications”, janv. 2011-déc. 2014.

### **Relations internationales de l’équipe**

L. Breen collabore avec Mikhailov au Steklov Inst., Moscou. Il a plusieurs publications jointes. Des échanges réguliers ont permis à ces collaborateurs de se voir à Paris 13 et Moscou depuis les quatre dernières années.

O. Brinon a effectué plusieurs missions à Milan pour collaborer avec F. Andreatta (qui est également venu plusieurs fois à P13). Il a donné un cours Clay à Hawaii en juin 2009. Il a effectué des séjours à l’Université de Tokyo. En particulier, il est professeur invité à Todai de septembre 2011 à mars 2012.

F. Déglise a passé un semestre à Chicago (2009).

Mokrane se rend régulièrement en Algérie dans le cadre de deux accords (PHC pour la formation doctorale, et Programme Pilote LMD pour la mise en place d’un Master en Mathématiques).

T. NgoDac participe activement au programme d’échanges franco-vietnamien mis en place depuis de nombreuses années.

J. Tilouine s’est rendu trois fois à UCLA et a invité Hida comme professeur au LAGA, dans le cadre d’une collaboration de longue date (séjours pris en charge par la bourse NSF de Hida, resp. par Paris 13). Il a donné un cours Clay à Hawaii (mai 2009). Il a aussi effectué quatre missions en Inde (TIFR, IIT Mumbai, Bangalore, HRI, JNU, ISI).

B. Stroth a passé plusieurs mois à Chicago, invité par B.-C. Ngô en 2010 et à Harvard (2010) invité par S. Morel.

J. Wildeshaus a passé un semestre à Barcelone en 2009 dans le cadre d’une année spéciale qu’il a coorganisé avec I. Burgos.

# E2 – Équipe Mathématiques pour le Traitement de l'Information et l'Image

## Rapport de l'équipe

COMPOSITION DE L'ÉQUIPE AU 1-1-2012

### **Chercheurs et Enseignants-Chercheurs :**

Jacques Bosgiraud PRAG-HDR

Claude Carlet PR1

Françoise Dibos PR1

Philippe Guillot MCF

Sébastien Li-Thiao-Té MCF

Barasab Matéi MCF

Sihem Mesnager MCF

Farid Mokrane PR

Hieu Phan MCF

Wolfgang Schmid PR2

Jiaping Wang, MCFHC

Un poste de MCF est ouvert en 2012 pour un recrutement dans cette équipe (remplacement de François Malgouyres)

### **Doctorants et Post-docs :**

Laurent Albanèse : thèse dans l'entreprise NAGRA (C.Carlet et P.Guillot),

Julien Doget : thèse CIFRE en cotutelle avec l'UCL Louvain (C. Carlet, E.Prouff (entreprise Oberthur), J.-F Standaert (UCL)),

Aurélien Plyer (F. Dibos et G. Le Besnerais (ONERA)),

Amar Siad (F. Mokrane),

Dinh Hoan Trinh (F. Dibos M. Luong (L2TI, Paris 13) , Pr Canh Duong Pham (Hanoi)),

Viet Cuong Trinh (C. Carlet et H. Phan).

### **Responsables :**

Claude Carlet et Françoise Dibos

### **Départs depuis 2007 :**

François Malgouyres, en septembre 2011, sur un poste de professeur à l'IMT (Toulouse)

### **Arrivées depuis 2007 :**

Sébastien Li- Thiao-Té, MCF, thèse à l'ENS Cachan, membre du LAGA depuis septembre 2010,  
Wolfgang Schmid, PR, précédemment au LIX, école Polytechnique, membre du LAGA depuis septembre 2011.

## **Thèses et habilitations**

### **Thèses soutenues :**

Florent Bernard (C. Carlet et P. Guillot), 2007

Sylvain Pelletier (F. Dibos et G. Koepfler (Paris Descartes)), 2007

Aissa Saoudi (F. Mokrane), 2008

Boufeldja Allailou (F. Mokrane), 2010

Abdelaziz Marjane (F. Mokrane), 2011

Moncef Amara (F.Mokrane), décembre 2011  
Moulay Elaabid (C.Carlet et S.Guilley (Telecom Paris Tech)), décembre 2011  
Rafael Fourquet (C.Carlet), décembre 2011  
Nicolas Lermé (F. Malgouyres et L. Létocart (LIPN, Paris 13)), décembre 2011  
Aurélien Plyer ( F. Dibos, G. Le Besnerais) (soutenance prévue, premier trimestre 2012)

**Habilitation soutenue :**

Basarab Matéi , décembre 2011.

INVITATIONS

**Invités pour un mois :**

Patrizio Frosini, Université de Bologne, 1 mois, 2008 .  
Denis Gingras, Shebrooke, 1 mois , 2008.  
Adrian Iovita , Concordia, 1 mois, 2009.

**Invités de longue durée :**

Invité pour un an et demi dans le cadre d'un financement algérien : Brahim Merabet en 2009-2011.

RAPPORT DE SYNTHÈSE 2007–2012

**Présentation**

La demande faite en 2009 à l'équipe MAATICAH de Paris 8, dont les thèmes de recherche portent principalement sur les mathématiques appliquées à la protection de l'information, de rejoindre le LAGA, nous a permis, de rassembler les 4 chercheurs en images du LAGA qui appartenaient précédemment à deux équipes distinctes (Probabilités et Statistiques - Modélisation et Calcul Scientifique).

Ce regroupement a donné naissance à une nouvelle équipe de taille comparable aux autres équipes du LAGA : l'équipe MTII. Ce rapprochement entre deux composantes n'a pas encore trouvé aujourd'hui de synergie au niveau de la recherche. Nous cherchons encore à pouvoir recruter un enseignant chercheur ou un chercheur à l'interface de nos deux thématiques (typiquement le watermarking ou le fingerprinting), ce qui n'a pas été possible lors des deux précédents recrutements. La synergie entre les deux composantes de l'équipe se fait aujourd'hui essentiellement grâce aux deux Master Mathématiques et Informatique et Images et Réseaux et par une information mutuelle sur nos recherches.

Ce rapprochement, qui a permis de rassembler les chercheurs en images, a été bénéfique. Nous avons trouvé ainsi un point de départ pour impulser des collaborations avec deux autres laboratoires de Paris 13 : le laboratoire d'informatique (LIPN) et le laboratoire de Traitement et Transport de l'Information (L2TI). Cette démarche interdisciplinaire sur les images a reçu le soutien de l'Université Paris 13 par l'octroi de BQR en 2009 et 2010 et d'un PEPS CNRS en 2010. Elle a conduit à la participation , avec des pharmaciens, des médecins, des biologistes et des chimistes, à un projet de LABEX AFECTIB (Agents fonctionnels et de Contraste et Technologies Innovantes pour l'Imagerie Biomédicale).

En protection de l'information, plusieurs projets ont été financés (deux par l'ANR et un par le pôle system@tic et le Fonds Unique Interministériel) et ont rassemblé les chercheurs autour de thématiques anciennes et nouvelles.

## Thèmes de recherche

Le thème des fonctions booléennes à sortie simple (pour les schémas de chiffrement par flôts et pour les codes correcteurs) ou multiple (pour les schémas de chiffrement par blocs) réunit plusieurs chercheurs de l'équipe. Deux autres domaines de la cryptographie sont également une spécialité de l'équipe : la cryptographie prouvée et le chiffrement auto-synchronisant. Enfin, les séquences, la géométrie algébrique et l'analyse non-standard sont les sujets de deux chercheurs et de leurs étudiants.

### 1. Fonctions booléennes pour la cryptographie symétrique et les codes correcteurs :

- Résilience : S. Mesnager a étudié le problème d'énumération des fonctions résilientes, en s'appuyant sur les séries génératrices et sur la caractérisation des fonctions booléennes  $m$ -résilientes en termes de degré numérique de leurs formes numériques normales (représentation des fonctions booléennes introduite antérieurement par Carlet et Guillot). Elle a montré qu'on peut ramener l'estimation du nombre de fonctions  $m$ -résilientes au problème de l'énumération des solutions entières d'un système linéaire diophantien.

- Nonlinéarité : R. Fourquet, en collaboration avec Cédric Tavernier, a amélioré le meilleur algorithme connu de calcul de la distance minimale d'une fonction booléenne aux codes de Reed-Muller (la " nonlinéarité d'ordre supérieur " de la fonction). C. Carlet a obtenu une formule " récursive " sur les nonlinéarités d'ordre supérieur d'une fonction, connaissant les nonlinéarités d'ordre supérieur de ses dérivées et en a déduit des bornes inférieures pour l'ensemble des nonlinéarités d'ordres supérieurs de diverses fonctions classiques. Un nombre important d'articles se réfèrent maintenant à son travail sur ce sujet, qu'il a poursuivi dans plusieurs autres articles.

- Séquences couvrantes : C. Carlet a poursuivi son travail sur la notion de séquence couvrante des fonctions booléennes qu'il avait introduite dans un article avec Y. Tarannikov, en introduisant la notion de séquence couvrante partielle, plus adaptée à l'étude de certains critères.

- Immunité algébrique : Un critère récent sur les fonctions booléennes cryptographiques, lié aux attaques algébriques, est venu bouleverser l'étude de ces fonctions. C. Carlet a écrit plusieurs articles sur l'immunité algébrique (constructions de fonctions de haute immunité, étude de leur nonlinéarité) seul ou en collaboration avec d'autres chercheurs. En particulier, avec K. Feng de Tsinghua University, il a introduit la classe de fonctions qui présente le meilleur compromis actuel entre tous les critères cryptographiques importants (immunité algébrique, équilibre, nonlinéarité, résistance aux attaques algébriques rapides). C. Carlet et S. Mesnager ont montré des bornes sur le profil de nonlinéarité des fonctions de haute immunité algébrique.

En collaboration avec J-P. Flori, H. Randriambololona et G. Cohen, S. Mesnager a partiellement résolu une conjecture introduite dans un article de Tu et Deng qui permettait de construire une classe infinie de fonctions booléennes ayant une immunité algébrique optimale.

- Fonctions booléennes vectorielles : Avec A. Pott et L. Budaghyan (Univ. de Magdebourg, Allemagne), puis avec L. Budaghyan (Univ. de Bergen, Norvège) et G. Leander (Univ. de Copenhague, Danemark), C. Carlet a montré le caractère presque parfaitement nonlinéaire de nouvelles  $(n,n)$ -fonctions vectorielles sur les corps finis de caractéristique 2, il a invalidé plusieurs conjectures sur ces fonctions et il a étudié les diverses notions d'équivalence préservant la propriété d'être presque parfaitement nonlinéaire. Il a également mené un travail seul sur ce sujet, avec la publication de plusieurs articles présentant de nouvelles fonctions presque parfaitement nonlinéaires, et il a donné deux conférences invitées aux congrès IWSDA 2007 et WCC 2009 sur ce sujet.

-Fonctions vectorielles pour les chiffrements par flots : Avec K. Khoo (DSO National Laboratories, Singapour), C. Carlet a introduit une nouvelle attaque sur les générateurs pseudo-aléatoires à sorties multiples et a étudié la notion de nonlinéarité associée.

- Attaques par canaux cachés : M. Elaabid (thésard co-encadré par C. Carlet et S. Guilley, Telecom Paris Tech , ex-ENST) travaille sur les attaques physiques. Il a écrit plusieurs articles sur les attaques dites  $\zeta$  templates  $\Xi$  et des sujets proches. C. Carlet collabore par ailleurs sur ce sujet des attaques par canaux cachés et leurs contre-mesures, où les fonctions booléennes jouent un rôle, avec d'une part E. Prouff (Oberthur), M. Rivain (Crypto-experts), L. Goubin et M. Quisquater (UVSQ) et d'autre part S. Guilley et H. Maghrebi (Telecom Paris Tech) et enfin J.-C. Faugère, G. Renault et un de leurs thésards (trois articles en phase de finalisation).
- Rayon de recouvrement des codes de Reed-Muller : Le rayon de recouvrement d'un code est le plus petit entier  $\rho$  tel que la réunion de toutes les boules de rayon  $\rho$  centrées en les éléments du code recouvre l'espace  $F_2^n$  tout entier. La correspondance entre les codes de Reed-Muller binaires et les fonctions booléennes fait que le rayon de recouvrement a une importance en codes correcteurs d'erreurs, mais également en cryptographie. Une borne supérieure sur le rayon de recouvrement des codes de Reed-Muller d'ordres supérieurs à 1 a été établie par C. Carlet et S. Mesnager, en établissant des bornes inférieures sur les sommes de caractères des fonctions booléennes puis en utilisant les caractérisations données par Kasami et Tokura des mots des codes de Reed-Muller binaires dont les poids de Hamming sont inférieurs à 2,5 fois la distance minimale. Ils ont pu ainsi améliorer sensiblement le meilleur résultat connu antérieurement, qui datait de 13 ans auparavant.

2. *Fonctions courbes et ensembles à différence* : les fonctions courbes sont les fonctions les plus éloignées des fonctions affines en termes de distance de Hamming. C. Carlet a étudié avec P. Solé et M. Parker les fonctions courbes auto-duales. C. Carlet et S. Mesnager ont entrepris l'étude d'une nouvelle classe de fonctions courbes appelée "classe H". Cette dernière est une extension d'une classe de fonctions courbes en représentation bivariée, introduite par Dillon dans les années 70. La classe introduite contient comme cas particuliers les familles de fonctions courbes exprimées en représentation univariée, présentées par H. Dobbertin, G. Leander, A. Canteaut, C. Carlet, P. Felke et P. Gaborit en 2006. En étudiant la représentation bivariée de ces fonctions courbes, C. Carlet et S. Mesnager ont notamment réussi à calculer la duale d'une des familles présentées dans l'article de Dobbertin et al. Ils ont aussi établi une relation entre la classe H de fonctions courbes et une famille particulière de polynômes étudiés depuis une cinquantaine d'années en géométrie discrète (un domaine des mathématiques très différent de celui de la protection de l'information), appelés "  $\alpha$ -polynômes ". Ce lien leur a permis d'exploiter ces cinquante ans de recherche dans ce domaine particulièrement difficile et d'en déduire un grand nombre de nouvelles familles de fonctions courbes. En collaboration avec T. Helleseht, A. Kholosha, ils ont par ailleurs pu calculer la duale de la famille de fonctions de proposé par Leander et Kholosha en 2006.

-Fonctions Booléennes dites "hyper-courbes" : S. Mesnager a exhibé deux nouvelles classes infinies de fonctions "hyper-courbes" en forme polynomiale et caractérisé chacune en termes de sommes de Kloosterman. Elle a étudié également le caractère "hyper-courbe" d'une classe infinie de fonctions en forme polynomiale avec plusieurs fonctions traces et caractérisé la caractère "hyper-courbe" en termes de somme exponentielles.

-Fonctions Booléennes dite "semi-courbes" : en s'appuyant sur ses résultats sur les fonctions hyper-courbes, S. Mesnager a étudié le lien entre la caractère "semi-courbe" de plusieurs classes infinies de fonctions, les sommes de Kloosterman et les polynômes de Dickson. Avec C. Carlet, elle poursuit le travail sur les fonctions semi-courbes en dimension paire.

-Fonctions vectorielles : C. Carlet et S. Mesnager ont étudié les constructions primaires et secondaires des fonctions vectorielles courbes.

3. *Codes correcteurs d'erreurs et applications* : Sihem Mesnager a collaboré à plusieurs articles sur ce sujet.

- Codes et partage du secret : avec S.T. Dougherty et P. Solé, elle a utilisé des codes auto-duaux pour construire des systèmes de partage du secret, utilisant des propriétés combinatoires et la théorie des invariants pour comprendre la structure d'accès des schémas.

-Aspect combinatoire des codes : avec G. Cohen, elle a étudié un problème généralisant un vieux problème combinatoire concernant les ensembles témoins généralisés et elle a proposé des bornes asymptotiques.

- Codes identifiants : avec D. Auger et G.Cohen, elle a étudié les codes identifiants ainsi que des problèmes de recouvrement.

4. *Cryptographie prouvée (Hieu Phan)* : L'objectif est d'étudier des schémas de communications multi-utilisateur en abordant tous les aspects de la "sécurité prouvée" à savoir : formaliser les notions de sécurité requises, construire des schémas efficaces, fournir des preuves de sécurité en réduisant la sécurité des schémas à des hypothèses algorithmiques reconnues difficiles ou à d'éventuelles nouvelles hypothèses algorithmiques et dans ce dernier cas, étudier la difficulté des hypothèses proposées.

5. *Propriétés algébriques du chiffrement auto-synchronisant* :

Un chiffrement est auto-synchronisant si le couplage entre le chiffreur et le déchiffreur qui assure leur synchronisation est réalisé par le cryptogramme. Les propriétés d'auto-synchronisation sont algébriquement liées à la platitude de certains modules sur un anneau de polynômes. Elles peuvent également se traduire en termes d'influence des variables de la fonction de transition du déchiffreur sur son état interne. Ces travaux s'inscrivent en partie dans le cadre du projet exploratoire pluridisciplinaire (PEPS) Autocrypt, dont l'objet est l'application de la théorie du contrôle à la sécurité des communications.

6. *Séquences* : Avec ses deux doctorants, B. Allailou (thèse soutenue en décembre 2010) et A. Marjane (thèse soutenue en juillet 2011), F. Mokrane a développé un nouveau générateur d'aléa cryptographique orienté hardware, et basé sur une conception vectorielle des générateurs FCSR de Goresky et Klapper (avec une conférence en 2010 dans le congrès international le plus important dévolu aux séquences, SETA, dont C. Carlet a co-dirigé le comité de programme).

7. *Arithmétique et géométrie algébrique* : en collaboration avec Olivier Brinon (MCF du LAGA), F. Mokrane vient d'achever un travail soumis à Annals of Math. Dans ce travail F. Mokrane et O. Brinon ont démontré que la monodromie p-adique des familles universelles de variétés abéliennes ordinaires est surconvergente. Aucun résultat de cette nature n'était connu avant, y compris dans le cas des courbes elliptiques, alors que la question se posait naturellement depuis les années 60 et aucun indice ne permettait de croire en un tel phénomène. Depuis quelques mois, F. Mokrane a entamé une collaboration avec Olivier Brinon et Jacques Tilouine (PR au LAGA) consistant à donner des applications à la théorie développée avec Brinon. Le travail est très avancé et certains résultats ont été présentés à Paris (univ. Paris 6), Grenoble, Princeton (Institute for Advanced Study), Durham (London Math Society Symposium).

8. *Analyse non-standard appliquée aux tests statistiques, à l'imagerie numérique et à la programmation en nombres entiers (Jacques Bosgiraud)* : les travaux de J. Bosgiraud portent sur les utilisations du calcul externe (qui est un outil de l'Analyse non standard) à l'étude de tests non standard (calcul de probabilités externes), de grandes ou moyennes déviations probabi-

listes, d' approximations de certaines lois de probabilités par d'autres (approximation de lois log-normales par des lois normales).

*9. Représentation parcimonieuse, Compression d'images :* F. Malgouyres a travaillé sur la représentation et l'approximation d'images par des méthodes favorisant la parcimonie. Il a notamment mis en évidence comment il est possible de compresser des images en utilisant une projection de l'origine sur un polyèdre entourant l'image. Ce faisant on dispose d'une stratégie plus souple que les stratégies usuelles permettant de compresser une image, mais au prix d'un temps de calcul accru, puisqu'il faudra résoudre des problèmes d'optimisation convexes pour la compression et la décompression (1 article dans JMIV).

En collaboration avec Mila Nikolova (CMLA, ENS Cachan) il a établi une méthodologie pour modéliser les performances de différentes méthodes produisant de la parcimonie. Dans ces travaux, on estime la loi de distribution de la parcimonie du résultat en fonctions des paramètres du modèle. La compréhension de ces résultats permet de mieux comprendre ce qui fait le succès des méthodes utilisant des représentations parcimonieuses en approximation. Cela a conduit à la publication de 4 articles. Par ailleurs, F. Malgouyres a travaillé avec T. Zeng (département de Math., Hong-Kong Baptist University, Chine) sur la construction et l'étude des propriétés de nouveaux algorithmes favorisant la parcimonie.

En collaboration avec Yves Meyer, B Matéi a mené des recherches sur différents problèmes encore ouverts sur le compressed sensing (l'échantillonnage universel des suites, l'élaboration d'une version continue du compressed sensing, l'échantillonnage économique, les quasicristaux et l'échantillonnage stable, la reconstruction exacte). Des travaux avec Sylvain Meignen ont conduit à deux articles sur concernent la conception et l'étude des méthodes multi-échelles non-linéaires et non-séparables et ont permis d'améliorer les performances des algorithmes de compression existants (type JPEG2000).

*10. Analyse vidéo, 3D.* En collaboration avec Georges Koepfler (Paris Descartes), F. Dibos a continué ses travaux sur la segmentation temps réel d'objets en mouvement et la détermination des différents plans de profondeurs (thèse de Sylvain Pelletier). Par ailleurs, elle a proposé, grâce au groupe des recalages, une mise en correspondance invariante par changement de prises vues d'une même scène et montré que le ASIFT (Affine Scale Invariant Feature Tracking) de J.-M Morel et G. Yu n'est autre que l'approximation affine de la mise en correspondance proposée. Dans le cadre de la thèse d'Aurélien Plyer (F. Dibos, G. Le Besnerais), on s'est intéressé à partir de l'algorithme de Flot optique FOLKI, proposé par G. Le Besnerais et F. Champagnat à l'implémentation sur carte graphique. Différents algorithmes parallélisables ont été proposés pour le suivi du mouvement dans des scènes aériennes, la super-résolution et la reconstruction 3D.

*11. Gestalt et détection de motifs dans un paradigme continu :* En collaboration avec J.M. Morel (CMLA, ENS Cachan), Sébastien Li-Thiao-Té a travaillé sur la reconnaissance de directions fondamentales dans une image. La méthode développée permet de contrôler le nombre de directions déclarées à tort comme significatives, et traite automatiquement le problème de l'imprécision dans la mesure des orientations de l'image. Un manuscrit est en cours de rédaction. Une direction de travail prévue avec E. Roquain (LPMA, Paris 6) a pour but de s'affranchir d'une grille discrète pour la détection de motifs. Il est prévu d'utiliser ces travaux dans le cadre des travaux de l'équipe en imagerie médicale pour le recalage multi modalités.

*12. Imagerie médicale et biologique :* C'est aujourd'hui la thématique fédératrice du groupe

image avec des collaborations inter Paris 13 (LIPN, L2TI, ASIH) et la participation à un projet de Labex, AFFECTIB (Agents fonctionnels et de Contraste et Technologies Innovantes pour l'Imagerie Biomédicale).

-Segmentation d'images médicales : Une demande de BQR (en partenariat avec le LIPN et le L2TI) a été faite en 2001 afin d'estimer la densité de cellules cancéreuses à partir de données scanner 3D et scanner PET. F. Dibos et S. Li Thiao-Té développent une méthode de type "matting" permettant d'estimer séparément la densité des cellules saines et la densité des cellules tumorales, et en particulier d'estimer les densités dans des zones où les deux types cellulaires sont mélangés. Ce projet vise aussi à une production logicielle regroupant des travaux faits ou en cours :

- une première segmentation rapide utilisant les travaux menés dans le cadre de la thèse de Nicolas Lermé (F. Malgouyres et L. Létocart) sur l'amélioration de méthodes de segmentation d'images utilisant les algorithmes de coupe dans des graphes. L'amélioration consiste essentiellement à prédire rapidement le résultats de la segmentation pour les pixels éloignés de la frontière entre le fond et l'objet. Ceci permet de gagner du temps et de la mémoire.

- la segmentation étant par suite améliorée par des méthodes de contours actifs développées au L2TI en collaboration avec J.M Rocchisani,

-puis finalisée par "matting".

-Restauration et super-résolution d'images médicales : Ces travaux sont menés, en collaboration avec M. Luong et J.-M Rocchisani, par F. Dibos dans le cadre de la thèse de Dinh Hoan Trinh. Ils ont donné lieu à trois articles dans des proceedings de congrès.

- Reconstruction de cellules : Jiaping Wang a déposé deux brevets sur cette thématique et obtenu en 2008 un financement OSEO pour réaliser développement professionnel afin de la décliner en instruments pouvant être intégrés dans des systèmes de plateformes microscopiques. Actuellement Jiaping Wang est engagé dans un projet qui vise à élucider le rôle de deux familles de protéines adaptatrices, Vav et Lnk qui jouent respectivement un rôle activateur et inhibiteur au cours du développement hématopoïétique. L'observation par microscopie confocale des cellules hématopoïétiques saines ou pathologiques en 3-D, par le procédé de reconstruction mis au point au LAGA ouvre une nouvelle voix d'étude sur les mécanismes responsables de l'évolution des hémopathies. Une demande de cofinancements auprès du Conseil Général de la Seine-Saint-Denis et des Fonds Européens de Développement Economique et Régional (FEDER), intitulée "Plateforme Innovante d'Imagerie Cellulaire 3D et d'Analyse Dynamique et Fonctionnelle par Fluorescence", a été déposée en Juin 2010. Le financement du Conseil Général a été obtenu en janvier 2011.

### **Séminaires organisés par l'équipe**

- Le séminaire de protection de l'information, qui s'intéresse à tous les domaines des codes et de la cryptographie est organisé à Paris 8 : <http://www.math.univ-paris13.fr/equipes/mtii/sem/>.

- Groupe de travail LAGA-LIPN-L2TI organisé à P13 :  
<http://www.math.univ-paris13.fr/laga/active/gdt/>

### **Colloques organisés par les membres de l'équipe**

- C. Carlet a co-dirigé les comités de programme de WAIFI 2007 (International Workshop on the Arithmetic of Finite Fields) et de SETA 2010 (Sequences and Their Applications). Les membres

de l'équipe ont participé à 31 comités de programme de congrès internationaux.

- Philippe Guillot a co-organisé à Paris 8 les deux journées d'études "Les enjeux de la cryptologie" les 10 mai 2007 et 22 mai 2008.

- RFIA 2010, comité éditorial (F. Dibos).

### Contrats de l'équipe

- Claude Carlet et Philippe Guillot : Projet "Secure Algorithm" 2008-2011, projet FUI (Fonds Unique Interministériel) labellisé par le pôle de compétitivité System@tic. Partenaires : Oberthur Card Systems (porteur du projet), Thales, Nagra, Telecom Paris Tech (ex-ENST), UVSQ  
- Philippe Guillot : Appel d'offre "PEPS automatique", projet "autocrypt", avec le CRAN (Nancy)

- Philippe Guillot et Hieu Phan : Contrat d'étude Viaccess - octobre à décembre 2008

- Claude Carlet : Contrat de recherche avec l'entreprise Communications & Systèmes (45000 euros) signé fin 2008 pour la formation à la cryptographie d'un chercheur étranger

- Claude Carlet et Sihem Mesnager : Projet ANR "BOOLE" 2009-2013 : quantifier des structures booléennes; Partenaires : UVSQ (porteur du projet), ENS, INRIA, Université Aix-Marseille II, Université Paris SUD, Université de Caen, Université de Nantes, Université de Provence et Université Paris Diderot.

- Claude Carlet, Philippe Guillot, Fari Mokrane, Hieu Phan (coordinateur pour P8) : Projet ANR BEST 2010- 2014 (Broadcast Encryption for Secure Telecommunication), partenaires : ENS-INRIA, Thalès, Nagra, CryptoExpert.

- Claude Carlet : Financement "Secure Boolean Functions for Coding and Cryptography" par le Norwegian Research Council avec des collègues de Bergen.

- Projet européen 6ème PCRD (02/2005-02/2008), Specific Targeted Research Project, "AUTOMATION - A novel imaging system providing high-content high-throughput multi-dimensional analysis of microscopic biological structure inside non-adherent living cells". ( J. Wang, responsable scientifique)

- Projet européen 6ème PCRD (01/2007-01/2009), intitulé "ADHER : Automated Diagnosis for Helicopter Engines and Rotating parts" (J. Wang, responsable scientifique).

- Contrat OSEO - Aide à l'Innovation, 2008, intitulé "Développement d'un procédé de reconstruction tridimensionnelle de cellules à partir de séquences d'images 2D obtenues en microscopie" (J. Wang, porteur du contrat).

- Contrat d'étude société HOCER et le SHOM "Compression de données océanographiques", 2009 (F. Malgouyres).

- Projet de recherche intitulé "Reconstruction tridimensionnelle de cellules à partir des séquences d'images en coupe micro-rotationnelles" : financement BQR-Projets Scientifiques Emergents (Université Paris 13) 2009 (J. Wang. porteur du projet).

- Projet de recherche intitulé "Optimisation combinatoire pour l'analyse et le traitement des images" : financement BQR-Projets Scientifiques Emergents (Université Paris 13) 2009 (F. Dibos , F. Malgouyres (porteurs du projet)).

-Projet de recherche intitulé " Segmentation 3D interactive d'images tomographiques. Application au suivi des cancers pulmonaires" financement BQR-Projets Scientifiques Interdisciplinaires (Université Paris 13) 2010 (J-M Rocchisani, F. Malgouyres (porteurs du projet), F. Dibos).

-Projet PEPS CNRS Interactions Maths-Informatique-Ingénierie "Segmentation de tumeurs par graph-cuts distribués", 2010, (F. Malgouyres (porteur du projet), F. Dibos).

- Projet PEPII CNRS "Développement d'un algorithme de segmentation et d'analyse multiparamétrique de la division cellulaire en 3D", 2011, (B. Ducommun, F. Malgouyres (porteurs du

projet), F. Dibos).

- Projet de demande de cofinancements Conseil Général de la Seine-Saint-Denis et Fonds Européens de Développement Economique et Régional (FEDER) “Plateforme Innovante d’Imagerie Cellulaire 3D et d’Analyse Dynamique et Fonctionnelle par Fluorescence”, Nadine Varin-Blank et Jiaping Wang. Déposé en Juin 2010. Le financement du Conseil Général a été obtenu en janvier 2011. Instruction FEDER en cours.

- Labex 2 AFECTIB, D. Scherman, Paris Descartes (porteur du projet), F. Dibos (responsable scientifique du thème image processing), S. Li-Thiao-Té. En cours de demande.

### **Relations internationales de l’équipe**

C. Carlet est en relation de travail régulière avec des chercheurs des universités de Tsinghua University (K. Feng qui l’a invité deux semaines; il est à partir de 2012 l’organisateur côté français de la partie “Coding and Cryptography” de la Section “Number theory and Arithmetic geometry” du “China-France Mathematical Program” entre l’université Tsinghua et les universités françaises), de Singapour (K. Khoo, Frédérique Oggier qui l’a invité une semaine), de Copenhague (G. Leander), de Bergen (Lilya Budaghyan, Tor Helleseth, Alexander Kholosha qui l’ont invité plusieurs fois une semaine), collègues avec lesquels il a obtenu le financement “Secure Boolean Functions for Coding and Cryptography” cité plus haut.

- L’équipe a été impliquée jusqu’en 2009 dans un programme de recherche et formations doctorales avec l’Algérie sous l’égide du Comité Mixte d’évaluation et de Prospective de la Coopération Interuniversitaire Franco-Algérienne (C.M.E.P. D TASSILI).

- Farid Mokrane et C. Carlet ont donné des cours dans le DEA de Bamako en 2007.

Farid Mokrane a une collaboration avec K. Makdisi de l’AUB (université américaine de Beyrouth) sur des aspects algorithmiques autour des courbes elliptiques. - Université de Bologne : Pr Patrizio Frosini. Utilisation des size functions pour la reconnaissance de formes (F. Dibos).

- Vietnam Academy of Sciences and Technology, Hanoi : Pr Canh Duong Pham, cotutelle de thèse de Dinh Hoan Trinh (F. Dibos).

### **Relations industrielles de l’équipe**

THALES : P. Guillot entretient une relation scientifique régulière avec l’équipe de cryptographie de l’entreprise, dont il a été le responsable avant d’être enseignant-chercheur. S. Mesnager, F. Mokrane, P. Guillot et C. Carlet ont participé à la formation en cryptographie d’une délégation Tunisienne. Cette participation a fait l’objet d’un contrat.

OBERTHUR : C. Carlet est en relation scientifique avec Emmanuel Prouff (ancien étudiant en thèse) dans le cadre du projet Secure Algorithm et dans celui de la rédaction d’un article. Il partage avec cet ingénieur-chercheur le co-encadrement d’un thésard CIFRE : Julien Doget.

NAGRA : P. Guillot et C. Carlet sont en relation avec cette entreprise dans le cadre du projet Secure Algorithm et du co-encadrement de L. Albanèse (thésard salarié par l’entreprise). L’équipe collabore également avec NAGRA au travers du projet BEST.

CRYPTO-EXPERTS : L’équipe collabore avec cette entreprise au travers du projet BEST.

ADVESTIGO : F. Mokrane a encadré la thèse de W. Saoudi au sein de cette entreprise sur l’indexation de documents video par des techniques de hachage.

ONERA : F. Dibos, co-encadrement de la thèse d’Aurélien Plyer.

Fraunhofer IBMT - Institute for Biomedical Engineering (Allemagne), GeSiM (Allemagne), Perkin Elmer (industries en équipements biomédicaux et sciences du vivant) : J. Wang, valorisation des 3 brevets déposés.

## E3 – Équipe Modélisation et Calcul Scientifique (MCS) Rapport de l'équipe

COMPOSITION DE L'ÉQUIPE AU 1-1-2012

**Chercheurs et Enseignants-Chercheurs** : AUDUSSE Emmanuel (MCF), BALABANE Mikhaël (PR1), BASDEVANT Claude (PREX), BENKHALDOUN Fayssal (PR1), CHOUIKHA Raouf (MCFHC), CUVELIER François (MCF), EL ALAOUI Linda (MCF), FRANCFORT Gilles (PR1), HALPERN Laurence (PREX), JAPHET Caroline (MCF), LAFITTE Olivier (PR1), MILISIC Vuk (CR1), OMNES Pascal (PAST), QUIVY Laure (MCFHC), SOUPLLET Philippe (PR1), VENTO Stéphane (MCF), WAINRIB Gilles (MCF), WEISSLER Frederic (PREX).

**Doctorants et Post-docs** : ATTOUCHI Amal, BERTHE Paul-Marie, BEY Mohamed-Amine, CIOBANU Ioana, doctorante ONERA, CRESTAUX Thierry (ATER), GENIN Laure, GHOUL Tej-Eddine (ATER), GODEFROY Sylvain, LE Anh Ha, LEFEBVRE Matthieu, LIZE Benoît, MONTARU Alexandre, PHAN Quoc Hung, SARI Saida, TRAN Thi Bich Thuy (ATER).

**Autres** : RYAN Juliette (membre associé), SCARELLA Gilles (Ingénieur de recherche).

**Responsable** : WEISSLER Frederic

**Départs depuis 2008** : CAETANO Filipa, Post-doc, départ le 30-8-2009 ; LI Yuxiang (Nanjing U., Chine), Stagiaire post-doctoral, départ le 19-2-2009 ; DREYFUSS Pierre, Post-doc, départ le 30-8-2008 ; MERLET Benoît, MCF, départ le 30-6-2009 en détachement ; MOLINET Luc, MCF, départ le 30-8-2008 ; GOUARIN Loïc, Ingénieur de recherche, départ le 30-04-2010 ; ROZANOVA-PIERRAT Anna, ATER, départ le 31-08-2010.

**Arrivées depuis 2008** : CAETANO Filipa, Post-doc, arrivée le 1-9-2008 ; FRANCFORT Gilles, PR1, arrivé le 1-1-2011 ; LI Yuxiang (Nanjing U., Chine), Stagiaire post-doctoral, arrivé le 11-2-2008 ; MILISIC Vuk, CR1, arrivé le 1-9-2010 ; ROZANOVA-PIERRAT Anna, ATER, arrivée le 1-9-2009 ; SCARELLA Gilles, Ingénieur de recherche, arrivé le 7-2-2011 ; VENTO Stéphane, MCF, arrivé le 1-9-2008 ; WAINRIB Gilles, MCF, arrivé le 1-9-2011.

### THÈSES ET HABILITATIONS

**Thèses soutenues** : KOJOK Bassam, 4-4-2008 (directeur : L. Molinet) ; RICHEZ François, 29-05-2008 (directeur C. Basdevant) ; RIOU Jacques, 23-10-2009 (directeur C. Basdevant) ; MAHAMAME Amadou, 9-4-2009 (directeur : F. Benkhaloun) ; CISSÉ Ibrahima, 11-12-2009 (directrice : L. Halpern) ; MÉTIVIER Ludovic, 17-12-2009 (directrice : L. Halpern) ; BAUDRY Cécile, 13-9-2010 (directeur : O. Lafitte) ; PENEL Yohan, 13-12-2010 (directeur : O. Lafitte) ; NOUMIR Youness, 4-2-2011 (directeur : O. Lafitte) ; CRESTAUX Thierry, 26-5-2011 (directeur : O. Lafitte) ; TRAN Minh-Binh, 19-9-2011 (directrice : L. Halpern) ; LE Anh Ha, 25-10-2011. (directeur : P. Omnes) ; FIGLIUZZI Bruno, 28-10-2011 à l'École des Mines (co-directeur : M. Balabane) ; HAEBERLEIN Florian, 14-10-2011 (directrice : L. Halpern) ; GHOUL Tej-eddine, 5-12-2011 (directeur F. Weissler).

**Habilitations soutenues** :

OMNES Pascal, le 4-5-2010 : "Construction et analyse de méthodes de volumes finis".

### INVITATIONS

**Invités pour un mois** : BEN-ARTZI Matania, Université hébraïque de Jérusalem, (Israël), 2009 ; BONA Jerry, Université d'Illinois à Chicago (Etats-Unis), 2009 ; CONCA Carlos, Université du Chili, Santiago, 2008 ; EL MAHI Imad, Université d'Oujda (Maroc), 2008, 2010 ;

FORT Jaroslav, Université de Prague (République Tchèque) 2009, 2011; GANDER Martin, Université de Genève (Suisse), 2009, 2011; KAVALLARIS Nikos, University of the Aegean (Grèce), 2008; MGHAZLI Zoubida, Université Ibn Tofail à Kénitra (Maroc), 2011; QUITTNER Pavol, Comenius University, Bratislava (Slovaquie), 2010; RAUCH Jeffrey, Université de Michigan, Ann Arbor, (Etats-Unis), 2009, 2010, 2011; SAHMIN Slah, École Polytechnique de Tunisie, Tunis, 2011; SEAID Mohammed, Université de Durham (Royaume Uni), 2008, 2010; TITI Edriss, Université de Californie à Irvine (Etats-Unis), 2010; WINKLER Michael, Univ. Duisburg-Essen (Allemagne), 2009; ZUMBRUN Kevin, Université d'Indiana, Bloomington (Etats-Unis), 2009.

**Invités de courte durée :** BONA Jerry, Université d'Illinois à Chicago (Etats-Unis), 2008, 2010, 2011; CHEN Hongqiu, Université de Memphis (TN, Etats-Unis), 2008, 2009; DICKSTEIN Flavio, U. Federale de Rio de Janeiro (Brésil), 2009; ENQUIST Bjorn, Université du Texas à Austin (Etats-Unis), 2009; FURST Jiri, Université de Prague (République Tchèque), 2010, 2011; KWOK Felix, Université de Genève (Suisse), 2008; MANASEVICH Raul, Université du Chili, Santiago, 2011; MIZOGUCHI Noriko, Tokyo Gukugei University (Japon), 2009, 2010, 2011; SEAID Mohammed, Université de Durham (Royaume Unie), 2008; SZEFTTEL, Jeremy, Université Princeton (NJ, Etats-Unis) 2008; TAYACHI Slim, Faculté des Sciences de Tunis (Tunisie), 2011; TOUMA Jihad, Université américaine de Beyrouth (Liban), 2008.

**Postes rouge CNRS :** FORT Jaroslav, Université de Prague (République Tchèque), 2011; SEAID Mohammed, Université de Durham (Royaume Uni), 2009.

## RAPPORT DE SYNTHÈSE 2008–2012

### Présentation

Les activités de recherche de l'équipe Modélisation et Calcul Scientifique couvrent un spectre assez large de mathématiques appliquées. Elles portent à la fois sur la modélisation des problèmes industriels et appliqués, le développement des outils algorithmiques et l'étude théorique des modèles non linéaires. Ce travail est souvent motivé par des applications spécifiques dans les domaines, entre autres, de l'électromagnétisme, du micro-magnétisme, de la météorologie, de la turbulence, des instabilités laser, des sciences du vivant, du transport de sédiments et de polluants dans l'eau et de l'écoulement en milieu poreux des matières radioactives.

### Thèmes de recherche

**Mécanique des fluides numérique et turbulence :** Les travaux du groupe MFNT consistent en l'étude de schémas d'approximation d'équations aux dérivées partielles et en la simulation numérique de problèmes d'écoulements de fluides éventuellement réactifs turbulents. Ainsi des travaux de conception et d'analyse de schémas volumes finis ont été menés (en elliptique schéma DDFV par P. Omnes, en hyperbolique schéma cinétique par E. Audusse, schéma SRNH par F. Benkhaldoun, schéma de Godunov par P. Omnes et schéma upwind par B. Merlet), complétés par des travaux d'analyse d'erreur a posteriori (GNR Momas) pour opérateurs elliptiques linéaires et non linéaires et paraboliques non linéaires avec prise en compte de l'erreur due à la linéarisation (L. El Alaoui pour des schémas Élément finis et P. Omnes pour des schémas volumes finis). Les travaux de simulation numérique se sont développés dans plusieurs directions : météorologie et aérodynamique avec applications au contrôle (C. Basdevant); raffinement dynamique de maillage (F. Benkhaldoun), écoulements à surface libre (E. Audusse et F. Benkhaldoun); écoulements en milieux poreux avec applications au stockage de déchets radioactifs (L. El Alaoui); physique des plasmas (F. Benkhaldoun). L'ensemble de ces travaux a été l'occasion de nombreuses collaborations en interne et en externe (et internationales). De nombreux étudiants doctorants et post doctorants ont également été partie prenante de ces projets (S. Sari, J. Karel, A. H. Le).

**Décomposition de domaines :** Le groupe Modélisation multi-échelles et multi-domaines (MEMD) étudie les méthodes de décomposition de domaines d'un point de vue théorique (développement des méthodes de Schwarz-relaxation d'ondes, méthodes de raffinement local, étude de préconditionneur grille grossière) et développe des applications : au couplage océan-atmosphère (ANR COMMA), à la séquestration du CO<sub>2</sub> (ANR SHPCO<sub>2</sub>), à la fissuration (ANR epsilon), à la combustion (thèse ONERA), au couplage aéro-acoustique (collaboration ONERA), au stockage des déchets nucléaires (GNR Momas, thèse CEA). Ces travaux ont concerné sur la période trois permanents à temps plein (L. Halpern, C. Japhet et L. Gouarin), deux permanents à temps partiel (E. Audusse et B. Merlet), deux post-docs (P. Dreyfuss et P. Caetano), huit doctorants (I. Cissé, L. Métivier, M.B. Tran, F. Haerberlein, T.B. Tran, S. Godefroy, T.B. Dang et P.M. Berthe). En sus de ces travaux et en utilisant des outils différents, M. Balabane a montré la convergence d'une classe d'algorithmes de décomposition de domaines pour l'équation d'Helmholtz.

**Mathématiques appliquées aux sciences du vivant :** Les activités de l'équipe MCS liées au sciences du vivant s'orientent dans plusieurs directions : l'activité électro-cardiaque (L. El Alaoui), la motilité cellulaire (V. Milisic) et les phénomènes de concentration en temps infini pour la chimiotaxie (Ph. Souplet). Le travail sur l'électrophysiologie cardiaque consiste à optimiser la position de l'électrode du pacemaker dans les ventricules ainsi qu'à étudier la transmission du signal électrique à l'échelle de la cellule. Celui sur la motilité cellulaire porte sur les mouvements de cellules isolées, rendus possibles par la déformation d'un réseau interne de filaments d'actine enchevêtrés. Les liaisons entre les filaments sont à mémoire. Les travaux sur la chimiotaxie et sur l'expression de gènes favorables dans l'évolution de populations biologiques s'appuient sur des outils d'analyse asymptotique des systèmes paraboliques non-linéaires.

**Méthodes de propagation dans les problèmes hyperboliques haute fréquence :** Des membres de l'équipe étudient les problèmes asymptotique haute fréquence pour la propagation d'ondes (en particulier électromagnétiques) par la recherche de conditions aux limites absorbantes sur le bord d'un ouvert (L. Halpern, avec S. Petit, J. Szeftel, et O. Lafitte), ou des conditions au bord d'un objet (L. Halpern, O. Lafitte). D'autres étudient l'optique géométrique pour les solutions asymptotiques haute fréquence pour les ondes acoustiques (dans un gaz), tant du point de vue numérique que du point de vue théorique (O. Lafitte, Y. Noumir), ainsi que des problèmes d'équations intégrales (L. Halpern, O. Lafitte, B. Lize)

**Propriétés qualitatives des équations aux dérivées partielles non linéaires :** L'activité de l'équipe s'articule principalement autour des équations dispersives, des équations paraboliques et des systèmes elliptiques. Dans le domaine des équations dispersives, un premier axe de recherche, l'étude du caractère bien posé ou non du problème de Cauchy dans des espaces de faible régularité, porte sur des équations de type Schrödinger cubique et Benjamin-Ono périodique (L. Molinet), sur les équations de type KdV dans l'espace critique  $H^{-1}$  (S. Vento) et de KdV-Burgers (thèse de B. Kojok), ainsi que sur les équations de Zakharov-Kuznetsov dans des espaces de Sobolev et de Besov (S. Vento). Un deuxième axe de recherche, l'analyse des solitons, concerne les équations de type KdV à valeurs complexes, pour lesquelles la dynamique des singularités d'explosion de type "2-soliton" a été étudiée (F. Weissler, S. Vento) et l'équation de Camassa-Holm, pour laquelle la stabilité des solutions "multi-peakons" (solitons à profil pointu) a été obtenue (L. Molinet et K. El Dika). Pour l'équation de KP-Burgers, la stabilité des profils de choc de type KdV-Burgers a été établie (B. Kojok). Dans le domaine parabolique, des résultats d'explosion en un point unique ont été établis pour l'équation de Kardar-Parisi-Zhang, qui décrit l'évolution d'une interface par déposition ballistique (Ph. Souplet et Y. Li) et pour le système de réaction-diffusion de Friedman-Giga (Ph. Souplet). Une description asymptotique de la formation du "dead-core" pour l'équation de diffusion rapide avec absorption, ainsi que

des estimations universelles pour l'équation des milieux poreux avec source ont été obtenues (Ph. Souplet). Une autre partie des recherches concerne la géométrie de l'ensemble des solutions de l'équation de la chaleur avec source : non convexité de l'ensemble des données initiales pour lesquelles la solution est globale (F. Weissler, thèse de T. Ghoul), liens entre variété stable et variété de Nehari (F. Weissler, Ph. Souplet). Dans le domaine elliptique, l'activité porte principalement sur l'établissement de résultats de non existence de type Liouville et sur l'application de ces résultats aux questions de bornes a priori et d'estimation des singularités (Ph. Souplet). Pour le système de Lane-Emden, un résultat de Liouville optimal, conjecturé depuis le début des années 90, a été établi jusqu'en dimension 4. Des résultats de Liouville ont aussi été obtenus pour des systèmes de type Schrödinger liés aux modèles de condensats de Bose-Einstein. Un travail de thèse (Q. Phan) concerne le cas d'équations et systèmes avec poids, de type Hénon-Hardy. Par ailleurs, la régularité des solutions faibles pour des systèmes couplés a été étudiée (Y. Li).

### Séminaires organisés par l'équipe

- Séminaire d'Analyse Appliquée
- Séminaire Mathématiques-biologie
- Séminaire Économie et Mathématiques

### Colloques organisés ou co-organisés par les membres de l'équipe

- CANUM (congrès national d'analyse numérique), Saint Jean de Monts, 26-30/5/2008.
- Colloque international : "Fifth International Symposium on Finite Volumes for Complex Applications" (FVCA5), Aussois, 8-13/6/2008.
- Colloque international : "Evolution equations and dynamical systems" en l'honneur de Alain Haraux à l'occasion de son 60ème anniversaire, Hammamet, Tunisie, 23-27/3/2009.
- Colloque international : "Nonlinear evolution equations" en l'honneur de Fred Weissler à l'occasion de son 60ème anniversaire, IHP, Paris, 30/3-1/4/2009.
- Colloque international : "Défis actuels de la finance : Nouvelles approches théoriques et gestion des risques bancaires et financiers", Université Paris 13, 12-13/11/2009. (Colloque co-organisé avec le CEPN, 3 équipes du LAGA ont participé)
- International Workshop on Biomathematics and Biomechanics, Tozeur (Tunisie), 20-23/11/09.
- Workshop international : "High Performance Computing and CO2 Geological Storage", Port-Royal, 14-16/6/2010.
- Colloque international : "Numerical Methods for Interactions between sediments and water" (MENHYDRO 2010), Université Paris 13, 20-24/9/2010.
- Congrès européen "The Theory of Highly Oscillatory Problems : From Theory to Applications", Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Cambridge, 13-17/9/2010.
- Colloque international : "Sixth International Symposium on Finite Volumes for Complex Applications" (FVCA6), Université Technique de PRAGUE, République Tchèque, 6-10/6/2011.
- Minisymposium "space-time adaptive methods", (twentieth International Conference on Domain Decomposition), San Diego (Etats-Unis), 7-11/2/2011.
- Colloque international : "Numerical Approximations of Hyperbolic Systems with Source Terms and Applications", Roscoff, 19-23/9/2011.

### Contrats de l'équipe

#### Participation aux contrats ANR :

- Projet COMMA, ANR programme blanc, 2007-2010, porté par G.H. Cottet (LJK, Grenoble).

- Projet SHPCO2, ANR programme CIS, 2008-2011, porté par A. Michel (IFP).
- Projet METHOD, ANR programme blanc, 2008-2011, porté par S. Cordier (MAPMO, Orléans).
- Projet EPSILON, ANR programme blanc, 2009-2012, porté par J.J. Marigo (LJLRA).
- Projet MANDy, ANR programme blanc, 2009-2012, porté par M. Thioullien (LPMA, Paris 6).

**Participation aux GDR/GNR : MOAD, MoMaS.**

**Contrats CIFRE :**

- IFP (division géologique, géophysique), 2006-2009 (thèse de Métivier).
- EADS, 2006- 2009 (thèse de Noumir).
- IFP (division mathématiques appliquées), 2008-2011 (thèse de Haerberlein).
- EADS 2010 - 2013 (thèse de Lize).

## **Relations internationales de l'équipe**

**Projets internationaux :**

- ECOS # C08E04 France-Chili, 2009-2011. Partenaires hors LAGA : LMPT Univ. Tours, Univ. de Chile (Santiago), Pontificia Univ. Catolica (Santiago). Porteur du projet pour la France : Ph. Souplet (LAGA).
- Euromed 3+3 MhyCof, 2009-2011, porté pour la France par H. Guillard, INRIA. Partenaires étrangers : Univ. de Pise (Italie), Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Ecole Mohammadia d'Ingenieurs, Univ. Ibn Zoh d'Agadir (Maroc), Ecole polytechnique de Tunisie.

**Encadrement de stagiaire post-doctoral étranger au LAGA :**

LI Yuxiang, Nanjing U., Chine, 11/2/2008-19/2/2009.

**Thèses en co-tutelle à l'étranger avec des membres de l'équipe :**

KAREL Jan, Prague (directeur pour le LAGA : F. Benkhaldoun).

MAHMOUDI Nejib, Faculté des Sciences de Tunis (directeur pour le LAGA : Ph. Souplet).

**Cours doctoraux à l'étranger : (O. Lafitte)**

Université d'Indiana, Bloomington (Etats-Unis), 4/2010.

Université de Timisoara Ouest (Roumanie), missions ERASMUS, 7/2008, 3/2009, 3/2011.

**Co-auteurs étrangers des articles avec des membres de l'équipe :**

K. AMMAR, TU Berlin, Allemagne ; B. BARKER, Université d'Indiana, Bloomington, Etats-Unis ; J. BONA, Université d'Illinois à Chicago, Etats-Unis ; F. DICKSTEIN, U. Federale, Rio de Janeiro, Brésil ; I. EL MAHI, Université d'Oujda, Maroc ; J. FORT, Université de Prague, République Tchèque ; M. GANDER, Université de Genève, Suisse ; A. GIACOMINI, Università degli Studi di Brescia, Italie ; J-S GUO, Tamkang University, Taipei, Taiwan ; J. HALAM, Université de Prague, République Tchèque ; H. HERRERO, Université de Castilla la Mancha, Ciudad Real, Espagne ; J. HUMPHERYS, Université Brigham Young, Provo, Utah, Etats-Unis ; N. KAVALLARIS, U. of the Aegean, Grèce ; R. KLEIN, FU Berlin, Allemagne ; Y. LI, Nanjing U., Chine ; C-T LING, National Taiwan Normal U., Taipei, Taiwan ; Z. MGHAZLI, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc ; N. MIZOGUCHI, Tokyo Gakugei U., Japon ; M. MORA, SISSA, Trieste, Italie ; A. MUSESTI, Università degli Studi di Brescia, Italie ; D. ÖLZ, Radon Institute for Computational and Applied Mathematics (RICAM), Vienne, Autriche ; A. OWINOH, FU Berlin, Allemagne ; F. PLA, Université de Castilla la Mancha, Ciudad Real, Espagne ; P. QUITTNER, Comenius U., Bratislava, Slovaquie ; J. RAUCH, Université de Michigan, Ann Arbor, Etats-Unis ; F. RIEPER, Goethe-Universität Frankfurt/Main, Allemagne ; S. SAHMIN, École Polytechnique de Tunisie, Tunis ; M. SEAID, Université de Durham, Royaume Unie ; S. TAYACHI, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie ; M. WINKLER, U. Paderborn (depuis 2010), Allemagne ; M. WILLIAMS, Université de North Carolina à Chapel Hill, Etats-Unis ; K. ZUMBRUN, Université d'Indiana, Bloomington, Etats-Unis.

# E4 – Équipe Physique mathématique et EDP

## Rapport de l'équipe

COMPOSITION DE L'ÉQUIPE AU 1-1-2012

### Chercheurs et Enseignants-Chercheurs :

H. Boumaza (MCF), J.-M. Delort (PREX), D. dos Santos Ferreira (MCF), T. Duyckaerts (PR2), K. El Dika (MCF), D. Gamblin (PRAG), A. Grigis (PREX), B. Pausader (CR2), E. Schenck (MCF), H. Zaag (DR2), M. Zerzeri (MCF).

### Doctorants et Post-docs :

F. Abou-Shakra (Doctorante), A. Azaiez (Doctorante), H. Dogguy (Doctorant-Moniteur), A. T. Duong (Doctorant), A. Ebde (ATER), F. Hoeckner (Doctorant-ATER), D. Parlongue (Doctorant), C. Shirley (Doctorant), T. P. Trinh (Doctorant), E. Vasilevskaya (Doctorante), N. Veniaminov (Doctorant).

**Chercheur associé :** G. Dartois (MCFHC).

**Responsable :** Jean-Marc Delort

**Départs depuis 2008 :** F. Planchon (PR1, mutation à Nice en 2010), M. Dimassi (MCF, recrutement comme professeur à Bordeaux en 2011), F. Klopp (PR1, mutation à Paris VI en 2011), G. Dartois (MCFHC départ en retraite en 2011), G. de Nittis (Post-doc, départ en 2011).

**Arrivées depuis 2008 :** A. Boumaza (MCF, recruté en 2009), T. Duyckaerts (PR2, recruté en 2011), B. Pausader (CR2, affecté au LAGA en 2011), E. Schenck (MCF, recruté en 2011).

### THÈSES ET HABILITATIONS

**Thèses soutenues :** M. A. Ebde (Zaag, Paris 6, 2010), Z. Hachemaoui (Planchon, Paris 13, 2009), Y. Kitakagi (Klopp, Kyoto, 2011), A. Metelkina (Klopp, Paris 13, 2011), N. Nouaili (Zaag, Paris 6, 2008), Q. Zhang (Delort, Paris 13, 2010).

**Habilitation soutenue :** H. Baklouti (Sfax, 2010), D. dos Santos Ferreira (Paris 13, 2011).

### INVITATIONS

Maciej Zworski a obtenu une Chaire d'Excellence de six mois attribuée par l'université au LAGA. Il a poursuivi dans ce cadre là ses recherches dans le laboratoire, pendant quatre mois au printemps 2011 et deux mois à l'automne de la même année.

### Invités pour un mois :

**2008–2009 :** Y. Tsutsumi (Université de Kyoto), P. Stefanov (Purdue University).

**2009–2010 :** J. Shenker (Michigan State University, East Lansing)

**2010–2011 :** A. Fedotov (Université de Saint-Pétersbourg), V. Ivrii (Université de Toronto), F. Nakano (Gakushuin University).

**2011–2012 :** M. Belhassoued (Université de Bizerte), A. Martinez (Université de Bologne), G. Uhlmann (Université de Washington).

**Invités sur projet PICS :** A. Fedotov ((Université de Saint-Pétersbourg, en 2008, 2009 et 2010, A. Pozharskiy, (Université de Saint-Pétersbourg, en 2010).

**Invités de courte durée :** V. Buslaev (Université de Saint-Pétersbourg, en 2010), P. Germain (Courant Institute, deux semaines en 2012), M. A. Hamza, (Faculté des Sciences de Tunis, 3

fois une semaine en 2009 et 2010), P. Hislop, (University of Kentucky, Lexington, en 2011), M. A. Jendoubi, (Faculté des Sciences de Bizerte, en 2009), G. Raikov, (Pontificia Universidad Católica de Chile, en 2011), Y. Rebai, (Faculté des Sciences de Bizerte, 3 fois quinze jours en 2008, 2009, 2011), S. Tayachi, (Faculté des Sciences de Tunis, une semaine en 2010), I. Mhrez (École polytechnique de Tunisie, en 2011), Y. Mimura (Doctorant de Tokyo University, 2 mois en 2010). T. Watanabe (Post-doctorant de Ritsumeikan University, Kyoto, 3 mois en 2009).

## RAPPORT DE SYNTHÈSE 2008–2012

### Présentation

Au cours de la période de référence, l'équipe a connu une importante évolution de sa composition. Deux professeurs, Fabrice Planchon et Frédéric Klopp, ont obtenu des mutations dans d'autres établissements, et un maître de conférences a été recruté comme professeur dans une autre université. Ces départs ont été en partie compensés par de nouveaux recrutements, à savoir deux maîtres de Conférences et un professeur. En outre, un chargé de recherches au CNRS nouvellement recruté, spécialiste d'équations aux dérivées partielles non-linéaires, a rejoint l'équipe à compter du 1er Janvier 2012. Le bilan fait donc apparaître une stabilité globale du potentiel de recherche de l'équipe. Il faut toutefois noter que le départ de Frédéric Klopp affaiblit la composante "Physique Mathématique" au niveau des membres seniors. Il faudra donc veiller à compenser ce départ dès que se présentera l'opportunité d'attirer au LAGA un excellent professeur ou directeur de recherches se rattachant à cette thématique.

### Thèmes de recherche

Les deux thèmes de recherche principaux développés au sein de l'équipe concernent, d'une part, la physique mathématique et la théorie spectrale, et, d'autre part, les équations d'évolution non-linéaires.

#### *Physique mathématique et théorie spectrale*

**Résonances** : Maher Zerzeri s'est intéressé au comportement asymptotique du semi-groupe d'évolution de l'opérateur de Schrödinger en temps grand, au voisinage d'un maximum du potentiel, en fonction des résonances. Cela l'a conduit, avec ses collaborateurs, à établir des formules explicites pour le projecteur spectral associé à une résonance, pour l'amplitude de diffusion, ainsi qu'à obtenir une description des zones sans résonances en fonction des propriétés dynamiques du Hamiltonien classique.

Ce thème de recherches a également été développé par Alain Grigis. En collaboration avec André Martinez, il a étudié la largeur des résonances pour un système d'opérateurs pseudo-différentiels modélisant la pré-dissociation moléculaire. Dans des travaux en cours avec Buslaev et Pozarskyi, il s'intéresse aux résonances pour des opérateurs homogènes.

**Localisation de fonctions propres** : Ce sujet de recherche a mobilisé pendant son post-doctorat G. de Nittis : il s'est intéressé aux aspects topologiques de l'effet Hall quantique pour des opérateurs de Harper généralisés ainsi qu'à la localisation de fonctions de Wannier avec un champ magnétique périodique. Il a d'autre part travaillé à la construction de la transformée de Bloch-Floquet pour les quasi-cristaux, en collaboration avec J. Bellissard.

**Théorie spectrale des opérateurs aléatoires et localisation d'Anderson** : Cette thématique est au cœur des travaux de Frédéric Klopp. Il a étudié les statistiques spectrales pour

les opérateurs aléatoires dans le régime localisé, l'ergodicité asymptotique des valeurs propres des opérateurs aléatoires dans le régime localisé, les estimées de Minami générales en dimension 1 d'espace, les estimées de Wegner optimales et la localisation pour le modèle de déplacement aléatoire. Ces derniers thèmes ont également été abordés dans la thèse de Y. Kitagaki.

Le phénomène de la localisation d'Anderson, qui décrit des phénomènes de transport électronique dans les milieux désordonnés, est étudié par Hakim Boumaza. Il considère principalement le cas quasi-unidimensionnel en vue d'obtenir, par approximation, des résultats en dimension 2. Cela l'amène à faire le lien entre propriétés spectrales et dynamiques des opérateurs étudiés.

**Théorie spectrale pour des opérateurs déterministes** : Il s'agit d'une ligne de recherche développée au sein de l'équipe par Mouez Dimassi et Maher Zerzeri. Ils ont prouvé une asymptotique complète de la fonction de décalage spectral de l'opérateur de Schrödinger périodique, dans le cas de perturbations à variation lentes ou faisant intervenir une grande constante de couplage. Ils en ont déduit des résultats d'absence de valeurs propres plongées ou de résonances près de l'axe réel.

Les questions de calculs d'exposants de Lyapounov et de densité d'états pour des opérateurs de Schrödinger à potentiels périodiques ont été abordées par A. Metelkina, dans sa thèse effectuée sous la direction de F. Klopp.

En ce qui concerne la théorie spectrale des opérateurs à Hamiltonien non semi-bornés, tels les opérateurs de Stark avec ou sans champ magnétique, M. Dimassi a obtenu une formule de Weyl avec reste optimal. Un résultat analogue a été démonté pour un modèle de réseaux de poutres d'Euler-Bernouilli, avec application à des résultats d'observabilité et de stabilisation.

Enfin, E. Schenck, récemment recruté, travaille sur la théorie spectrale d'opérateurs non-auto-adjoints, en lien avec les propriétés géométriques et dynamiques du problème classique associé.

Enfin, au cours de l'année 2011, Maciej Zworski a obtenu une Chaire d'Excellence de six mois accordée par l'université. Il a poursuivi ses travaux de recherche consacrés aux lois de Weyl fractales, au contrôle pour l'équation de Schrödinger, et aux estimations de fonctions propres appliquées à la compression de données, au sein de la composante dédiée à la Physique mathématique de l'équipe. En outre, il a donné au cours de son séjour deux mini-cours, à destination des chercheurs (et en particulier des doctorants) de l'équipe. Le premier de ceux-ci, consacré à la théorie des résonances, d'une durée d'une vingtaine d'heures, fait l'objet de notes de cours dactylographiées destinées à former la matière première d'un livre. Le second mini-cours, d'une durée de six heures, était centré sur les travaux récents de l'orateur et de ses collaborateurs sur les solitons pour l'équation de Schrödinger non-linéaire perturbée par un potentiel.

### *Équations d'évolution non-linéaires et analyse harmonique*

**Équations dispersives non-linéaires** : L'étude du comportement asymptotique de solutions d'équations dispersives est développée au sein de l'équipe tout particulièrement par Hatem Zaag. C'est ainsi qu'il a poursuivi, en collaboration avec Frank Merle, le développement d'un programme consacré à l'étude précise des points d'explosion pour les solutions d'équations des ondes semi-linéaires en dimension 1 ou en dimension supérieure radiale (avec M. Hamza).

Il a en outre étudié avec plusieurs collaborateurs, dont M. Ebde ; le comportement asymptotique à l'explosion de solutions d'équations paraboliques (chaleur, Ginzburg-Landau).

En ce qui concerne l'étude asymptotique de solutions globales d'équations dispersives, Thomas Duyckaerts a étudié le cas critique pour l'équation des ondes focalisante. Il a décrit, en collaboration avec Carlos Kenig et Frank Merle, le comportement asymptotique des solutions bornées de cette équation.

Fabrice Planchon a travaillé sur les estimations dispersives pour des équations du type ondes ou Schrödinger dans des domaines à bord. Il a appliqué ces inégalités à l'étude du problème de Cauchy local ou global pour ces équations sur de tels domaines. Les estimations dispersives pour les équations d'Einstein étaient également au cœur des travaux de thèse de Z. Hachemaoui. Khaled El Dika se consacre à l'étude du comportement qualitatif d'équations d'ondes non linéaires dispersives (stabilité, stabilité asymptotique des solitons et multi-solitons). Dans un tout autre domaine, il applique de la théorie des jeux à champ moyen à l'économie et à la finance.

**Problèmes d'existence en temps grand de solutions d'équations non-linéaires :** L'étude de la stabilité de la solution triviale de l'équation de Klein-Gordon linéaire perturbée par une non-linéarité Hamiltonienne a été au cœur des travaux menés par Jean-Marc Delort. L'existence de solutions presque globales à ce problème, posé sur une sphère (ou plus généralement une variété de Zoll), lorsque les données sont régulières et petites, a été prouvée dans les cas semi-linéaire (avec Bambusi, Grébert et Szeftel) et quasi-linéaire. Des résultats plus faibles ont été obtenus pour d'autres géométries par J.-M. Delort et Q. Zhang.

**Bornes uniformes de normes Sobolev de solutions d'équations linéaires :** Il s'agit de démontrer des majorations en  $H^s$  pour les normes  $H^s$  avec  $s$  grand de solutions d'équations du type Schrödinger linéaire avec potentiel dépendant du temps, sur certaines variétés compactes (tores, sphères). Des simplifications et extensions de résultats connus ont été obtenues par J.-M. Delort et Q. Zhang.

**Contrôle des équations aux dérivées partielles :** Ce thème de recherche a été abordé par Thomas Duyckaerts, en particulier pour des équations d'onde semi-linéaires (collaboration en cours avec Armen Shirikyan) et des équations paraboliques linéaires (avec Luc Miller).

**Problèmes inverses et analyse harmonique :** L'étude de problèmes inverses anisotropes est l'un des principaux thèmes de recherche développés par David dos Santos. Il s'intéresse à des versions géométriques du problème inverse de la conductivité de Calderón. D'autre part, dans le domaine de l'analyse harmonique, David dos Santos étudie la continuité dans des espaces de Lebesgue à poids d'opérateurs intégraux de Fourier.

### Séminaires organisés par l'équipe

Les membres de l'équipe travaillant en théorie spectrale se réunissent certains lundi après-midi dans le cadre d'un groupe de travail organisé sur ce thème de recherche.

Hatem Zaag, en collaboration avec Stéphane Vento (membre de l'équipe "Mathématiques appliquées et calcul scientifique"), organise un séminaire consacré aux équations aux dérivées partielles non-linéaires, transverse aux deux équipes, qui a lieu certains vendredi après-midi.

Jean-Marc Delort organise en collaboration avec Thomas Kappeler, Herbert Koch et Maciej Zworski un vidéo-séminaire, consacré aux équations aux dérivées partielles, commun aux universités de Paris-Nord, Zürich, Bonn et Berkeley. Six à sept séances sont organisées chaque année, avec un orateur situé dans l'un des quatre sites alternativement.

### Colloques organisés par les membres de l'équipe

- Programme thématique de l'Institut Henri Poincaré "Ondes non-linéaires et dispersion" co-organisé par Fabrice Planchon, d'avril à juin 2009. Ce programme a comporté entre autres deux colloques, en avril et juin.

- Colloque “Théorie spectrale et analyse semi-classique”, co-organisé par J.-M. Delort et F. Klopp, du 21 au 23 septembre 2009 à l’université Paris-Nord, à l’occasion du soixantième anniversaire d’Alain Grigis.
- Colloque “Défis actuels de la finance : Nouvelles approches théoriques et Gestion des risques bancaires et financiers” organisé par K. El Dika les 12 et 13 novembre 2009 à l’Université Paris 13.
- Colloque “PDEs for Engineering Nanoscience and Biology”, organisé par H. Zaag du 17 au 21 mai 2010, à Hammamet, Tunisie.
- Semestre spécial “Spectral and Dynamical Properties of Quantum Hamiltonians” organisé par F. Klopp au Centre Interfacultaire Bernoulli, EPFL, Lausanne, de Janvier à Juin 2010.
- Colloque “Ondes non-linéaires et dispersion” organisé à l’IHES par Fabrice Planchon, du 21 au 23 juin 2010.
- Rencontre “Équations d’évolution non-linéaires dispersives”, co-organisée par N. Burq et J.-M. Delort au CIRM, du 28 juin au 2 juillet 2010.
- Mini-symposium “Opérateurs aléatoires et quasi-périodiques”, organisé par Frédéric Klopp dans la cadre du ECM 5, Amsterdam, du 14 au 18 juillet 2010.
- Colloque “Ondes semi-classiques”, co-organisé par J.-M. Delort, F. Klopp et M. Zworski à l’université Paris-Nord, du 5 au 7 avril 2011.

### **Contrats de l’équipe**

- Jean-Marc Delort était coordinateur local du projet ANR “Equa-disp” regroupant des chercheurs de Nice, Orsay et Rennes de 2007 à 2011. Les autres membres de l’équipe participant à ce projet étaient D. dos Santos, K. El Dika et F. Planchon.
- Khaled El Dika est responsable du projet BQR “Applications de la Théorie des Jeux à Champ Moyen : contribution à l’analyse du risque financier et à l’économie de la science”.
- Alain Grigis était membre du GDR européen MPHIQ en 2007-2008, du programme franco-tunisien (Klopp) et du programme CNRS franco-russe (Klopp-Fedotov).
- Frédéric Klopp était coordinateur d’un projet ANR “Étude mathématique du transport électronique en milieu désordonné” de 2008 à 2012.
- Frédéric Klopp était co-responsable avec A. Fedotov (Université de Saint-Petersbourg) d’un projet CNRS PICS Russie “Asymptotic and spectral methods for periodic and almost periodic operators” avec A. Fedotov (U. St Pétersbourg).
- Frédéric Klopp était responsable avec H. Najjar d’un projet CMCU “Théorie spectrale et applications” de 2007 à 2011.
- Fabrice Planchon était membre des projets ANR SWAP et ONDENONLIN.
- Hatem Zaag est membre du Projet Européen Marie-Curie “DEASE”, coordonné par Norbert Mauser à Vienne, et du projet ANR OndeNonLin coordonné par F. Merle à Cergy.

### **Relations internationales de l’équipe**

Courant Institute, New-York University ; École Polytechnique de Tunisie ; Faculté des Sciences de Bizerte ; Faculté des sciences de Monastir ; Heriot-Watt University (Edimbourg) ; Hyogo University (Japon) ; Princeton University ; Ritsumeikan University (Kyoto) ; Université de Bologne ; Université de Saint-Petersbourg ; Université de Santiago du Chili ; Université de Sfax ; Université du Zhejiang à Hangzhou (Chine) ; University of California, Berkeley ; University of Chicago ; Tokyo University.

# E5 – Équipe de Probabilités et Statistiques

## Rapport de l'équipe

COMPOSITION DE L'ÉQUIPE AU 1-1-2012

**Chercheurs et Enseignants-Chercheurs** : M. Ben Alaya (MCFHC), L. Campi (PR2), J.S. Dhersin (PR2), Charles El-Nouty (PR2, à partir de 1-1-2012), I. Gaudron-Trouvé (MCFHC), Y. Hu (PR1), A. Kebaier (MCF), P. Marchal (CR1), M. Mrad (MCF), E. Nualart (MCF), L. Tournier (MCF).

**Doctorants et Post-docs** : K. Hajji (dir : M. Ben Alaya, A. Kebaier et E. Nualart), T. Madaule (dir : Y. Hu), K. Tran Ngoc (dir : E. Nualart), B. Traoré (dir : J.S. Dhersin), L. Yuan (dir : J.S. Dhersin).

**Responsable** : F. Russo (jusqu'à 09/2008), Y. Hu (depuis 09/2008).

**Départs depuis 2007** : E. Kuhn (2009, devenue CR à l'INRA), N. Oudjiane (2011, EDF, fin de contrat de PAST), D. Rosenberg (2009, devenue Pr à l'HEC), F. Russo (2008, délégation à l'INRIA puis en 2010 détachement à l'ENSTA), M. Wouts (2011, Mise à disposition à la Société Générale).

**Arrivées depuis 2007** : L. Campi (2011, venu de Paris Dauphine), J.S. Dhersin (2009, venu de Paris Descartes), A. Kebaier (2007, venu de Marne-la-Vallée), P. Marchal (2010, venu de l'ENS Paris), M. Mrad (2010, venu de l'École Polytechnique), L. Tournier (2011, venu de Lyon 1).

## THÈSES ET HABILITATIONS

### Thèses soutenues :

1. Mirko Stefano MEGA (Dir : Francesco Russo et Marco Isopi) : *Instruments financiers pour le marché des réseaux de télécommunications*, soutenue le 05 juillet 2010. Risk Analyst, ENEL Rome.
2. Cristina DI GIROLAMI (Dir : Francesco Russo) : *Calcul stochastique via régularisation en dimension infinie et applications financières. Structure de taux et dépendance de variables macroéconomiques*, soutenue le 05 juillet 2010 ; actuellement MCF à l'Université du Maine Le Mans.
3. Stéphane GOUTTE (Dir : Francesco Russo) : *Couverture quadratique en marché incomplet pour des processus à accroissements indépendants et applications au marché de l'électricité*, soutenue le 05 juillet 2010. PostDoc CNRS à P6-7 depuis 2010.
4. Gabriel FARAUD (Dir : Yueyun Hu) : *Sur certains processus aléatoires en milieu aléatoire*, soutenue le 03 septembre 2010. Actuellement PostDoc à WIAS Berlin.
5. Ida KRUK (Dir : Francesco Russo) : *Intégrales de Paley-Wiener et calcul de Malliavin-Skorohod pour des procédures gaussiens*, soutenue le 09 décembre 2010. Actuellement Analyste Financière à la banque cantonale de Genève.
6. Antoine SALOMON (Dir : D. Rosenberg) : *Apprentissage statistique stratégique*, soutenue le 13 décembre 2010. Actuellement PostDoc à l'École des Ponts Paris-Tech.

### Habilitations soutenues :

E. Nualart (2009), P. Marchal (2010).

## INVITATIONS

### Invités pour un mois :

F. Viens (Univ. Purdue, 2007–2008), N. Gantert (Univ. Munster, 2008–2009), D. Khoshnevisan (Univ. Utah, 2009–2010), V. Vatutin (Moscow, Steklov Mathematical Institute, 2009–2010), M. Möhle (Univ. Tübingen, 2010–2011), L.Q. Sardanyons (Univ. Barcelone, 2010–2011).

**Invités de courte durée :** F. Chaabane (Univ. Tunisie, une ou deux semaines en 2008, 2009 et 2010).

## RAPPORT DE SYNTHÈSE 2008–2012

### Présentation

Au sein de l'équipe, un groupe significatif des enseignants-chercheurs (M. Ben Alaya, L. Campi, A. Kebaier et M. Mrad) s'est formé autour des mathématiques financières et des probabilités numériques. Les autres membres de l'équipe étudient les différents aspects de calcul stochastique, tels que les superprocessus et les coalescents (J.S. Dhersin), les marches aléatoires en milieux aléatoires (Y. Hu et L. Tournier), les processus de Lévy (P. Marchal) et le calcul de Malliavin (E. Nualart, A. Kebaier). La forte interaction entre les deux groupes passe par l'utilisation commune d'outils très fins de calcul stochastique ; par exemple, M. Ben Alaya, A. Kebaier et E. Nualart encadrent en commun la thèse de K. Hajji qui étudie la simulation numérique d'une solution d'EDS avec un nouvel algorithme de réduction de variance.

Outre le séminaire régulier sur des thèmes de recherche proches des membres d'équipe, on a aussi organisé des groupes de travail autour des "Markov Chains and Mixing Times" (2008–2009) et des "Marches aléatoires sur des arbres" (2009–2010).

Les membres de l'équipe sont actifs dans leurs domaines de recherche : ils sont régulièrement invités dans des conférences internationales et ils bénéficient de divers contrats de recherche (ANR, Chaire).

### Thèmes de recherche

**Mathématiques financières, Probabilités numériques :** L'équipe s'est considérablement renforcée dans cette direction en recrutant L. Campi (Pr, en 2011), A. Kebaier (Mcf, en 2007) et M. Mrad (Mcf à l'IUT de Saint-Denis en 2010).

- **Mohamed Ben Alaya :** Ses travaux de recherche ont porté sur des thèmes qui trouvent des applications dans les sciences de l'ingénieur, en particulier en mathématiques financières et en physique. Plus précisément, les sujets de recherche sur lesquels il a travaillé sont les probabilités numériques, méthodes de Monte Carlo, propagation de Chaos, méthode particulière, algorithmes stochastiques, extensions des lois stables et semistables au sens du max et de la somme, estimation paramétrique et inférence statistique.
- **Luciano Campi :** Ses principaux thèmes de recherche sont *Marchés financiers avec coûts de transaction proportionnels, Asymétrie d'information et risque de crédit* et *Evaluation et couverture d'options dans les marchés de l'énergie*. Les problèmes de pricing et hedging de produits dérivés est bien compris dans les modèles de marché sans frictions tel Black-Scholes. Dans la réalité, les investisseurs font face à plusieurs types d'imperfections de marchés tels les coûts de transactions. L'introduction de ces coûts dans la modélisation est assez délicate du point de vue mathématiques. Les recherches de L. Campi se

sont focalisées surtout sur des problèmes de sur-replication et de investissement optimal dans ce type de marchés où les coûts peuvent être assez irrégulier et aléatoires. D'autre part, il s'est intéressé à des modèles d'équilibre de marché avec trois types d'agents, dont un plus informé que les autres (initié ou insider), les techniques mathématiques utilisées sont basées sur une étude fine des ponts markoviens et leurs généralisations. Enfin, sur les marchés de l'énergie, L. Campi s'est intéressé surtout à mettre au point un modèle réaliste et tractable du prix spot et des combustibles.

- **Ahmed Kebaier** : Il a travaillé en collaboration avec Arturo Kohatsu-Higa sur les problèmes d'estimation de densités de diffusions. Ils ont développé un nouvel algorithme de réduction de variance pour l'estimation de ces densités. Par des techniques basées sur le calcul de Malliavin, ils ont démontré un théorème de la limite centrale pour cet algorithme. Il a aussi travaillé en collaboration avec Faouzi Chaabane et Hamdi Fathallah sur des extensions autour des théorèmes limites de type presque sûre pour des martingales quasi-continues à gauche, en temps continu. Ils ont aussi développé des illustrations en statistique de l'application des nouveaux théorèmes limites qu'ils obtiennent. Il s'est intéressé également, en collaboration avec Mohamed Ben Alaya, à établir des résultats de convergences pour l'estimation globale ou partielle des paramètres dans le modèle Cox-Ingersoll-Ross dans le cas où ce dernier n'est pas forcément ergodique. Ils ont obtenu suivant les cas, des vitesses de convergence différentes avec diverses lois limites.
- **Mohamed Mrad** : En collaboration avec Nicole El Karoui, il a étudié des problèmes en mathématiques financières tels que les processus d'utilités stochastiques, en utilisant des approches basées sur des EDPS non-linéaires avec contraintes de type cônes stochastiques ou par des méthodes probabilistes beaucoup plus abstraites. En introduisant la théorie des flots stochastiques dans ses problèmes d'optimisation, ils caractérisent toutes les utilités stochastiques par la composé de deux champs aléatoires inversibles. Ils ont, aussi, construit explicitement des champs d'utilités stochastiques en utilisant les fonctions espace-temps harmoniques, la transformée de Mellin des processus stochastiques et en utilisant le principe de Pareto-optimalité. En collaboration avec Anis Matousi (université du Maine) il travaille sur les EDP stochastiques avec sauts, et avec Gonçalo Dos Reis (université de Berlin) sur les prix d'indifférences associés à ces nouvelles utilités stochastiques. M. Mrad a aussi travaillé sur le projet Credinext ; une plateforme de valorisation indépendante de dérivés de crédit et d'obligations structurées non liquides.

**Calculs Stochastiques** : L'équipe a poursuivi son développement sur des différents thèmes en calcul stochastique, avec l'arrivée de J.S. Dhersin (Pr, 2009), P. Marchal (CR1, 2010) et L. Tournier (Mcf, 2011) :

- **Jean-Stéphane Dhersin** : Il a travaillé sur l'étude de superprocessus, et s'intéresse depuis quelques temps à certains processus intervenant en évolution des populations. Avec Jean-François Delmas et Arno Siri-Jégousse (leur ancien étudiant commun), il a étudié le comportement au cours du temps des deux familles les plus anciennes d'un processus de Wright-Fisher. Mais sa contribution essentielle dans le domaine est l'étude de caractéristiques des  $\Lambda$ -coalescents, intervenant dans la modélisation de populations dont les descendance ont de fortes variances. Il a obtenu avec Jean-François Delmas et Arno Siri-Jégousse des résultats sur le comportement de la longueur totale de l'arbre de coalescence, qui intervient dans l'estimateur de Watterson du taux de mutation d'une population, et avec Martin Möhle, Fabian Freund, Arno Siri-Jégousse, et Linglong Yuan (son étudiant) plusieurs résultats sur les longueurs des branches externes de ces processus de coalescence, qui interviennent dans le test de neutralité de Fu et Li par exemple. Enfin,

il s'intéresse à la modélisation d'évolutions d'épidémies par des processus aléatoires. Motivé par des contacts avec des personnes de l'Institut de Veille Sanitaire, il a obtenu des résultats sur l'évolution de certaines épidémies dans le cas de populations ouvertes, ou encore sur le comportement asymptotique d'épidémies sur des graphes.

- **Yueyun HU** : Ses principaux thèmes de recherche sont les marches aléatoires branchantes et les marches aléatoires en milieux aléatoires dans des arbres. Ces deux thèmes sont intimement liés, par exemple, le potentiel d'une marche en milieu aléatoire dans un arbre est exactement une marche aléatoire branchante. Pour les marches aléatoires branchantes, avec Z. Shi, ils ont étudié le problème des positions extrémales et la renormalisation de la martingale additive (T. Madaule, actuellement en thèse, a continué la recherche sur les processus extrémaux), avec N. Gantert et Z. Shi, ils ont résolu une conjecture de R. Pemantle sur la probabilité de survie et avec E. Aidékon et O. Zindy, ils ont résolu une conjecture de D. Aldous sur les marches branchantes tuées en zero ; Pour les marches dans des arbres, avec G. Faraud (ancien thésard) et Z. Shi, ils ont étudié les maximum des fluctuations des marches dans le régime très lent. Il a aussi étudié des modèles de polymère avec charges, en collaboration avec D. Khoshnevisan et M. Wouts, et avec N. Yoshida, des marches branchantes en environnement aléatoire.
- **Philippe Marchal** : Ses travaux de recherche sont centrés sur trois thèmes : concentration de la mesure, processus de Lévy et arbres aléatoires. Avec C. Houdré et P. Reynaud-Bouret, ils ont étudié un phénomène de concentration pour les normes  $\ell^p$ ,  $p \geq 2$ , de vecteurs dont les coordonnées sont i.i.d et indéfiniment divisibles. Parmi les extensions possibles, il s'intéresse aux normes de vecteurs à coordonnées iid de loi générale (article soumis) et à des distances à certains ensembles dans les cas indéfiniment divisible dans un travail en cours. En collaboration avec C. Houdré, ils ont étudié l'ordre de grandeur de la médiane et des fluctuations d'un processus de Lévy général, dans le cas asymptotiquement stable en temps petit. Il a aussi étudié des asymptotiques en temps petit des probabilités de transition pour un processus de Lévy réel et a mis en évidence une construction récursive des arbres stables qui permet d'étudier la fragmentation associée. Cette construction d'arbres semble pouvoir s'adapter à la construction de trajectoires de processus qui fait un travail en cours.
- **Eulalia Nualart** : Elle est spécialisée en calcul de Malliavin et équations différentielles stochastiques. Avec D. Khoshnevisan, R. Dalang et F. Viens elle a étudié des propriétés fines de certaines équations aux dérivées partielles stochastiques, comme l'équation des ondes et l'équation de la chaleur. Ces propriétés fines concernent par exemple le calcul de la probabilité que la solution de l'équation visite, pendant sa trajectoire, un certain ensemble en termes d'une fonction qui dépend de la géométrie de l'ensemble, ou la dimension de Hausdorff du graphe de la solution de l'équation. Cela impose d'étudier des problèmes techniques difficiles tels que des minoration de densités de solutions de systèmes d'EDPS dirigés par un bruit blanc espace-temps, ou la majoration de densités bivariés de la solution de systèmes d'EDPS perturbés par un bruit cylindrique de covariance spatialement homogène. Avec P. Malliavin et L. Quer-Sardanyons elle a étudié plus profondément le problème de minoration de la densité de solution d'équations différentielles stochastiques. Elle a aussi étudié les ensembles de niveau des draps Browniens et des équations des ondes dirigées par des bruits de Lévy, en collaboration avec D. Khoshnevisan, R. Dalang, Y. Xiao et D. Wu.
- **Laurent Tournier** : Il étudie les marches aléatoires en milieu aléatoire et les marches renforcées. Dans le cas des milieux de Dirichlet, à l'interface entre ces deux thèmes, il s'est intéressé, sur des graphes finis quelconques, à l'intégrabilité des temps d'atteinte

(phénomène de fort renforcement) et avec C. Sabot à une propriété de retournement du temps, qui permettent d’obtenir sur  $\mathbb{Z}^d$  ( $d \geq 1$ ) des conditions de balisticité et de transience directionnelle. En collaboration avec N. Enriquez, C. Sabot et O. Zindy, il a également complété la description de la loi limite des fluctuations des marches aléatoires en milieu aléatoire sur  $\mathbb{Z}$  dans le régime stable et notamment de leur distribution à environnement fixé.

### Séminaires organisés par l’équipe

- Séminaire de probabilités-statistique (Villetaneuse).
- Groupe de travail “Génétique des populations stochastique” (co-organisé par J.S. Dhersin à IHP et P6).
- Séminaire Bachelier à IHP (co-organisé par L. Campi).

### Colloques organisés par les membres de l’équipe

- “International Conference on Malliavin calculus and stochastic analysis in honor of Professor Davaid Nualart”, Unive. Kansas, 2011. (co-organisé par E. Nualart).
- “Markets with frictions : transaction costs and liquidity risk”, IHP, 2010 (co-organisé par L. Campi).
- L. Campi a fait du comité scientifique du X workshop of quantitative finance, Polytechnique de Milan, 2009.
- F. Russo a organisé “Seminar on Stochastic Analysis, Random Fields and Applications”, Ascona, Suisse, 2008 et 2011.

### Contrats de l’équipe

- J.S. Dhersin est membre de l’ANR MAEV (2006–2010) et de l’ANR MANEGE (2010–2013), a bénéficié d’un BQR (2009, P5). Il bénéficie aussi d’un contrat d’initiation ANRS.
- Y. Hu est un des co-ordinateurs de l’ANR MEMEMO2 (2011–2014) dont L. Tournier et T. Madaule sont membres. Il était responsable d’un programme EGIDE Procore avec Hong Kong University of Science and Technology (2007 et 2008), et membre de l’ANR MEMEMO (2008–2010).
- A. Kebaier participe depuis avril 2011 à la Chaire risques financiers de la fondation du risque (l’École Polytechnique, l’École des Ponts et la Société Générale).
- P. Marchal est membre de l’ANR ATLAS (2007–2010).
- E. Nualart a bénéficié en 2008-2009 un contrat de formation entre l’Université Publique de Navarre et CENER (Centre d’Energies Renouvelables).

### Relations internationales de l’équipe

L’équipe a entretenu de nombreuses collaborations avec des chercheurs étrangers, soit par invitations des chercheurs étrangers au LAGA, soit par des visites des membres d’équipe dans des laboratoires étrangers. Citons en particulier, E. Nualart qui a participé en 2010–2011 au “Junior Semester Program in Stochastics” à l’HIM (Hausdorff Research Institute for Mathematics), Université de Bonn.

# E6 – Théorie ergodique et systèmes dynamiques

## Rapport de l'équipe

COMPOSITION DE L'ÉQUIPE AU 1-1-2012

**Chercheurs et Enseignants-Chercheurs** : J. Barral (PR2); P. Berger (CR2); M. Bonino (MCF); A. Klotkowski (MCF, en congé longue maladie); L. Marchese (MCF); C. Matheus (CR2); R. Perez-Marco (DR2); A. Porzio (MCF); J.-F. Quint (CR1); B. Rittaud (MCF); E. Roy (MCF); H. de Thélin (PR2).

**Doctorants** : N. Attia et Z.-H. Yuan (J. Barral), M. Benhenda (B. Fayad), B. Moussat (F. Parreau), R. Potrie (S. Crovisier), A. Sambarino et L. Dufloux (J.-F. Quint), J. Wang et J. Xavier (P. Le Calvez).

**Post-docs** : Flavio Abdenur (PUC Rio) (Post-doc de 6 mois; 2009); X. Thirion (Post-doc et ATER; 2009-2010); Xiong Jin (Post-doc de 6 mois; 2010).

**Chercheurs associés** : F. Parreau et J.-M. Strelcyn (PR émérites).

**Responsable** : J. Barral

**Départs depuis 2008** : P. Le Calvez (PREX), F. Parreau (PR1). F. Bassam et S. Crovisier (CR1, promu DR2).

**Arrivées depuis 2008** : J. Barral et H. De Thélin (PR2), P. Berger et C. Matheus (CR2), L. Marchese (MCF).

### THÈSES ET HABILITATIONS

**Thèses soutenues** : O. Jaulent (2008), A. Sambarino (2011), J. Xavier (2011), J. Wang (2011).

**Habilitations soutenues** : M. Bonino et J.-F. Quint (2007), B. Rittaud (2008), S. Crovisier (2009).

### INVITATIONS

**Invités pour un mois** : 2007 : Dmitry Dolgopyat, University of Maryland. 2010 : Alexandre Danilenko, Institute for Low Temperature Physics and Engineering of Ukrainian National Academy of Sciences; Rostislav Grigorchuk, Texas A & M University; K. Biswas, Vivekananda University, I(Inde); (2011) : De-Jun Feng, Chinese University of Hong-Kong.

**Invités de courte durée** : M. Sambarino (2008); Dolgopyat (2008); M. Lemanczyk (2009); J. Kułaga (2010, 2011); E. Miranda (2011); A. Benini (2011).

### RAPPORT DE SYNTHÈSE 2008–2012

#### Présentation

L'équipe a vu, au cours des cinq dernières années, le départ d'un PREX (à la mutation), ainsi que ceux de deux CR1 promus directeurs de recherche, et le départ à la retraite d'un PR1, qui reste membre associé dans le cadre de l'éméritat. Ces départs représentent des pertes scientifiques considérables, heureusement contre-balancées par l'arrivée de deux PR2 (il faudrait cependant recruter encore un professeur pour rétablir l'équilibre existant jusqu'en 2007), de deux CR2, et d'un MCF, qui maintiennent ou renouvellent les thématiques de recherches de l'équipe, dont la

nouvelle configuration se met en place petit à petit. Ainsi, tandis que l'étude des approximations périodiques en théorie ergodique différentiable et celle des homéomorphismes de surface sont des thématiques affaiblies par les départs de F. Bassam, S. Crovisier et P. Le Calvez, mais néanmoins encore bien vivante pour la seconde (M. Bonino), la dynamique des difféomorphismes de surface est un thème essentiel maintenu (P. Berger et C. Matheus), ainsi que la théorie ergodique abstraite (F. Parreau et E. Roy), la théorie des nombres (B. Rittaud), la théorie géométrique des groupes (J.-F. Quint), la dynamique complexe à une variable (R. Perez-Marco), et la théorie des équations différentielles (J.-M. Strelcyn); et d'autre part, la dynamique des échanges d'intervalles et du flot de Teichmüller (C. Matheus et L. Marchese), la dynamique complexe en plusieurs variables (H. de Thélin), et l'analyse multifractale (J. Barral) deviennent des thématiques majeures au sein du groupe. Il y a également des thématiques en interaction directe avec les probabilités et certains chapitres de la Physique Mathématique (A. Porzio, J. Barral, E. Roy), le chaos multiplicatif notamment.

### Thèmes de recherche

**La théorie ergodique abstraite** est spécifiquement représentée par les travaux d'E. Roy et F. Parreau. Ils s'intéressent tous deux aux systèmes de mesure infinie invariante et à leurs suspensions de Poisson : ils étudient les propriétés de leurs couplages, de simplicité et de primalité. Avec Mariusz Lemańczyk de Toruń (Pologne), ils ont introduit une notion de "primalité des couplages" permettant de regrouper et d'étendre plusieurs résultats de disjonction. La collaboration avec M. Lemańczyk a aussi abouti à une série de résultats sur le relèvement des propriétés de mélange aux extensions de transformations ergodiques par une action de groupe abélien localement compact, et à d'autres résultats sur les propriétés spectrales de systèmes dynamiques tels que les flots spéciaux au-dessus des translations. Ces derniers travaux se prolongent aussi dans une collaboration avec son étudiante Joanna Kułaga. Dans un domaine différent, F. Parreau a résolu avec Martine Queffélec (Lille) une question ancienne sur les mesures dont la transformée de Fourier tend vers zéro à l'infini.

**En théorie des nombres**, B. Rittaud a obtenu des résultats remarquables sur la croissance des suites de Fibonacci aléatoires dans une série de travaux en collaboration avec E. Janvresse et Thierry de la Rue. J. Barral, en collaboration avec Y.-H. Qu, a obtenu comme corollaire de résultats plus généraux en analyse multifractale des résultats sur la dimension de Hausdorff des ensembles de points  $x$  de l'intervalle  $[0, 1]$  où la fréquence des digits dans une base donnée à une valeur prescrite  $f(x)$  dépendant de  $x$ ; ceci généralise de façon non triviale le résultat de Besicovich et Eggleston. Nous mentionnons également ici que les travaux de Jean-François Quint, évoqués plus bas, portent sur des problèmes provenant de la théorie analytique des nombres.

**La théorie des équations différentielles** est représentée par J.-M. Strelcyn, qui s'est intéressé (avec M. Bardet, I. Boussaada et A. Chouikha) aux centres isochrones de solutions de systèmes différentiels planaires réductibles à une équation de type Liénard.

**L'étude des approximations périodiques en théorie ergodique différentiable** a été incarnée par Bassam Fayad. Il a travaillé essentiellement sur la stabilité et la rigidité au-delà de la théorie KAM classique, c'est à dire lorsqu'une ou plusieurs hypothèses de la théorie KAM manquent. Parmi ses résultats les plus importants sur ce sujet, il y a la résolution de la conjecture de Moser sur la rigidité différentiable globale des difféomorphismes du cercle qui commutent (avec K. Khanin); en dynamique sur le disque, il a démontré le "dernier théorème géométrique de Herman" (avec R. Krikorian); il a également démontré l'existence de rigidité en présence de

fréquence de Liouville dans l'étude des cocycles de Schrödinger (avec A. Avila et R. Krikorian). Enfin, dans le sujet des systèmes presque intégrables avec discontinuités, il a découvert un phénomène nouveau de dynamique transiente dans l'étude du *billard externe* autour d'un demi-disque (avec D. Dolgopyat).

**La dynamique des homéomorphismes et des difféomorphismes de surfaces**, représentée par M. Bonino, P. Le Calvez et S. Crovisier (tous deux aujourd'hui partis) et leurs étudiants, est également représentée par nos nouveaux chargés de recherche P. Berger et C. Matheus.

Patrice Le Calvez, avec ses élèves, a continué ses travaux sur les homéomorphismes de surface en liaison avec la version feuilletée équivariante du théorème de translation de Brouwer : résolution d'une conjecture de Franks sur le nombre d'enlacement d'une orbite périodique d'un homéomorphisme du plan avec un point fixe, début d'une collaboration avec François Béguin, Sebastiao Firmo et Tomasz Miernowski pour étudier les points fixes des actions conservatives de  $\mathbb{Z}^n$  sur  $\mathbb{R}^2$ . Une collaboration avec son étudiant Wang Jian a abouti à une preuve très rapide du théorème de Poincaré-Birkhoff, tandis que Marc Bonino a travaillé sur diverses généralisations de ce théorème. P. Le Calvez a débuté une collaboration avec les mathématiciens espagnols Ruiz del Portal et José Salazar sur l'utilisation de l'indice de Conley pour étude locale des homéomorphismes de  $\mathbb{R}^3$  au voisinage d'un point fixe.

Sylvain Crovisier a organisé ses recherches autour de plusieurs thématiques et collaborations : Avec F. Béguin et F. Le Roux il a étudié les dynamiques topologiques sur les surfaces (dynamiques mesurée réalisables par homéomorphismes strictement ergodiques sur une variété, réalisations de dynamiques fibrées transitives non minimales sur le tore avec T. Jaeger) ; avec C. Bonatti et A. Wilkinson, il a étudié le centralisateur  $C^1$  des difféomorphismes (non conservatifs) génériques et montré qu'il est trivial. Il travaille en direction de la conjecture de Palis (dichotomie hyperbolicité/tangences homoclines pour les difféomorphismes) : il en a obtenu une version faible, et une version partielle forte dans un long travail en collaboration avec E. Pujals. Il a étudié d'autres dichotomies pour les difféomorphismes, en particulier une caractérisation des dynamiques loin des tangences homoclines, prolongée par une collaboration avec M. Sambarino et D. Yang. Enfin il a continué son étude systématique des dynamiques  $C^1$ -génériques, notamment avec F. Abdenur (post-doc durant 6 mois au LAGA), C. Bonatti, L. Diaz et N. Gourmelon. Son étudiant R. Potrie travaille sur ce thème.

Pierre Berger, actuellement en visite longue à l'IMPA pour la période 2010-2012, s'intéresse aux systèmes dynamiques différentiables, et plus particulièrement aux phénomènes persistants. Il a généralisé la théorie de Hirsh-Pugh-Shub en étudiant la persistance d'autres sous-structures géométriques invariantes (laminations, variétés à bords, stratifications). Puis, il a étudié la stabilité structurelle des endomorphismes, avec ou sans singularités. Enfin, il a généralisé le théorème de Benedicks-Carleson, montrant ainsi l'abondance des endomorphismes de classe  $C^2$  de type Hénon possédant un attracteur non uniformément hyperbolique, via une nouvelle preuve permettant une analyse combinatoire et ergodique de la dynamique. Ces travaux sont notamment motivés par le Programme de Palis.

Carlos Matheus s'est intéressé à la géométrie fractale de fers à cheval non-uniformément hyperboliques en collaboration avec J. Palis et J.-C. Yoccoz.

**La théorie géométrique des groupes** est incarnée par J.-F. Quint (et ses élèves). Il étudie la dynamique des actions de sous-groupes de groupes de Lie dans leurs espaces homogènes de volume fini et les problèmes de rigidité associés. Ses travaux lui ont valu de recevoir le prix Clay avec Yves Benoît pour la résolution d'une célèbre conjecture d'H. Furstenberg.

Cette thématique a été également représentée par X. Thirion (ATER en 2009-2010).

**La dynamique complexe** en une ou plusieurs variables est représentée par R. Perez-Marco et H. de Thélin. Ce dernier travaille en dynamique holomorphe et méromorphe sur les variétés Kahlériennes compactes. Ses travaux portent sur la construction de mesures dynamiquement intéressantes, la description de leur dynamique locale à l'aide des exposants de Lyapounov ainsi que sur l'unicité de la mesure d'entropie maximale pour le système dynamique que l'on considère. Un de ses résultats principaux montre que pour les applications méromorphes, sous des hypothèses naturelles, toute mesure d'entropie maximale est hyperbolique.

R. Perez-Marco s'est consacré à l'introduction et l'étude de  $k$ -solénoïdes dans une série de travaux avec V. Muñoz. Il s'agit d'espaces laminés sur lesquels ils étudient la structure de courant de Ruelle-Sullivan généralisés. Il a également travaillé sur les liens entre les zéros de la fonction zeta de Riemann et ceux de n'importe quelle  $L$ -fonction de Dirichlet.

**La dynamique des échanges d'intervalles et du flot de Teichmüller** est représentée par Carlos Matheus, qui travaille sur en particulier sur le cocycle de Kontsevich-Zorich (en collaboration avec G. Forni, A. Zorich et J.-C. Yoccoz), et L. Marchese qui s'intéresse aux extensions à ce cadre des résultats classiques de Khintchin en approximation diophantienne.

**L'analyse multifractale** est un domaine situé à la frontière de la théorie géométrique de la mesure, du formalisme thermodynamique, de la théorie métrique des nombres, et de la théorie des grandes déviations. Il s'agit notamment d'étudier les propriétés géométriques fines de mesures ou de fonctions, en mesurant, au travers de leur dimension de Hausdorff, la taille des ensembles iso-höldériens. Dans ce contexte, J. Barral a obtenu les premiers résultats généraux (avec D.-J. Feng) sur l'analyse multifractale de mesures de Gibbs en dynamique non-conforme. Ses travaux les plus récents en théorie métrique des nombres (avec S. Seuret) ont connu des applications et ouvrent des perspectives dans la compréhension de la nature multifractale de larges classes de processus de Markov (avec N. Fournier, S. Jaffard et S. Seuret). Son activité en théorie des grandes déviations l'a conduit à définir (avec P. Gonçalves) un algorithme robuste d'estimation de *spectres des grandes déviations*, comblant ainsi un vide important en théorie des signaux multifractals. Il a aussi obtenu (avec P. Loiseau) un principe de grandes déviations inattendu, de nature presque sûre, pour les marches aléatoires associés à des processus stationnaires faiblement dépendants.

**Parmi les thèmes de l'équipe en prise directe avec les probabilités et la physique mathématique**, il y a le chaos multiplicatif, introduit par B. Mandelbrot et J.-P. Kahane pour l'étude de la turbulence, et qui joue un rôle crucial dans les développements récents dans la théorie de la gravité quantique. J. Barral (avec B. Mandelbrot et X. Jin) a introduit des chaos multiplicatifs non positifs et étudié leur nature multifractale, mettant en évidence de nouveaux types de comportements multifractals. J. Xiong, au cours de ses six mois de post-doc, a obtenu des extensions intéressantes de la formule dite "KPZ" en gravité quantique. Le chaos multiplicatif est intimement lié à la théorie des marches aléatoires de branchement, sur laquelle travaille N. Attia dans sa thèse. Il n'est pas sans lien avec les travaux d'Anna Porzio (en collaboration avec S. Hüller) ces dernières années sur les propriétés statistiques des valeurs extrêmes de certaines classes de variables aléatoires faiblement corrélées, dont l'étude est intimement liée à celle des faisceaux lissés par des méthodes optiques, et à la compréhension des instabilités laser-plasma dans le contexte de la fusion laser.

### Séminaires organisés par l'équipe

L'équipe organise un séminaire autour de la théorie ergodique et des systèmes dynamiques.

## Colloques organisés par les membres de l'équipe

S. Crovisier et P. Le Calvez ont organisé plusieurs mini-rencontres à Paris 13 et Paris 11 dans le cadre du projet ANR Symplexe.

B. Fayad, P. Le Calvez et E. Roy (entre autres) ont organisé à Paris 13 une conférence à l'occasion du 60<sup>ème</sup> anniversaire de F. Parreau du 15 au 17 septembre 2008.

B. Fayad a co-organisé la conférence internationale "Progress in Dynamics" à l'IHP (2009).

S. Crovisier a organisé une rencontre à Paris dans le cadre du projet ANR DynNonHyp (2009).

B. Fayad a co-organisé une Ecole d'hiver à Pise : "Dynamical Systems school on Periodic Approximations in Ergodic Theory" en janvier 2010.

S. Crovisier a co-organisé le colloque "Beyond uniform hyperbolicity" (CIRM, 2011).

H. de Thélin a co-organisé le colloque "Dynamics and Geometry" à l'IHP en juin 2011.

J. Barral a co-organisé le colloque "Fractals and Related Fields II" à Porquerolles en juin 2011.

## Contrats de l'équipe

P. Le Calvez a été coordonateur de SYMPLEXE, projet blanc de l'ANR, de novembre 2006 à mai 2010; S. Crovisier est porteur parisien du projet ANR blanc DynNonHyp depuis janvier 2009; H. de Thélin a porté le projet ANR jeune chercheur DynaComplex (2007-2011); E. Roy a fait partie du projet ANR ATLAS (2007-2010); J. Barral est porteur du projet ANR DMASC (2009-2012); P. Berger bénéficie du Prix Balzan attribué à J. Palis.

## Relations internationales de l'équipe

P. Le Calvez est depuis 2007 responsable de la partie "systèmes dynamiques" d'un programme "chair professor" à l'université Tsinghua, à Pékin. J.-F. Quint, B. Fayad et lui sont intervenus dans ce programme de cours.

J. Barral collabore également avec l'Université de Tsinghua depuis 2006 (avec Z.-Y. Wen et Y.-H. Qu, thèse de X. Jin (2006-2010), et de Z.-H. Yuan (2011-)), depuis 2007 avec l'Université Chinoise de Hong-Kong (avec D.-J. Feng), et depuis 2001 avec la Faculté des Sciences de Monastir (F. Ben Nasr, M. Mensi, I. Bhourri).

F. Parreau collabore de façon régulière avec M. Lemanczyk, de l'Université Copernic de Pologne.

R. Perez Marco a de nombreuses connexions avec des universités espagnoles.

E. Roy collabore avec A. Danilenko (Ukraine).

Plusieurs membres de l'équipe (P. Berger, S. Crovisier, C. Matheus, ont des relations constantes avec le Brésil (IMPA) (notamment avec L. Diaz, C. Moreira et J. Palis) et l'Uruguay (IFUM) (avec M. Sambarino; de plus 3 de nos doctorants en viennent).

L'équipe a aussi des relations avec des Universités des Etat-Unis (B. Fayad et J.-F. Quint avec A. Katok à Penn State, B. Berger avec M. Lyubish à l'IMS SUNY Stony Brook, J.-F. Quint avec R. Grigorchuk à la Texas A & M University).

# E7 – Équipe Topologie Algébrique

## Rapport de l'équipe

COMPOSITION DE L'ÉQUIPE AU 1-1-2012

### **Chercheurs et Enseignants-Chercheurs :**

G. Hoff (MCFHC); E. Hoffbeck (MCF); M. Livernet (MCF); R. Oliver (PREX); G. Powell (CR1); A. Quéguiner-Mathieu (MCF UPEC); L. Rigal (PR2 UPEC); A. Rousseau (Prag); L. Schwartz (PREX); A. Touzé (MCF chaire CNRS); M. Vigué (PR émérite)

### **Doctorants et Post-docs :**

M. Bjerrum (demi-ATER)  
S. Kelly (co-direction D.-C. Cisinski et A. Neeman, Australian National University)  
Nguyen T. Cuong (Moniteur, directeur L. Schwartz)  
Pham V. Tuan (co-direction L. Schwartz et A. Touzé)  
N. Ricka (Moniteur, directeur G. Powell)

### **Thèses en co-tutelle :**

D. Barry (UCL Louvain-la-Neuve, co-direction A. Quéguiner-Mathieu et J.-P. Tignol)  
P. Zadunaisky (Universidad de Buenos-Aires, co-direction L. Rigal et A. Solotar)

**Responsable :** G. Powell

### **Départs depuis 2008 :**

C. Cazanave (2009, MCF Nice à partir de 2010)  
D.-C. Cisinski (2010, MCF promu PR2 à l'Université Paul Sabatier, Toulouse 3)  
F. Déglise (équipe AGA à 50%) - (2011, CR1 changement d'affectation à l'ENS Lyon)  
N. Grenier-Boley (2008, ATER, IUFM Créteil 2007-2008)  
J.-P. Jourdan (2008, ATER, IUFM Créteil 2007-2008)  
Nguyen D. H. Hai (2011, postdoctorant UCL Louvain-la-Neuve depuis 2011)  
S. Rairat (2011, professeur)  
M. Vigué (2008, passage de PR1 au statut PR émérite)

**Arrivées depuis 2008 :** E. Hoffbeck (MCF, 2011); L. Rigal (PR2 UPEC, 2008); A. Touzé (MCF chaire CNRS, 2009)

## THÈSES ET HABILITATIONS

### **Thèses soutenues :**

C. Cazanave (AMX, 2009, directeur J. Lannes, Polytechnique)  
Nguyen D. H. Hai (2010, directeur L. Schwartz)  
S. Rairat (AMN, 2011, directeur G. Powell)

**Habilitations soutenues :** D.-C. Cisinski (2008); F. Déglise (2010)

## INVITATIONS

Andy Baker (Professeur invité, 2009)  
Alexander Ivanov (Professeur invité, 2008)  
Mikhail Kapranov (Chaire d'excellence Paris 13, 3 mois 2010)

Le Minh Ha (Invité, projet ANR HGRT, 3 mois 2011)

Raman Parimala (Professeur invité, 2011)

Birgit Richter (Professeur invité, 2009 et 2010)

Joana Ventura (MCF invité, 2009 et 2011)

Kirill Zainoulline (Professeur invité, 2010)

**Invités de courte durée :**

Marco Farinati (Projet MathAmSud Opechsa, 2 semaines 2011)

Eduardo Hoefel (Projet MathAmSud Opechsa, 3 semaines 2010)

Oded Jacobi (financé par la chaire CNRS de A. Touzé, 1 semaine 2011)

Patricia Jancsa (Projet MathAmSud Opechsa, 2 semaines 2011)

Ieke Moerdijk (2009)

**Post-doctorants et visiteurs doctorants :**

Gennaro di Brino, (Visiteur doctorant (Yale), chaire d'excellence Paris 13, 1 mois 2010)

Matthew Gelvin (Visiteur doctorant (MIT), ANR HGRT, 3 mois 2009)

Nasko Karamanov (Post-doctorant ANR HGRT, 6 mois 2011)

Luigi Previdi (Post-doctorant, chaire d'excellence Paris 13, 2010-2011)

Nora Seeliger (Post-doctorant ANR HGRT, 2009-2010)

RAPPORT DE SYNTHÈSE 2008–2012

Les thèmes de recherche de l'équipe de topologie algébrique sont divers, englobant la théorie d'homotopie, les opérades, la théorie des représentations, invariants cohomologiques et géométrie et algèbre non-commutative; il y a des interactions existantes et potentielles avec l'équipe *arithmétique et géométrie algébrique* du LAGA - notamment à travers la théorie des motifs - et avec l'équipe *Combinatoire, algorithmique et interactions* du Laboratoire d'Informatique de Paris Nord dans les domaines du combinatoire et de la théorie de la renormalisation. Les thèmes de recherche de l'équipe évoluent à la fois sous l'impulsion de ses chercheurs et en raison du flux des départs et des recrutements.

**Thèmes de recherche**

L'**algèbre homotopique abstraite** est un outil indispensable qui intervient en plusieurs thèmes de l'équipe; une partie des travaux de Cisinski portaient sur ce thème, dont il est un expert internationalement reconnu. En outre, en collaboration avec Déglise, il appliquait ces techniques en théorie d'homotopie motivique. Ce thème a été développé avec l'introduction de la théorie des  $\infty$ -catégories (quasi-catégories) et ses applications diverses, par exemple à la géométrie algébrique dérivée, en théorie d'homotopie stable et en théorie des opérades homotopique. En collaboration avec Moerdijk, Cisinski a développé une théorie de  $\infty$ -opérades en utilisant les ensembles dendroïdaux, qui présente quelques avantages par rapport à la théorie proposée par Lurie. Le départ de Cisinski, brillamment promu PR, se fait sentir. Hoff étudie la théorie homotopique et l'homologie des catégories; son départ à la retraite en 2012 fléchira cet aspect de l'activité de l'équipe; dans un domaine voisin, Rousseau étudie les catégories bimonoidales et les gr-catégories.

Les activités en **théorie homotopie instable** ont évolué : la recherche sur la théorie d'homotopie rationnelle, l'étude des espaces de lacets libres et la topologie des cordes est moins soutenue depuis le passage de Vigué au statut PR émérite. L'activité est désormais centrée autour de l'étude des espaces classifiants des groupes finis et de Lie, les applications de l'algèbre des Steenrod et les applications des opérades topologiques avec, en perspective, l'exploitation

de la théorie du calcul de Goodwillie. D'autre part, dans un projet avec des interactions avec les membres de l'équipe, Breen (de l'équipe arithmétique et géométrie algébrique) collabore avec Mikhailov (Steklov Mathematical Institute, Moscou), en étudiant par des méthodes fonctorielles, les groupes d'homotopie instable des sphères et des espaces de Moore.

L'étude homotopique des espaces classifiants de groupes finis a mené à la théorie des  **$p$ -groupes locaux finis**, fortement liée au systèmes de fusion et la théorie des groupes finis. Oliver, un des fondateurs de la théorie, poursuit son développement en collaboration à la fois avec des topologues et avec des spécialistes de la théorie des groupes finis, dont Aschbacher, obtenant des résultats majeurs. Un colloque international était organisé à Skye en 2009 en honneur de Oliver et de Ron Solomon sur cette thématique, réunissant des chercheurs des deux domaines. Nora Seeliger (postdoc ANR) et Matthew Gelvin (visiteur doctorant ANR) ont poursuivi leurs recherches sous la direction de Oliver dans ce domaine.

La théorie des **modules (instables) sur l'algèbre de Steenrod** reste une spécialité de l'équipe, développée notamment par Schwartz, ses étudiants et collaborateurs, et par Powell. Des avancées importantes ont été obtenues sur les questions de non-réalisabilité, liées à la structure fine, en tant que module sur l'algèbre de Steenrod, de la cohomologie d'un espace. En collaboration avec Gaudens, Schwartz a développé de nouvelles techniques; ces résultats devraient apporter des précisions sur la structure de la cohomologie d'un espace; dans sa thèse en cours, Nguyen Cuong travaille sur la relation entre la filtration de Krull de la catégorie des modules instables et les tours de Postnikov. D'autre part, en collaboration avec Nguyen Hai et Tran Ngoc Nam, Schwartz a établi l'existence d'une résolution injective explicite conjecturée par Lannes et Schwartz voici une vingtaine d'années; dans sa thèse (2010), Nguyen Hai a apporté une contribution fort intéressante, en utilisant la théorie des complexes de Koszul généralisés pour donner une nouvelle démonstration de ce résultat et sa généralisation au cas  $p$  impair. Powell a étudié les foncteurs dérivés de la déstabilisation, afin de les rendre plus accessibles aux calculs et, notamment, il a donné une approche naturelle à la construction d'un complexe qui calcule ces foncteurs.

Les **méthodes fonctorielles** interviennent de plusieurs manières différentes : des travaux récents de Powell sur la  $K$ -théorie complexe connexe des  $p$ -groupe abéliens élémentaires et de Schwartz sur le cas des  $K$ -théories de Morava  $K(n)$ , ayant en vue des applications topologiques, démontrent la puissance de l'approche fonctorielle. De sa part, Touzé (recruté sur une chaire CNRS MCF en 2009) est virtuose des applications des techniques fonctorielles à la cohomologie; notamment, il a utilisé les foncteurs strictement polynomiaux (à la Friedlander-Suslin) pour étudier la cohomologie des groupes algébriques réductifs, par exemple menant à une démonstration de la conjecture de van der Kallen sur la génération finie de la cohomologie (sujet du Cours Peccot de Touzé en 2010). Ses résultats récents relient la cohomologie fonctorielle des foncteurs strictement polynomiaux aux foncteurs dérivés à la Dold-Puppe, et ont des applications à l'homologie des espaces d'Eilenberg-MacLane.

Le thème des **opérades** a été renforcé par le recrutement de Hoffbeck en 2011; ses recherches se situent au centre des thèmes de l'équipe, avec ses travaux sur la dualité de Koszul pour les opérades (la notion de base Poincaré-Birkhoff-Witt (PBW) dans le cadre opéradique) et l'étude de la théorie d'obstruction pour les morphismes entre algèbres sur une opérade; des applications en théorie d'homotopie sont en perspective, notamment puisque ses techniques marchent en caractéristique non nulle. Ses travaux récents sur la  $N$ -dualité de Koszul suscitent également de l'intérêt. Livernet, grande spécialiste des opérades, a démontré en collaboration avec Birgit Richter que la  $E_n$ -homologie ( $E_n$  l'opérade des petits  $n$ -cubes, qui joue un rôle fondamental dans la théorie) se calcule par l'homologie fonctorielle (donc est en relation avec le thème précédent). Récemment, en collaboration avec Roitzheim et Whitehouse, elle a étudié les

$A_\infty$ -algèbres dérivées dans le cadre opéradique, ainsi apportant des précisions importantes. La **théorie d'homotopie stable** est principalement étudiée au sein de l'équipe par Powell, ses étudiants, et Schwartz ; ce sujet a été développée dans le cadre du projet ANR HGRT, notamment avec le séjour de Nasko Karamanov (postdoctorant, spécialiste des calculs en théorie d'homotopie stable chromatique) et l'organisation de groupes de travail. L'étude par Powell du  $f$ -invariant de Behrens et son application au double transfert fait suite au groupe de travail co-organisé avec Hans-Werner Henn (Pr, Strasbourg). D'autre part, les méthodes introduites par Hopkins, Hill et Ravenel lors de leur résolution du problème de l'invariant de Kervaire, en utilisant la théorie d'homotopie équivariante stable, sont étudiées (thèse de Ricka en cours) avec, en perspective, des interactions avec la théorie d'homotopie motivique.

À l'interface entre la théorie d'homotopie et la géométrie algébrique, la **théorie d'homotopie motivique** était développée pendant ce contrat notamment par Cisinski et Déglise (et leurs étudiants) ; par exemple, on peut citer leurs travaux sur les catégories triangulées de motifs mixtes. La thèse de Christophe Cazanave (2009, dirigé par J. Lannes, Polytechnique) portait sur la théorie d'homotopie  $\mathbb{A}^1$ -locale, plus précisément la théorie d'homotopie des schémas d'Atiyah et de Hitchin. Leur départ a fragilisé cette activité, réduisant les interactions avec l'équipe AGA, bien que des chercheurs de l'équipe s'intéressent aux méthodes et applications de l'homotopie motivique et la théorie des motifs.

Le thème **invariants cohomologiques** au sein de l'équipe est représenté principalement par Anne Quéguiner-Mathieu, motivée en partie par l'étude des algèbres à involutions. Ses travaux récents s'ouvrent vers des nouvelles techniques puissantes, par exemple, en collaboration avec Tignol, utilisant des invariants cohomologiques relatifs inspirés de la conjecture de Milnor et, en collaboration avec Semenov et Zainoulline, utilisant le  $j$ -invariant de groupes algébriques, un invariant *motivique*, pour étudier la triality. Ils obtiennent de nouveaux exemples qui montrent que, contrairement au cas des formes quadratiques, les restrictions imposées par les opérations de Steenrod sur les groupes de Chow ne sont plus suffisantes.

Un nouveau thème **géométrie algébrique non-commutative** a été créé avec le recrutement PR de Rigal (IUFM Créteil, UPEC) en 2008, qui travaille en théorie de Lie algébrique et sur les groupes quantiques, en utilisant des méthodes géométriques. Par exemple, une partie de ses collaborations internationales concernent la version quantique des Grassmanniennes. Des interactions avec les membres de l'équipe sont en cours de développement, en combinatoire et en méthodes homologiques.

Le cours de Mikhail Kapranov (Chaire d'Excellence, Université Paris 13) *Infinite-dimensional algebraic geometry and the spaces of paths* en 2010, témoigne de l'ouverture des membres de l'équipe vers des sujets à l'interface entre la topologie et la géométrie algébrique, inspirés en partie par la théorie des champs. Dans le cadre de cette Chaire d'excellence, l'équipe a accueilli le post-doctorant Luigi Previdi et une visite du doctorant Gennaro di Brino.

### Séminaires organisés par l'équipe

Le *séminaire de topologie algébrique* (organisateurs M. Livernet et A. Touzé), se tient en général deux fois par mois (deux exposés), le jeudi après-midi. Cette activité est complétée par les *groupes de travail* co-organisés par les membres de l'équipe :

- 2009 : *Formes modulaires et homotopie stable*, organisé par H.-W. Henn (Strasbourg) et G. Powell, dans le cadre de l'ANR HGRT ;
- 2010 : *Sur l'invariant de Kervaire*, organisé par J. Lannes (Polytechnique) et L. Schwartz (ANR HGRT) ;
- 2011 : *Orientations  $H_\infty$* , organisé par N. Karamanov et G. Powell (ANR HGRT) ;

- 2011 : *La dualité de Koszul*, organisé par E. Hoffbeck, M. Livernet, L. Rigal et A. Touzé.

### Colloques organisés par les membres de l'équipe

- Congrès de K-théorie et de théorie de l'homotopie (réseau INTAS), Saint Jacques de Compostelle, septembre 2008 - co-organisé par L. Schwartz ;
- Colloque *Topology* à Oberwolfach, septembre 2008 - co-organisé par R. Oliver ;
- Le rencontre annuel du GDR 2875 - Topologie Algébrique et Applications à l'Université Paris 13, octobre 2008 - co-organisé par G. Powell, L. Schwartz et M. Vigué ;
- La Journée de Topologie Algébrique en l'honneur de Bob Oliver à l'Université Paris 13, novembre 2009 - co-organisé par G. Powell et L. Schwartz ;
- *Rencontre Franco-Britannique et Journées en l'honneur des soixante ans de Jacques Alev*, Université de Reims, novembre 2008 - co-organisé par L. Rigal ;
- Congrès Franco-Tunisien SMF-SMT mars 2009, Djerba, Tunisie - co-organisé par L. Schwartz ;
- Congrès EACAT3, East Asian Congress on Algebraic Topology 3, Hanoi, Vietnam, décembre 2009 - co-organisé par L. Schwartz ;
- Congrès *Arithmétique, Algèbre et Applications*, EPFL, Lausanne, juillet 2010 - co-organisé par A. Quéguiner-Mathieu ;
- Session spéciale *Quadratic forms in algebra and geometry*, colloque AMS, New Orleans, Etats-Unis, janvier 2011 - co-organisé par A. Quéguiner-Mathieu ;
- Congrès *K-theory and non commutative geometry*, Tbilissi, Géorgie, mars 2011 - co-organisé par L. Schwartz ;
- Congrès de lancement du LIA Formath Vietnam novembre 2011, Paris, organisé par L. Schwartz

### Contrats de l'équipe

- ANR HGRT *Nouveaux liens entre la théorie de l'homotopie et la théorie des groupes et des représentations*, BLAN08-2\_338236, 2009-2012, responsable L. Schwartz ;
- L'équipe forme un des noeuds du GDR 2875 *Topologie Algébrique et Applications*, responsable local L. Schwartz ;
- Le noeud de Paris 13 du GDR *Théorie de Lie Algébrique et Géométrie* est sous la responsabilité de L. Rigal ;

### Relations internationales de l'équipe

- M. Livernet est coordinateur à Paris 13 du projet MathAmSud Opechsa *Operads related to configuration spaces and combinatorial Hopf algebras*, Responsable international : Maria Ronco (Universidad de Valparaíso, Chile) ;
- L. Rigal est co-responsable du projet ECOS *Études des conditions de régularité géométriques en algèbre non-commutative* avec l'Universidad de Buenos Aires (Argentine), 2011-2014.
- L. Schwartz était responsable local d'un réseau INTAS France-Caucase, échu en 2008 ;
- L. Schwartz est le responsable parisien du volet "mathématiques" programme ARCUS (MAE-région IDF) entre la France et le Vietnam (2011-2013) ;
- L. Schwartz est le coordonnateur du LIA Formath Vietnam entre Paris 13/Toulouse/PRES Val de Loire et l'Institut de Mathématiques de la VAST (Vietnamese Academy of Sciences and Technology) ;
- L. Schwartz est membre du CA du consortium de soutien à l'Université des Sciences et des Techniques de Hanoi (USTH).

## 2 Présentation de l'unité

### 3 Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'unité

#### 3.1 Analyse SWOT

##### E1 – ÉQUIPE ARITHMÉTIQUE

- **Points forts :** Les recrutements de Boyer (professeur) et Stroth (CR2 CNRS) dans l'équipe renforcent tous les pôles de l'équipe, et, en particulier, l'aspect géométrique de la théorie des formes automorphes, déjà illustré par Ngô-Dac ; l'aspect  $p$ -adique est représenté par Brinon, Mokrane et Tilouine ; notons, dans ces deux dernières thématiques, les liens tissés avec l'ENS Lyon, où Vincent Pilloni est maintenant chargé de recherches, et avec qui nous organisons un séminaire tournant P13-Lyon ; l'aspect motivique est principalement représenté par J. Wildeshaus (et ses élèves), dont les travaux récents sur le motif d'intersection d'une variété de Shimura ouvrent de très belles perspectives. La théorie des catégories est illustrée principalement par L. Breen, qui collabore depuis quelques années avec Mikhailov (Moscou). Le recrutement récent comme Maître de Conférences de F. Brumley, spécialiste des aspects plus analytiques de la théorie des formes automorphes, ainsi que le recrutement d'un postdoc, ancien élève de R. Taylor, W. Goldring, nous a permis d'organiser un groupe de travail sur un thème que nous n'aurions pas pu aborder avant ces recrutements, et qui mêle techniques  $p$ -adiques, géométriques et analytiques, sur les formes automorphes de bas poids et leurs représentations galoisiennes. Nous espérons que les interactions ainsi établies porteront des fruits concrets.

Évidemment, des éléments brillants (tel O. Brinon) sont appelés à quitter l'équipe dans un futur relativement proche, et il nous faut prévoir des recrutements à la hauteur. En outre, pour consolider les interactions entre les composantes de l'équipe, il nous semble important de prévoir des recrutements au niveau professeur dans des thèmes unissant les différents pôles. Nous avons bénéficié d'un contrat européen et de trois contrats ANR : l'un était dirigé par J. Nekovar, avec un responsable à P13 (J. Tilouine), un dirigé par V. Maillot, avec un responsable à P13 (J. Wildeshaus), et un dont le coordinateur est à P13 (J. Tilouine) qui a commencé en janvier 2011. Notons que le nombre de publications de notre équipe dans la période 2008-2012 est en hausse par rapport à celui de la période antérieure, ce qui témoigne de son activité.

- **Points faibles :** Les départs de Déglise et Cisinski ont affaibli le pôle de théorie des motifs, pourtant en plein essor. D'autre part, il est dommage que les capacités d'enseignement de notre équipe au niveau master 2 soient sous-utilisées faute d'étudiants. Nous parvenons néanmoins à attirer de très bons éléments en mémoire de M2 au prix des efforts individuels des membres de l'équipe. Notons qu'en 2011, un élève du Corps des Mines de l'X est venu préparer un mémoire de M2 avec Boyer et Stroth, et qu'il est maintenant en thèse avec eux. Les autres mémoires de M2 concernent souvent des normaliens ou des X, soit des étudiants étrangers qu'il nous faut attirer au coup par coup ; notons un contre-exemple : un étudiant issu de Paris 13 a réussi à faire une très bonne thèse dans notre équipe (avec J. Wildeshaus), cas unique !
- **Opportunités :** Un système stable de bourses de thèse est indispensable pour concrétiser la venue des étrangers intéressés par notre M2 et notre programme doctoral, et ainsi asseoir la visibilité de notre laboratoire. Le Labex semble offrir cette possibilité, et nous espérons en bénéficier lors de sa mise en place.

- **Risques :** Il est très important que le cercle vertueux amorcé il y a quelques années par notre équipe, grâce à des recrutements du plus haut niveau et des activités d'équipe adéquates, ne soit pas rompu par un manque de postes mis au concours dans les années à venir.

• **Points forts :**

- Les membres de l'équipe MCS ont une très forte présence internationale. Pendant la période de ce rapport, on compte une trentaine de mathématiciens étrangers avec qui les membres de l'équipe ont co-signé des articles scientifiques. De plus, les membres de l'équipe ont organisé (ou co-organisé) une dizaine de colloques internationaux. Les membres de l'équipe encadrent actuellement 2 thèses en co-tutelle avec l'étranger.
- Les membres de l'équipe maintiennent une forte activité scientifique, avec plus d'une centaine de publications pendant la période du rapport ainsi qu'une quinzaine de thèses soutenues.
- La période 2008-2011 a vu le développement des mathématiques appliquées aux sciences du vivant. Ce domaine a été renforcé par deux recrutements : V. Milisic (CR) et G. Wainrib (MCF). Un séminaire math-bio (2 conférences) mensuel est organisé conjointement avec l'équipe EDP. L'activité scientifique dans ce domaine constitue une base significative qui permettra un développement important dans les années à venir.
- Des membres de l'équipe MCS, ainsi que des membres d'autres équipes du LAGA, ont entamé une vraie collaboration scientifique avec le CEPN (le laboratoire de sciences économique de Paris 13). Un colloque international a été organisé conjointement par les deux laboratoires de Paris 13, et des membres de trois équipes (MCS, EDP, Proba/Stat) du LAGA ont joué un rôle important. Le succès du LABEX "Mathématiques et économie de la complexité, de l'incertain et des interactions" serait important pour le développement de ce domaine d'application pendant le prochain quinquennal.
- Le recrutement de S. Vento, MCF dans l'équipe MCS, a renforcé le domaine d'analyse qualitative des équations aux dérivées partielles. Ce domaine, qui fait l'objet d'un groupe de travail en collaboration avec l'équipe EDP, a connu un développement important par les deux équipes pendant la période du rapport.
- Il y a un bon équilibre d'âge parmi les membres titulaires de l'équipe : 9 MCF/CR, dont 2 HC, et 8 PR, dont 4 CE et 4 PR1.

• **Points faibles :**

Le spectre d'activité scientifique de l'équipe étant très large, allant du calcul scientifique jusqu'à l'analyse qualitative des edp, en passant par l'analyse numérique, il est parfois difficile de maintenir une identité cohérente.

• **Opportunités :**

Les prochains 5 ans vont probablement voir le départ en retraite de trois PR de l'équipe. Le recrutement de trois jeunes professeurs redynamisera l'équipe et permettra le développement de nouveaux domaines de modélisation et mathématiques appliquées.

• **Risques :**

Depuis plusieurs années, le laboratoire LAGA demande la création d'un poste de professeur en calcul scientifique profilé "systèmes complexes". Grâce au développement de puissants moyens de calcul, la modélisation a pu investir de nouveaux champs d'application, et ce domaine est en pleine expansion. Il est essentiel que l'équipe (et le labo) puisse faire un recrutement dans ce domaine afin de renforcer et maintenir son rôle innovateur en modélisation.

- **Points forts :** L'équipe a eu, au cours du contrat passé, une activité importante. C'est ainsi que plus de 46 articles ont été publiés. Les membres de l'équipe ont organisé 9 colloques internationaux, en forte augmentation par rapport au précédent rapport. Le nombre de contrats dans lesquels sont impliqués des membres de l'équipe a crû lui aussi de manière importante.

L'équipe a su, au cours de la période 2008–2012, faire évoluer ses thèmes de recherche de manière à prendre en compte les évolutions de la discipline, tant au plan national qu'international.

C'est ainsi que, en ce qui concerne la théorie spectrale et la physique mathématique, plusieurs membres de l'équipe ont infléchi leurs travaux en direction d'une meilleure prise en compte des relations entre propriétés dynamiques des hamiltoniens classiques et propriétés quantiques des opérateurs associés. Le recrutement récent d'Emmanuel Schenck, dont les travaux se situent au confluent des systèmes dynamiques et de la mécanique quantique, est appelé à renforcer cette ligne de recherche fort prometteuse.

Pour ce qui est de la partie de l'équipe qui se consacre aux équations non-linéaires, elle s'est enrichie récemment, en la personne d'Hatem Zaag et de Thomas Duyckaerts, de chercheurs qui apportent de nouvelles compétences sur les questions de description asymptotique de solutions explosives ou globales d'équations dispersives non-linéaires (ondes, Schrödinger, . . .). Il s'agit d'un sujet en plein développement depuis les travaux fondateurs de Frank Merle, qui est appelé à continuer à jouer un rôle essentiel dans les années qui viennent.

D'autre part, certains membres de l'équipe se consacrant aux questions d'existence globale de solutions d'équations non-linéaires ont infléchi leurs travaux de manière à prendre en compte les structures hamiltoniennes sous-jacentes aux problèmes étudiés. L'arrivée de Benoît Pausader, nouveau Chargé de recherches au CNRS, dont certains des travaux s'inscrivent dans cette ligne, est une opportunité pour renforcer cette tendance.

- **Points faibles :** Du point de vue de la formation par la recherche, l'équipe est affectée, comme l'ensemble du laboratoire, par la faiblesse du nombre d'étudiants de Master. La plupart des étudiants de M2 sont originaires de l'étranger. Cette faiblesse n'affecte pas le recrutement d'étudiants en thèse, grâce à des arrivées de doctorants issus de l'extérieur.

D'autre part, l'équipe a perdu au cours des deux dernières années deux professeurs, ayant obtenu des mutations dans d'autres établissements. L'un de ces départs, celui de Fabrice Planchon, a pu être d'ores et déjà compensé par le recrutement d'un nouveau professeur. La mutation de Frédéric Klopp fragilise de manière importante la composante de l'équipe consacrée à la physique mathématique, dont il était un pilier essentiel. Le vivier de candidats de haut niveau travaillant dans cette thématique est assez réduit, d'autant plus que nombre d'entre eux sont des chargés de recherche au CNRS, aspirant à des promotions comme directeur de recherche plutôt qu'à des postes de professeur à l'université.

- **Opportunités :** La création du Labex porté par la Fondation des sciences mathématiques de Paris, dont le LAGA est partie prenante, représente une opportunité pour les années à venir. Les bourses de Master qu'elle attribue, aussi bien à des candidats français qu'à des candidats étrangers, peuvent contribuer à stabiliser, voire à accroître, le nombre d'étudiants dans ces formations. D'autre part, le Labex fournit au LAGA une meilleure visibilité internationale.
- **Risques :** Les réformes récentes de l'université ont conduit à organiser une concurrence exacerbée entre établissements. Celle-ci se traduit pas une politique agressive de débauchage

d'étudiants et d'enseignants-chercheurs, menée par des universités jouissant d'avantages logistiques (facilités d'accès par les transports en commun, campus situés dans des environnements agréables), au détriment d'établissements que leur situation géographique défavorise. Certains des départs qui ont affecté l'équipe récemment sont à interpréter à l'aune de cette réalité. Le risque de voir de tels événements se renouveler doit être conjuré par une politique volontariste, aussi bien de l'université que du CNRS, permettant de préserver l'attractivité scientifique du laboratoire et de l'équipe.

Il convient également de mentionner les risques que fait peser sur le nécessaire renouvellement de l'équipe de possibles redéploiements de postes à l'intérieur de l'université, au détriment du LAGA.

- **Points forts :** À travers les recrutements de ces dernières années, l'équipe a su d'une part former un groupe dynamique en mathématiques financières et probabilités numériques, et d'autre part renforcer la partie calcul stochastique. Ainsi ont été recrutés L. Campi (Pr, Math. Fi, en 2011), A. Kebaier (Mcf, Probabilités numériques, en 2007) M. Mrad (Mcf à l'IUT St-Denis, Math. Fi, en 2010) et J.S. Dhersin (Pr, super-processus et coalescent, en 2009), P. Marchal (CR1, Marche aléatoire et Processus de Lévy, en 2010) et L. Tournier (Mcf, milieux aléatoire, en 2011). Les membres de l'équipe sont actifs dans leurs domaines de recherche, par exemple, plus de 55 articles ont été publiés ou en prépublication (disponibles chez arXiv) de 2007 à 2011. Les membres d'équipe ont co-organisé 4 colloques internationaux et sont (ou ont été) impliqués (membre ou co-ordinateur) de 7 contrats des ANR ou de Chaire. Ils ont été aussi invités dans de nombreuses conférences internationales pour exposer leurs travaux. Signalons aussi que M. Wouts (un ancien membre de l'équipe de 2008 à 2011), a obtenu le prix Itô en 2009 qui récompense tous les deux ans le meilleur article publié dans *Stoch. Proc. Appl.* Enfin, l'intégration de C. El-Nouty (à partir de 1.1.2012, actuellement Pr à l'UREM à Bobigny) va renforcer, avec I. Trouvé, le côté statistique de l'équipe.

L'équipe a beaucoup investi dans les formations des étudiants. Plusieurs membres ont pris diverses responsabilités dans le département de mathématiques et l'UFR de Sciences économiques et de gestion (J.S. Dhersin est président de département de mathématiques, I. Trouvé est responsable de la licence MIEF, M. Ben Alaya et A. Kebaier font partie du bureau de Macs et L. Campi et Y. Hu pour le Master). J.S. Dhersin et M. Ben Alaya ont aussi participé au programme de collaboration entre l'université Paris 13 et l'université de Bamako au Mali (monté par Lionel Schwartz) dont B. Traoré (en thèse avec J.S. Dhersin) est issu.

- **Points faibles :** Le départ de plusieurs membres (F. Russo en 2008 délégation à l'INRIA et ensuite 2010 en détachement à l'ENSTA, E. Kuhn en CR à l'INRA en 2009 et D. Rosenberg en Pr à HEC en 2009, N. Oudjiane fin de contrat de PAST et M. Wouts mis à disposition à la Société Générale en 2011) ont beaucoup diminué l'équipe. L. Campi vient d'être recruté sur le poste de F. Russo et L. Tournier sur celui de E. Kuhn. L'arrivée de P. Marchal en tant que CR1 est bénéfique à l'équipe, mais on a toujours du mal à attirer de jeunes chercheurs du CNRS. Finalement, au niveau de la formation des doctorants, l'équipe est affectée comme l'ensemble du laboratoire par le petit nombre d'étudiants au Master.
- **Opportunités :** L'équipe souhaite, comme l'ensemble du laboratoire, pouvoir bénéficier du Labex porté par la Fondation des sciences mathématiques de Paris et/ou bien le projet de Labex Cergy, par exemple au niveau des bourses de Master ou de PostDoc.
- **Risques :** Le renouvellement de l'équipe doit être poursuivi mais lors des publications de postes, il y a un risque de redéploiement à l'intérieur de l'université.

- **Points forts :** L'équipe a eu une vie intense, tant sur le plan de ses travaux et de leur visibilité sur le plan international, que du renouvellement de ses membres et de ses thématiques, de la coordination de projets financés par l'ANR (4) et de l'organisation de conférences (7) ou de rencontres (plusieurs à P13 et P11).

Ainsi, plus de 42 publications ont vu le jour, dont de très nombreuses publiées dans les grands journaux généralistes ou les meilleurs journaux spécialisés.

L'importance de leurs travaux a valu à B. Fayad et S. Crovisier d'être promus relativement jeunes au rang de directeur de recherche, et à J.-F. Quint de recevoir le prix Clay avec Y. Benoît en 2011. Ceci souligne la force de l'équipe dans l'étude des approximations périodiques en théorie ergodique différentiable, celle de la dynamique des homéomorphismes et des difféomorphismes de surfaces, ainsi qu'en théorie géométrique des groupes au cours des dernières années.

Les départs de B. Fayad et S. Crovisier, ainsi que celui de P. Le Calvez (dès 2008) diminuaient mécaniquement les forces de l'équipe, mais celle-ci a eu l'opportunité de se renforcer en recrutant deux jeunes chargés de recherches, P. Berger et C. Matheus, dont tout ou partie des activités se situent dans les mêmes thématiques ou des thématiques proches. D'autre part, l'équipe a recruté deux jeunes professeurs après les départs de P. Le Calvez et F. Parreau (qui reste néanmoins dans l'équipe au titre de professeur émérite), J. Barral et H. de Thélin, dont l'arrivée représente des ouvertures thématiques dans des domaines également très vivants sur le plan international, l'analyse multifractale, le chaos multiplicatif, et la dynamique complexe à plusieurs variables.

Le recrutement de C. Matheus a également amené dans l'équipe l'étude de la dynamique des échanges d'intervalles et du flot de Teichmüller, renforcée tout récemment par l'arrivée de notre nouveau maître conférences, L. Marchese.

L'équipe compte également dans ses rangs R. Perez-Marco (DR), M. Bonino, A. Porzio, B. Rittaud et E. Roy (tous quatre MCF), très actifs dans des thèmes importants du domaine, ou connexes, (dynamique complexe, dynamique des homéomorphismes de surface théorie des nombres, théorie des nombres, théorie ergodique abstraite, physique statistique).

- **Points faibles :** Le flux d'étudiants en M1 et M2 est faible, et n'offre par conséquent pas de garantie d'un renouvellement régulier des doctorants de l'équipe par cette voie. Cependant, les relations internationales de l'équipe ont notamment permis le recrutement en M2 de deux étudiants uruguayens qui ont fait leur thèse à Paris 13 ; de plus, l'équipe a eu un troisième doctorant uruguayen, un chinois et un tunisien ; deux nouveaux doctorants viennent de débiter en thèse, dont un étranger.

Les importantes modifications de la structure de l'équipe et son rajeunissement sont une preuve de sa vitalité, mais en même temps elles fragilisent momentanément son équilibre. Cela dit, les nouveaux membres de l'équipe viennent de reprendre le séminaire, point névralgique du fonctionnement de l'équipe, et s'investissent pleinement dans le maintien de sa grande cohésion.

- **Opportunités :** En liaison avec le paragraphe précédent, la création du Labex SMP et de la PGSM devrait nous permettre de bénéficier de bourses de M1/M2 et de bourses de thèses, qui nous assurent le recrutement de davantage d'étudiants français ou étrangers, et maintiennent ainsi un flux régulier ou en augmentation des étudiants en M2 recherche du LAGA.

Le LAGA devrait recruter deux professeurs en section 25 en 2012, ce qui représente pour l'équipe une opportunité de se consolider encore, en revenant à la situation qui était la sienne en nombre de professeurs avant 2007.

Enfin, si la politique du CNRS d'ouvrir des postes de DR2 en quantité significative se poursuit, nous avons bon espoir d'attirer d'excellents éléments par cette voie, si celle d'un recrutement de professeur n'aboutit pas.

- **Risques** : La réforme des universités et la concurrence accrue qu'elle organise entre elles, conjuguées avec une vague de départ en retraite qui va durer encore quelque temps, ont déjà causé le débauchage d'un certain nombre de membres du LAGA. Il semble donc impérieux que la laboratoire soit soutenu dans sa politique de maintien d'un Master de haut niveau, élément clé pour préserver ou attirer d'excellents enseignants-chercheurs ou chercheurs au LAGA, et en particulier dans l'équipe ETDS. Or, les économies et les mutualisations parfois préconisées dans le cadre du PRES Paris Cité sont de ce point de vue préoccupantes.

- **Points forts :** L'équipe de topologie algébrique représente un des principaux centres de la topologie algébrique en France, avec un rayonnement international dans ses différents thèmes de recherche, dont la théorie des  $p$ -groupes locaux finis, les modules sur l'algèbre de Steenrod, les techniques fonctorielles et leurs applications à la fois en théorie d'homotopie et en algèbre et la théorie des opérades. Un point fort pendant le dernier contrat a été l'activité en théorie d'homotopie abstraite et en homotopie motivique, avec ses interactions avec l'équipe d'arithmétique et géométrie algébrique. Les membres de l'équipe ont de nombreuses collaborations et participent à divers projets de recherche nationaux et internationaux; les collaborations ont été soutenues par les invitations de l'équipe.

Le projet ANR HGRT *Nouveaux liens entre la théorie de l'homotopie et la théorie des groupes et des représentations* a favorisé le développement de thèmes fondamentaux du projet et a financé des bourses post-doctorales, contribuant au dynamisme de la recherche; ainsi, Nora Seeliger et Matthew Gelvin ont poursuivi leurs recherches sous la direction de Bob Oliver, expert mondial de la théorie des  $p$ -groupes locaux finis. (Oliver a présenté un séminaire Bourbaki en mars 2010 sur la classification des groupes  $p$ -compacts, un sujet lié).

L'équipe a été enrichie par ses recrutements. Laurent Rigal, recruté en 2008 (PR IUFM UPEC), a apporté la nouvelle thématique de la géométrie algébrique non-commutative et a des intérêts en commun avec les thèmes algébriques de l'équipe. Le développement de ces interactions représentent une force potentielle pour ce projet; par exemple, l'étude des algèbres de Yang-Mills par les méthodes cohomologiques telles que l'homologie de Hochschild est reliée à plusieurs thèmes de recherche du projet. Le recrutement d'Antoine Touzé en 2009 (chaire MCF Paris 13 et CNRS) a renforcé la thématique des méthodes fonctorielles; les applications en algèbre, notamment à la cohomologie des groupes algébriques réductifs, et en théorie d'homotopie, à l'homologie des espaces d'Eilenberg-MacLane a hissé ce sujet au tout premier plan. De même, Eric Hoffbeck, recruté sur un poste MCF en 2011, donne du poids au thème opéradique, représenté dorénavant par Muriel Livernet.

Le développement des interactions entre les thèmes de recherche est un des points forts du projet; de nouvelles interactions entre les opérades et la théorie d'homotopie sont prévues, notamment puisque les travaux de Hoffbeck ne se limitent pas au cas caractéristique nulle, donc des interactions avec la théorie d'obstruction (à la Goerss-Hopkins) en théorie d'homotopie stable et en théorie des modules sur l'algèbre de Steenrod sont envisagées. Le thème du calcul de Goodwillie, fortement relié aux méthodes fonctorielles (topologiques) et aux opérades, se présente comme un nouveau sujet d'intérêt commun. De nouvelles applications des méthodes fonctorielles en théorie d'homotopie sont en développement, avec l'étude de la cohomologie généralisée des groupes abéliens élémentaires par des techniques fonctorielles; ceci aura des applications en théorie d'homotopie stable (à la compréhension de la structure des  $\Omega$ -spectres) et pourra mener à des exemples fondamentaux dans la théorie de la structure de la cohomologie d'un espace en tant que module sur l'algèbre de Steenrod et, notamment, sa filtration de Krull. En théorie d'homotopie stable, le développement des méthodes introduites par Hopkins, Hill et Ravenel lors de leur résolution du problème de l'invariant de Kervaire (thèse de Ricka en cours suite à un groupe de travail du projet ANR HGRT) est une évolution importante; les interactions avec la théorie d'homotopie motivique sont également envisagées. L'équipe représente le centre d'activité en France dans ce domaine.

La théorie motivique reste un thème important; par exemple, l'introduction de nouvelles techniques en l'étude des invariants cohomologiques, des formes quadratiques, des algèbres à involutions et des invariants de groupes algébriques a donné un élan aux recherches de Anne

Quéguiner-Mathieu, notamment avec l'application de l'invariant de Rost et le  $j$ -invariant. Des collaborations, en utilisant des invariants plus fines provenant de la théorie d'homotopie motivique sont à prévoir.

Le développement des méthodes des catégories supérieures et les catégories à homotopie près, notamment sous l'impulsion de Denis-Charles Cisinski, et leurs applications (par exemple à la théorie des  $\infty$ -opérades) représente un fort potentiel. Ces techniques sont indispensables, ayant des applications par exemple en théorie d'homotopie stable et en physique mathématique.

L'équipe a une forte capacité d'encadrement ; depuis 2008, trois thèses ont été soutenues et il y a quatre thèses en préparation par des doctorants de l'équipe et deux thèses en co-tutelle (doctorants de l'UCL Louvain-la-Neuve et de l'Universidad de Buenos-Aires respectivement) en cours. D'ailleurs, un étudiant ayant fait son mémoire M2 avec Lionel Schwartz en 2010 est actuellement en train de préparer une thèse sous la direction de Haynes Miller à MIT dans le nouveau domaine de la topologie chirale.

- **Points faibles :** Le passage de Micheline Vigué au statut Professeur émérite a infléchi l'activité de l'équipe dans le domaine des espaces de lacets libres et la théorie de la topologie des cordes ; ce thème en cours de développement et de généralisation, inspiré en partie par la physique mathématique, mériterait d'être poursuivi au sein de l'équipe. Le recrutement de Laurent Rigal et la diversification qu'il a apportée ont compensé ce fléchissement, mais il faudra veiller à ce que l'équilibre de l'équipe soit maintenu.

D'autre part, le départ de Denis-Charles Cisinski (promu Professeur en 2010) a privé l'équipe d'un expert sur le plan mondial de la théorie d'homotopie abstraite et de ses applications ; ayant été suivi par le changement d'affectation de Frédéric Déglise (CR1 rattaché à 50 % à l'équipe) en 2011, ces départs ont fragilisé l'activité motivique de l'équipe et ses interactions avec l'équipe d'arithmétique et de géométrie algébrique.

Le nombre d'étudiants en M2 est insuffisant, bien qu'il y ait un flux régulier d'étudiants étrangers ; il faudra attirer davantage d'étudiants vers les cours M2 (de base et avancé) en topologie algébrique. (On note que les étudiants étrangers doivent parfois faire face à des problèmes administratifs ; ainsi un étudiant Vietnamiens, qui aurait dû commencer sa thèse avec Geoffrey Powell en mars 2011, est retenu au Vietnam par son Université, bien que lauréat d'une bourse Vietnamiens.)

- **Opportunités :** Le rattachement du LAGA au projet Labex porté par la Fondation des Sciences Mathématiques de Paris représente une aubaine pour le projet de l'équipe. Les bourses de Master devraient permettre d'augmenter le nombre d'étudiants qui suivent les programmes en topologie algébrique et ainsi enrichir le vivier des candidats à faire la recherche en topologie algébrique ; une meilleure coordination avec le programme en topologie du Master à l'Institut de Mathématiques de Jussieu contribuera à ce développement.

Les bourses post-doctorales attribuées par le Labex donneront à l'équipe la possibilité d'accueillir et d'encadrer de jeunes chercheurs brillants qui, par leur présence, favoriseront l'émergence des nouvelles thématiques ; de nombreux candidats se présentent.

Les collaborations extérieures et les interactions établies à travers les projets et les groupements de recherche faciliteront le développement des nouvelles thématiques ; par exemple, les membres de l'équipe bénéficieront des activités prévues dans le cadre du GDR *topologie algébrique et applications* dans le domaine des  $\infty$ -catégories et ses applications. L'implication de membres de l'équipe dans le GDR *théorie de Lie algébrique et géométrie* contribuera au développement des thèmes algébriques de l'équipe et permettra aux méthodes développées au sein de l'équipe d'avoir une portée plus large. De même, les interactions développées à

travers le GDR *Renormalisation* favoriseront le développement des sujets en relation avec le combinatoire et les opérades et leurs applications en théorie de renormalisation et également les interactions avec l'équipe Combinatoire, algorithmique et interactions du laboratoire d'informatique de Paris 13.

Les projets ANR seront un moteur du développement des thèmes de recherche de l'équipe ; par exemple, Muriel Livernet appartient au projet ANR HOGT *Homotopie algébrique, Opérades, et groupes de Grothendieck-Teichmüller* (démarrage en 2012), qui vise en partie à développer la théorie des opérades homotopiques. De nouveaux projets ANR sont en train d'être élaborés, notamment en théorie d'homotopie et en applications des motifs. Les projets donneront une masse critique au thèmes de recherche de l'équipe.

Par le jeu des départs et des recrutements, l'équipe poursuivra son évolution, en recrutant les meilleurs jeunes chercheurs dans des sujets d'actualité et, ainsi, assurera son renouvellement.

- **Risques** : Les départs à la retraite en perspective de membres de rang A provoquent une certaine instabilité dans le projet ; Lawrence Breen (membre de l'équipe arithmétique et géométrie algébrique, qui interagit avec l'équipe de topologie algébrique) prendra sa retraite prochainement et les deux Professeurs de Paris 13 (PREX tous les deux) de l'équipe partiront à la retraite aux alentours de la fin du prochain contrat. Vu leur stature scientifique, l'équipe cherche à les remplacer par des chercheurs brillants. Le vivier des candidats pour les postes de rang A est assez réduit et Paris 13 entrera en concurrence avec d'autres Universités francophones dans les années à venir pour essayer de recruter les meilleurs candidats ; l'équipe a pris contact avec des candidats potentiels en France et à l'étranger pour susciter des candidatures intéressantes. (On remarque que, en topologie algébrique à travers la France, il y a une diminution du nombre de membres de rang A qui commence à se faire sentir au niveau des comités et autres instances administratives ; ceci risque d'avoir des conséquences néfastes, bien qu'il est à espérer que la situation se redressera dans l'avenir.)

Au rang B, Georges Hoff prend sa retraite en 2012 ; l'essaimage des jeunes chercheurs habilités de l'équipe, bien que souhaité, risque de toucher l'équipe. Le remplacement de ses membres par d'excellents jeunes chercheurs est indispensable afin de maintenir l'activité de l'équipe et sa place au premier plan. Bien que ceci représente une opportunité, il risque d'y avoir une pénurie de candidatures dans les domaines prioritaires de l'équipe dans les quelques années à venir, dû en partie aux départs à la retraite de directeurs de thèse (dont Yves Félix, Jean Lannes, Daniel Tanré, Jean-Claude Thomas) et à l'évolution des thématiques dans les autres équipes de topologie algébrique en France. Ceci correspond également à un danger pour les doctorants issus de la formation de topologie algébrique à Paris 13 : il y a peu d'équipes à travers la France qui seront en mesure de recruter un jeune chercheur en topologie algébrique dans les années à venir, en raison des recrutements récents et les priorités affichées dans les laboratoires de mathématiques.

Il y a très peu de chercheurs CNRS en topologie algébrique ; ainsi, dans l'avenir immédiat, il n'y a aucun CR en topologie algébrique susceptible d'être promu DR et affecté à Villetaneuse et le seul espoir serait le recrutement d'un DR par voie externe. D'autre part, il semble être incertain que le départ de Frédéric Déglise pourra être compensé par l'arrivée d'un jeune chargé de recherche qui travaille en relation avec la théorie d'homotopie dans l'avenir proche. Enfin, l'échéance du projet ANR HGRT (qui termine fin 2011) laisse un trou d'air, un nouveau projet n'ayant pas été déposé en 2010 suite à une bifurcation d'un projet en préparation. Le projet ANR HGRT a été particulièrement important ces dernières années, par exemple donnant lieu à des activités communes en théorie d'homotopie stable. Le démarrage d'un nouveau projet sera attendu avec impatience.

### 3.2 Objectifs scientifiques

L'analyse SWOT déclinée par équipe dans la sous-section précédente conduit l'unité à définir les objectifs scientifiques suivants.

En ce qui concerne tant la production scientifique que l'adaptation des thèmes de recherches aux évolutions de la discipline, le LAGA entend poursuivre dans la même veine que celle suivie au long du précédent contrat. La forte implication des membres de l'unité dans une activité de recherche soutenue est appelée à s'amplifier. Les recrutements récents effectués par les diverses équipes, qui ont permis d'attirer au laboratoire d'excellents jeunes chercheurs, dont les sujets de recherche ouvrent de nouvelles perspectives dans les divers domaines de spécialisation du LAGA, sont l'assurance d'atteindre un tel objectif. Le développement d'interactions avec d'autres disciplines (sciences du vivant, économie, ...) est appelé à perdurer.

Un problème récurrent rencontré par le laboratoire est celui de la faiblesse des flux d'étudiants de M2. Cela n'a pas de conséquences dommageables en ce qui concerne le recrutement de doctorants, dans la mesure où il est possible, grâce aux nombreuses relations scientifiques, tant nationales qu'internationales, entretenues par les membres du laboratoire, d'attirer au LAGA des étudiants brillants, ayant obtenu leur M2 dans d'autres établissements. Il n'en reste pas moins qu'une augmentation du nombre d'étudiants de Master reste un objectif du LAGA. La politique volontariste de mise en place de bourses de M2 d'excellence, menée depuis plusieurs années, et qui a permis de faire venir au laboratoire un à deux étudiants de M2 par an, va se poursuivre. Il en est de même pour les accords de coopération avec le Vietnam, qui amènent plusieurs étudiants de très bon niveau chaque année. D'autre part, l'entrée du laboratoire dans la Fondation des Sciences mathématiques de Paris lui donne accès au programme PGSM, lequel propose des bourses de Master à destination des étudiants français ou étrangers. Il s'agit donc d'une opportunité supplémentaire pour consolider les M2 du LAGA.

Les principaux risques que le laboratoire identifie dans un avenir proche sont ceux liés au renouvellement de ses membres dans les années qui viennent.

La politique d'augmentation considérable du nombre de postes de directeurs de recherche de deuxième classe menée depuis quelques années par le CNRS a eu pour conséquence une désaffectation de nombre de brillants chargés de recherche pour les postes de professeur d'université. Il s'agit là d'une rupture avec une tradition ancienne, qui voulait que la plupart des chargés de recherche de première classe de la section 01 quittent le CNRS pour l'université. En conséquence, pour certains thèmes de recherche, il devient difficile de trouver des candidats de premier plan sur les postes de professeur. Certes, la largeur de l'éventail recouvert par les sept équipes du laboratoire permet habituellement de recruter de d'excellents Maîtres de Conférences sur les postes de professeur ouverts au concours. Néanmoins, la préservation du potentiel de recherche du laboratoire dans l'ensemble de ses équipes ne peut passer que par l'affectation en son sein de jeunes directeurs de recherche relevant de ces spécialités.

Au niveau de l'université, le renouvellement du laboratoire pourrait être mis en péril si, par l'effet de redéploiements intempestifs vers d'autres disciplines, certains postes libérés à la suite de promotions, mutations ou départs en retraite, quittaient le giron du LAGA.

## 4 Mise en œuvre du projet