

INSTITUT  
de MATHÉMATIQUES  
de TOULOUSE

UMR 5219

## DOSSIER DE PROJET DU CONTRAT QUADRIENNAL

2011-2014



Institut de Mathématiques de Toulouse – [www.math.univ-toulouse.fr](http://www.math.univ-toulouse.fr)

Université Paul Sabatier – 31062 TOULOUSE CEDEX 9 – Tél : +33 5 61 55 67 90 – Télécopie : +33 5 61 55 75

**INSTITUT DE MATHÉMATIQUES  
DE TOULOUSE, UMR 5219**

**PROJET QUADRIENNAL**

**2011-2014**

---

**Auto-analyse :**

* Points forts	p : 2
* Points faibles	p : 4
* Opportunités	p : 5
* Risques	p : 6

**Projet et objectifs scientifiques :**

*Evolution des équipes	p : 7
*Politique scientifique	p : 7
*Politique d'animation	p : 8

**Ressources humaines**

*Analyse prospective des besoins et des compétences	p : 9
*Politique prévisionnelle de recrutements	p : 9
*Politique de formation	p : 11
*Politique d'hygiène et de sécurité	p : 11

**Moyens financiers:**

* Schéma de financement	p : 12
* Politique d'investissement	p : 14
* Politique de répartition	p : 15

**Annexes**

p : 16

**Projets des équipes**

* Emile Picard (EP)	p : 23
* Statistique et Probabilités (ESP)	p : 45
* Mathématiques pour l'Industrie et la Physique (MIP)	p : 61

**Projet de la bibliothèque**

p : 79

## 1. Auto-analyse

### Points forts de l'Institut Mathématiques de Toulouse

#### ❖ **Un spectre scientifique large**

L'Institut de mathématiques de Toulouse a un spectre scientifique très large. Dans les domaines des mathématiques fondamentales (algèbre, analyse, géométrie), des edp et de la modélisation, des probabilités, de la statistique, du calcul scientifique, l'IMT rassemble des spécialistes reconnus internationalement. Cette diversité scientifique favorise les interactions internes et externes. Elle est un élément d'attractivité important pour les visiteurs étrangers.

Citons les thèmes dans lesquels l'IMT est fortement impliqué :

- L'arithmétique et ses applications à la cryptographie, la dynamique complexe et les feuilletages, la géométrie des groupes et la topologie de basse dimension, la géométrie différentielle.
- l'analyse multi-échelle des systèmes complexes, l'analyse des e.d.p, le calcul scientifique, l'imagerie, l'optimisation, le contrôle des e.d.p.,
- en probabilités et statistique, la modélisation aléatoire, les matrices aléatoires, les inégalités fonctionnelles, la statistique asymptotique.

Plusieurs axes sont transverses aux équipes de l'IMT :

- l'analyse réelle et l'analyse harmonique en lien avec les e.d.p. (domaine qui a bénéficié du recrutement de chercheurs de très haut niveau ces deux dernières années),
- Le transport optimal,
- la modélisation de systèmes complexes.

Nous y reviendrons de manière plus complète dans le paragraphe 'Politique scientifique'.

#### ❖ **Une reconnaissance scientifique internationale**

Les membres de l'IMT sont impliqués dans les comités de rédaction de nombreuses revues internationales de haut niveau, dans l'organisation de conférences internationales et dans des comités scientifiques internationaux. Ils participent régulièrement à des instances nationales et internationales d'évaluations et de recrutements. Ceci permet à l'IMT d'avoir une vision claire et documentée de l'évolution des différentes thématiques en mathématiques, et d'identifier ainsi les sujets émergents et porteurs.

L'IMT accueille un nombre important de visiteurs étrangers de tous les horizons géographiques et mathématiques, pour des visites de courtes ou longues durées. En particulier l'IMT bénéficie chaque année d'un fort contingent de postes d'invités.

La publication des Annales de la faculté des sciences de Toulouse et l'organisation du prix Fermat sont deux vecteurs importants de la visibilité internationale de l'IMT.

Le nombre de publications dans des revues internationales est élevé (plus de 200 ans par an), avec une politique de publications de qualité (10% à 15% dans les meilleures revues des domaines concernés). Le taux de non-publiants reste bas (environ 10% des membres) pour être précis : sur 183 chercheurs et enseignants-

chercheurs (émérites inclus), 14 (10 UPS, 1 UT1, 2 UT2 et 1 INSA) n'ont aucune publication et 9 (7UPS, 1UT2 et 1 INSA) ont une publication et la plupart du temps une prépublication ou fait soutenir une thèse.

#### ❖ **Projets ANR/GDR**

Depuis l'ouverture des appels à projets ANR (Blancs, Jeunes et thématiques), les membres de l'IMT sont membres, responsables d'un partenaire ou responsables dans presque 40 projets. Ce très fort dynamisme n'a fait que s'amplifier dans la période récente et aura un effet structurant fort pour les directions de recherche à venir.

Des participations à de nombreux GDR (GDR Géométrie, Arithmétique et Probabilités, GDR Singularités et Applications, GDR Tresses) et un GDR Européen (Contrôle des EDP) viennent renforcer la place des mathématiques toulousaines en France.

#### ❖ **Projets internationaux**

L'IMT est aussi très présent sur les appels à projets de coopérations internationales bilatérales ou multilatérales. Il est aussi impliqué dans des opérations de plus grande envergure : deux LIA (Laboratoires Internationaux Associés, avec l'Uruguay et avec le Mexique), le projet MELISSA et le projet CREMMA. Ces projets, rendus possible par la très bonne visibilité des équipes de l'IMT en France et à l'étranger, ne feront que renforcer son rayonnement.

#### ❖ **Politique de partenariat**

L'IMT a développé une forte politique de partenariat avec le secteur privé et public. Elle est concrétisée par de nombreuses thèses CIFRE ou thèses financées par des grands organismes (CEA, ONERA, CNRS) et est appuyée par de nombreux contrats industriels.

#### ❖ **L'Ecole Doctorale**

L'IMT est adossée à une des grosses écoles doctorales du site toulousain (l'Ecole Doctorale Mathématiques-Informatique-Télécommunications de Toulouse), parfaitement insérée dans l'environnement scientifique, technologique et industriel de la région. Ceci permet un fort investissement de l'IMT dans la formation doctorale. Dans ce domaine l'IMT est devenu un centre attractif, qui bénéficie d'une dizaine d'allocations de thèses chaque année auxquelles s'ajoutent 4 ou 5 AMN/AMX par an.

#### ❖ **La politique de recrutement**

La politique affichée de non recrutement local et la qualité des habilitations soutenues à l'IMT font qu'un nombre significatif de maîtres de conférences habilités sont recrutés comme professeurs en dehors de Toulouse. Ceci assure un renouvellement de la jeune génération de l'IMT ainsi qu'une évolution certaine des thématiques.

#### ❖ **La bibliothèque**

L'IMT bénéficie d'une bibliothèque ayant un fond important d'ouvrages et de périodiques vivants. Elle est gérée par une équipe de tout premier ordre capable d'anticiper et de répondre à l'exigence des besoins documentaires de la communauté mathématique toulousaine.

### ❖ **Le potentiel humain**

L'équipe administrative, soudée et performante, a su évoluer vers une organisation mieux adaptée à la diversité de ses missions et à la taille de l'IMT. La gouvernance de l'IMT a été facilitée par le recrutement d'une secrétaire de direction depuis janvier 2009. L'organisation administrative de l'IMT, qui est un de ses points faibles (Cf. points faibles), pourrait par la mise en place d'une organisation et de procédures mieux définies devenir, dans le futur proche, un de ses points forts.

## **Points faibles de l'Institut Mathématiques de Toulouse**

### ❖ **L'organisation administrative de l'IMT**

L'IMT est passé en 2008 d'une structure de fédération de trois équipes de 60 permanents gérées de manière autonome à celle d'un institut. Parallèlement les services administratifs et financiers de l'IMT ont connu deux réorganisations.

En janvier 2008, une équipe REVA (Recherche et Valorisation) de 4 personnes a été mise en place pour gérer les ressources affectées (contrats industriels, projets ANR...). Les autres crédits étaient gérés au niveau de l'Institut et des équipes par 2,5 secrétaires gestionnaires (+ 0,5 pour les annales).

En janvier 2009, l'arrivée de SIFAC, avec une politique d'accréditations très sélective mise en place par l'UPS, nous a obligé à réorganiser la structure financière de l'IMT.

Dès octobre 2009, le pôle financier de l'IMT (6 secrétaires gestionnaires pilotées par un responsable administratif), devrait être regroupé au 1<sup>er</sup> étage du 1R3. Ce pôle gère la totalité du budget de l'IMT (récurrent et ressources affectées). Un autre pôle, intitulé 'appui à la recherche/communication', sera composé de trois personnes (une secrétaire de direction ASI, une secrétaire technicienne B et une contractuelle). Il devrait être en charge, dès 2010, de l'organisation et du suivi des bases de données (listes des membres, visiteurs, contrats, projets financés, collaborations internationales, locaux...), des relations avec les autres services de l'Université (SAIC, Direction de la recherche...), des relations avec les tutelles, du suivi des appels d'offres, de l'organisation logistique des manifestations, de la communication, de l'aide au montage de dossiers, du site Web.

C'est l'activité de ce pôle 'appui à la recherche/communication' qui est à l'heure actuelle un des points faibles de l'IMT. Si l'IMT veut pouvoir bénéficier d'une excellente visibilité internationale, il doit se doter d'une équipe capable d'apporter en interne un appui logistique, administratif et organisationnel pour permettre aux chercheurs de l'IMT d'être encore plus présents dans le montage d'actions scientifiques et d'offrir en externe une communication plus claire.

Malgré les progrès réalisés, notamment pour le Mail et le site WEB, l'homogénéisation et la mutualisation des ressources informatiques de l'IMT reste un chantier prioritaire. La restructuration de la cellule informatique est en cours: deux IR quittent la cellule, un IE va être recruté et il reste deux techniciens dont 1 CDD. Vu l'ampleur du chantier et l'importance du réseau et des ressources informatiques de l'IMT, il y a là une insuffisance patente au sein de la cellule informatique, en particulier d'un technicien supplémentaire en charge de la maintenance du réseau informatique de l'IMT.

### ❖ **L'informatique à l'IMT**

La situation actuelle du parc informatique à l'IMT peut être succinctement décrite comme suit. L'équipe Emile Picard est en grande partie équipée de clients légers, l'équipe MIP est équipée de PC (un parc récent pour moitié et un parc ancien pour le

reste), l'équipe ESP travaille pour une grande partie sur des ordinateurs portables (PC, Mac). Le mail des membres d'ESP, géré précédemment par le CICT, n'a pas encore totalement migré sur les serveurs de l'IMT. Il y a donc encore trois structures qui coexistent. Les clients légers ne permettent pas de répondre aux exigences de bureautique auxquelles doit faire face un chercheur actif.

La décision a été prise en Mars 2009, en accord avec les équipes et la cellule informatique, de :

- remplacer les deux serveurs de Mail existants (Picard et MIP) par un seul (cet objectif sera réalisé après l'arrivée de l'IE prévue en décembre 2009),
- migrer les derniers comptes cict sur ce serveur,
- doter le réseau de l'IMT de deux serveurs d'impression, un pour LINUX, un pour Windows,
- remplacer les clients légers par des PC (sous LINUX ou Windows) et d'équiper tous les membres de l'Institut de matériel performant.

Cette politique d'uniformisation, qui était difficile quand coexistaient deux systèmes et quand la direction de la cellule informatique était bicéphale, devrait être facilitée par la définition d'une politique commune, maintenant bien acceptée par tous.

#### ❖ **La pyramide des âges**

La pyramide des âges est un des points faibles de l'IMT, nous y reviendrons plus loin quand nous aborderons la politique de recrutement.

### **Opportunités**

#### ❖ **FREMIT**

Initialement FREMIT a été organisée autour de trois thèmes majeurs :

- l'imagerie médicale,
- la fouille de données,
- la cryptographie et la sécurité.

A ces trois axes est venu s'ajouter le thème 'Systèmes Complexes'. Ces thèmes ont ouvert de nouveaux horizons à la recherche mathématique dans des domaines aussi variés que l'arithmétique, la modélisation déterministe ou stochastique, la théorie des graphes et les équations aux dérivées partielles. Cette collaboration IMT/IRIT s'est avérée très fructueuse et sera fortement encouragée par l'équipe de direction de l'IMT au cours du prochain quadriennal.

#### ❖ **MIBS**

Au sein des disciplines rassemblées dans le pôle ST2I, les interactions avec les sciences biologiques sont en forte croissance. Les mathématiques et l'informatique sont fortement concernées par les questions de modélisation, de bio-statistiques liées au génome, de fouilles de données, de systèmes multi-agents complexes, d'imagerie biologique et médicale. La création de la plate-forme 'MIBS' vise à créer un forum qui a pour but de dynamiser ces interactions par des échanges et des mises en réseau et la mise en partenariat des compétences et des savoir-faire. Elle permettra en outre d'assurer la visibilité de ces activités, et d'en affiner le périmètre afin de préparer, pour l'avenir, une ou des structures institutionnelles fortes de type fédération de recherche. Dans l'immédiat, elle a défini trois axes principaux : bio-statistique et bio-informatique liées au génome, imagerie biologique et médicale, systèmes complexes et modélisation au sein desquels existent déjà de nombreuses

collaborations avec les sciences biologiques. Les mathématiciens de l'IMT sont fortement impliqués dans ce projet qui représente une de nos priorités à venir.

#### ❖ **RTRA STAE**

Le réseau thématique de recherche avancé 'Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace' a lancé plusieurs appels à projets de 2006 à 2009. L'IMT est partenaire dans les projets :

- PLASMAX sur la modélisation de Plasmas spatiaux (MIP/Transport),
- OSYCAF sur Optimisation d'un système couplé fluide-structure représentant une aile flexible (MIP/OFCO),
- ACCLIMAT sur l'adaptation au changement climatique de l'agglomération toulousaine (MIP/OFCO).

Le RTRA STAE a également confié à Pierre Degond l'animation d'un groupe de réflexion sur les futurs appels à projet dans le domaine de la modélisation.

L'IMT a donc bénéficié des opportunités créées par l'existence de ce RTRA et compte continuer à investir le thème 'Aéronautique-Espace' riche en interactions.

#### **Analyse réelle, Analyse harmonique** (cf également la section 'axes transverses')

Le recrutement en 2009 de S. Petermichl est une opération scientifique de l'IMT qui a pour objectif de créer un groupe de recherche d'excellent niveau dans les domaines de l'analyse réelle, de l'analyse harmonique en lien avec les équations aux dérivées partielles. Ce groupe, transverse aux sections 25 et 26, pourra s'appuyer sur un fort potentiel en edp, nouvellement renouvelé (avec les recrutements de P. Raphaël, M. Maris, S. Bouclet et la nomination récente de P. Laurençot comme DR-CNRS), et sur un recrutement programmé en 2010 d'un MCF.

#### **Risques**

- ❖ **Absence d'une antenne de l'INRIA** sur le site toulousain. Plusieurs grands centres scientifiques comparables à Toulouse, ou plus petits, bénéficient de la présence d'antennes de l'INRIA (Grenoble, Bordeaux, Lille, Rennes, Nancy, Pau, Strasbourg).

Dans ces sites, la présence de l'INRIA joue le rôle de catalyseur pour de nombreux projets en Mathématiques Appliquées. L'absence d'implantation de l'INRIA à Toulouse crée donc un différentiel de moyens et de potentiel par rapport à d'autres laboratoires comparables.

Pourtant la présence d'un laboratoire de Mathématiques, en forte interaction avec le tissu industriel local, et les différentes potentialités de l'IMT dans le domaine des plasmas (P. Degond), de l'environnement (J.-P. Vila, J. Monnier), de l'imagerie (M. Masmoudi) seraient susceptibles d'intéresser l'INRIA. Mentionnons par exemple que l'équipe MIP/Transport est membre de l'Action d'Envergure Nationale sur la fusion (dans le cadre du projet ITER, action pilotée par l'INRIA).

- ❖ **Le caractère multi-sites des équipes de l'IMT** peut rendre difficile la mise en œuvre et l'affichage d'une politique scientifique globale et concertée au niveau des recrutements. Celle-ci est en effet tributaire de la politique et des contraintes propres à chaque établissement, et en particulier du redéploiement des postes.

Par exemple la politique de l'UPS consistant à mettre au pot commun 20% des postes vacants risque de pénaliser l'IMT dont une proportion importante des postes vacants provient de mutations ou promotions, et non de départ à la retraite.

- ❖ **Problème d'exiguïté des locaux** dévolus à l'IMT. Malgré les travaux importants menés au niveau des locaux, pour offrir aux membres de l'Institut un cadre de travail digne de ce nom, l'IMT manque de bureaux et de salles de travail. L'accueil des doctorants, des post-doctorants et des chercheurs invités, comme l'organisation de conférences internationales restent toujours un problème difficile, souvent résolu au détriment du confort des personnes accueillies.

Le problème des locaux pourrait être un obstacle majeur à la mise en place d'un centre mathématique capable d'organiser des manifestations thématiques mensuelles, voir trimestrielles, ou de réunir chercheurs et industriels autour de projets scientifiques communs.

## 2. Projets et objectifs scientifiques

### Evolution des équipes

Organigramme fonctionnel : voir annexe

Les équipes ont leur prospective propre qui sera prise en compte, mais l'IMT veillera ce que le contour des équipes ne soit pas un obstacle aux interactions thématiques, ni à l'émergence de thèmes transverses ou à l'introduction de nouvelles thématiques. C'est ce qui s'est passé pour la thématique « Analyse réelle, analyse harmonique » qui doit s'implanter au carrefour des trois équipes de l'IMT.

### Politique scientifique

La politique scientifique de l'IMT a pour but de favoriser un développement équilibré des axes de recherche spécifiques aux équipes et a pour ambition de développer des synergies, d'une part au sein et entre les trois équipes et, d'autre part, entre les équipes de l'IMT et des partenaires d'autres disciplines scientifiques.

#### ❖ **Axes transverses**

Les membres de l'IMT sont fortement impliqués dans plusieurs thèmes de recherche transverses. Dans le domaine de l'imagerie, en particulier celui de l'imagerie médicale, une équipe de MIP (autour de M. Masmoudi, J. Fehrenbach et P. Marechal) et une équipe d'ESP (JM. Loubes, F. Gamboa) ont une activité et des contributions reconnues internationalement. Le développement de ce thème, en partenariat avec l'IRIT (via la Fédération FREMIT), et en liaison avec la création de la plateforme MIBS est une des priorités de l'IMT.

La modélisation déterministe/aléatoire de systèmes complexes (phénomènes d'auto organisation, dérivation de modèles macroscopiques à partir de modèles microscopiques) est un autre thème dans lequel les équipes de l'IMT (MIP et ESP) sont reconnues comme experts/leaders internationaux. Ce thème, en liaison avec la plateforme MIBS, est un des axes forts du projet de l'IMT. Deux projets ANR (PEDIGREE, PANURGE) viennent soutenir ces actions.

Sur le thème du transport optimal (très fortes compétences dans l'ESP), des collaborations sont en cours et seront développées entre probabilistes, edpistes et géomètres. L'analyse, la géométrie et les edp ont bénéficié, dans les deux dernières années, d'un profond renouvellement (arrivées de P. Raphaël, S. Petermichl, J.-M. Bouclet, M. Maris et P. Laurençot DR CNRS). Cette équipe devrait être étoffée par le recrutement d'un MCF sur un poste émanant d'un projet scientifique labellisé par le Conseil Scientifique de l'UPS. Ce très fort potentiel est à même de créer une dynamique scientifique très riche au sein de l'IMT dans la période à venir.

D'autres projets sont à l'interface entre les mathématiques et d'autres disciplines, le projet MOSITER (Modélisation de plasmas pour ITER) est labellisé par le Conseil Scientifique de l'UPS et implique l'IMT (MIP), l'informatique (IRIT) et des physiciens de l'UPS. C'est une des actions phares de la Fédération FREMIT.

Des collaborations sont émergentes dans le domaine de la Spintronique entre l'IMT et une équipe de l'INSA (nanotechnologies).

Enfin, signalons des collaborations très actives entre l'IMT et l'IMFT sur le contrôle d'écoulements (ANR CORMORED, projet déposé FNRAE), avec le CERFACS en Electromagnétisme, et avec l'ONERA-Toulouse sur les écoulements diphasiques.

### **Politique d'animation**

L'émergence de l'IMT correspond à une réelle évolution du paysage scientifique en région Midi-Pyrénées (émergence de grosses structures à forte visibilité internationale). L'IMT doit maintenant se donner les moyens de créer l'environnement scientifique et matériel d'un véritable **centre de mathématique**, capable d'accueillir les meilleurs experts mondiaux dans les domaines où il est fortement impliqué. Nous souhaitons pour cela mettre en place des **mois ou trimestres thématiques**. La programmation scientifique pourra être définie en synergie avec les objectifs et intérêts des équipes de recherche de l'IMT, les autres instituts du site toulousain et le tissu technologique et industriel. Plusieurs facteurs sont susceptibles de favoriser la mise en œuvre de cette politique :

- une palette scientifique très large et performante,
- une visibilité internationale réelle avec un flux important de visiteurs dans tous les domaines des mathématiques,
- un volant important de postes de professeurs et maîtres de conférences invités,
- un savoir faire dans l'organisation d'évènements internationaux,
- une bibliothèque de premier plan avec un fond documentaire très important,
- des locaux rénovés avec l'espoir de récupérer à terme un couloir du bâtiment 1R2,
- le projet de nouveaux locaux devant héberger une plateforme Mathématiques-Informatique-Biologie systémique,
- un soutien de plus en plus fort de la région, par exemple au niveau des chaires d'excellence Fermat,
- un environnement scientifique et technologique de pointe, large et diversifié.

La politique d'invitation et de programmation pourra favoriser :

- des ouvertures thématiques vers des sujets en émergence ou à développer,
- des projets de recherche transversaux à des équipes de l'IMT ou avec d'autres instituts du site toulousain,
- des collaborations plus spécifiques avec des membres de l'IMT.

Pour réaliser cet objectif, la logistique d'accueil des invités doit être améliorée. Il est nécessaire de bénéficier d'une dizaine de bureaux regroupés pour que leurs visites

et l'organisation d'évènements thématiques soient profitables à la communauté scientifique toulousaine.

Ces postes doivent aussi permettre d'attirer à l'IMT de jeunes chercheurs en vue d'un recrutement possible.

Cette politique d'invitations ne remet pas en cause le soutien fort aux animations scientifiques régulières de l'IMT comme les séminaires hebdomadaires et les groupes de travail réguliers, liés plus spécifiquement aux axes thématiques des équipes, ou les événements plus transversaux à l'Institut (colloquium de l'IMT, séminaire des doctorants....).

## **2. Ressources humaines**

### **Analyse prospective des besoins et des compétences.**

#### **❖ Secrétariat**

Vu la taille de l'IMT et les nouvelles procédures qui devraient se mettre en place au sein de l'UPS pour la gestion des laboratoires, la cellule financière aurait besoin de recruter un agent plus particulièrement en charge du suivi de la comptabilité.

La cellule 'appui à la recherche/communication' aura besoin d'un agent supplémentaire en appui à l'organisation des manifestations scientifiques de plus en plus nombreuses programmées à l'IMT, surtout avec la mise en place de mois ou trimestres thématiques.

#### **❖ Cellule Informatique**

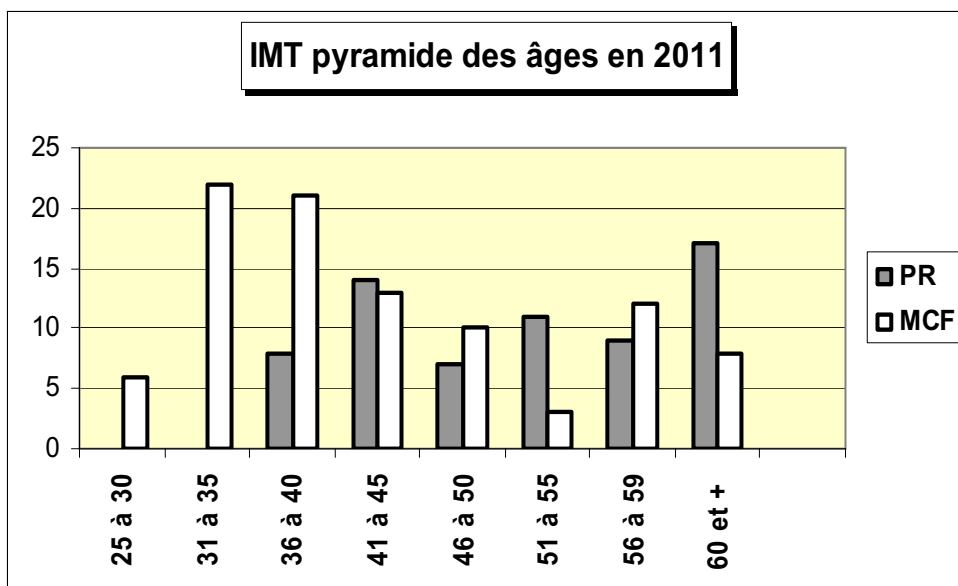
Avec le recrutement d'un IE (en novembre 2009), le recrutement de deux techniciens supplémentaires est nécessaire pour assurer une logistique efficace de la plateforme informatique de l'IMT, répondant aux besoins et aux demandes des membres de l'IMT. Par exemple il faut configurer l'équipement informatique de tous les bureaux rénovés dans le bâtiment 1R1, et dans les 5 prochaines années c'est tout le parc informatique de l'IMT qui doit être renouvelé.

#### **❖ Ingénieurs de recherche**

Il y a une très forte demande au sein des membres de l'IMT d'un soutien à la recherche de la part des ingénieurs de recherche. Ceux-ci sont actuellement en nombre insuffisant pour répondre à cette demande. Il faudrait prévoir le recrutement d'au moins deux ingénieurs de recherche supplémentaires pour pouvoir mettre en place une cellule de calculs scientifiques en soutien à la recherche.

### **Politique prévisionnelle de recrutements**

Ci-dessous, pyramide des âges de l'IMT. En annexe, pyramides des âges des équipes.



Au cours du prochain quadriennal (2011-2014) 7 PR et 5 MCF auront 65 ans ou plus. Cela représente 7,5% des enseignants-chercheurs de l'IMT. Entre 2015 et 2018, ce sont 12 PR et 8 MCF qui atteindront cet âge. Ce sont donc 19 PR et 13 MCF qui risquent de partir à la retraite entre 20011 et 2018, soit environ 20% des enseignants-chercheurs de l'IMT. Ce sont les équipes MIP (9 PR) et Picard (7 PR) qui sont le plus touchées par ces départs.

Pour palier le risque d'affaiblissement et même de disparition de certaines thématiques, avec une perte de potentiel significative, l'IMT va renforcer sa politique prévisionnelle de recrutements, par une prise en compte globale et concertée avec les différentes tutelles des départs à la retraite.

Il s'agit d'anticiper les prochains départs à la retraite par un redéploiement des postes au niveau de l'IMT. Pour cela il faut identifier les thématiques fortes ou émergentes à préserver ou à développer, évaluer le vivier des candidats, prendre en compte les attentes du milieu scientifique et technologique toulousain. Ceci doit se faire en adéquation avec la politique scientifique et pédagogique des tutelles.

Pour le prochain mouvement en 2010, il y aura 3 postes de PR et 7 postes de MCF, dont un poste de MCF à l'IUT A et un poste de MCF à l'INSA. Pour permettre un recrutement d'excellence dans un vivier suffisamment large de candidats, le profil affiche d'abord la priorité de recrutement, puis des ouvertures assez larges pour assurer un recrutement d'excellence. La priorité de l'IMT reste la qualité du recrutement.

Les profils demandés tiennent compte des souhaits et de la politique des équipes. Cependant sur les 8 supports UPS la publication de deux supports (1 support PR et 1 support MCF) a été demandée en 25-26. Sur ses supports il s'agit de favoriser des recrutements sur des thématiques nouvelles ou émergentes à l'IMT, avec un profil suffisamment large pour concerner toutes les composantes. Le profil du support PR 25-26 affiche une ouverture thématique vers des aspects plus géométriques des EDP et des équations d'évolution. Le profil Analyse du support MCF 25-26 répond à une opération scientifique, correspondant à la création d'un nouvel axe de recherche

« Analyse réelle, analyse harmonique ». Ce poste vient en soutien au recrutement d'un professeur en 2009 dans cette thématique.

Cette politique d'ouverture sur des postes fléchés 25-26, à l'interface des équipes de l'IMT, sera poursuivie dans l'avenir. A terme c'est la majorité des supports (au moins en PR) qui sera demandée en 25-26 pour assurer le choix le plus large possible d'excellents candidats et profiter des opportunités de recrutement. Les fléchages 25 ou 26 ne doivent être maintenus que pour des opérations scientifiques bien identifiées et dans des thématiques ayant un vivier de candidats suffisants. Ces postes pourraient alors être publiés au fil de l'eau. Dans cette optique, les équipes devront faire chaque année un travail important de prospective qui sera un élément déterminant de la politique de recrutement de l'IMT.

#### ❖ **Politique de formation**

L'IMT est composé de nombreux agents avec des statuts différents, et il est difficile de sensibiliser les membres de l'IMT, en particulier les chercheurs et enseignant-chercheurs, à la formation. De fait celle-ci concerne prioritairement les personnels administratifs et techniques, ainsi que les doctorants et dans une moindre mesure les enseignants chercheurs étrangers nouvellement recrutés.

L'IMT va poursuivre et intensifier sa campagne de sensibilisation à la formation. En particulier la direction de l'IMT va renforcer la visibilité et le rôle du Correspondant Formation au sein de l'UMR. A cet effet, un espace formation va être créé sur le site internet de l'Institut pour présenter les offres et mettre en accès les formulaires de demande de formation avec un rappel sur les différents droits relatifs à la formation.

Un autre objectif est de mieux identifier les besoins et de centraliser les demandes de formations. Pour ce faire, l'IMT a décidé de réitérer chaque année l'envoi d'un **questionnaire d'analyse des besoins en formation** à tous ses membres. De plus les réponses, collectées grâce au questionnaire 2009, ont permis de connaître les agents qui souhaitent mettre à disposition leurs compétences pour contribuer à la formation. C'est là un début, et l'IMT souhaite encourager ce type de démarche et favoriser la formation interne.

#### ❖ **Politique d'hygiène et de sécurité**

L'IMT n'est pas exposé à des risques particuliers, mais il abrite une communauté de plus de 300 personnes et il est amené à recevoir du public (cours, colloques, conférences). La rénovation et la remise aux normes des locaux de l'IMT est en phase terminale. Elle prévoit la sécurisation des étages supérieurs de l'IMT, ne laissant en libre accès au public que le rez de chaussée. Des badges sont prévus pour accéder aux étages et le week-end aux bâtiments de l'IMT.

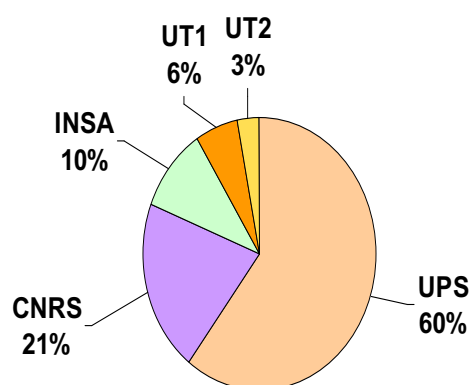
Le règlement intérieur, élaboré et approuvé par le conseil de l'Institut en 2008, suivra l'évolution de la réglementation en matière d'hygiène et sécurité. En particulier sous la responsabilité de l'agent ACMO de l'IMT (nommé en 2009 et chargé de la Mise en Œuvre des règles d'hygiène et de sécurité) un registre d'hygiène et de sécurité sera mis à la disposition des agents afin de retranscrire tous les incidents survenant à l'Institut. Ce recueil permettra d'élaborer un rapport d'hygiène et de sécurité décrivant le plan de prévention annuel de l'Institut.

#### 4. Moyens financiers:

##### Schéma de financement

Dotation annuelle de l'IMT (en K€ TTC avant prélèvement BQR) pour le contrat quadriennal 2007-2010:

	Récurrent	Non récurrent	Total
IMT	645	1200	1 845
Bibliothèque	110	0	110
<b>Total</b>	<b>755</b>	<b>1200</b>	<b>1955</b>



##### Budget annuel prévisionnel (2011-2014)

Le budget annuel prévisionnel de l'institut (en K€ TTC avant prélèvement BQR) pour le prochain plan quadriennal (2011-2014) s'établit à **950K€**.

##### ❖ Répartition annuelle par établissement:

	Obtenu 2007-2010	Demandé 2011-2014
UPS	390	600
Bibliothèque	110	
CNRS	132,5	200
INSA	65	80
UT1	38	45
UT2	19,75	25
<b>Total</b>	<b>755,25</b>	<b>950</b>

❖ **Ventilation des crédits demandés:**

Informatique, bureautique	140
Mobilier	60
Bibliothèque	250
Affaires générales	
Actions transverses	250
Soutien aux équipes	250
Total	950

❖ **Ventilation du budget informatique, bureautique:**

Description	Coût annuel
Postes de travail informatique : remplacement du parc existant (20% par an) 350 postesx800€ = 280k€ soit 70k€ par an	70
Equipement téléphonie sur ip imposé par l'ups : coût d'un poste 400€ x50 postesX4ans = 80 k€	20
Photocopieur numérique	6
4 Vidéoprojecteurs fixés au plafond et sécurisés	2
4 Imprimantes X 4ans X 2,5K€ = 40 K€	10
Serveurs Informatiques spécialisées : Baie de stockage, réseaux, calculs, graphiques, web 4 par anX4ansX4K€ = 64K€	16
Vacations secrétariats mi-temps 1kX12mois	12
Equipement/ câblages de 2 salles de visioconférences préconisé par l'ups	4
Total	140

❖ **Justification de la demande**

Actuellement la dotation annuelle de l'Institut, avant prélèvement BQR, est de 755 K€. La dotation demandée de 950 K€, avant prélèvement BQR (15% en moyenne), correspond donc à un budget en augmentation de 25 % par rapport au budget du précédent contrat quadriennal.

L'Institut de Mathématiques de Toulouse représente un pôle important de mathématiques, peut être le deuxième sur le territoire français. La dotation demandée (950 K€ TTC avant prélèvement BQR) se justifie par la taille de l'IMT et le volume des missions, des invitations et des opérations scientifiques menées, surtout lorsque celui-ci est rapporté au nombre de chercheurs (environ 350, doctorants et post-doctorants inclus). Elle prend aussi en compte une augmentation significative du financement de la bibliothèque de Mathématiques et Mécanique.

Une localisation en province (très éloignée de Paris comme l'est Toulouse) entraîne des surcoûts importants. Pour chaque mission ou chaque invitation, un surcoût lié à l'acheminement depuis un 'hub' du trafic aérien (généralement Paris) doit être comptabilisé. Le fonctionnement régulier des séminaires suppose par ailleurs

l'invitation de nombreux chercheurs de la région parisienne faisant souvent l'aller-retour dans la journée en avion.

Par ailleurs, les institutions parisiennes bénéficient de plusieurs fonds bibliothécaires très importants. Par contre l'Institut de Mathématiques doit participer fortement au financement de la bibliothèque de Mathématiques et de Mécanique pour maintenir à un excellent niveau cet outil de travail indispensable. De plus, la suppression des PPF laisse planer une réduction très importante (50%) de la dotation de la bibliothèque de Mathématiques et Mécanique, que l'Institut devra compenser, s'il veut maintenir le niveau de qualité atteint, poursuivre l'effort d'excellence engagé et développer des ressources documentaires concernant les mathématiques et l'informatique pour les sciences du vivant, notamment la biologie systémique, la bio-statistique, la bio-informatique. L'Institut est en effet un des acteurs importants de l'émergence d'une plateforme Mathématiques-Informatique-Biologie Systémique (MIBS) qui est un des projets phares de l'UPS pour le prochain quadriennal. Cette plateforme MIBS doit être accompagnée au plan documentaire par le regroupement des bibliothèques de Mathématiques et Mécanique avec la bibliothèque d'Informatique dans les locaux de la plateforme prévus au Plan Campus. Il y aura là un gros investissement à faire dans le fond documentaire plus spécifiquement lié à la plateforme MIBS, ainsi que pour le déménagement et le réaménagement de la bibliothèque de Mathématiques et Mécanique dans ses nouveaux locaux.

En outre l'implantation de l'Institut sur le campus de l'UPS entraîne un certain nombre de dépenses d'équipements pratiquement imposés aux laboratoires (Téléphonie sur ip, salles de visioconférences,...)

C'est pourquoi, il nous semble que l'augmentation de 25% du budget de l'Institut demandée pour le quadriennal 2011-2014 reste une estimation raisonnable et réaliste des besoins de l'Institut de Mathématiques de Toulouse.

Cette augmentation correspond d'une part à l'augmentation de nos charges, ainsi qu'il l'a été exposé ci-dessus, et d'autre part à la nécessité de soutenir et d'encourager les activités scientifiques transverses de plus en plus nombreuses, qu'engendre la réunion des trois anciennes Unités de Recherche au sein de l'Institut. Par exemple, l'organisation de mois ou trimestres thématiques chaque année va demander un soutien logistique fort de la part de l'IMT. Il faut aussi noter l'investissement croissant de l'Institut dans des actions scientifiques lourdes, communes avec d'autres instituts ou laboratoires du site toulousain (FREMIT, MIBS....)

## **Politique d'investissement**

### **❖ Crédits mi-lourds (informatique)**

Il faut équiper en informatique tous les bureaux rénovés dans le bâtiment 1R1. Dans les 5 prochaines années tout le parc informatique de l'IMT doit être renouvelé. Il faut aussi prévoir la maintenance et le renouvellement des équipements informatiques lourds (serveurs, baies de stockage...) et mi-lourds (imprimantes, photocopieurs numériques, vidéoprojecteurs...). Il faut équiper au moins deux salles de visioconférences.

### **❖ Bibliothèque**

La suppression des crédits PPF va augmenter d'autant la participation de L'IMT au financement de la bibliothèque de Mathématiques et Mécanique.

De gros investissements sont à prévoir dans le cadre de la plate forme Mathématiques-Informatique-Biologie Systémique (MIBS), à savoir : développement des ressources documentaires concernant les mathématiques et l'informatique pour les sciences du vivant, déménagement et réaménagement de la bibliothèque de Mathématiques et Mécanique dans ses nouveaux locaux. (cf le projet de la bibliothèque).

#### ❖ **Rénovation et entretien des locaux**

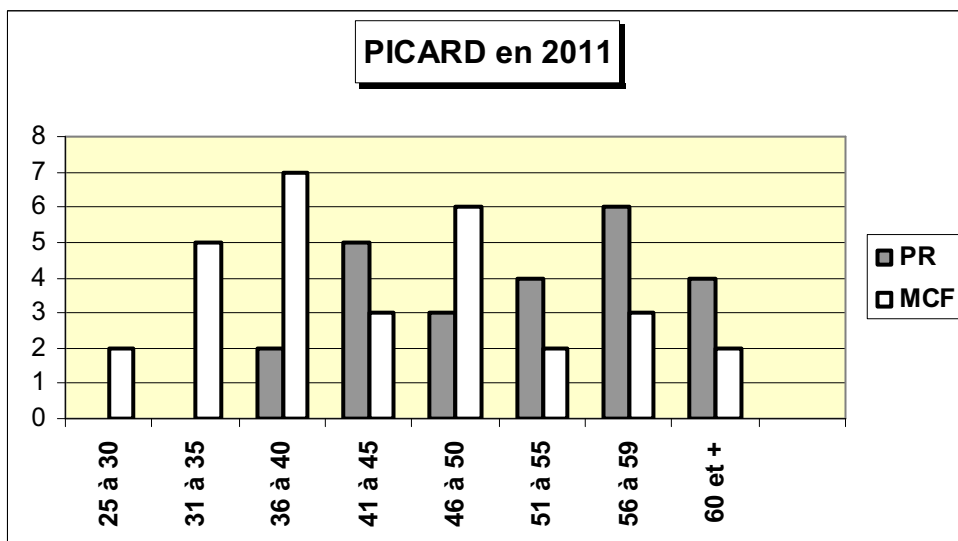
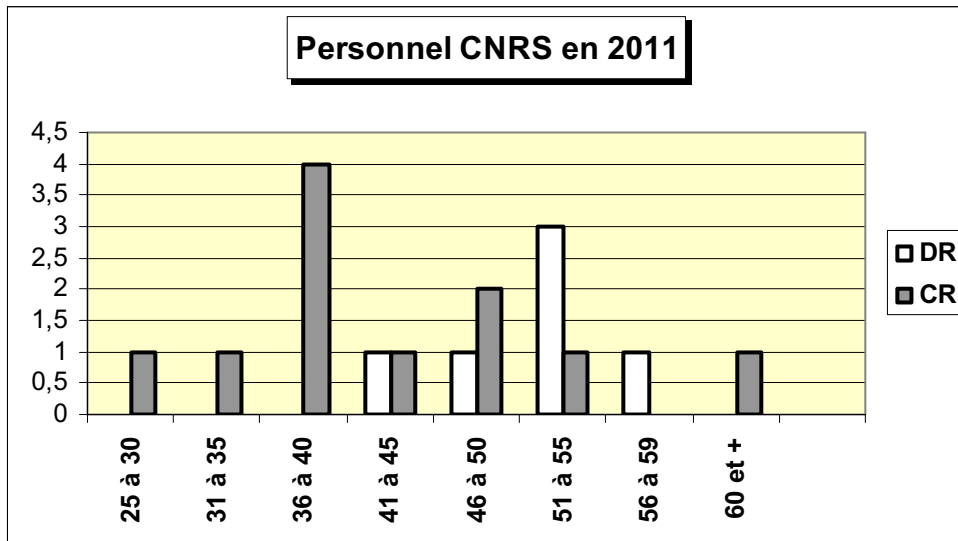
Bien que des travaux importants de rénovation et de mise aux normes aient été effectués dans les bâtiments de l'IMT ces dernières années, il reste encore beaucoup de travaux de rénovation et d'aménagements intérieurs, en particulier dans le bâtiment 1R2. De plus les façades des bâtiments 1R1 et 1R2 nécessitent un ravalement important et les huisseries des fenêtres doivent être changées.

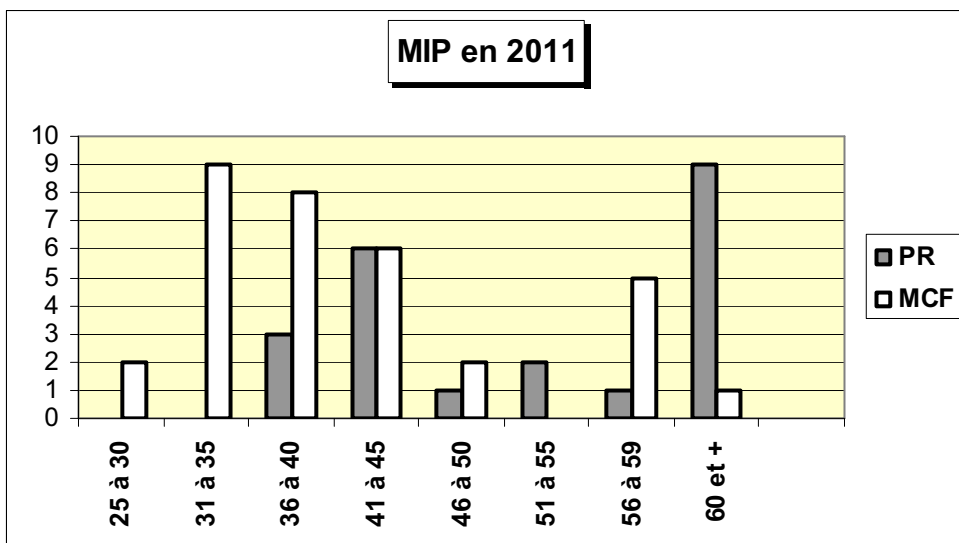
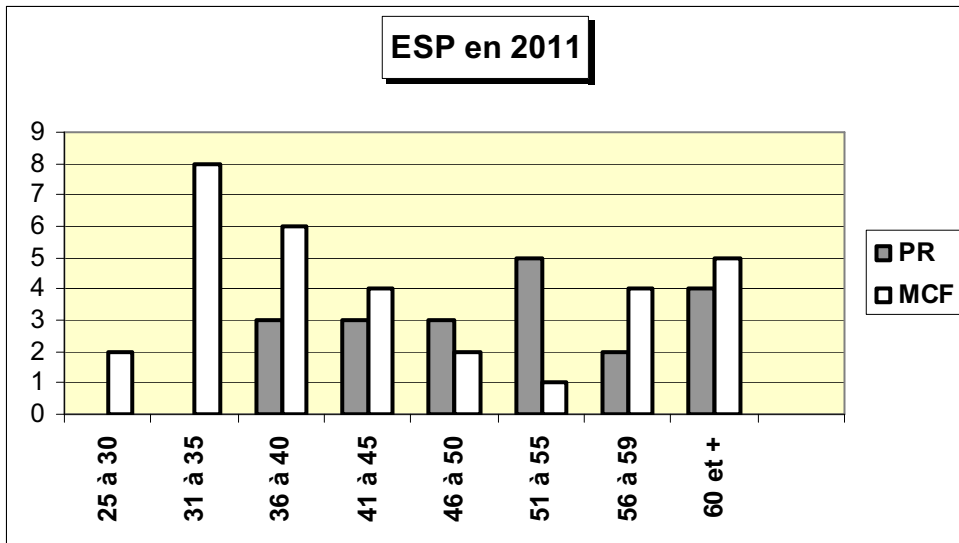
#### **Politique de répartition**

Les crédits récurrents seront découpés grossièrement en trois enveloppes d'un tiers à peu près chacune : affaires générales, bibliothèque et équipes. Cette répartition n'est pas figée et subira au long de l'année des cadrages suivant les besoins et les opérations scientifiques programmées. Les crédits récurrents seront utilisés en priorité pour les affaires générales de l'IMT, la bibliothèque et le soutien aux activités scientifiques transverses. Le soutien aux équipes viendra en complément des financements contractuels (ANR, ERC, GDR, contrats....).

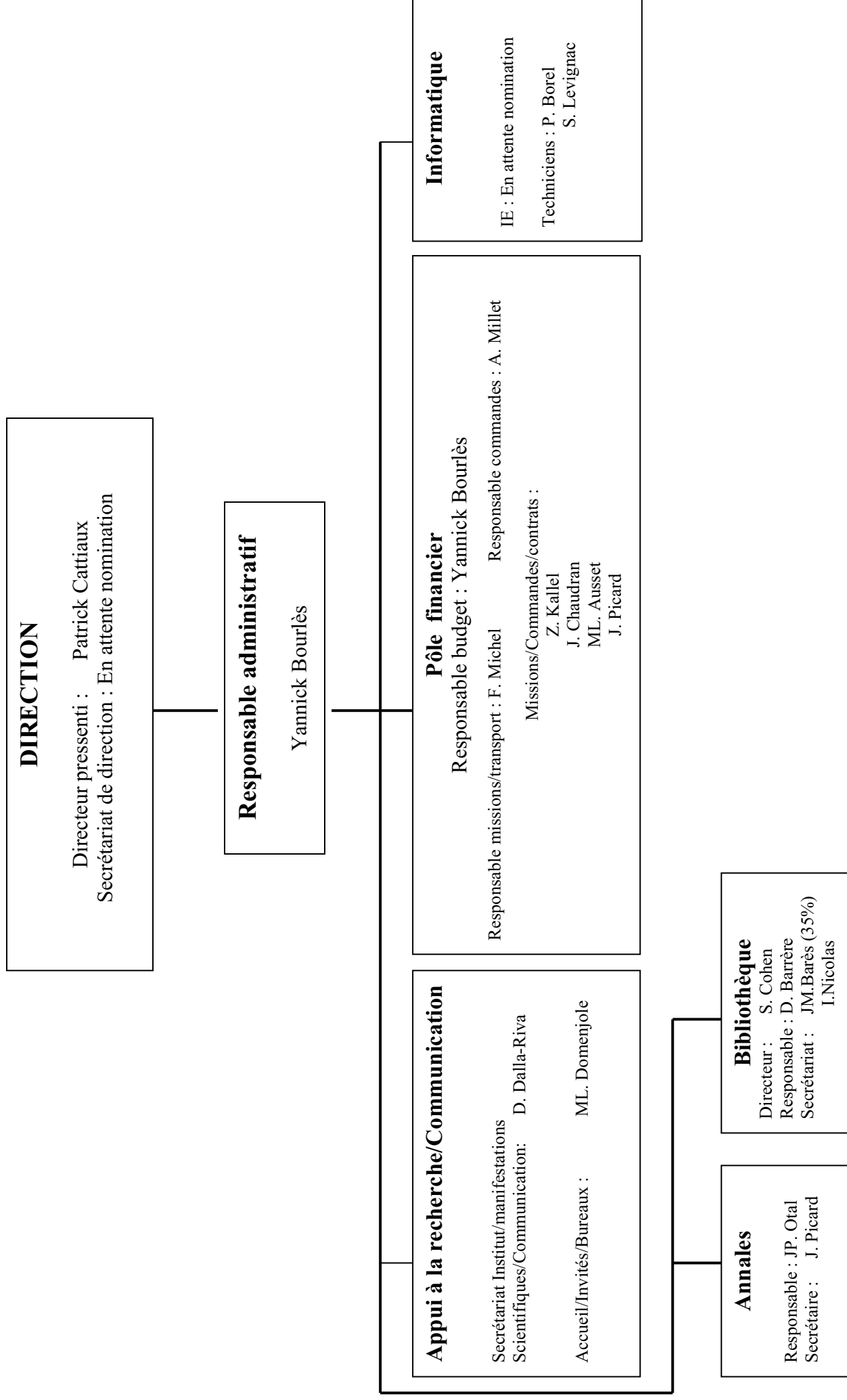
## ANNEXES

### ❖ Pyramides des âges

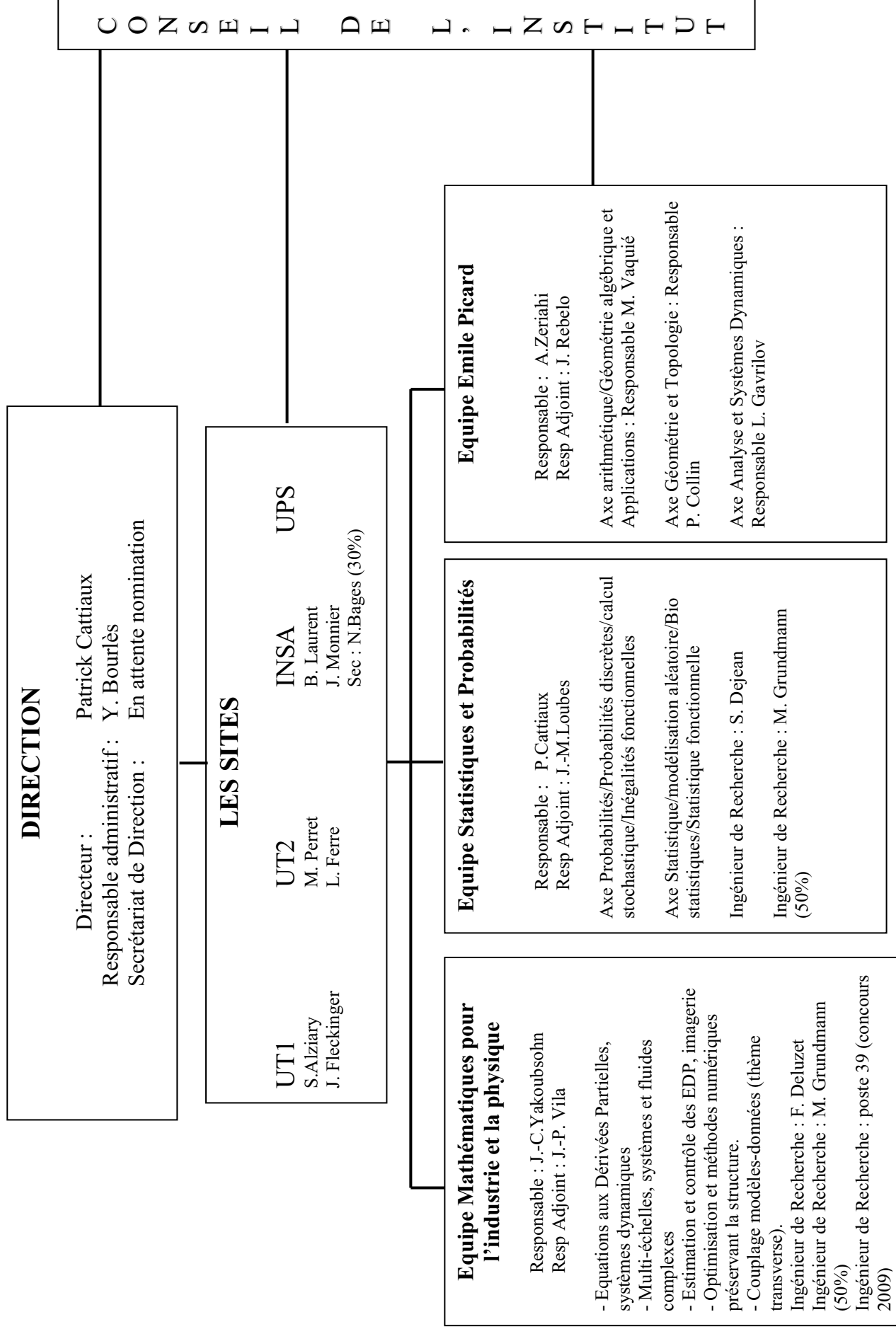




## 5. ORGANIGRAMME ADMINISTRATIF DE L'INSTITUT DE MATHÉMATIQUES DE TOULOUSE UMR5219



# ORGANIGRAMME DE LA RECHERCHE DE L'IMT



## Projet des équipes



## Projet de l'équipe Emile Picard (EP)



## PROSPECTIVE DE L'EQUIPE EMILE PICARD

### PERIODE 2009-2014

Les activités de recherche développées au sein de l'équipe Emile Picard (EP) couvrent un large spectre des mathématiques fondamentales allant de l'Algèbre abstraite (Arithmétique, théorie algébrique des champs, géométrie algébrique) à l'Analyse réelle avec des aspects probabilistes en passant par les différents thèmes de la géométrie (géométrie des groupes, géométrie riemannienne, lorentzienne, symplectique, complexe, de Poisson, non commutative), la topologie en petite dimension, les systèmes dynamiques réels et complexes, les feuilletages holomorphes et les équations différentielles et aux dérivées partielles.

Les mouvements récents de chercheurs en son sein ont entraîné un renouvellement et une évolution thématiques qui ont conduit à un regroupement des cinq axes existants en trois axes de recherche :

Axe 1 : Arithmétique, géométrie algébrique et applications

Axe 2 : Géométrie et Topologie

Axe 3 : Analyse et systèmes dynamiques

Cette réorganisation favorise le développement des activités transverses et des interactions entre les axes tout en renforçant leur pérennité vis vis des départs (promotions, mutations et retraites ).

L'insertion de l'équipe EP au sein de l'IMT a permis l'émergence de thématiques peu ou pas représentée dans l'équipe comme certains aspects des systèmes dynamiques réels (à cheval entre les équipes EP et MIP) ou l'Analyse harmonique en interaction avec l'équipe ESP.

La qualité de la recherche de l'équipe EP repose en particulier sur la présence d'un groupe de chercheurs de rang B très dynamiques et productifs. Ils ont vocation à être promus rang A en dehors de Toulouse, conformément à la politique actuelle de l'IMT et du CNRS. Il y a là une fragilisation possible de certains thèmes de recherche en pointe dans l'équipe EP. Pour pérenniser ces thèmes, la politique scientifique de l'IMT et de l'équipe EP ne peut pas se réduire à une reconduction systématique des thématiques déjà existantes, mais elle doit avoir pour objectif de renforcer ces thèmes par des recrutements d'excellence qui en élargissent le spectre.

La prospective proposée dans ce document doit être un des éléments déterminants de la politique scientifique de l'IMT pour le développement des mathématiques fondamentales au sein de l'IMT.

Elle sera déclinée en plusieurs points.

1. *Etat des lieux, évolution récente*
2. *Prospective de développements scientifiques*
3. *Evolution prévisionnelle des chercheurs et perspectives de recrutements*

### 1. Etat des lieux, évolution récente

L'équipe est à ce jour composée de 66 enseignants-chercheurs et chercheurs dont 31 rang A (27 PR + 2 DR + 2 PR émérites) et 35 rang B (31 MCF + 4 CR) répartis sur trois sites :

- UPS : 25 PR, 2 DR, 2 PRE, 29 MCF, 4 CR
- UT2 : 2 PR + 2 MCF.

Voici le bilan des départs et arrivés entre 2005 et 2009 :

#### Départs :

Rang A : 4 PR + 1 DR (T. Banica muté en 2009, Duval Julien muté en 2007, Nguyen Thanh Van retraité en 2008), Jean-Pierre Ramis retraité en 2006, Laurent Stolovitch muté DR en 2009 ).

Rang B : 7 MCF + 1 CR (P. Anglès retraité 2008, J. Guaschi promu PR 2007, Guedj Vincent promu PR 2007, D. Rotillon retraité 2008, Mac Shane Greg promu PR en 2008, B. Toën promu DR 2009, Kroum Tzanev échange MCF 2006, Nivoche Stéphanie promue PR 2008).

#### Arrivés

Rang A : 3 PR + 1 DR (Julio Rebelo PR-UPS, 2007, Jean-François Barraud PR-UPS 2008 , Jean-Pierre Otal DR-UPS 2006, Petermichl Stefanie 2009).

Rang B : 12 MCF + 1 CR (Jérôme Bertrand MCF-UPS 2006, Benoit Bertrand MCF-IUT de Tarbes 2008, Burgunder Emily 2009, Carillo-Rousse Paolo 2009, Dedieu Thomas 2009, Yohan Guntzmer 2009, Hardouin Charlotte MCF-IUT de Toulouse 2008, Lecuire Cyril CR-UPS 2006, Lizan Véronique MCF-IUFM avril 2009, Muranov Alexey MCF-UPS 2008, Niederkrueger Klaus 2009, Popovici Dan MCF-UPS 2007, Roesch Pascale MCF, 2006).

L'analyse des départs montre qu'au rang A, deux départs sur 5 sont des départs à la retraite, tandis qu'au rang B, plus de 8/10 sont dûs à des mutations ou promotions.

L'importance de ces mouvements au niveau du rang B et notamment le pourcentage des promotions vers l'extérieur est le résultat de la politique scientifique de l'équipe Emile Picard. Celle-ci s'inscrit dans la politique globale de l'IMT de prohiber le recrutement local et s'appuie sur trois principes essentiels :

- éviter la reconduction systématique des thèmes existants et soutenir les thèmes porteurs présents dans l'équipe
- privilégier les recrutements d'excellence dans les problématiques d'avenir en rapport avec ses thèmes ,
- favoriser l'émergence de nouveaux thèmes en interaction avec les thèmes existants dans l'équipe et plus globalement à l'IMT.

### 2. Prospective de développements scientifiques

Nous présentons maintenant les projets scientifiques des différents axes. Compte tenu de la variété des thèmes existants au sein de l'équipe nous avons choisi d'*indiquer la plupart des directions* et d'*en décrire quelques uns en détail* en privilégiant les *thèmes émergents*, les *ouvertures thématiques* et les *thèmes qui interagissent* au sein de l'équipe, de l'IMT et au delà.

### **Axe 1 : Arithmétique, géométrie algébrique et applications**

Les activités de recherche de cet axe vont continuer à se développer autour de plusieurs thèmes : théorie des nombres et applications à l'algorithmique et à la cryptographie, la géométrie algébrique homotopique, géométrie algébrique et singularités. Nous allons décrire un peu plus en détail quelques uns de ces thèmes.

#### *Théorie de nombres*

Dans ce thème la théorie algorithmique des nombres et des courbes algébriques continueront à être développée autour de Jean-Marc Couveignes et Marc Perret notamment, dans plusieurs directions :

- L'étude algorithmique des courbes modulaires : on cherche à faire un calcul explicite des représentations modulaires et applications aux problèmes diophantiens. Cette thématique développée autour de J-M. Couveignes en coopération avec Leyde (B. Edixhoven, R. de Jong, J. Bosman) a donné lieu à un livre. Il reste de nombreuses pistes explorer. Les résultats algorithmiques obtenus pour les courbes modulaires de niveau sans facteur carré peuvent être tendus au cas général. Les applications aux fonctions thêta de réseaux euclidiens conduisent d'intéressantes questions. Le cas de la dimension paire est accessible (formes modulaires de poids entier). Le cas de la dimension impaire est passionnant (e.g. calcul de nombres de classes d'anneaux quadratiques imaginaires) mais très difficile d'accès (formes de poids demi-entier). Les aspects informatiques de ce travail sont développés par Johan Bosman (Leyde) qui visitera l'IMT dans le cadre du réseau européen GTEM (Galois Theory and Explicit Methods).
- Les algèbres de quaternions et algorithmique des courbes de Shimura : si les courbes modulaires classiques sont maintenant assez bien connues du point de vue explicite, beaucoup de travail reste à faire dans le contexte plus général des courbes (voire des variétés) de Shimura. Les techniques mises en jeu sont diverses et variées et vont de l'arithmétique explicite des quaternions au calcul de modèles canoniques. Ces courbes sont très recherchées pour leurs propriétés et applications remarquables : leur réduction atteignent la borne de Drinfeld-Vladut sur le nombre de point d'une courbe sur un corps fini de cardinal un carré, elles permettent de construire des tours non ramifiées de corps, elles peuvent aider au calcul de points de Heegner... - L'Algorithmique des corps finis et applications au traitement de l'information : codage, cryptographie. Dans ce domaine on note l'émergence récente d'algorithmes quasi-linéaires (dits quasi-optimaux) pour résoudre des problèmes réputés plus difficiles. Ceci rebat les cartes de la complexité algorithmique des opérations arithmétiques de base : factorisation de polynômes, composition de polynômes, multiplication de matrices, etc. Il est souhaité de contribuer à ce renouveau.

On prévu aussi d'entretenir une activité contractuelle modeste mais régulière (en particulier avec la DGA), car elle contribue au renouvellement de nos thématiques de recherche dans ce domaine.

On souhaite aussi maintenir une activité de recherche en théorie des nombres fondamentale dans la continuité des travaux de Marc Reversat sur les équations aux  $q$ -différences, la théorie de Galois et le programme de Langlands.

Ces derniers aspects interagissent fortement avec les travaux de Ramis et Sauloy sur la théorie de Galois des équations aux  $q$ -différences (voire axe 3).

### *Géométrie algébrique et singularités*

Plusieurs thèmes seront développés dans ce domaine.

- Uniformisation Locale des schémas noethériens
- Uniformisation locale des champs des vecteurs en dimension quelconque
- Commutativité de diagrammes formés par des morphismes naturels dans les catégories symétriques monoidales fermés
- Idéaux implicites et prolongement d'une valuation centrée dans un domaine local à son complété formel
- Géométrie réelle et la conjecture de Pierce-Birkhoff.
- Le problème des arcs de Nash.

Nous allons dire quelques mots sur les deux thèmes qui sont en interactions au sein de l'équipe EP et même au delà avec l'IRIT.

*Uniformisation locale des champs des vecteurs en dimension quelconque* : C'est un travail qui sera fait en collaboration entre Claude Roche, Mark Spivakovski de l'IMT et F. Cano (Valladolid) qui fait suite à un premier travail où ils démontrent la réduction des singularités (globales) des champs de vecteurs en dimension 3.

Actuellement, ils travaillent sur le Théorème d'Uniformisation Locale pour les champs de vecteurs en dimension quelconque. Les techniques sont similaires à celles utilisées précédemment, mais la situation est beaucoup plus compliquée, en particulier, en ce qui concerne la notion de contact maximal. La difficulté principale en ce moment est de donner la bonne formulation de l'analogue du Théorème d'uniformisation locale en dimension supérieure, et de trouver la bonne généralisation de la notion de contact maximal, surtout pour les valuations du rang strictement supérieure à 1.

*Commutativité de diagrammes formés par des morphismes naturels dans les catégories symétriques monoidales fermés* : Il s'agit d'un projet commun (IMT-IRIT) en collaboration de S. Solviev, A. El Khoury, L. Méhats, Mark Spivakovsky.

Il s'agit d'étudier la commutativité des diagrammes composés des morphismes naturels dans des catégories simples monoidales. Récemment, trois articles ont été publiés à ce sujet et un quatrième est soumis. Ce projet, entamé déjà depuis quelques années, a deux buts principaux :

- L'étude des propriétés de maximalité des catégories symétriques monoidales fermées en un sens convenable.
- La Création d'un logiciel pour décider la commutativité des diagrammes formés par

des morphismes naturels d'une manière automatique (ceci fait partie du sujet de thèse d'Antoine El Khoury, étudiant en cotutelle entre S. Soloviev (IRIT) et M. Spivakovsky (IMT)).

Antoine El Khoury, S. Soloviev (IRIT), L. Méhats et M. Spivakovsky ont démontré des résultats assez forts sur la non-maximalité des catégories symétriques monoidales fermés.

Un des projets pour le futur sera d'essayer d'attaquer la conjecture triple-duale en toute généralité, en s'appuyant sur le travail d'El Khoury. Il s'agit de bien comprendre ses résultats dans le cas où le nombre des variables est petit et essayer de généraliser et conceptualiser ces résultats.

Concernant la partie singularités, voici les thèmes qui seront abordés

- Singularités non-isolées des germes de surfaces complexes (en collaboration avec A. Pichon) : On étudie la topologie des bords des fibre de Milnor de germes de surfaces complexes dans l'espace complexe de dimension 3. Ce sont de 3-variétés graphées au sens de Waldhausen. On s'intéresse en particulier au bord qui peuvent apparaître pour une singularité normale.
- Singularités des hypersurfaces et la fonction zeta topologique de Denef et Loeser (en collaboration avec A. Pichon) : Alors qu'il est connu que cette fonction n'est pas un invariant topologique de l'hypersurface, elle possède des relations plus subtiles avec la topologie de l'hypersurface que nous sommes en train de développer.

*Théorie des champs et homotopie en Géométrie Algébrique :*

E. Burgunder, J. Tapia, M. Vaquié.

Joseph Tapia et Michel Vaquié vont continuer le travail qui s'était développé autour du séminaire *Champs et homotopie en géométrie algébrique*, en particulier une approche utilisant des méthodes catégoriques et homotopiques de la géométrie algébrique.

D'une part J. Tapia compte poursuivre l'étude de l'application de la théorie des topos et de la logique au cadre de la géométrie non-commutative, pour cela il introduit la notion d'espace quantique, en termes de la théorie des langages. Il s'agit de développer une théorie des spectres et des localisations qui généralise les résultats connus pour les catégories abéliennes.

Michel Vaquié va continuer sa collaboration avec Bertrand Toën autour de la géométrie algébrique dérivée. Un projet ANR a été accepté sur cette thématique, et plus précisément sur le développement d'une théorie de Hodge non-abélienne, en collaboration avec l'équipe de Nice autour de Carlos Simpson, et avec notamment les collaborations à l'étranger de Gabriele Vezzosi, Ludmil Katzarkov et Tony Pantev. Il s'agit dans un premier temps de développer une théorie de la géométrie analytique dérivée, puis de définir la notion de *structure de Hodge mixte non-abélienne dérivée*, c'est-à-dire de définir un  $n$ -champs algébrique dérivé  $F$  au dessus de  $\mathbb{C}$  muni d'une filtration de Hodge, un  $n$ -champs algébrique dérivé  $F_{\mathbb{Z}}$  au dessus de  $\mathbb{Z}$  muni d'une filtration par le poids avec un isomorphisme de champs analytiques dérivés  $F^{an} \simeq (F_{\mathbb{Z}} \otimes_{\mathbb{Z}} \mathbb{C})^{an}$ , satisfaisant certaines propriétés.

L'arrivée d'Emily Burgunder apporte de plus à l'équipe des thématiques peu représentées au sein de l'institut, en particulier théorie des opérades, théorie de la formalité de Kontsevich. Son travail va tout à fait dans le sens évoqué précédemment d'une utilisation de la théorie des catégories à la géométrie. Elle devrait s'intégrer sans problème à ce groupe de travail tout en apportant une diversité bénéfique.

## Axe 2 : Géométrie et Topologie

L'activité de l'axe "Géométrie et Topologie" va se poursuivre autour de ses trois séminaires réguliers : "Groupes et Géométrie" , "Théorie des noeuds et topologie de petite dimension" , "Géométrie non commutative" et dans le cadre des ANR..... Elle se déclinera autour des thèmes et des problématiques suivants :

### *Géométrie des groupes*

(F. Dahamani, V. Guirardel et A. Muranov)

Les activités de recherche concernent la théorie géométrique et combinatoire des groupes, avec des aspects dynamiques, probabilistes ou algorithmiques. Les thèmes abordés concernent les actions de groupes sur les arbres réels, les groupes hyperboliques ou relativement hyperboliques, les groupes limites, les groupes modulaires de surfaces, les systèmes d'équations dans les groupes, la théorie des scindements JSJ, la théorie des petites simplifications. Voici quelques directions qui seront explorées :

- Recherche d'une bonne géométrie pour  $Out(F_n)$ , avec en particulier l'existence d'un espace hyperbolique sur lequel agirait le stabilisateur d'une famille de facteurs libres. C'est l'un des chaînons qui manque pour démontrer qu'un réseau d'un groupe de Lie en rang supérieur ne se plonge pas dans  $Out(F_n)$ .
- Analyse d'une action (non géométrique) sur arbre réel comme combinaison de morceaux canoniques et "indécomposables", avec en vue l'étude du stabilisateur dans  $Out(F_n)$  d'un arbre au bord de l'outre-espace (collaboration avec G. Levitt).
- Problème d'isomorphie pour la classe des groupes résiduellement libres de présentation finie. L'approche en vue consisterait à réduire ce problème au calcul de certaines orbites de sous-groupes dans des groupes virtuellement nilpotents, et utiliserait la solution du problème des orbites pour une action algébrique d'un groupe arithmétique par Grunewald (collaboration avec G. Levitt).
- Les espaces  $CAT(0)$  et la possibilité d'établir une théorie de la petite simplification avec des éléments "de rang 1" dans ces espaces. Ceci permettrait de caractériser les variétés compactes localement symétriques de rang supérieur parmi celles à courbures négative ou nulle comme ayant un groupe fondamental presque simple. Projet en collaboration avec Caprace et Fujiwara.
- L'étude d'un algorithme de Razborov décrivant des solutions d'un système d'équations dans un groupe hyperbolique, ou dans un groupe cubique special (à la Haglund-Wise). L'approche envisagée serait basée sur les travaux de Diekert-Muscholl et Kazachkov-Casals-Ruiz sur les groupes d'Artin à angles droits. Dans la même direction, on peut poser le problème de savoir si la résolubilité d'un système d'équations est décidable dans le groupe modulaire .

- Les groupes aléatoires. Dans un modèle à nombre borné de relateurs, ces groupes ont-ils la propriété de point fixe pour les actions sur les arbres ? Le résultat est connu pour le modèle à densité par un travail de F. Dhamani et V. Guirardel en collaboration avec P. Przytycki. Qu'en est-il des actions sur des immeubles ? Naor a annoncé la solution de ce problème pour de grandes densités de relateurs.
- Le groupe des échanges d'intervalles contient-il des groupes libres [Franks, Katok] ? des groupes à croissance intermédiaire [Grigorchuk] ? Des recherches ont déjà été entamées en collaboration avec Fujiwara sur ces questions.

*Géométrie hyperbolique, lorentzienne, riemannienne*

(M. Boileau, J. Bertrand, P. Collin, C. Lecuire, J. P. Otal, J. M. Schlenker)

Les activités de recherche concernent les thèmes suivants : la géométrie hyperboliques et anti-de Sitter, la théorie des groupes kleinien, la théorie de Teichmüller, la théorie spectrale, les sous-variétés minimales et à courbure moyenne constante, les variétés coniques hyperboliques, les espaces d'Alexandrov. Voici quelques directions qui seront explorées :

- Théorie spectrale. J-P Otal s'intéresse au cas d'une surface hyperbolique. Il a montré que dans ce cas là le spectre du Laplacien n'a que  $2g - 2$  valeurs inférieures à  $1/4$ . J. Bertrand s'intéresse au cas des variétés compactes. Il a obtenu divers résultats de stabilité concernant la première valeur propre du laplacien, relatifs aux inégalités classiques de Faber-Krahn et Lichnérowicz.
- Étude des espaces de déformations des groupes kleinien. C. Lecuire se propose d'étudier les points en lesquels un tel espace n'est pas localement connexe (pour les différentes topologies usuelles), les relations avec les structures projectives complexes sur les surfaces et la dynamique de l'action du groupe modulaire sur l'espace des déformations. Avec J-P Otal ils veulent étudier des propriétés métriques de ces espaces, et en particulier dans le cas des groupes quasi-Fuchsien, les extensions possibles de la métrique de Weil-Petersson.
- Géométrie anti-de Sitter et théorie de Teichmüller. J-M Schlenker et F. Bonsante (Pavia) visent la preuve que chaque élément de l'espace de Teichmüller universel se réalise uniquement comme un difféomorphisme quasiconforme lagrangien minimal. Ils veulent montrer aussi l'unicité du point fixe de la composé de deux treblements de terre le long de laminations qui remplissent une surface.
- Variétés Poincaré-Einstein. J-M Schlenker veut étendre dans ce cadre la "réciprocité quasifuchsienne" définie par McMullen dans le cadre des variétés hyperboliques, en utilisant des propriétés variationnelles du volume renormalisé.
- Étude des surfaces (minimales ou à courbure moyenne constante) dans les espaces homogènes. P. Collin se concentre sur l'étude des graphes dans les espaces produits suivant deux directions : comportement des graphes au bord du domaine (comportement asymptotique dans le cas non-compact), résultat de compacité général selon une vision géométrique unifiée pour ces types graphes et d'espaces.
- Étude des groupes à dualité de Poincaré de dimension 3 (PD(3)). M. Boileau et S. Boyer (Montréal) voudraient montrer l'alternative de Tits pour ces groupes. Dans le

cas d'un groupe PD(3) cohérent le problème se réduit à montrer qu'il n'existe pas un tel groupe qui soit simple et engendré par toute paire d'éléments qui ne commutent pas (Monstre de Tarsky). On conjecture qu'un groupe PD(3) est le groupe fondamental d'une variété de dimension 3. Pour un groupe hyperbolique, cette conjecture équivaut à la conjecture de Cannon sur les groupes de convergence uniformes de la sphère  $S^2$ , qui caractérise les groupes Kleiniens par leur dynamique à l'infini. La conjecture de Cannon peut se réduire ainsi à un problème d'extension à la boule  $B^3$  de l'action du groupe de convergence sur le bord  $S^2$ . C'est le point de vue qu'on voudrait étudier.

*Topologie, Groupes de tresses, Géométrie symplectique et de contact, Géométrie tropicale*

(M. Boileau, J-F Barraud, A. Bauval, B. Bertrand, B. Chevalier, F. Deloup, T. Fiedler, C. Hayat, C. Kapoudjian, K. Niederkrueger, V. Lizan, S. Orevkov)

Les activités de recherche concernent les thèmes suivants : topologie de petite dimension, théorie des noeuds, groupes de tresses généralisés, topologie des courbes algébriques et pseudo-holomorphes réelles, géométrie symplectique et de contact, théorie de Floer. Voici quelques directions qui seront explorées :

- Invariants de noeuds et de variété de dimension 3. T. Fiedler travaille sur la construction de nouveaux invariants polynômiaux pour les noeuds, définis à partir de la théorie des représentations de l'algèbre du groupe de tresses et la théorie des singularités, pour obtenir des invariants complets des noeuds. F. Deloup va continuer à développer son approche combinatoire pour la construction d'invariants de variétés de dimension 3 munie d'une structure "spin complexe" et qui généralisent les invariants de Goussarov-Habiro. A. Bauval et C. Hayat veulent calculer l'anneau de cohomologie sur  $\mathcal{Z}/p\mathcal{Z}$  des variétés de Seifert, pour un entier  $p$  arbitraire.

- Étude des applications de degré non nul entre variétés de dimension trois et de la relation de domination qu'elles induisent. On vise en particulier la preuve du fait qu'une variété fermée orientable domine (par une application de degré 1) au plus un nombre fini de variétés de dimension 3. Ce résultat a été établi pour les variétés de Waldhausen (P. Derbez) et pour les sphères d'homologie entière (M. Boileau-H. Rubinstein-S. Wang).

- Étude des courbes maximales algébriques réelles et pseudo-holomorphes réelles. Problèmes de classification. Sous certaines hypothèses de maximalité, S. Orevkov, avec G. Polotovskii (Nizhni Novgorod), a complété la classification, à isotopie près, des courbes algébriques et pseudo-holomorphes réelles de degré 7, ayant deux composantes irréductibles en position génériques. Il a fait de gros progrès dans le cas algébrique en degré 9, et va continuer à travailler sur l'interaction entre la théorie des courbes algébriques réelles et celle des courbes pseudo-holomorphes réelles.

- Géométrie tropicale. La géométrie tropicale permet de résoudre des problèmes difficiles de la géométrie algébrique énumérative réelle ou complexe. Voici un type de problème que l'on veut aborder : "Quel est le nombre de courbes planes complexes de degré  $d$  et de genre  $g$  passant par  $g+3d-(l+1)$  points en position générique et tangentes à  $l$  droites? (nombre de Zeuthen)" Avec E. Brugallé et G. Mikhalkin, B. Bertrand

cherche à donner des formules combinatoires pour les nombres de Zeuthen en utilisant le principe de correspondance. Cela les a conduit à s'intéresser au calcul (tropical) des nombres de Hurwitz. Ils ont obtenu des résultats dans le cas des courbes rationnelles et de genre 1.

- Groupes modulaires de surfaces infinies. C. Kapoudjian va poursuivre la construction et l'étude de ces groupes. Il s'intéresse à leurs relations avec les groupes de Thompson, via des extensions par des groupes de tresses infinis et aux applications pour le problème du mot et de la peignabilité. Il veut continuer son étude algébrique des groupes de tresses des surfaces via les séries centrales et dérivées.

- Géométrie et topologie symplectique. J-F Barraud poursuit, avec O. Cornea (Montréal), l'étude de nouveaux invariants symplectiques issus des pages et des flèches de la suite spectrale qu'ils ont obtenue en enrichissant la construction de l'homologie de Floer. En particulier, ils veulent utiliser leur construction dans l'étude du groupe fondamental du groupe des difféomorphismes hamiltoniens. Un enrichissement du morphisme de Seidel leur permet de construire une "théorie d'obstruction" pour le problème d'isotopie des lacets hamiltoniens, en proposant des invariants d'ordre supérieurs, dont il faut maintenant tester la pertinence.

#### *Géométrie non commutative*

(A. Berthomieu, E. Fieux, P. Carrillo-Rousse, A. Legrand, B. Monthubert)

Les thèmes de recherche concernent : la théorie de l'indice dans le cadre singulier (variétés à coins, les singularités coniques, la cohomologie d'intersection). Avec le recrutement de Paulo Carrillo-Rouse, l'équipe va renforcer son travail sur la théorie de l'indice sur les variétés singulières, plus particulièrement la K-théorie et la théorie de l'indice tordu.

- Projet de recherche sur la théorie de l'indice tordu en collaboration avec le Professeur Bai-Ling Wang de l'Université Nationale d'Australie (projet Australien par Wang pour permettre la visite annuelle de Paulo Carrillo-Rouse pendant les 5 prochaines années).

- Analyse de la relation entre la théorie de Fredholm sur les variétés à coins et la théorie de l'indice sur les variétés à singularités coniques (avec chercheurs du GDR d'algèbres d'opérateurs, ainsi que Victor Nistor).

- Extension du calcul de Boutet de Monvel (sur les variétés à bord) au cas des variétés à coins. Ce projet se déroulera pour partie dans le cadre d'un réseau européen.

- Développement d'un calcul pseudodifférentiel adapté à la théorie de l'indice tordu pour des feuilletages.

- Calcul de formules d'indice dans le contexte des feuilletages tordus (Mathai, Melrose et Singer ont déjà traité certains cas de fibrations).

- Relation entre les morphismes d'assemblages (Baum-Connes) tordus et ceux non tordus.

- Etude des classes caractéristiques pour des feuilletages singuliers en cours avec Iakovos Androulidakis actuellement à Gottingen.

- Etude en cours (avec J. P. Brasselet) sur la K-théorie d'intersection et représentation

de classes caractéristiques singulières

- Alain Berthomieu est impliqué dans un travail de longue haleine de géométrie et topologie "commutative", concernant l'étude de K-théories définies par des fibrés vectoriels munis de structures supplémentaires. En particulier il a construit une image directe sous submersions pour la K-théorie lisse de Bunke et Schick associée à l'opérateur fibral de de Rham-Gauss-Bonnet, et démontré un théorème de type Riemann-Roch-Grothendieck pour cette K-théorie.

### **Axe 3 : Analyse et systèmes dynamiques**

Les activités scientifiques de cet axe vont se développer autour de trois thématiques différents mais très liées entre elles avec d'une part l'étude des feuilletages holomorphes, équations différentielles et systèmes intégrables ; l'Analyse, géométrie et dynamiques complexes ; les équations aux q-différences et la théorie de Galois différentielle. Cest activités donneront lieu à 3 séminaires hebdomadaires : séminaire "Analyse, géométrie et dynamique complexes", "Equations différentielles", "Equations aux q-différences".

Nous décrivons quelques uns des projets thématiques de cet axe en soulignant les interactions fortes qui existent entre eux.

#### *Feuilletages holomorphes, équations différentielles et systèmes intégrables*

Les activités de recherche relatives à ce thème se développent dans plusieurs directions.

- Théorie ergodique : feuilletages, laminations et actions de groupes,
- La deuxième partie du 16ème problème de Hilbert (le problème du nombre des cycles limites des champs de vecteurs polynomiaux)
- Déformations iso-monodromiques des connexions fuchsienues et non-intégrabilité
- Equations aux Dérivées Partielles (EDP) d'évolution intégrables
- Réduction des germes de feuilletages et formes normales. - Equations aux q-différences et théorie de Galois différentielle - Géométrie de Poisson
- Systèmes intégrables : la structure topologique dans le cas non-commutatif
- Méthode de Nash-Moser et problèmes de formes normales lisses en géométrie.

*Théorie ergodique : feuilletages, laminations et actions de groupes* : Le développement de la théorie ergodique des feuilletages/équations différentielles est un thème porteur représenté au sein de l'équipe par J. Rebelo. L'étude des feuilletages holomorphes, sur les surfaces complexes, ayant une mesure transverse invariante (ou de façon équivalente un courant ferme feuilleté) est une des questions de base que l'on pose dans du point de vue ergodique. Une classification de ces feuilletages est proposée par J. Rebelo dans un travail (en cours de rédaction) qui fera l'objet d'un minicours à l'ENS-Lyon le mois de Janvier prochain. Il faut souligner que la classification de ces feuilletages possède aussi un intérêt du point de vue de l'analyse complexe, par exemple, elle peut être considérée comme une généralisation des travaux de McQuillan sur la conjecture de Green-Griffiths pour les surfaces.

L'étude des feuilletages ayant un courant ferme feuilleté possède au moins deux continuations naturelles. L'une dit respect à la généralisation de ces méthodes/résultats aux laminations par surfaces de Riemann. Cette possibilité a été discutée avec B. Deroin

(Orsay) et semble prometteuse. Il va sans dire que l'étude de ces laminations touche directement la dynamique complexe unidimensionnelle à travers, par exemple, de la lamination de Lyubich et Minsky associée à la dynamique des fractions rationnelles. L'autre possible continuation consiste en étudier la structure des mesures harmoniques, vues comme des généralisations des mesures invariantes. Ces sujets peuvent susciter des nouvelles collaborations avec le groupe "Dynamique complexe".

La théorie ergodique sera présente aussi dans l'étude dynamique des actions de groupes libres sur les surfaces (de dimension 2 réelle). Ceci est en collaboration avec A. Avila (Jussieu) et peut avoir des liens avec certains aspects de la recherche menée dans l'axe géométrie et topologie. L'un des buts de cette collaboration étant de développer une notion naturelle d'hyperbolicité pour ces actions. On envisage aussi de donner des conditions pour que l'action soit minimale.

*Déformations iso-monodromiques des connexions fuchsiennes et non-intégrabilité* : C'est un projet de collaboration entre B. Hamed (Tunisie), M. Klughertz et L. Gavrilov. L'objectif est d'étudier l'existence d'une intégrale première de l'équation de Painlevé VI. La méthode proposée s'inscrit dans le cadre des théories de non-intégrabilité de Ziglin-Morales-Ramis. Nous allons étudier le groupe de Galois d'une équation aux variations "à l'infinie". Notre observation principale est que l'obstruction à la commutativité de la "troisième" équation aux variations "à l'infinie" s'exprime en termes de (non) annulation des intégrales itérées appropriées. Ainsi, nous sommes en mesure d'établir un lien entre la théorie des intégrales itérées de Chen et la non-intégrabilité des (certains) systèmes dynamiques.

*Equations aux Dérivées Partielles (EDP) d'évolution intégrables* : Il s'agit d'un thème émergent que souhaitent développer E. Paul, L. Gavrilov et J. Rebelo. Ils sont intéressés par des déformations isomonodromiques des opérateurs différentielles : l'étude de la classe des edp d'évolution "intégrables" (au sens des systèmes intégrables, ou des paires de Lax) fait apparaître des objets sur lesquels ils ont souvent travaillé : problème de Riemann-Hilbert, déformations isomonodromiques, équations de Painlevé etc. Il s'agit de voir si les problèmes qui se posent naturellement dans cette classe d'équations peuvent avancer à l'aide des outils qui appartiennent à l'étude des singularités dans le domaine complexe.

*Formes normales et singularités de champs de vecteurs* : Il s'agit d'une collaboration de caractère transversal tant au travers de plusieurs thèmes de l'axe 3 qu'avec la "géométrie algébrique", thème central de l'axe 1. Comprendre la structure du monde des champs de vecteurs sur les variétés holomorphes est très difficile, en dépit des avancées obtenues en un siècle. Les modèles locaux, après une désingularisation birrationnelle d'un champ de vecteurs sur une variété projective sont une étape essentielle. Si la situation en dimension 3, semble bien engagée, ne restant "que" l'étude dynamique des modèles locaux déjà obtenus, et leur éventuelle précision. Ce dernier point est le premier objectif prioritaire. Une collaboration entre C. Roche, J. Rebelo et J.-F. Mattei est prévisible sur ces points.

La situation en dimension supérieure à trois est le but que se sont fixé, F. Cano (Valldollid), M. Spivakovsky et C. Roche, en objectif prioritaire de leur travail en collaboration. Ils espèrent avoir des résultats significatifs à moyen terme : deux ans. Il viendra ensuite, les situations à paramètres, avec l'espoir de comprendre des variétés algébriques nouvelles, dont la géométrie analytique complexe a grand besoin.

Il est naturel de penser qu'il y a des renseignements à tirer sur une variété algébrique, à l'aide de nos méthodes, les liant au programme de Mori. La présence d'un nouveau spécialiste de la géométrie algébrique complexe dans l'institut serait d'un grand secours. Il va sans dire que l'on peut envisager des applications de nos méthodes à des situations similaires, notamment aux structures de Poisson, liées de près ou de loin à la quantification géométrique. Cela offre des possibilités de collaboration entre Claude Roche et M. Spivakovski d'une part et Nguyen Tien Zung et L. Gavrilov d'autre part ;

*Réduction des germes de feuilletages et formes normales :*

Là on a plusieurs projets d'intérêt :

- L'existence d'un morphisme de l'espace des modules de germes feuilletages (holomorphes singuliers non dicritiques) vers celui des feuilletages définis par une fonction holomorphe réduite fera l'objet d'un co-encadrement de thèse de E. Paul avec Y. Genzmer de l'étudiant Truong Hong Minh. Si cette existence est confirmée, il s'agira de montrer que la paire (structure transverse, "partie réduite" du feuilletage) classifie complètement.

- La recherche de formes normales de feuilletages définis par une fonction topologiquement quasi-homogène l'étude sur cet espace de module la distribution "à module de courbe fixé" et la codimension de sa strate générique.

- Les formes normales, D-groïdes et intégrabilité Liouvillienne constituent le thème central du projet ANR déposé par J.A. Weil et dans lequel N.T. Zung et E. Paul apparaissent. Son acceptation n'est pas encore acquise, le projet étant actuellement sur une liste supplémentaire de l'ANR. En cas d'échec un projet plus resserré thématiquement sera envisagé.

*Equations aux q-différences et théorie de Galois différentielle*

(Charlotte Hardouin, Jean-Pierre Ramis, Jacques Sauloy, Marc Reversat, et Virginie Bugeaud (thésarde)).

Plusieurs projets sont envisagés dans ce thème autour de J-P. ramis et J. Sauloy.

- Un travail sur la comparaison de la filtration dite d'Adams-Sauloy (sic) et de la filtration de Harder-Narasimhan (L. Di Vizio, J. Sauloy).

- Classification et théorie de Galois dans le cas de pentes non entières : c'est un projet de thèse de doctorat de Virginie Bugeaud encadrée par J. Sauloy avec l'espoir d'une adaptation des méthodes de Connes-Marcolli au groupe fondamental sauvage.

- Lien entre le H1 du faisceau de Stokes et les représentations du groupe fondamental sauvage fournit, probablement, une approche du corps de classe géométrique sur une courbe elliptique pour les faisceaux unipotents.

- La théorie de Galois globale pour les équations irrégulières (J. Sauloy). - Le problème

inverse en théorie de Galois locale

- La théorie de Galois globale
- Application aux Mock Theta Functions et à d'autres problèmes modulaires (J. Sauloy et Zhang).

### *Analyse, géométrie et dynamique complexe*

Les activités de recherche dans cette thématique vont se poursuivre dans le cadre du séminaire "Analyse, géométrie et dynamique complexes" autour des thèmes suivants : la dynamique complexe à une ou plusieurs variables, l'Analyse et géométrie complexes, l'Analyse complexe et la théorie des fonctions, Nous loons présenter l'ensemble de ces thèmes en choisissant de donner quelques détails sur certaines directions de recherche.

#### *Dynamique complexe*

(F. Berteloot, X. Buff, A. Chéritat, P. Roesch)

En ce qui concerne la dynamique à une variable complexe, les mots clés sont :

- domaines de rotation, disques de Siegel, anneaux de Herman, petits diviseurs, théorie KAM implosion parabolique,
- Locale connexité des ensembles de Julia, du bord des composantes de Fatou, conjecture MLC
- Pseudocercles, bouquets de cantor, et ensembles non localement connexes.
- Formes de Beltrami.
- Exponentielles itérées. - Transversalité en dynamique holomorphe.

Pour démontrer l'existence d'ensembles de Julia polynômiaux d'aire non nulle, Arnaud Chéritat et Xavier Buff ont développé des outils et des techniques permettant d'étudier les domaines de rotation. Ces outils leur ont permis d'étudier la régularité du bord des domaines de rotation, répondant à une conjecture d'Herman sur l'existence de disques de Siegel à bord  $C^{infini}$ , et une conjecture de Yoccoz sur le rayon conforme des disques de Siegel des polynômes quadratiques. Ces techniques continuerons d'exploiter exploitées pour étudier une conjecture de Douady qui affirme qu'une fraction rationnelle a un disque de Siegel si et seulement si son nombre de rotation est Bruno. On pense pouvoir attaquer cette conjecture en introduisant de nouvelles techniques, en particulier basées sur la théorie du potentiel. Les échanges opérés avec le groupe d'analyse complexe sont fort prometteurs.

Les récentes techniques de renormalisation presque parabolique d'Inou et Shishikura devraient permettre d'étudier de manière plus fine ce qui se passe au bord des domaines de rotation. En particulier, on pense pouvoir faire tomber une conjecture d'Herman qui affirme que le bord d'un disque de Siegel d'un polynôme quadratique contient le point critique si et seulement si la condition dite de Herman est satisfaite. On pense également pouvoir utiliser les mêmes techniques pour donner une condition arithmétique optimale décrivant quels ensembles de Julia infiniment renormalisables sont non localement connexes et décrire la topologie de ces ensembles de Julia. Cette étude a un lien très fort

avec la conjecture que l'ensemble de Mandelbrot est localement connexe, conjecture phare en dynamique à une variable complexe.

Cela fait le lien avec le projet de recherche de Pascale Roesch qui étudie la locale connexité du bord de certaines composantes de Fatou à l'aide notamment des techniques récemment introduites par Kahn et Lyubich. Plus précisément, elle étudie la connexité locale des bords de composantes de Fatou chez les fractions rationnelles obtenues par accouplement, la rigidité et connexité locale du bord de composantes hyperboliques pour les polynômes. Pour les polyomes cubiques, elle étudie l'aboutissement de rayons d'étirements dans une tranche particulière de l'espace des paramètres. Enfin, les résultats de transversalité obtenus avec Adam Epstein ont permis d'étudier les courants et mesures de bifurcation dans les espaces de paramètres de fractions rationnelles sur  $\mathbb{P}^1$  ou sur  $\mathbb{P}^k$ , introduite par Berteloot et Bassanelli. Ces techniques sont issues de la dynamique à plusieurs variables complexes. Nous souhaitons étudier des notions plus fines concernant cette mesure, comme la dimension de la mesure par exemple.

En dynamique complexe de plusieurs variables, l'étude des courants de bifurcations en dynamique holomorphe va se poursuivre en exploitant, en particulier, le lien entre ces courants et les exposants de Lyapunov de la mesure d'entropie maximale (F. Berteloot).

Pour les systèmes de dimension un ( $\mathbf{P}^1$ ) cette approche peut être considérée comme une version (pluri)potentialiste de la théorie classique de Mané-Sad-Sullivan. Ces méthodes fournissent de nouvelles informations sur la "topographie" du lieu de bifurcation. Par exemple sur la répartition des paramètres hyperboliques, un aspect sur lequel travaille F. Berteloot et son étudiant Thomas Gauthier. Ils aimeraient aussi établir des résultats d'équidistribution pour les paramètres ayant un nombre prescrit de cycles neutres dont les multiplicateurs sont eux-mêmes prescrits.

Pour les systèmes de dimension plus grande que un ( $\mathbf{P}^k$ ), la théorie de Mané-Sad-Sullivan ne peut fonctionner mais leurs méthodes fournissent quelques informations. C'est une direction qu'il faudra creuser. Il y a une situation concrète qu'il serait déjà très intéressant de comprendre. Les exemples de Lattès sont caractérisés par la minimalité de leurs exposants de Lyapunov (c'est un résultat qui avait été obtenu par Berteloot en collaboration avec J.J. Loeb et C Dupont en 2005). Leurs méthodes permettent d'exploiter cette propriété de rigidité pour comprendre les bifurcations engendrée par la présence d'un exemple de Lattès dans un espace de paramètres. Pour  $\mathbf{P}^1$  cela nous a permis de mettre en lumière des phénomènes nouveaux. Avec C. Dupont nous étudions ce qu'il en va pour  $\mathbf{P}^k$ .

#### *Analyse et géométrie complexe*

(Thomas Dedieu, Dan Popovici, Ahmed Zeriahi)

Les recherches dans ce domaine vont se poursuivre autour des thèmes suivants :

- Déformations holomorphes de variétés projectives
- Métriques kähleriennes à courbure scalaire constante

- Quelques aspects de la géométrie des surfaces  $K3$
- Pseudo-formes volumes logarithmiques intrinsèques
- Métriques canoniques singulières et équations de Monge-Ampère
- Flot de Kähler-Ricci singulier.

Tous ces thèmes s'inscrivent dans des problématiques actuelles de la géométrie kählérienne dont le but est la compréhension de la géométrie complexe des variétés kählériennes à travers des approches tant géométriques qu'analytiques : recherche de métriques canoniques (métriques de Kähler-Einstein, métriques à courbure scalaire constante), comportement de ces variétés par déformation, compréhension de diverses notions de positivité de fibrés en droites. Nous avons choisi de développer trois d'entre eux.

*Déformations holomorphes de variétés projectives* : L'étude de ces déformations constitue un thème majeur en géométrie complexe. Dan Popovici a récemment démontré que la limite par déformations holomorphes d'une famille de variétés projectives est toujours de Moishezon. L'étape suivante de ce projet de recherche est de démontrer le cas *transcendent* de la conjecture qui prédit que si toutes les fibres, sauf une, d'une famille holomorphe de variétés complexes compactes sont kählériennes, alors la fibre restante (la fibre limite) devrait être dans la classe  $\mathcal{C}$  de Fujiki (c'est-à-dire, biméromorphe à une variété kählérienne compacte). La stratégie repose sur les *inégalités de Morse singulières* et l'existence d'un courant limite sur la fibre centrale de la famille satisfaisant des conditions de positivité via la construction sur la fibre limite d'une métrique de Gauduchon spéciale. Il a prouvé récemment l'existence de cette métrique ; le seul obstacle restant est d'obtenir une preuve de la conjecture sur les inégalités de Morse transcendentes de Demailly. Il a des idées précises à développer pour résoudre ce problème. L'idée de départ est d'approcher la classe transcendente par une suite de 2-classes de De Rham entières, n'ayant pas nécessairement le bon type, donnant lieu à une suite de fibrés en droites lisses mais non-holomorphes  $L_k$  dans lesquels on devrait pouvoir construire suffisamment de sections "presque holomorphes" globales dont on contrôle la croissance pour produire un courant kählérien à la limite.

*Pseudo-formes volumes logarithmiques intrinsèques* : Après avoir adapté au contexte des paires logarithmiques la variante de la pseudo-forme volume de Kobayashi-Eisenman définie par Claire Voisin, Thomas Dedieu a obtenu dans ce contexte des résultats similaires au théorème classique de Kobayashi-Ochiai. Il compte à présent utiliser cet outil pour étudier des questions de géométrie affine (l'utilisation de paires logarithmiques est adaptée au cas des variétés quasi-projectives). Par exemple étudier les propriétés de la cubique de Koras-Russell  $X$ , qui est difféomorphe à  $\mathbb{R}^6$ , mais non isomorphe à  $\mathbb{C}^3$ . On peut espérer démontrer en utilisant des résultats du type Kobayashi-Ochiai qu'il n'existe pas de morphisme  $\mathbb{C}^4 \rightarrow X \times \mathbb{C}$  dominant.

Il serait également intéressant d'essayer d'appliquer ces techniques à des questions de dynamique holomorphe (sur les variétés quasi-projectives).

*Métriques canoniques singulières et équations de Monge-Ampère* : La conjecture de Calabi (1953) résolue positivement par le célèbre théorème de Calabi-Yau (1978) a été

à l'origine d'une intense activité de recherche en géométrie kählerienne : Existence de "métriques canoniques" sur une variété kählerienne compacte (métrique de Kähler-Einstein, métrique à courbure scalaire constante, ...), comportement du flot de Kähler-Ricci, ...

Toutes ces questions se ramènent à la recherche de solutions d'équations de type Monge-Ampère complexes (pour la recherche de métriques canoniques) ou à des équations d'évolution (pour l'étude du flot de Kähler-Ricci) sur une variété kählerienne compacte. Ces équations sont résolues par les méthodes de continuité et des estimées a priori. Des progrès récents ont été fait notamment grâce à l'introduction de la théorie du pluripotentiel dans ces questions par S. Kolodziej (1998). Cette direction a été développée tout récemment par une succession de travaux importants en collaboration diverses par R. Berman, S. Boucksom, P. Eyssidieux, V. Guedj et A. Zeriahi. Même s'ils vont plus loin, la plus part de ces travaux reposent de façon cruciale sur le théorème de Calabi-Yau.

Actuellement des travaux en cours en collaboration de R. Berman, S. Boucksom, V. Guedj et A. Zeriahi montrent que la théorie du pluripotentiel fournit un cadre naturel dans lequel une approche variationnelle de ces questions peut être développée afin de traiter directement ces équations dans un contexte assez général sans faire appel ni à la méthode de continuité, ni au théorème de Yau. Cela permet en particulier d'envisager ces équations sur des variétés singulières en relation avec le programme du modèle minimal de la théorie de Mori. Les premiers résultats obtenus constituent une avancée majeure dans ce domaine et il y a fort à parier que les applications en seront nombreuses. Ce sont ces applications qui seront développées dans les prochaines années en direction notamment de l'application à l'étude du flot de Kähler-Ricci dans le cas singulier.

#### *Analyse complexe et théorie des fonctions*

Jean-Paul Calvi, Anne Cumenge, Patrice Lassere, Pascal Thomas Plusieurs thèmes seront étudiés autour de la théorie des fonctions en une ou plusieurs variables.

- Etude locale d'invariants holomorphes : fonction de Green pluricomplexe à plusieurs pôles et idéaux d'annulation de fonctions holomorphes
- Théorie des fonctions d'une variable complexe
- Théorie des fonctions en superanalyse
- Interpolation et approximations des fonctions holomorphes.

Nous allons donner quelques détails sur deux thèmes parmi ceux là.

*Théorie des fonctions d'une variable complexe* : L'étude des théorèmes d'unicité sur des espaces de fonctions du disque sans structure de Banach (classe de Nevanlinna, espace de Korenblum ont conduit P. Thomas en collaborations avec X. Massaneda, A. Borichev, Yu. Lyubarskii, E. Malinnikova) à s'intéresser à des espaces de fonctions entières de structure analogue (Bargmann-Fock, Cartwright), pour y poser des questions analogues (échantillonnage notamment). Les méthodes reposent sur des estimations fines qui mettent en jeu des idées de théorie du potentiel classique et de l'analyse réelle. A terme, le développement d'analyse réelle dans l'Institut de Mathématiques de Toulouse

ouvre la perspective de nouvelles collaborations en rapport avec cette thématique, en privilégiant les problèmes d'analyse harmonique issus de la théorie des fonctions.

*Analyse réelle et harmonique :*

C'est un nouveau thème qui a fait son apparition dans l'équipe avec l'arrivée de Stefanie Pietermichl en 2009.

– On s'intéresse à la généralisation suivante de l'opérateur de Beurling classique :

$$B = (dd^* - d^*d) \circ \Delta^{-1}$$

agissant sur les formes différentielles à coefficients dans  $L^p$ , où  $d$  est la dérivée extérieure et  $d^*$  son adjoint formel. Sa norme dans  $L^p$  est encore inconnue dans le cas le plus simple,  $n = 2$ . Je vais continuer à travailler sur cette question fondamentale, et sur des estimations pour la version généralisée qui ne dépendent pas de la dimension  $n$ .

– Plus généralement, je vais étudier la norme des opérateurs du type Calderon Zygmund  $T$  ainsi que de ses versions maximales  $T^*$  agissant sur les espaces Lebesgue à poids  $L^p(w)$ , en particulier la dépendance exacte de la norme par rapport à la caractéristique du poids  $w$ .

*Théorie des fonctions en Superanalyse :* Depuis quelques temps, Anne Cumenge et Pierre Bonneau se sont engagés dans une tentative de généralisation de l'analyse complexe à des (super)algèbres de dimension supérieure à 2. L'analyse complexe apparaît en effet, comme un cas particulier de la super-analyse en dimension 2. Alors que les tentatives de généralisation algébriques à des espaces de dimension supérieure à 2 (qui seraient des corps) rencontrent des limitations très fortes, ils obtiennent une théorie des fonctions qui généralise, sous certaines conditions, les résultats essentiels de l'analyse complexe : développements en série entières, théorèmes de Hartogs ...

Sous des conditions raisonnables, en super-analyse, les fonctions superdifférentiables sont entièrement déterminées, comme les fonctions holomorphes, par leur "partie réelle". La superanalyse est déjà un outil très utilisé en Physique théorique, mais ses similitudes avec l'analyse complexe ne semblent pas avoir été soulignées. L'objectif sera donc de poursuivre l'étude des analogies entre la théorie des fonctions sur des superspaces et la théorie des fonctions complexes et d'explorer leurs applications.

### 3. Evolution prévisionnelle des chercheurs et perspectives de recrutements

Dans le cadre d'une prospective sur 4 ans pour la mise en place d'une politique de recrutement, il est facile d'anticiper les dates de départ à la retraite mais beaucoup plus difficile d'anticiper les mutations ou les promotions. Il faut donc reconsidérer cette politique chaque année non seulement en fonction des départs effectifs (promotions, mutations, retraites), mais aussi des opportunités de recrutement.

La priorité de l'IMT et de l'équipe EP reste l'excellence des recrutements avec comme double objectif l'intégration scientifique des collègues recrutés et le renforcement du potentiel de l'IMT.

Pour ce qui est de la politique générale des recrutements, l'équipe EP s'inscrit dans la politique affichée par l'IMT de prohiber les recrutements locaux, sauf cas exceptionnel. Voici une description des mouvements prévisibles au sein de l'équipe EP.

### **Profils des postes vacants en 2010 :**

Pour la campagne de recrutement 2010, 4 postes (2PR, 2 MCF) seront publiés en section 25 et 25-26. En accord avec les priorités de l'équipe EP et la politique de l'IMT, leur profil a été défini de la façon suivante :

#### *1. Poste PR-25 : Géométrie algébrique, Mathématiques fondamentales*

Ce support est libéré par la mutation de T. Banica en région parisienne. Sa spécialité est la théorie des groupes quantique et la géométrie non commutative. Cependant l'IMT affiche une priorité forte de recrutement en Géométrie algébrique, pour compenser le départ ces dernières années de plusieurs chercheurs de premier plan dans cette discipline : le dernier en date étant B. Toën, promu Directeur de recherche au CNRS à Montpellier en septembre 2009. Il s'agit de recruter un chercheur de très haut niveau avec un spectre suffisamment large pour coordonner les différents aspects de la géométrie algébrique à l'IMT. La présence de fortes individualités comme V. Scheshman et M. Spivakovski est un atout pour permettre de réussir ce recrutement.

La politique de l'IMT est de favoriser des postes d'ouverture 25-26 pour assurer le choix le plus large d'excellents candidats. C'est dans ce sens que le second support de PR-25 est republié en 25-26.

#### *2. Poste PR-25/26 : Equations d'évolution, D-modules, Mathématiques :*

Les Equations d'évolution ont pris ces dernières années une très grande importance en analyse comme en géométrie : par exemple le flot de Ricci en géométrie riemannienne ou kahlerienne, ou les équations d'évolution intégrables liées au problème de Riemann-Hilbert à travers la transformée spectrale (inverse scattering), à cheval entre la physique et les mathématiques. Cette thématique est encore peu représentée à l'IMT et le profil choisi reste suffisamment large pour concerner toutes ses composantes et assurer un recrutement d'excellence.

#### *3. Poste MCF-25 : Histoire des mathématiques, Arithmétique, Mathématiques fondamentales :*

Ce support est libéré le départ à la retraite de Maryvonne Spiesser, chercheuse internationalement reconnue en histoire des mathématiques. Elle a su organiser une réelle activité autour de cette discipline que l'IMT souhaite conserver. Notre priorité serait de recruter sur ce poste un chercheur en Histoire des Mathématiques ayant une visibilité internationale dans cette discipline avec un excellent niveau mathématique.

Pour assurer un recrutement d'excellence, le profil affiche la priorité de recrutement, puis des ouvertures, d'abord vers l'Arithmétique en soutien à l'équipe d'Arithmétique de l'IMT, puis en Mathématiques fondamentales.

#### 4. Poste MCF-25/26 : Analyse :

Ce support initialement 26 est republié en 25-26 avec un profil qui correspond à une opération scientifique de l'IMT. Il s'agit de la création d'un nouvel axe de recherche Analyse réelle, analyse harmonique au carrefour des trois équipes de l'IMT. Ce poste vient en soutien au recrutement d'un professeur en 2009 dans cette spécialité (Stefanie Petermichl lauréate du Prix Salem en 2006).

#### **Postes susceptibles d'être vacants dans les quatre prochaines années**

Compte tenu de la pyramide des âges de l'équipe EP, voici les départs prévisibles dans les quatre prochaines années :

- A. Legrand , Géométrie non commutative (susceptible d'être à partir de 2011).
- M. Reversat PR, Arithmétique et géométrie algébrique (susceptible d'être vacant à partir 2012)
- A. Cumenge PR, Analyse complexe (susceptible d'être vacant à partir de 2013)
- C. Hayat MCF, Topologie (susceptible d'être vacant à partir de 2011).
- J. Lavandier MCF (susceptible d'être vacant en 2011).

Pour la période 2011-2014 on peut donc prévoir au mieux la publication de 3 postes de PR et 2 postes MCF en section 25. La republication de ces postes en section 25 dépend de plusieurs facteurs :

- la politique de redéploiement de l'UPS qui consiste à mettre 20/100 des postes vacants au pôt commun,
- la politique de redéploiement interne à l'IMT pour palier à une pyramide des âges très resserrée
- au vivier et à la qualité de candidats correspondant aux priorités affichées par l'équipe EP.

En outre, au cours de cette période il pourrait y avoir d'autres départs puisque 7 rang B sont habilités actuellement dans l'équipe EP. Même si ces départs sont difficiles à prévoir, il faut les prendre en compte dans la politique de recrutement pour essayer d'anticiper certains d'entre eux. Ceci explique le choix de profils affichant les priorités clairement identifiées mais suffisamment larges pour saisir les opportunités ; la priorité restant l'excellence des recrutements.

Le conseil scientifique de l'équipe EP se chargera chaque année d'identifier les priorités scientifiques de l'équipe et dévaluer le vivier des candidats potentiels, en prenant en compte la politique scientifique de l'IMT.

Le bilan scientifique de l'équipe Emile Picard durant la période 2005-2009 fait apparaître plusieurs "thèmes porteurs" qui méritent d'être soutenus en tenant compte des mouvements récents, de la pyramide des âges et des promotions possibles des MCF habilités.

L'axe de recherche "Arithmétique, Géométrie Algébrique et Applications" contient un groupe de recherche en Arithmétique qui est très actif notamment dans sa composante

UT2. Il serait souhaitable de renforcer sa composante UPS. L'autre axe fort, autour du séminaire "Champs et homotopie en géométrie algébrique" doit faire face au départ de Bertrand Toen, promu DR Montpellier. C'est un des enjeux du poste PR 25 publié cette année.

L'axe de recherche "Géométrie et Topologie" est très performant et assez stable dans la plupart de ses composantes. Il faut pourtant noter qu'il compte 4 MCF habilités. Il a été renforcé par les recrutements récents de 3 MCF. Le thème "géométrie des groupes" est très actif mais fragile car il souffre d'un manque au niveau rang A et que 3 rangs B habilités sont susceptibles de bouger. Compte tenu de l'importance de cette thématique en géométrie et de l'environnement scientifique favorable à l'IMT, il faut tout faire pour la maintenir.

Cet axe a vu aussi émerger récemment un nouveau thème autour de la géométrie symplectique et de contact avec le recrutement d'un PR en 2008 et d'un MCF en 2009. Il s'agit là d'un thème très porteur, transverse au niveau de l'équipe EP, qu'il faut soutenir.

L'axe de recherche "Analyse et Systèmes Dynamiques" est très actif avec plusieurs thématiques en pointe, parmi lesquelles la "Dynamique complexe" et les "Feuilletages et Systèmes dynamiques". Il a été renforcé par le recrutement d'un PR (Feuilletages et systèmes dynamiques), la transformation de Xavier Buff en PR (dynamique complexe), de 2 MCF en Analyse et Géométrie complexes, 1 MCF dans le thème des équations aux  $q$ -différences, 1 MCF en systèmes dynamiques et feuilletages holomorphes.

Cependant le thème de dynamique complexe reste fragile car ses 2 rangs B sont habilités et donc appelés à bouger. D'autre part l'Analyse et la Géométrie complexes a connu beaucoup de mouvements ces dernières années (4 départs et 2 arrivées) et amorcé en partie une réorientation vers des thèmes plus géométriques, comme l'étude d'équations dévolutions dans le cadre kählerien. C'est une direction très prometteuse qui est susceptible d'ouvrir des ponts vers d'autres axes de recherche de l'IMT. A ce titre, elle doit être soutenue et accompagnée.

L'analyse des priorités scientifiques et des mouvements susceptibles d'intervenir au sein de l'équipe EP montrent qu'il serait souhaitable pour l'équipe de pouvoir bénéficier dans le prochain contrat quadriennal (2011-2014) :

- de 3 postes de PR pour anticiper les départs et profiter des opportunités de renforcer le potentiel de l'équipe.
- d'un poste de MCF par an pour irriguer ses différentes composantes.

**Projet de l'équipe de Statistique et  
Probabilités (ESP)**



# Éléments de Prospective

## pour l'Équipe de Statistique et Probabilités

L'Équipe de Statistique et Probabilités regroupe des enseignants-chercheurs et des chercheurs répartis sur trois sites : Paul Sabatier, INSA, Le Mirail. Les stochasticiens de Toulouse 1 sont désormais rattachés au GREMAQ (unité CNRS de Toulouse 1), mais restent membres associés de l'IMT avec lesquels plusieurs coopérations sont en cours. L'ESP accueille également plusieurs chercheurs venant d'autres institutions (voir tableaux dans le bilan).

Mais l'ESP (comme les autres équipes historiques) a tendance et vocation à se fondre de plus en plus dans l'IMT. Il ne peut donc être totalement question de prospective exclusivement centrée sur l'équipe.

Du fait du caractère multi-sites, il est également très difficile d'afficher une politique de recrutement globale. Chaque Université ou Etablissement a ses contraintes propres. Les orientations scientifiques souhaitées sont donc tributaires de la bonne volonté des divers partenaires. Si l'IMT est essentiellement maître du jeu sur l'Université Paul Sabatier et très largement à l'INSA, la situation est plus compliquée avec l'Université du Mirail (Université de Sciences Humaines aux habitudes sensiblement différentes des universités scientifiques), tout comme elle était plus compliquée avec l'Université de Toulouse 1.

A cela s'ajoute le fait que, malgré la reconnaissance de la qualité de l'aléatoire (et plus généralement des mathématiques) toulousain(es), le système universitaire français garde un centre d'inertie francilien extrêmement marqué. Cela est particulièrement sensible dans des disciplines comme la Statistique ou les Probabilités, dont la place au sein des Mathématiques mondiales va rapidement croissant et pour lesquelles le vivier est en construction. Il reste également à définir des stratégies nationales et locales permettant de gommer d'autres contraintes (familiales par exemple).

Le document qui suit est donc une tentative de définition de ce que pourrait être le développement de "l'aléatoire" au sein de l'IMT pour les années à venir, développement qui sera largement modulé par les événements, les opportunités et les contraintes.

Il se présente sous la forme suivante

- (1) Etat des lieux, évolutions récentes, règles de fonctionnement.
- (2) Evolution prévisible des personnels.
- (3) Evolution des thèmes scientifiques et directions à venir.
- (4) Perspectives de recrutement et souhaits.

## 1. ETAT DES LIEUX, ÉVOLUTIONS RÉCENTES, RÈGLES DE FONCTIONNEMENT.

A ce jour la composition de l'Equipe est la suivante :

- A Paul Sabatier : 13 Professeurs (+4 Emérites), 1 Directeur de recherche CNRS, 22 Maitres de Conférences (IUT compris, dont 3 en détachement), 4 Chargés de Recherche CNRS (dont 2 détachés depuis avant 2005).
- A l'INSA : 3 Professeurs, 6 Maitres de Conférences.
- A Toulouse 2 Le Mirail : 3 Professeurs, 4 Maitres de Conférences.
- Autres sites : 2 Professeurs, 3 Maitres de Conférences.

A cela s'ajoutent une vingtaine de membres associés, rattachés à d'autres unités (GRE-MAQ, Ecole Veterinaire, ENAC, ...).

### Les Mouvements récents (après 2005).

L'équipe a vu le départ d'1 Professeur (B. Bercu mutation à Bordeaux) et 1 MCF (C. Prieur promue PR à Grenoble), en plus des départs en retraite (M. Pontier devenue Emérite).

Dans le même temps, elle a enregistré plusieurs arrivées : un DR1 en Janvier 2009 (B. Zegarliniski), 4 Professeurs (P. Cattiaux, J.M. Loubes, P. Berthet, X. Bressaud), 1 CR (C. Bordenave), 8 MCF (A.L. Basdevant, A. Joulin, A. Lagnoux, C. Marteau, F. Panloup, C. Rau, N. Savy, N. Villa).

En 2009, l'ESP verra de nouvelles arrivées et départs.

- (1) Arrivées de C. Maugis (MCF INSA), S. Grusea (MCF INSA), C. Pellegrini (MCF UPS) sur recrutement,
- (2) Départs de J.F. Dupuy promu PR à La Rochelle et de D. Chafai (membre associé) promu PR à Marne la Vallée.
- (3) A noter également deux échanges de postes : échange PR entre J.C. Fort (départ) et L. Coutin (arrivée de Paris 5), échange MCF entre A.L. Basdevant (départ) et P. Fougères (arrivée de Paris 10).
- (4) Enfin arrivée de L. Miclo (DR CNRS) qui a demandé sa mutation de Marseille vers Toulouse.

Concernant l'ensemble des recrutements, l'ESP s'inscrit dans la ligne de l'IMT en prohibant les recrutements locaux (thésards locaux au niveau MCF, MCF sur un poste lié à l'Institut au niveau PR); sauf cas exceptionnels. Comme toute règle, celle ci a souffert d'exceptions souhaitées ou non souhaitées. Etant donnée la situation fédérative de l'IMT sur l'ensemble des Universités toulousaines, cette règle entraine donc des départs hors Toulouse pour nos doctorants et nos Maitres de Conférences promus (pas de possibilités de "boucle locale" sur les différents sites). Cette politique clairement annoncée lors des recrutements de doctorants ou MCF est diversement ressentie.

On voit néanmoins que l'équipe de Statistique et Probabilités s'est fortement renouvelée ces dernières années, et que ce renouvellement a en partie fixé les directions scientifiques de l'équipe.

## 2. EVOLUTION PRÉVISIBLE DES PERSONNELS.

La pyramide des âges de l'ESP est différente suivant les catégories rangs A ou B.

Pour les rangs A, les âges sont répartis entre 35 et 55 ans sur UPS et INSA à l'exception de B. Truong (INSA 61 ans) et A. Baccini (UPS 61 ans). A. Baccini partira à la retraite en 2010, son poste est prévu en republication en 2010 (Statistique, Probabilités).

Pour les autres sites deux départs sont possibles, mais comme dit précédemment il est difficile de connaître l'avenir de ces postes vacants éventuels.

Pour les rangs B, six départs sont prévus avant 2013.

- J.L. Dunau (INSA) part en 2010 (poste publié à l'INSA),
- G. Tap (UPS) part en 2010 (poste publié à l'UPS),
- A. Croquette (UPS-IUT) devrait partir en 2011,
- H. Sénateur (UPS) partira au plus tard en 2011,
- A. De Falguerolles (UPS) et A. Boudou (UPS) devraient partir au plus tard en 2013.

L'UPS désire également republier les postes des personnes en disponibilité. Pour 2010 cela concerne le poste de J. Auerhan (UPS), en 2011 vraisemblablement F. Baudoin (UPS). Enfin en 2010 sera republié le poste de J.F. Dupuy.

L'Université Paul Sabatier a une politique de redéploiement de postes concernant environ un quart de ceux ci. Conservation des postes vacants ou création de nouveaux postes dépendent donc en partie du Conseil Scientifique.

Pour la période 2009-2014 on peut donc prévoir (sans certitude) la publication de deux postes de Professeur (Baccini + échange de chapeau MCF-PR à l'INSA), de 6 à 8 postes de MCF auxquels s'ajouteront sans doute 3 ou 4 postes de MCF supplémentaires par promotion de jeunes MCF (plusieurs HDR sont prévues d'ici 2014).

Etant donnée la situation actuelle (qui perdure depuis quelques années déjà) il est nécessaire de prévoir un étalement des publications de postes dans le domaine de l'aléatoire. La réflexion sur les profilages se fera donc au niveau de l'Institut, en tenant compte des nécessités pédagogiques et du maintien d'un potentiel fort dans le domaine. 2 postes de PR en 2008, 3 postes de MCF en 2009, 1 poste de PR et 2 ou 3 postes de MCF en 2010 sont la limite de la capacité de recrutement annuel à l'IMT en Statistique et Probabilités, compte tenu de l'augmentation importante des postes publiés dans ces domaines en France (et à l'étranger) et du vivier de candidat(e)s de qualité. L'ESP continuera à faire passer la qualité du recrutement avant l'adéquation à un profil (pourtant parfois nécessaire pour l'établissement). La dynamique scientifique de l'ESP nous amène toutefois à rechercher en amont (avant publication de postes) des mathématiciens de qualité correspondant à des profils préférentiels. Ceux ci sont liés à l'évolution des axes thématiques développés à l'ESP sur lesquels nous allons nous étendre maintenant.

### 3. EVOLUTION DES THÈMES SCIENTIFIQUES ET DIRECTIONS À VENIR.

Bien qu'intimement liées, Statistique et Probabilités ont une histoire sensiblement différente à l'IMT. Aussi allons nous les regarder successivement avant d'identifier les convergences entre ces deux thèmes (et d'autres).

**3.1. Probabilités.** Les Probabilités toulousaines sont internationalement connues (et identifiées) pour leur apport dans le domaine des inégalités fonctionnelles (log-Sobolev, concentration de la mesure, transport de masse). Cette thématique amenée à Toulouse par D. Bakry et M. Ledoux reste un axe fort de l'ESP, qui a été un partenaire important de l'ANR IFO (achevée en 2009). Cette ANR a créé un réseau thématique dont les contributions ont été majeures (cf les commentaires de P. Diaconis). Elle a évolué vers le thème des équations d'évolution à travers une nouvelle ANR (EVOL, 2009-2011) coordonnée par D. Bakry, qui a démarré en trombe et qui s'est résolument orientée vers les interactions EDP-Probas.

Cet axe s'est d'une certaine manière sensiblement renforcé par les arrivées de F. Barthe, P. Cattiaux, B. Zegarlinski, A. Joulin et l'arrivée prévue de L. Miclo.

Mais cette vision est (en fait depuis longtemps) extrêmement parcellaire : les inégalités fonctionnelles et les méthodes qui vont avec ne sont qu'un socle commun à des intérêts et des développements scientifiques très variés (stabilisation, mécanique statistique, géométrie des variétés, géométrie des convexes, grande dimension ...). Cette diversité se traduit par les différentes directions prises par les chercheurs de ce groupe : hypocoercivité et équations cinétiques (Bakry, Bonnefont, Chafai, Cattiaux), mécanique statistique (Zegarlinski, Barthe), processus à temps discret (Joulin, Miclo) ...

A coté de ce domaine fort l'ESP compte un noyau très solide de spécialistes de calcul stochastique (Cohen, Coutin, Panloup, Savy, Pontier, bientôt Pellegrini) dont les activités ont été en partie liées aux mathématiques financières (Pontier, Savy, Coutin, Panloup en lien avec des stochasticiens d'UT1, Villeneuve, Descamps, Voltchkova ...) et aux processus auto-similaires (Cohen), avec des contributions remarquées du coté de la géométrie (processus sur les variétés, Baudoin), des trajectoires rugueuses (Coutin), des processus gaussiens (Cohen). Cet axe s'est retrouvé dans l'ANR GDSA coordonnée par F. Baudoin et S. Cohen dont l'activité est remarquable.

Enfin depuis maintenant plusieurs années, sous l'impulsion de M. Ledoux, un groupe s'est formé autour du domaine émergent des matrices aléatoires, des probabilités libres et plus généralement des probabilités sur les structures (algébriques ou graphes). Ce groupe (Ledoux, Capitaine, Casalis, Delmotte) s'est renforcé par l'arrivée récente de C. Rau, C. Bordenave et X. Bressaud (qui apporte un éclairage systèmes dynamiques). L'ESP est partie prenante de l'ANR interdisciplinaire GRANMA coordonnée par A. Guionnet à Lyon. Des interactions claires avec des mathématiciens de l'équipe Picard (Collins, Banica) ont émergé et devraient se poursuivre même si ces derniers ont quitté l'Institut.

Les probabilités des années à venir à l'ESP peuvent se voir à travers trois idées qui sont au coeur des préoccupations internationales :

- (1) Le retour en force de structures rigides. Alors que pendant longtemps on a essayé de s'affranchir des structures des espaces sous-jacents en créant des théories les plus générales et robustes possible, il est primordial aujourd'hui de réintroduire les structures (groupes, matrices, graphes, variétés ...) qui posent de nouvelles questions. Par exemple, la structure des corrélations est vue différemment pour un vecteur ou une matrice, pour laquelle des quantités nouvelles (déterminant, trace, spectre) ont un sens et sont de première importance pour des questions de Physique en particulier. De même les propriétés géométriques des variétés sur lesquelles on fait vivre des processus sous-tendent les propriétés de ces processus et réciproquement.

Ces aspects structurels interviennent dans la modélisation de problèmes complexes et fondamentaux en Physique théorique, en Informatique (graphes aléatoires, automates cellulaires), en Mécanique Statistique (structure de l'espace des spins, percolation, milieu aléatoire).

Ils sont au coeur de l'évolution des probabilités de l'IMT, en lien avec le projet FREMIT et plus généralement le désir d'introduire une composante Mathématiques Discrètes au sein de l'IMT. Les probabilités toulousaines ont du reste été en un sens précurseur sur ce thème à travers les travaux de G. Letac.

- (2) La modélisation stochastique de phénomènes complexes. Celle ci nécessite désormais l'introduction de modèles stochastiques variés et compliqués (fractionnaire, processus de sauts, processus à mémoire, renforcés, auto-évitant, en interaction ...). Par exemple la modélisation des déplacements de populations animales peut se faire à travers l'étude de diffusions renforcées en interaction (chaque individu laissant une trace de phéromones attractive, mais de durée de vie limitée). De même des processus biologiques complexes relevant de modèles à sauts interviennent en médecine.

Ces aspects de modélisation sous-tendent des problèmes mathématiques nouveaux et difficiles. Il n'existe rien sur les processus "historiques" ou à mémoire en interaction, beaucoup reste à faire sur le fractionnaire, les aspects asymptotiques des processus de sauts restent fragmentaires, les fluctuations dans un cadre non gaussien (liées à ce que les physiciens appellent "diffusions anormales" qui relèvent essentiellement des processus de Lévy) sont largement à faire.

Cette problématique est la deuxième direction dans laquelle l'ESP s'engage. Les premières collaborations ont eu lieu ou se mettent en place entre ESP, MIP (travaux de Cattiaux-Chafai-Motsch, Basdevant-Laurencot-Rau ...) biologistes et médecins hors et sur le campus de l'UPS, en particulier à travers des directions de thèse communes. A ce titre l'ESP est donc parfaitement impliquée

dans le projet de plate forme MIBS (Mathématiques, Informatique et Biologie des Systèmes) pour son aspect modélisation (nous reviendrons plus tard sur les aspects statistiques).

A noter sur ce point une possibilité de développement à l'ESP des méthodes de fragmentation ou de coalescence en lien avec la Biologie avec l'arrivée de S. Grusea en lien avec O. Mazet.

- (3) Les problèmes très dégénérés. Si beaucoup est désormais connu sur le comportement des modèles elliptiques ou paraboliques non dégénérés (tant du coté géométrique que du coté stabilisation en temps long), un vaste champ reste à défricher dans les cas totalement dégénérés dont les prototypes sont les modèles cinétiques. Cet aspect rejoint certains modèles mis en place dans l'item précédent du reste.

Ce champ d'investigation est le coeur de l'ANR EVOL et reste une direction importante de développement des probabilités de l'institut en lien très étroit avec l'Analyse des EDP (présence de P. Laurencot dans cette ANR). Le renforcement récent de ce domaine (recrutements de M. Maris et J.M. Bouclet d'une part, de S. Petermichl de l'autre) au sein de l'IMT induira à coup sur des échanges de plus en plus nombreux entre Probabilités/EDP/Analyse au sein de l'IMT.

**3.2. Statistique.** La Statistique à Toulouse a connu des changements importants depuis une quinzaine d'années. Le recrutement massif à l'extérieur du cadre toulousain a renouvelé personnels et thématiques.

L'activité scientifique se décline en trois axes donnés dans le bilan, dont la taille et la géographie pourraient sensiblement évoluer suivant le scénario suivant :

- (1) Un axe "Statistique Mathématique" : point de contact fondamental entre théorie et méthodologie, les thèmes privilégiés sont la statistique non paramétrique et semi-paramétrique, les théorèmes limites, les résultats non asymptotiques, les processus empiriques et gaussiens.

Cet axe est un des points forts de la Statistique de l'ESP, porté par des spécialistes reconnus, J.M. Azais, P. Berthet, J. Bigot, S. Gadat, F. Gamboa, T. Klein, B. Laurent, J.M Loubes, C. Marteau. Les cadres statistiques privilégiés sont ceux de la M-estimation, de la statistique spatiale, de la sélection de modèles, des problèmes inverses mal posés, de la classification, de la régression. Les enjeux majeurs pour les prochaines années concernent la statistique en très grande dimension. En effet, la prise en compte de modèles de plus en plus complexes et l'acquisition de données en très grand nombre, nécessitent le développement de méthodes et de modélisations de la parcimonie qui soient efficaces et bien comprises.

Ces thématiques de recherche sont un enjeu majeur de la statistique tant au niveau de la théorie que de ses applications. Les représentations parcimonieuses en apprentissage statistique ou en sélection de variables ou de modèles, et les pénalités associées, sont au coeur des recherches actuelles des membres de cet axe. Dans le domaine de la statistique semi-paramétrique et non paramétrique, le développement de procédures optimales d'un point de vue non asymptotique conduit à de nouveaux problèmes statistiques difficiles dont la résolution passe par des résultats fins de concentration de la mesure et la théorie des processus empiriques. Les résultats récents sur les matrices et les graphes aléatoires, ou pour les processus sur des structures de type variétés, graphes ou réseaux ouvrent la voie à de nouvelles méthodes de modélisation, et à leur analyse statistique, prenant en compte des interactions non classiques et des espaces d'observations très utiles. Ces thèmes étant également au coeur des recherches de l'équipe de probabilités (processus, concentration, matrices et graphes aléatoires) le terrain est prêt pour des collaborations fructueuses, originales et de long terme.

Les champs d'application naturels des méthodes et outils développés concernent l'économétrie, la théorie des jeux, l'analyse d'image, l'informatique théorique, l'intelligence artificielle, ainsi que la biologie et la médecine, autant de domaines présents dans l'entourage immédiat de l'IMT et pouvant donner lieu à des co-encadrements de thèse. Elles ouvrent la voie à de nouvelles interactions au sein même de l'IMT, mais aussi des Universités Toulouse 1 et 3 (par exemple avec les économètres de la TSE comme initié récemment) ou avec des EPST (comme les co-encadrements de P. Berthet avec des chercheurs de l'INRIA de Lille et Rennes).

Cet axe entretient des liens très forts avec d'autres équipes de recherche au meilleur niveau national et international (par exemple avec Tilburg, Valladolid, Caracas, St-Petersburg, Princeton, Seattle). Ses membres sont en outre très impliqués dans l'axe "Statistique pour l'industrie et les biosciences". Ainsi, les problèmes industriels ou issus de la biologie fournissent de nouveaux champs d'applications pour la recherche en statistique mathématique. Ils apportent notamment des problèmes pratiques difficiles qui nécessitent la mise en place de nouveaux modes de résolution sur lesquels peuvent être bâties de nouvelles théories. Les nombreuses interactions entre les membres de cet axe et les chercheurs de l'IMT et de l'Université en général, sur des thèmes de recherche d'importance croissante dans des secteurs prioritaires de la société (santé, biosciences, télécommunications, informatique, économie) constitue un atout majeur pour la recherche toulousaine que nous souhaitons entretenir dans les années à venir.

Cet axe de recherche "Statistique Mathématique" est aussi au coeur des préoccupations du thème "Statistique Fonctionnelle et Opératoire" qui depuis dix ans investit la Statistique en grande dimension en s'intéressant à des variables aléatoires à valeurs dans des espaces fonctionnels avec toutes les applications que l'on peut imaginer (étude statistique d'une collection de courbes, de surfaces, d'images - 2D/3D, multi-canaux ou encore hyperspectrale, systèmes dynamiques,...). Il s'agit, soit de développer des méthodes propres à ce contexte de grande dimension, soit d'adapter des techniques existantes. De nombreux challenges théoriques émergent qui mettent en synergie la Statistique théorique, les probabilités dans des espaces fonctionnels, la théorie des opérateurs (linéaires/nonlinéaires), le calcul infinitésimal ainsi que des résultats d'approximations, toujours en grande dimension.

Un des points forts de ce thème est qu'il couvre un large spectre de problématiques puisqu'il s'intéresse à tous les grands axes de la Statistique avec toujours en ligne de mire les aspects "grande dimension" : modèles de regression, Statistique paramétrique/semiparamétrique/nonparamétrique, classification, méthodes de rééchantillonnage, Statistique spatiale, spatio-temporale, inference statistique, processus fonctionnels, mesures aléatoires, modèles d'équations différentielles, méthodes parcimonieuses (sélection de variables), statistique des opérateurs, statistique asymptotique. Par ailleurs, les aspects méthodologiques et pratiques sont aussi privilégiés. De nombreuses applications ont été développées (ou sont en cours de développement) et concernent de nombreux domaines comme la chimie quantitative, l'économie, l'environnement, la géophysique, la médecine,... (sans oublier la mise en libre service de logiciels).

Finalement, la diversité des thématiques ainsi que la multiplicité des approches (théorie, méthodologie, applications) positionnent ce domaine de recherche à l'intersection de l'ensemble des activités en Statistique de l'ESP plutôt que dans un axe particulier.

Un dernier point fort du thème "Statistique Fonctionnelle et Opératoire" est son enracinement et sa reconnaissance au sein de la communauté internationale de Statistique grâce à son intense activité scientifique (publications, responsabilités éditoriales/scientifiques au plan international, doctorats en cotutelle...). Parmi les nombreuses collaborations tissées à l'étranger, citons par exemple : Allemagne : Berlin, Bonn, Argentine : Buenos Aires, Australia : Melbourne, Belgique : Louvain, Canada : Vancouver, Toronto, Espagne : La Corogne, Madrid, Italie : Milan, Novara, UK : Londres, USA : North Carolina, California, Taiwan : Taipei,...

Cette direction est portée par des spécialistes reconnus : F. Ferraty, P. Sarda, P. Vieu pour ce qui concerne la modélisation et le traitement de variables fonctionnelles, et A. Boudou, Y. Romain, S. Viguier-Pla pour ce qui est de la Statistique Opératoire. Par ailleurs, le groupe de travail STAPH continuera

à jouer son rôle de leader au niveau international dans le développement et la diffusion des connaissances dans ce thème majeur de la Statistique moderne.

- (2) Un axe “Statistique pour l’industrie et les biosciences” : Comme nous l’avons déjà mentionné, l’équipe ESP entretient des liens privilégiés avec le milieu industriel tant au niveau national qu’au niveau international. Les cadres privilégiés sont ceux des plans d’expérience, de la statistique sur les graphes, des problèmes inverses, de la stabilité des procédures, de la parcimonie, de l’analyse des données en très grande dimension, de la classification.

Tout d’abord, les interactions en cours de développement concernent la stabilité de gros algorithmes et les procédures de simulation. Ces problèmes se rencontrent dans le domaine de l’analyse des codes numériques. L’analyse de dynamiques spatio-temporelles complexes renforce les liens entre les équipes de recherche de l’ESP d’une part et de l’IFP, de Météo France ou du CEA d’autre part. Les applications sont nombreuses en particulier dans le domaine de la modélisation météorologique ou de la quantification du risque écologique. De nombreuses thèses sur ces sujets sont en cours et des projets fédérant plusieurs organismes de recherche sont en cours de développement (GDR Mascott, ANR Costa Brava...).

L’analyse des images est actuellement un des sujets majeurs en médecine et en contrôle radar. La structure particulière des images ou des motifs qui les constituent requiert l’utilisation de théories récentes sur les méthodes de compression d’une part et les statistiques sur des variétés d’autre part. En particulier l’étude des déformations de contours nécessite un cadre géométrique mêlant variétés différentielles, analyse de Fourier tout en faisant appel à des méthodes très actuelles en statistique semi-paramétrique dont les techniques ont été étudiées lors d’un groupe de travail. Ce travail préliminaire théorique est toujours d’actualité au sein de nos équipes de recherche mais il a aussi ouvert la voie à diverses applications en analyse d’image à travers des thèses en cours et un certain nombre de contrats industriels qui se développent autour de cette thématique.

L’analyse du trafic routier, sa modélisation et la prédiction de trajets est un sujet moteur pour de nombreux membres de l’ESP (Bressaud, Berthet, Gamboa, Loubes) et deux thèses CIFRE ont déjà été soutenues en collaboration avec des partenaires industriels. Le développement des données de trafic issues de capteurs mobiles ouvre de nouvelles perspectives à ces travaux préliminaires. Les méthodes de statistique sur les graphes seront motrices dans le développement des modèles adaptés. Des contrats de collaboration, CIFRE, avec des équipes de recherche au sein de laboratoires spécialisés (Ponts et Chaussées ou entreprise TDF) sont en cours d’élaboration.

De nombreux contacts et contrats avec l'industrie ont été noués via les nombreuses thèses Cifre en cours ou soutenues récemment. Ce domaine de recherche regroupe donc l'activité applicative d'un grand nombre de membres de l'axe précédent, et pose en retour de nouveaux problèmes au plan théorique.

Cet axe comporte aussi l'activité également riche en collaborations, de la composante Bio-statistique portée tout particulièrement par A. Baccini, P. Besse, C. Chouquet, S. Déjean, J. Dupuy, H. Milhem et la participation ponctuelle de plusieurs autres membres (J. Bigot, S. Gadat, B. Laurent...), renforcé récemment grâce à l'arrivée de C. Maugis. Les activités d'autres membres actifs (D. Concorde ou N. Villa par exemple) s'incluent dans cet axe prospectif.

Les développements technologiques associés aux grandes questions issues du domaines de la Santé et de la Biologie conditionnent les besoins méthodologiques émergeant. D'une part, la densité d'information des moyens de mesure (i.e. les puces à ADN) gagnent un facteur 10 à 100 tandis que les technologies de séquençage à très haut débit introduisent un facteur 1000. D'autre part, des questions comme la sélection de biomarqueurs pour des diagnostics médicaux personnalisés, l'étude de facteurs de transcription ou de phénomènes épigénétiques, l'intégration de plusieurs niveaux d'observations (omiques) pour une biologie systémique, soulèvent des problèmes qui sont tous autant de défis conceptuels pour les prochaines années.

La prise en compte de ces problématiques conduisent à l'analyse de données de toujours plus grandes dimensions et de structures hétérogènes (séquences, graphes, spectres, réseaux...) et donc à la construction de méthodes parcimonieuses efficaces, la construction d'outils graphiques pertinents pour l'aide à l'interprétation, la mise en oeuvre de tests adaptés à la comparaison d'arbres phylogéniques, de graphes ou de motifs. Ce seront des thèmes majeurs dans les quelques années à venir. Sur la base du bilan décrit par ailleurs, cette dynamique faisant interagir Biologie, Statistique et bientôt Informatique constitue l'un des trois pôles du projet fédérateur MIBS.

Pour illustrer cette démarche, citons plusieurs projets 2009. PROTELL est accepté par l'INCa en collaboration avec des équipes INSERM pour la recherche de biomarqueurs de lymphomes, deux autres sont en cours de dépôt : Div'Omes avec des équipes INRA sur le thème "biodiversité et intégrations de plusieurs niveaux de données", CNSDiaschips un projet européen en cours de finalisation avec des équipes INSERM pour le diagnostic précoce des maladies neurodégénératives. Trois financements de thèses (Besse et Laurent) avec des co-encadrements Statistique-Biologie sont acquis (2 en 2009, 1 en 2010). D'autres collaborations sont en cours, elles poursuivront les projets achevés avec succès et décrits dans le bilan. Cela concerne principalement les collaborations avec le LISBP (INRA, CNRS) et les unités INRA qui se fédèrent dans

le nouveau pôle locale de toxicologie. Elles viendront s'inscrire naturellement dans les problématiques déjà citées.

Insistons que le fait que le caractère aléatoire des financements de projets n'est pas à la hauteur des enjeux scientifiques locaux qui nécessitent la pérennisation des compétences acquises par des postes fixes (IgR) et une politique volontariste susceptible d'attirer à Toulouse les bons candidats (Mcf, Pr) de cette thématique.

### 3.3. Convergences.

Les interactions entre Probabilités et Statistique ont toujours existé au sein de l'ESP : travaux en collaboration, co-encadrement (Bakry-Bigot, Azais-Barthe, ...), participation aux séminaires, notamment les séances du mardi matin où l'équipe entière se retrouve entre les deux séminaires, mais aussi à travers les groupes de travail (par exemple celui de géométrie et statistique *WISE* organisé en 2008 par Loubes, Bigot et Gadat). L'arrivée récente de P. Berthet va dans le sens de l'imbrication forte entre statistique et probabilités.

Des directions nouvelles ont émergé très récemment :

- (1) Un groupe de travail va être mis en place autour des aspects statistiques des matrices aléatoires et des processus déterminantaux (Bigot). En effet, les problèmes d'analyse statistique en grande dimension (lorsque le nombre d'observations est beaucoup plus petit que le nombre de paramètres à estimer) constituent actuellement une thématique de recherche très dynamique. Des travaux récents (voir par exemple ceux de Donoho, Candès, Tao, Cohen, Devore, Pajor, Mendelson) ont mis en évidence des liens importants entre des problèmes de reconstruction à partir de données incomplètes et les matrices aléatoires. Le but de ce groupe de travail sera de faire un état de l'art sur ce sujet et de dégager des axes de recherche commun entre statisticiens et probabilistes en s'appuyant sur quelques axes déjà développés par les membres de l'équipe ESP (Plan d'expériences (Azais), Méthode de régularisation et problèmes inverses en statistique nonparamétrique (Gamboa, Loubès, Bigot, Gadat, Marteau), Aspects probabilistes de certaines matrices aléatoires (Capitaine, Bordenave, Ledoux), Géométrie et probabilité en grande dimension (Barthe, Cattiaux)). La mise en place de ce groupe se fera conjointement avec celui qui existe depuis un an déjà (Capitaine) lié à l'ANR Granma et plus axé sur les développements probabilistes.
- (2) Une collaboration est en cours entre S. Gadat et F. Panloup sur un problème lié aux processus historiques (ici diffusions à mémoire ou 'renforcées'). Ce problème est fortement corrélé avec les modèles de diffusions renforcées en interaction utilisés dans l'étude du comportement social de différents animaux (modèles individu-centré stochastiques), préoccupation d'E. Boissard (thèse Degond-Cattiaux). Il pourrait attirer un groupe de stochasticiens et de statisticiens en lien avec l'équipe MIP dans un proche avenir.

- (3) Une collaboration entre statisticiens et probabilistes, initiée lors d'un projet soutenu par FREMIT, s'intéresse à l'étude de nouveaux modèles de graphes aléatoires ainsi qu'à leurs propriétés structurelles. Le but applicatif de ce travail est d'approcher aux mieux les propriétés de graphes réels et de proposer ainsi des modèles probabilistes de classifications de sommets, classifications qui ont des applications très importantes dans le domaine des réseaux sociaux et biologiques. Charles Bordenave, Sébastien Gadat et Nathalie Villa ont commencé un travail dans ce domaine qui devrait se développer dans les prochaines années et offrent également des perspectives de collaboration avec les informaticiens de l'IRIT (intéressés par l'analyse de données de grands graphes) et les biologistes de l'INRA (intéressés par l'analyse de réseaux d'interactions biologiques)
- (4) L'engouement récent autour des modèles graphiques en vue de leurs applications (modélisation et prévisoin du trafic, météo, réseaux d'interaction génomique) fédère de nombreux membres de l'ESP. Plusieurs thèses sont engagées sur le sujet, à l'encadrement desquelles participent Azais, Gamboa, Loubes, Bressaud ... Ces thèmes font également partie des préoccupations de Bakry et Cattiaux par exemple.
- (5) La statistique en grande dimension et ses applications en imagerie et génomique par exemple est également un thème fédérateur des recherches de membres de l'ESP.

**3.4. Valorisation, Applications Industrielles, Interactions.** Comme il a été mentionné dans le volet Bilan, une des particularités de l'ESP est l'implication extrêmement importante de ses membres (y compris ceux considérés comme théoriciens) dans la valorisation et le transfert de connaissances. Cela se traduit par un nombre conséquent de contrats industriels, de thèses CIFRE, de formations dispensées dans l'industrie. Cet aspect restera central dans l'évolution de l'équipe (de nouveaux contrats sont en phase de finalisation, de nouvelles thèses CIFRE commencent). Cette activité est renforcée par les directions thématiques prises par l'équipe s'inscrivant clairement dans une volonté d'interactions de plus en plus forte avec d'autres domaines scientifiques. Parmi nos partenaires, nous comptons de grands groupes industriels (Thales, EADS, ...) des entreprises innovantes (Mediamobile, Helileo, ...) des organismes de recherche (Cancéropole, CEA, Hopitaux Universitaires...), des EPST (INSERM, INRA, INRIA). L'équipe s'est du reste engagé dans de nouvelles directions autour d'ANR thématiques (avec l'IFP par exemple, Gamboa), ou de projets industriels (autour des modèles de trafic par exemple, Bressaud, Espinasse, Gamboa, Loubes ...); projets auxquels devraient participer plusieurs membres.

Au niveau de l'Université, l'ESP est partie prenante des différents grands projets (MIBS, FREMIT, voir les pages précédentes) et entame une collaboration avec la Physique Théorique que l'arrivée de C. Pellegrini devrait renforcer.

#### 4. PERSPECTIVES DE RECRUTEMENT ET SOUHAITS.

L'évolution d'une équipe de recherche en mathématiques repose en partie sur le renouvellement de ses cadres. Le bilan fait à la section 2 indique que celui ci, dans l'hypothèse d'un bilan comptable nul, sera très faible pour les rangs A, plus confortable sur les rangs B. Cependant, avec l'arrivée de quatre nouveaux professeurs, de onze jeunes maîtres de conférences, de deux directeurs et d'un chargé de recherches, dans les deux dernières années, l'équipe a connu un renouvellement qui, allié aux évolutions thématiques des membres en place, a fixé les contours de son développement scientifique dans les quelques années à venir. Il reste néanmoins quelques points noirs.

Les évolutions récentes ont introduit un déséquilibre net en Statistique. L'ESP et l'IMT doivent oeuvrer pour résorber ce déséquilibre. L'attractivité des filières professionnelles va grandissant. Parmi celles ci, les filières à coloration ou à forte composante Statistique sont particulièrement appréciées, créant des demandes importantes en heures d'enseignement et en encadrement, y compris pour les M2 Professionnels et les doctorats en statistique appliquée. L'ensemble des sollicitations industrielles émanant du tissu local est également très fort (de plus en plus fort). L'ESP n'est déjà plus en mesure d'y répondre. Le départ d'A. Baccini pose le problème de manière criante, de même qu'il pose le problème de la pérennité d'une activité de recherche très appliquée, ancrée dans le milieu socio-économique régional. Les difficultés, bien connues, de recrutement sur ce créneau s'ajoutent par dessus. Il est également à noter le départ de J.F. Dupuy et celui à court terme sans doute de J. Bigot, très investis dans les filières de Master professionnels et les coopérations avec le monde non académique.

Il serait donc fortement souhaitable que l'UPS dégage un chapeau de Professeur supplémentaire à pourvoir en Statistique. Il reviendra alors à l'Institut de savoir recruter au moins un Professeur sur un créneau de Statistique Appliquée (applications industrielles, biologiques, médicales), dont la tâche sera de consolider un groupe de recherche efficace, et de chapeauter les filières professionnelles. L'autre poste pouvant être ouvert aux aspects plus théoriques et ouvrir le spectre scientifique du groupe de statistique (par exemple longue mémoire, méthodes parcimonieuses (sparse), apprentissage-classification, traitement d'images ...)

Il est également nécessaire d'ajouter un Ingénieur de Recherche en soutien aux activités scientifiques de l'aléatoire, en particulier dans le cadre de la plate-forme MIBS, l'ensemble des charges de développement croissant à vitesse exponentielle.

L'ESP est également particulièrement intéressée par le développement des Mathématiques discrètes, et s'inscrit dans une dynamique de l'IMT dans cette direction (par exemple pour un poste de Professeur sections 26 et 27). De manière plus générale, les besoins sont tout autant sensibles au niveau de l'IMT qu'à celui de l'équipe, et comme il a déjà été dit, en dehors du problème spécifique de la Statistique, le renforcement de l'Analyse ou de la Physique Mathématique sera tout autant profitable à l'équipe que celui de tel ou tel axe particulier.

L'ESP a depuis longtemps une rotation importante sur son pool de Maitres de Conférences, en particulier ceux recrutés depuis une petite dizaine d'années. La stratégie de recrutement consiste à choisir les meilleurs candidats possibles en respectant autant que faire se peut les équilibres Probas/Stat et à leur offrir les meilleures conditions possibles pour leur épanouissement scientifique afin qu'ils soient promus Professeurs le plus vite possible.

L'ESP, comme l'IMT, souffre en revanche d'un déficit en chercheurs (CNRS par exemple). Les arrivées toute récentes de deux DR (Zegarliniski, Miclo) et celle de C. Bordenave (CR) ont certes en partie effacé ce déficit. Il est à noter que deux CR officiellement rattachés à l'ESP sont en détachement à l'étranger depuis cinq ans au moins.

Enfin comme il a été évoqué dans l'introduction de ce texte, les difficultés de recrutement dans les domaines de l'aléatoire très recherchés en ce moment, en particulier à Toulouse, ne sont bien souvent pas dues à des arguments scientifiques, mais bien plutôt à des arguments de vie personnelle. Une stratégie d'aide à l'installation est sans doute à penser au niveau des Universités et du PRES.

**Projet de l'équipe de l'équipe  
Mathématiques pour l'Industrie et la  
Physique (MIP)**



# Prospectives de l'équipe Mathématiques pour l'Industrie et la Physique (MIP)

## Prospectives scientifiques

Au vu des relations et des liens scientifiques importants entre les différents thèmes, l'équipe MIP a choisi de se structurer en quatre thèmes principaux et un thème transverse pour le prochain contrat quadriennal :

- 1- Équations aux dérivées partielles, systèmes dynamiques.
- 2- Multi-échelles, systèmes et fluides complexes.
- 3- Estimation et contrôle des EDP, imagerie.
- 4- Optimisation et méthodes numériques préservant la structure.
- 5- Couplage modèles-données (thème transverse).

Les perspectives scientifiques s'appuient sur les divers projets et contrats en cours ou débutant en 2009. Les interactions entre les thèmes ont permis d'envisager notre développement scientifique autour d'actions fédératrices pour l'équipe.

### 1. ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES ET SYSTÈMES DYNAMIQUES

Les récents recrutements dans la thématique des équations aux dérivées partielles ont renforcé cette équipe et profondément renouvelé ses thématiques. Tout en gardant une activité soutenue dans le domaine des équations elliptiques, le groupe compte aborder une large palette de problématiques sur les propriétés qualitatives, les dynamiques d'explosion, et les questions de stabilité dans des équations aux dérivées partielles. Ces questions sont motivées le plus souvent par des modèles de physique mathématique, mais aussi de biologie et d'économie.

- **Stabilité et dynamique en temps long** : soutenue par le projet ANR-RC SWAPS notre équipe a été pionnière dans l'étude de la stabilité des solutions stationnaires de Vlasov-Poisson gravitationnel, qui est un modèle standard pour l'étude de la dynamique des galaxies. La conjecture, classique en astrophysique, de stabilité radiale des états décroissants a en particulier tout récemment été démontrée. Le cas non radial, mal compris, pose des problèmes fascinants. La question de la stabilité asymptotique - ou effet Landau - est un problème important, surtout dans la lignée des récents travaux spectaculaires de Mouhot et Villani. Une troisième problématique est celle de l'existence de multi-solitons pour Vlasov-Poisson ; nos travaux sur les multi-solitons de l'équation KdV sont susceptibles de jeter un éclairage nouveau sur ce problème.

Une extension naturelle de ces travaux est l'étude des dynamiques vortex d'Euler incompressible en dimensions 2 ou 3. Ce projet est une source de fructueuses interactions avec le thème multi-échelles, systèmes et fluides complexes et se trouve renforcé par l'arrivée d'un professeur dont les travaux récents ont ouvert une brèche dans l'étude qualitative des ondes progressives pour Gross-Pitaevski - dont Euler est une limite asymptotique. Une dernière synergie dans cette thématique concerne le problème de Cauchy et scattering pour les équations d'ondes dispersives non linéaires. Nous avons

en effet une expertise sur les solutions de Schrödinger non linéaire (NLS) en faible régularité, les solutions de NLS critique, mais aussi - et c'est une nouvelle thématique apportée par un des récents recrutements de professeurs - sur les problèmes délicats de scattering pour les ondes ou NLS en géométrie courbe. Ces compétences devraient nous permettre de réaliser des avancées dans un domaine difficile, très compétitif, où les problèmes ouverts abondent. A titre d'exemple, l'étude du fort confinement des condensats de Bose-Einstein aboutit à des équations de Schrödinger non linéaires avec des non-linéarités non standard obtenues par moyennisation en temps - à la Schochet - de non-linéarités locales. Il est clair que l'expertise des membres fraîchement recrutés dans la thématique Schrödinger et équations dispersives, sera centrale pour une compréhension approfondie de ces nouveaux modèles (quel exposant critique ? quels profils d'explosion ? quelles propriétés de dispersion ?).

- **Dynamiques explosives** : si la description des dynamiques explosives a considérablement progressé ces vingt dernières années sur certaines équations paraboliques, elle reste largement ouverte pour les équations dispersives non linéaires. Un de nos résultats récents montre une profonde analogie entre les dynamiques explosives de la dynamique des ondes à énergie critique des "wave maps" covariantes sur la 2-sphere avec celle du régime générique stable pour le modèle de Schrödinger non linéaire  $L^2$  critique. Ces travaux ouvrent une nouvelle porte tant pour les ondes que pour Schrödinger sur les régimes explosifs surcritiques encore très mal compris. En outre, le problème des "wave maps" contient des fructueuses interactions avec les spécialistes d'équations d'ondes en milieu courbe.

Les questions de dynamique explosive ne se limitent pas aux domaines (déjà fort riche) des modèles de physique mathématique, elles concernent aussi les modèles de chimie et de biologie. Deux problématiques se dégagent : l'un concerne l'étude du phénomène de coagulation pour l'équation de Schmoluchowski-Poisson, où nos progrès sur l'équation de Schmoluchowski, devraient être très utiles. L'autre projet en cours concerne l'étude du modèle d'agrégation bactérienne de Keller-Sigel. Celui-ci, bien que très étudié, est encore mal compris et les premiers éléments dont nous disposons montrent que, bien que parabolique de nature, il présente des similitudes étonnantes avec les modèles de type Schrödinger, et pour lequel la dynamique explosive est à nouveau mal comprise.

- **Problèmes elliptiques et interactions avec l'économie** : l'équipe poursuivra son activité dans le domaine des équations elliptiques et systèmes : problèmes elliptiques avec poids, estimation des solutions au delà de la première valeur propre. Elle cherchera en outre de développer ses contacts avec le groupe important d'économistes de Toulouse en favorisant de nouveaux axes de recherche : étude de nouveaux problèmes paraboliques pour le pricing d'option (soutenu par le projet ANR EVaMEF), étude de nouveaux problèmes de type Black and Scholes.

- **EDP et systèmes dynamiques**. Notre équipe est pionnière dans la théorie holomorphe des formes normales pour les équations différentielles. Nos travaux récents (soutenus par le projet ANR RESONANCES) concernant l'existence de formes normales

permettant de conjuguer un champ de vecteurs avec une partie principale non obligatoirement linéaire, ouvre de nouvelles perspectives dans l'étude des variétés invariantes des systèmes dynamiques de dimension finie. Un défi important est de comprendre comment ces méthodes s'adaptent aux équations aux dérivées partielles : ils peuvent permettre de capturer des phénomènes (exponentiellement petits) hors d'atteinte des méthodes existantes.

La modélisation en spintronique (soutenue par le projet ANR QUATRIN) fait apparaître des équations différentielles avec des nonlinéarités non locales obtenues grâce à l'étude de perturbations singulières de systèmes complexes couplant des équations de réaction-diffusion vectorielles et des équations de type Landau-Lifshitz. La conjugaison des savoir-faire en théorie du transport, systèmes dynamiques mais également en géométrie différentielle (ces équations se posent naturellement sur la sphère) sera un atout de taille pour résoudre ces problèmes et ouvrir des perspectives de recherche novatrices.

Une troisième direction de recherche (soutenue par le projet ANR KAMFAIBLE) concerne l'étude des propriétés qualitatives des équations de Hamilton-Jacobi et les questions de dynamique lagrangienne sous-jacentes. La convergence en grand temps pour équations de Hamilton-Jacobi, pour laquelle nous avons démontré les premiers résultats significatifs, est une des problématiques issues de ce rapprochement. De très nombreux problèmes ouverts demeurent, comme la compréhension des phénomènes de non-convergence (problèmes périodiques en temps, problèmes posés dans tout l'espace). D'intéressantes analogies avec les comportements erratiques des modèles de réaction-diffusion existent, elles peuvent apporter des éléments de compréhension nouveaux et seront systématiquement explorées.

## 2. MULTI-ÉCHELLES, SYSTÈMES ET FLUIDES COMPLEXES

**Transport et multi-échelles** La prise en compte des phénomènes multi-physiques et multi-échelles dans la modélisation des problèmes de transport constitue et constituera un fil directeur dans nos recherches. Dans cette optique il faut tout d'abord comprendre les liens entre les interactions élémentaires dans les modèles microscopiques, la formation de structures auto-organisées et l'apparition de comportements collectifs au niveau macroscopique. Au delà des applications dans le domaine de la physique, nous nous intéresserons aux problèmes issus de la biologie et des interactions sociales ou régies par des contraintes de non recouvrement : ces problèmes constituent du point de vue mathématique un challenge nouveau nécessitant de recourir à des approches nouvelles comme l'usage combiné d'outils déterministes et aléatoires. Pour tous ces problèmes, nous nous appuyerons sur notre expertise en analyse asymptotique dans le domaine des limites fluides et de diffusion ou l'homogénéisation périodique ou aléatoire, ou encore les moyennes temporelles de fonctions fortement oscillantes. Le lien entre les modèles macroscopiques et microscopiques sera utilisé pour les coupler spatialement, soit par des conditions d'interface, soit par des zones de recouvrement. En effet, à cause de leur coût numérique important les modèles microscopiques, comme l'équation de Boltzmann ou l'équation de Schrödinger, ne seront valides que dans les zones spatiales où cela est nécessaire. Ailleurs, on se contentera de modèles à un coût moins élevé.

### **Schémas asymptotiquement stables (AP)**

Comme l'interface entre les zones microscopiques et macroscopiques est souvent difficile à localiser, une approche plus moderne et novatrice consiste à ne simuler que le modèle microscopique mais avec des schémas numériques de type AP qui sont compatibles avec le modèle macroscopique limite. Cette approche constitue un des points phares de notre activité. Elle a été appliquée avec succès dans des applications telles que les plasmas dans les régimes quasi-neutre, fluide, gyrocinétique, ou dans les semi-conducteurs quantiques, et de multiples développements, extensions et améliorations sont en vue.

### **Émergence de structures dans les systèmes sociaux**

Parallèlement et simultanément aux études méthodologiques énumérées ci-dessus que nous réalisons en particulier dans le cadre de projets internationaux ou nationaux comme le réseau européen DEASE (action "Marie Curie Fellowships for Early Stage Researchers (EST) ") ou le projet NSF FRG "Kinetic Description of Multiscale Phenomena : Modeling, Theory and Computation" ou encore le projet ANR CBDIFF, notre recherche sera structurée autour de projets régionaux, nationaux ou internationaux dans lesquels nous nous sommes impliqués comme leader de projet ou responsable de partenaire. Dans les projets ANR PANURGE et PEDIGREE, nous développons des collaborations pluridisciplinaires avec des biologistes et des physiciens en vue de modéliser l'émergence de structures dans les systèmes sociaux ou avec contrainte de

non recouvrement. Comme les interactions entre individus sont très différentes des interactions dans les systèmes physiques, les équations de Boltzmann à une particule peuvent ne pas être valides, par exemple à cause de la non propagation du chaos. Ceci donne naissance à des modèles cinétiques nouveaux ainsi qu'à leurs pendants fluides que nous étudierons de manière approfondie.

### **Spintronique**

Nous étudions dans le projet ANR QUATRRAIN des problèmes de transport quantique et plus récemment des modèles pour la spintronique. Ce domaine de la physique consiste à manipuler le spin plutôt que la charge de l'électron. Nous avons entamé une collaboration pluridisciplinaire à ce sujet avec le laboratoire de Physique et Chimie des nano-objets de l'INSA de Toulouse et avec le département de physique de l'Université technologique de Graz. Ces collaborations, comme dans le thème précédent nous conduisent à un renouvellement des problèmes mathématiques issus de la théorie cinétique : à titre d'exemple, pour les électrons polarisés en spin, les fonctions de distributions sont matricielles et la modélisation des interactions sélectives en spin se heurtent au caractère non commutatif du produit matriciel et à la complexité du respect du principe du maximum dans ces modèles.

### **Plasmas et ITER**

Dans le domaine de la modélisation des plasmas, notre équipe est leader au niveau international. Au travers des nombreux contrats avec le CEA, de l'action de recherche collaborative (ARC) Fusion de l'INRIA et du projet PLASMAX financés par la Fondation de Coopération Scientifique 'Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace', c'est notre expertise qui est reconnue dans ce domaine. Par le projet MOSITER (projet BQR de l'Université Paul Sabatier), nous valorisons cette expertise au niveau local en nous associant avec des équipes de physiciens et d'informaticiens pour répondre à l'énorme challenge que représente la modélisation et la simulation numérique globale d'ITER. La nécessité de parvenir à des outils de simulation globale nous conduit à développer une approche de couplage multiphysique entre ces différents codes. Une des contributions de ce projet est de proposer des méthodes numériques AP en rupture avec l'état de l'art : ces méthodes permettent une simulation globale du plasma sans recours à des simplifications des modèles et une mise en œuvre du couplage multiphysique exempt d'oscillations ou d'instabilités numériques avec des gains de temps calcul potentiels de plusieurs ordres de grandeur, par rapport aux méthodes classiques.

### **Fronts de réaction-diffusion dans les milieux hétérogènes**

La prise en compte des hétérogénéités spatiales est un des défis importants de la modélisation en écologie. Par exemple, l'influence de la fragmentation de l'habitat dans le développement d'une population ou l'influence de la structure d'un réseau de transport dans la propagation d'une épidémie sont des questions très actuelles. La description de ces phénomènes par des modèles de réaction-diffusion est un bon compromis entre la complexité des situations envisagées et la recherche de résultats en bon accord qualitatif avec les données. Ainsi, la compréhension de la propagation des fronts de

réaction-diffusion en milieu inhomogène est une question importante à la fois au plan mathématique et au plan des applications, qui nécessite le recours à des idées nouvelles. Notre équipe est en pointe dans le domaine de l'analyse et de la simulation des équations de réaction-diffusion ; via le projet ANR PREFERED elle développe sur ces questions des collaborations au plus haut niveau en France mais aussi aux États-Unis ou au Japon. Les problèmes d'estimation de la vitesse de propagation d'un front dans les modèles de Fisher-Kolmogorov et, plus généralement, de comportement en temps grand, mais aussi la compréhension des phénomènes de blocage dans ces modèles (que nous avons récemment mis en évidence) seront dans nos priorités. La modélisation des phénomènes diffusifs via des opérateurs non locaux (par exemple des opérateurs de Lévy) peut être pertinente dans la description de certaines invasions biologiques, elle conduit à des problèmes nouveaux sur le plan mathématique, dont nous ferons non seulement l'analyse détaillée, mais dont nous comparerons aussi les simulations avec des jeux de données.

### **Questions de dynamique en mécanique des fluides, géophysique et environnement**

Les équations d'Euler à surface libre posent des problèmes mathématiques d'une difficulté redoutable, l'un d'entre eux étant l'inventaire des ondes progressives satisfaisant certaines propriétés qualitatives. Dans les cas les plus simples, la méthode des formes normales permet d'obtenir l'existence d'orbites périodiques ou homoclines ; il existe toutefois des situations bien plus dégénérées dans lesquelles les solutions développent des oscillations exponentiellement petites en les paramètres de bifurcation. Une des perspectives actuelles est la confirmation de conjectures affirmant l'existence d'ondes à plusieurs bosses avec défaut de symétrie exponentiellement petit en termes des paramètres de bifurcations. L'étude de ces équations différentielles, dans le cadre des perturbations singulières analytiques que nous avons développé (projet BQR HOLLIFF, projet ANR RESONANCES) nous semble à même d'apporter des réponses à cette classe de problèmes. L'apparition de ce type d'oscillation n'est toutefois pas la seule difficulté ; s'ajoutent, lorsqu'on recherche des orbites hétéroclines à des tores, des problèmes de petits diviseurs. L'un de nos buts est d'aborder ce problème dans le cadre analytique, et de comprendre la question de l'existence d'ensembles invariants dans ce cadre. L'application naturelle est le problème de l'existence d'ondes quasi-périodiques, puis d'orbites homoclines à des solutions quasi-périodiques.

Nous avons également la volonté de poursuivre l'effort récent d'analyse des modèles mathématiques (dérivation de modèles à partir d'analyse asymptotique des équations de Navier Stokes) et de développement de méthodes numériques fait dans le domaine des écoulements à surface libre pour les applications à la géophysique et l'environnement. Dans le programme ANR SWEFCF nous étudions en collaboration avec l'institut C. Jordan la modélisation mathématique et numérique des problèmes d'écoulements à surface libre à l'aide de modèles type Saint Venant, en développant de manière rigoureuse une classe de modèles issus de l'analyse asymptotique des équations de Navier Stokes. Cette thématique est également abordée dans les ANR ADAGE (Glaciologie) et

AMAC (Prévisions des crues). Les collaborations sont à la fois avec des mathématiciens et des physiciens au plan national et international.

Une action est également envisagée avec le SHOM (Service d'Hydrographie et d'Océanographie de la Marine) sur les modèles océanographiques multicouches afin de mieux comprendre leur comportement sur les temps long et améliorer les méthodes numériques.

### **Modélisation asymptotique et numérique pour les problèmes multi-échelles dans le domaine aérospatial et médical**

La modélisation asymptotique et numérique de problèmes multi-échelles dans le domaine aérospatial est un axe de recherche important de l'équipe. Les efforts de recherche seront fédérés autour de projets comme l'ANR APAM (*Acoustique et paroi multi-perforée*) où s'exerce une interaction étroite entre théorie (méthodes de développement asymptotiques raccordés, développement double échelle), numérique (construction de modèles simplifiés, couplage de ces modèles) et physique (validation expérimentale et simulation directe). La modélisation des films minces intervenant dans le domaine aérospatial (films sur des pales rotatives, des voilures, écoulement en microgravité) sera poursuivie en collaboration avec des partenaires comme l'ONERA et les divers participants au projet de GDR "Ruisellement et films en écoulement cisailés". Les travaux seront théoriques (développement et justification de modèles simplifiés) et numériques (validation et couplage de modèles)

L'équipe poursuivra le développement de méthodes numériques pour ces problèmes multi-physiques en renforçant particulièrement les aspects : schémas volumes finis et méthodes ALE (Arbitrary Lagrange Euler), méthodes hybrides SPH-Volumes Finis, algorithmes AMR (Adaptive-Mesh-Refinement) et parallélisation dans un but d'interaction avec les partenaires industriels ou physiciens. Un nouveau projet en partenariat avec Schneider-Electric sur la modélisation et la simulation de contact d'électrode pour les appareillages de coupure est en cours, faisant intervenir des couplages entre la mécanique des contacts, l'électromagnétisme et la thermique. Une politique de coordination des différents outils sera mise en place avec le recrutement d'un IR CNRS et l'arrivée de plusieurs ingénieurs et post doctorants financés sur les ANR.

L'accent sera également mis sur les méthodes numériques adaptées aux couches minces (électromagnétisme) et sur les méthodes d'éléments finis de type XFEM (méthodes des patches, domaines fictifs...) en passant par des problèmes d'approximation des conditions de contact/frottement en petites et grandes déformations de manière stable, en élastostatique ou en élastodynamique par la stratégie de répartition de la masse. Les problèmes d'endommagement seront également abordés où deux types d'actions sont prévues : modélisation mathématique du comportement des matériaux composites avec endommagement et température et schémas d'intégrations associés, en collaboration avec le CEA/CESTA. Une plateforme logicielle avec le développement de Getfem++ servira à la construction et la validation des méthodes numériques pour les problèmes précédents.

Les méthodes d'interface diffuses initialement développées pour les problèmes diphasiques seront intégrés dans les outils de simulations et étendues afin de pouvoir traiter des problèmes vraiment multimatériaux.

La simulation des équations de Navier-Stokes tridimensionnelle via la dynamique tourbillonnaire sera généralisée aux problèmes multi-fluides, multi-échelles avec conditions aux limites fortement instationnaires pour des applications biomédicales (étude de la dynamique des films mucoïdes et des cellules épithéliales ciliées en collaboration avec le CHU Larrey (Toulouse) et l'INRIA REO (Paris VI) ). Ces méthodes permettront la validation des modèles asymptotiques comme ceux qui vont être développés dans le cadre de l'ANR APAM.

### 3. ESTIMATION ET CONTRÔLE DES EDP, IMAGERIE

L'activité de ce thème s'articule autour de deux activités scientifiques.

#### **Imagerie**

Le groupe de recherche Optimisation de Forme a orienté ses recherches vers l'imagerie médicale et le traitement d'images. Il a pour ligne conductrice, la résolution de problèmes jugés difficiles par des méthodes à la fois simples et efficaces. Nous travaillons sur deux familles de problèmes où la non différentiabilité, qui est souvent considérée comme une source d'ennuis, présente des propriétés de stabilité qui rendent le problème facile à traiter :

- (1) Rechercher la fonction caractéristique d'une partie d'une image est un problème d'optimisation en 0-1, jugé difficile. Il est souvent remplacé par une formulation relaxée où la "fonction caractéristique" prend toutes les valeurs entre 0 et 1. Ce problème, jugé plus simple, est en réalité beaucoup plus instable que le premier. La simplicité du premier problème est illustrée par l'efficacité du gradient topologique, qui permet de calculer la variation d'une fonction coût lorsque la fonction caractéristique passe de 0 à 1 ou de 1 à 0 dans une région de petite taille. En utilisant cette information de type gradient, on a une solution acceptable à la première itération. Notre groupe de recherche compte continuer dans cette direction et mettre la segmentation (identification des organes) au centre du processus d'inversion en imagerie médicale. Le processus de segmentation a alors un effet régularisant, alors que la régularisation classique a souvent un caractère arbitraire.

Le gradient topologique est basé sur une analyse asymptotique de la fonction coût qui n'est envisageable que dans des cas simples. Nous avons élargi le domaine d'application du gradient topologique en introduisant une version numérique de l'analyse asymptotique qui a un caractère universel. L'équipe MIP continue à jouer un rôle pionnier dans ce domaine.

- (2) La minimisation d'une fonction à "fond plat" est jugée difficile et d'une manière paradoxale, la minimisation d'une fonctionnelle à "fond pointu" est jugée également difficile parce que non différentiable. Un résultat montre que la non différentiabilité

augmente la stabilité du problème et le rend intrinsèquement plus facile à résoudre. Il a proposé un algorithme très efficace pour une classe assez large de problèmes qui contiennent la régularisation par la norme BV. L'imagerie médicale opérationnelle lui préfère d'autres méthodes qui peuvent masquer des informations utiles pour établir un diagnostic correct. Nous comptons travailler avec les acteurs majeurs dans ce domaine pour l'implantation de la régularisation par la norme BV qui permet de mettre en évidence des pathologies à un stade précoce.

Signalons la forte implication de Jérémie Bigot de l'ESP dans le projet ANR MESSANGE, coordonnée localement par Jérôme Fehrenbach, sur la détection de mouvement en tomographie.

Nous participons au projet ANR/Masses de données/ADDISA qui porte sur l'assimilation de données images satellitaires.

Un projet sur la rupture d'anévrisme est en cours d'élaboration avec General Electric.

### **Contrôle des équations aux dérivées partielles**

Notre équipe étudie le contrôle d'écoulements fluides, le contrôle de systèmes couplés fluide-structure et de systèmes paraboliques dégénérés. Elle se renforcera en octobre 2009 avec l'arrivée de Sylvain Ervedoza (CR CNRS). Elle est impliquée (au delà de 2010) dans deux projets ANR (CORMORED et CISIFS), un GdR européen (CONEDP, sur le contrôle des e.d.p. avec de nombreux partenaires français, italiens, espagnols et chiliens), un projet CEFIPRA de coopération avec l'Inde et un projet de collaborations bi-latérales avec l'Espagne financé par le gouvernement espagnol.

*Contrôle d'écoulements.* Les modèles étudiés sont les équations de Navier-Stokes incompressible, des modèles de couche limite, les équations d'Euler compressible linéarisées (problèmes d'aéroacoustique). Les enjeux auxquels nous souhaitons nous attaquer sont d'une part le couplage "estimation/lois de feedback" (étude théorique et numérique) et d'autre part l'étude de lois de contrôle (et d'estimateurs) non linéaires capables d'accroître les domaines de stabilité des systèmes en boucle fermée et la robustesse des lois de contrôle. L'équipe a également le projet d'étudier le contrôle (contrôlabilité, stabilisation) d'écoulements compressibles et la contrôlabilité des équations de Navier-Stokes incompressible dans le cas de conditions limites autres que des conditions de Dirichlet (question largement ouverte).

*Contrôle de systèmes couplés fluide-structure.* Nous étudions des systèmes couplant les équations de Navier-Stokes incompressible à des équations de structures élastiques dans des domaines 2D ou 3D (le domaine fluide varie avec le temps et dépend de la déformation et du déplacement de la structure). Nous avons pour objectif d'étudier la contrôlabilité et la stabilisation de tels systèmes dans des configurations géométriques ou avec des équations pour la structure différentes et plus complexes que celles pour lesquelles nous avons tout récemment obtenus des résultats de ce type (les résultats que nous avons obtenus sont à notre connaissance les premiers dans ce domaine).

Un deuxième direction concerne les systèmes linéarisés couplant des équations de perturbations d'un écoulement à des équations de structure (couplage aéroacoustique-structure). Dans ce cas-là le domaine occupé par le fluide ne varie pas en fonction du temps, et les systèmes sous-jacents sont des systèmes hyperboliques couplés. Les questions de contrôlabilité pour de tels systèmes, que nous avons commencées à étudier, restent largement ouvertes (les théorèmes de propagation des singularités ne sont pas connus dans le cas des systèmes).

*Contrôle de systèmes paraboliques dégénérés.* L'équipe initie une nouvelle direction de recherche concernant des problèmes inverses pour des modèles de climatologie de type Budyko-Sellers. Ces modèles, représentant l'évolution de la température moyenne à la surface de la terre sur une longue échelle de temps, prennent la forme d'équations aux dérivées partielles paraboliques dégénérées et fortement non linéaires (la non linéarité dans le cas du modèle de Budyko est discontinue et prend la forme d'un graphe maximal monotone). La problématique est l'identification d'une donnée initiale ou de certains coefficients de l'équation à partir de d'observations partielles de la solution (résultats d'unicité et de stabilité).

#### 4. OPTIMISATION, MÉTHODES NUMÉRIQUES PRÉSERVANT LA GÉOMÉTRIE DES STRUCTURES

##### **Optimisation**

Sur la base de l'expérience des dernières années, l'axe Optimisation & Interactions privilégiera la recherche sur les *mathématiques de l'optimisation* et le développement d'*algorithmes* performants en *analyse variationnelle*, en *optimisation numérique et industrielle*, en *recherche opérationnelle* au sens le plus large, en *imagerie biomédicale* et en *commande automatique*.

Une de nos priorités est d'attirer des étudiants en doctorat et des postdocs. Le grand nombre de contrats d'*encadrement scientifique de thésards CIFRE* attestent de la volonté de notre axe à poursuivre dans la voie de collaborations industrielles. Notre particularité concernant les interactions avec l'Industrie et les Services se poursuit avec de nouvelles thèses CIFRE :

- AIRBUS : débutée en janvier 2009 à l'interface entre mécanique, traitement du signal et optimisation
- CapGemini : prévue dès octobre 2009 en optimisation de trajectoire 4D pour le contrôle aérien
- AIRBUS : prévue en décembre 2009 sur le dimensionnement et la contrôlabilité de configurations avion innovantes
- Veolia : prévue en décembre 2009 en mix énergétiques et recherche opérationnelle.

Une ANR *Conception intégrative de systèmes complexes* qui vient d'être acceptée en collaboration avec l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, Airbus, l'INRIA et la SNECMA, amènera une partie de notre axe à se concentrer sur le traitement des incertitudes ainsi que sur les aspects multi-niveau, multi-objectif, multidisciplinaire et *sans dérivées* de l'optimisation numérique avec comme motivation la

conception préliminaire avion. Les nombreuses stratégies d'optimisation possibles seront intégrées dans une architecture ouverte auto-adaptative et distribuée du type *multi-agent* prenant en compte différents niveaux de granularité.

Dans la thématique *théorie des graphes et analyses mathématiques de réseaux*, nous miserons sur notre expertise reconnue en recherche interdisciplinaire avec les Sciences Humaines et Sociales. Cette expertise repose sur plusieurs projets montés en collaboration (dont une ANR et un financement RTRA STAE) et des contacts étroits avec des plate-formes pluridisciplinaires aux États-Unis par exemple (LTER Coweeta). Une autre ANR est en démarrage au 1/9/2009 pour une durée de 3 ans et permettra d'approfondir l'utilisation de la topologie simpliciale pour l'étude de la "forme" des graphes. Un recrutement récent de PR 27 à l'IRIT sur un profil théorie des graphes facilitera assurément la structuration des chercheurs toulousains qui travaillent en analyse mathématique et *visualisation des réseaux*.

Enfin, les perspectives de la thématique *Optimisation et commande de systèmes dynamiques* sont claires : développer une position de leader international. Grâce aux récents financements de l'ANR (2 fois), de la Fondation EADS (2 fois) et de la Fondation de Recherche pour l'Aéronautique et l'espace, notre effort de recherche sera amplifié tant sur le plan théorique que pratique. La mise en oeuvre de la synthèse  $H$  infinie structurée basée sur les techniques de l'optimisation non-différentiable que nous avons développé depuis 2006 présente un progrès majeur dans les stratégies de synthèse de lois de commande. Depuis 2009, cette approche a pris de l'ampleur par l'intégration de contraintes dites temporelles, permettant dès lors d'optimiser simultanément des critères fréquentielles du système linéarisé sous-jacent ainsi que les trajectoires de la dynamique non-linéaire qui sont décrites dans le domaine temporel. Nous comptons appliquer ces nouvelles techniques à la commande de systèmes complexes (industriels, biologiques et sociaux), comme par exemple des cristallisateurs ou des systèmes de distillation. Vu les progrès algorithmiques récents, il apparaît réaliste d'introduire dans ce domaine, avec son échelle de temps relativement lente, la commande  $H$  infinie (prédictive) en temps réel.

### **Méthodes symplectiques**

Une autre direction de recherche concerne la mise en oeuvre de schémas numériques adaptés au calcul de fluides sur des surfaces courbes. L'équipe travaille sur des méthodes numériques préservant les structures variationnelles (e.g. principe de moindre action, structures hamiltoniennes) présent dans de nombreux problèmes physiques, en particuliers les équations d'Euler à surface libre présentes dans de nombreux modèles géophysiques. Cela suppose en particulier de retrouver au niveau discret les notions de formes différentielles et dérivées extérieures. De nombreux travaux dans cette direction existent sur le sujet (mimetic schemes, Finite Element Discrete Exterior Calculus) mais imposent souvent des restrictions dans le choix des maillages. Nous souhaitons généraliser ces approches à des maillages quelconques, non nécessairement conformes ni structurés. Une application naturelle est la simulation de films liquides minces incluant

à terme la modélisation des aspects dynamiques et thermiques. Des applications sont aussi envisagées en combustion et électromagnétisme.

### **Méthodes numériques sur les variétés**

Suite à l'ANR GECKO et des résultats obtenus concernant les propriétés de convexité du conditionnement ou la métrique du conditionnement dans l'espace des matrices de rang plein, il est prévu de développer simultanément les techniques d'analyse non lisse et de géométrie riemannienne. L'enjeu est l'étude des problèmes de complexité pour des modèles de calcul sur les nombres réels. Les problèmes abordés viennent de l'algèbre linéaire, l'optimisation et la résolution des systèmes polynomiaux.

### **Équations différentielles algébriques**

Une collaboration récente avec des chercheurs du laboratoire de génie chimique des procédés de l'UPS a permis l'obtention d'un PEPS (LEDA). Le projet LEDA (Logistique des Équations Différentielles Algébriques) propose de coordonner le travail de quatre équipes sur l'étude et la résolution de modèles gouvernés par des systèmes d'équations différentielles algébriques : une équipe de Génie Industriel, une équipe d'analyse numérique, et deux équipes de Calcul Formel (Équipe LYX, École Polytechnique, Équipe de Calcul formel au Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille). Deux thèmes principaux sont retenus : modélisation de réactions hybrides et méthodes de résolution. Les méthodes de résolution seront étudiées sous trois aspects : l'aspect géométrie et complexité, l'aspect calcul numérique et l'aspect calcul formel.

## **5. Couplage modèles-données**

Le couplage de modèles et de données peut être vu comme un thème transversal qui a pour objectif de stimuler les interactions entre les différents thèmes de l'équipe MIP (Contrôle des EDP, Imagerie, Optimisation, Systèmes complexes,...) et de créer une véritable synergie avec l'ESP à travers un groupe de travail commun. Jean-Marc Azais, Fabrice Gamboa et Jérémie Bigot sont les correspondants ESP de ce thème.

Si l'on regarde le développement des ressources informatiques des vingt dernières années, on se rend compte que la puissance de calcul élargit le domaine des problèmes que l'on sait traiter, alors que la capacité de stockage associée au développement de gros canaux de communication donne lieu à de nouveaux défis et à de nouveaux problèmes que l'on ne sait pas résoudre. Les masses de données générées par l'activité économique, l'activité médicale, l'ingénierie, le calcul intensif, les satellites d'observation et les documents multimédia recèlent des trésors d'informations qu'on ne sait pas toujours extraire de la manière la plus efficace et pertinente.

Nous présentons ici quelques projets relevant de cette thématique.

### **La conception**

Un constructeur automobile ou un avionneur, qui a archivé des calculs et des campagnes d'essais depuis deux décennies sur des familles de produits similaires, peut se poser légitimement des questions sur la valorisation de ces données pour accélérer le processus de conception et réduire ce qu'il appelle le "time to market".

### **La modélisation de phénomènes complexes**

Le thème Systèmes Complexes propose une nouvelle approche de la modélisation se basant sur l'apparition d'un comportement émergent, effet global qui résulte de l'application de règles locales. La définition de ces règles locales, qui sont des lois de comportement, est en général établie à partir d'un grand nombre d'observations et de mesures sur des situations réelles. Ces lois peuvent être identifiées avec la méthode sparse grids que l'on présentera ci-dessous.

Les multiples projets du thème Systèmes complexes vont alimenter nos interactions durant le prochain contrat quadriennal.

### **L'assimilation de données**

L'école d'assimilation de données est certainement la communauté la plus avancée dans le domaine du couplage modèle-données et maîtrise un certain nombre d'outils qui ont un caractère universel :

- la différentiation algorithmique et le développement de méthodes d'optimisation adaptées au couplage,
- la gestion maîtrisée des erreurs sur les modèles et les données,
- la réduction de la complexité - réduction de modèle, découpage du temps d'assimilation en petits intervalles, ...
- la gestion de la complexité (que l'on ne peut pas réduire) par des techniques de calcul intensif.

Nous avons mis en évidence à travers un certain nombre de publications que l'application d'idées issues de l'assimilation de données peut " casser " des problèmes en imagerie médicale. L'équipe MIP travaille sur l'application du nudging, issu de l'assimilation de données, en imagerie médicale par thermo-acoustique.

### **Contrôle des EDP**

Les contrôleurs des EDP ajustent le contrôle en temps réel à partir de données fournies par des capteurs. Ils développent des techniques qui peuvent être similaires à celles de l'assimilation de données avec une très bonne compréhension théorique des problèmes traités. Nous comptons renforcer l'interaction entre ces deux disciplines pour permettre l'émergence de nouveaux concepts.

### **L'imagerie médicale**

L'imagerie médicale est une illustration remarquable du couplage de modèles et de données. Les phénomènes physiques sous-jacents, sont décrits par des modèles ayant un caractère universel et sont indépendants du patient que l'on souhaite examiner. D'un autre côté, les données collectées par la modalité d'imagerie dépendent intimement du patient. On voit alors très bien que l'on dispose de deux sources d'informations indépendantes dont le couplage est un élément essentiel pour extraire des informations pertinentes sur le patient. Si l'on sait que les observations médicales peuvent être désagréables, douloureuses ou même dangereuses, on est tenté de laisser une plus grande place aux modèles. La tendance actuelle est de coupler l'image médicale avec de modèles physiques supplémentaires (qui n'ont rien à voir avec la modalité d'imagerie) pour extraire davantage d'informations. On peut citer deux projets :

- l'élastographie, où les images de type IRM ou échographie, couplées avec un modèle d'élasticité donne la rigidité des tissus, c'est une forme moderne de la palpation permettant de voir de petites inclusions rigides enfouies profondément dans le tissu (projet en cours),
- le couplage d'images IRM, qui donnent certaines composantes de la vitesse des tissus, avec un modèle d'écoulement, peut donner des informations précises sur le risque de rupture d'anévrisme.

### **Les méthodes non invasives**

Ces vingt dernières années, les entreprises ont abandonné petit à petit leurs logiciels maison au profit de logiciels commerciaux dont la source n'est pas accessible et naturellement ces logiciels peuvent être en retard par rapport à l'état de l'art scientifique. Les industriels nous sollicitent pour certains besoins spécifiques et pour répondre à des besoins en optimisation de forme, en optimisation robuste et la prise en compte de l'incertain,... en fonction d'un certain nombre de paramètres d'entrée du logiciel.

La création de modèles simples qui se substituent au logiciel commercial est une technique classique qui est de plus en plus maîtrisée.

Les paramètres vivent en général dans un hypercube et la démarche classique consiste à calculer la réponse du logiciel commercial sur des points uniformément répartis dans l'hypercube. Notre expérience montre que dans un problème réel, qui a un grand nombre de paramètres, seul un petit nombre de paramètres est réellement significatif. La méthode sparse grids est en rupture par rapport à l'état de l'art. Les points expérimentaux ne sont pas choisis uniformément, mais d'une manière qui permet d'identifier les paramètres les plus significatifs afin de réduire d'un facteur important ce que l'on appelle la malédiction de la dimension.

Nous travaillons en collaboration avec l'ESP sur la méthode sparse grids qui peut être vue comme une adaptation des ondelettes à des espaces de grande dimension. Avec les ondelettes, le passage d'un niveau hiérarchique au niveau suivant augmente le nombre de fonctions de base par un facteur  $2^d$ , où  $d$  est le nombre de paramètres. Avec les sparse grids, le changement de niveau hiérarchique se fait variable par variable, ce qui ne fait augmenter le nombre de fonctions de base que d'un facteur  $2 \times d$ . En d'autres termes, une fonction de base est un produit tensoriel de fonctions de base (d'une seule variable) qui n'ont pas le même niveau hiérarchique. Ces fonctions ont donc un caractère anisotrope et permettent de détecter les paramètres les plus influents de la fonction à approcher et d'adapter l'approximation en conséquence.

## **Prospectives de développement de l'équipe**

### **(1) Recrutements d'enseignants-chercheurs**

Cette prospective repose sur le projet scientifique de l'équipe MIP décrit ci-dessus.

Claude Wagschal et Françoise Chatelin vont prendre leur retraite d'ici fin 2010. Parmi les autres rangs A de MIP, huit autres collègues sont susceptibles de prendre leur retraite dans le courant du prochain contrat (2015-2018) :

Dominique Azé, Abderrahmane Bendali, Jean-Pierre Dedieu, Jean-Baptiste Hiriart-Urruty, Patrick Laborde, Mohammed Masmoudi, Christophe Rabut, Jean-Pierre Raymond, Jean-Claude Yakousohn.

Parmi eux cinq sont dans le thème “Optimisation et méthodes préservant la structure”, deux dans le thème “estimation et contrôle des EDP, imagerie”, et deux dans le thème “multi-échelles, systèmes et fluides complexes”.

Si les récents recrutements dans le thème EDP anticipent ces départs à la retraite, l’équipe prévoit les recrutements de professeurs, en liaison avec les deux autres équipes de l’IMT, dans les domaines Imagerie, Optimisation, Contrôle des EDP et Calcul scientifique.

Le recrutement d’un professeur spécialiste en Calcul Scientifique en soutien aux perspectives scientifiques décrites ci-dessus sera une des priorités du prochain contrat quadriennal.

Un départ à la retraite de MCF est prévu dans le courant du prochain contrat : Emmanuel Giner (thème optimisation).

Dans le courant 2010 un échange de poste aura probablement lieu entre Marcella Szopos (MIP UPS, thème MNSI) et Yohan Genzmer (IRMA, Strasbourg).

Pour combler les récents départs de MCF (retraite, promotion et futur mutation) l’équipe prévoit le recrutement de trois MCF en relation avec les futures promotions des MCF de l’équipe.

- (2) **Ingénieur de Recherche** Le potentiel en ingénieur de recherche de l’équipe est de deux personnes depuis 2007 :

Fabrice Deluzet, Milos Grundmann.

Julien Pommier est en disponibilité depuis juin 2007.

Le recrutement d’un ingénieur de recherche est prévu en Décembre 2009 pour remplacer le départ de Julien Pommier.

Il est certain au vu du nombre de contrats industriels et les diverses actions scientifiques induites par les divers projet que l’équipe prévoit le recrutement d’un IR supplémentaire au cours du prochain contrat quadriennal.



## Projet de la Bibliothèque



## **CONTRAT QUADRIENNAL 2011-2014**

### **BIBLIOTHEQUE DE MATHEMATIQUES ET MECANIQUE PROJET**

Les efforts consentis lors des deux précédents contrats quadriennaux ont permis de faire de la bibliothèque de mathématiques et mécanique le pôle régional de documentation en mathématiques et leurs interactions pour la recherche scientifique et universitaire.

Bibliothèque associée du Service commun de la documentation de l'Université Paul Sabatier, elle en est le centre de ressources en mathématiques recherche, pour les chercheurs, enseignants-chercheurs et étudiants niveau doctorat, master et agrégation, dans le cadre de la politique documentaire définie au sein de l'université.

Equipement scientifique de l'Institut de mathématiques, elle assure ses missions pour des équipes situées dans 4 établissements de l'Université de Toulouse : UPS, UT1, UT2 et INSA et accueille de nombreux chercheurs et étudiants français ou étrangers.

Après la restructuration et l'extension des locaux (2003-2006), des efforts de mise à niveau et de préservation du fonds, de professionnalisation ont été faits, permettant l'intégration du catalogue de la bibliothèque dans le Réseau des bibliothèques de l'Université de Toulouse et le Système universitaire (SUDOC). Ces réalisations ont été rendues possible par le soutien et l'implication financière des différentes tutelles : ministère au travers d'un PPF (115 000 €/an) soit environ 50 % du budget ; CNRS par la dotation d'un poste d'ingénieur d'études et une Action spécifique ; équipes de recherche réunies au sein de l'Institut de mathématiques et du Département de mécanique, complétant les 50 % restants du budget de la bibliothèque.

L'objectif est désormais de maintenir le niveau de qualité atteint et de poursuivre l'effort d'excellence engagé. Malgré la disparition des PPF, la bibliothèque de mathématiques et mécanique doit pouvoir disposer dans le cadre du contrat quadriennal 2011-2014 d'un budget annuel récurrent pour répondre à ses missions.

Equipement scientifique, la bibliothèque doit aussi accompagner les projets scientifiques émergents et pouvoir s'inscrire dans les axes de prospective scientifique de l'Institut de mathématiques, tout en préservant et valorisant son patrimoine documentaire.

Le prochain contrat devra donner les moyens à la bibliothèque de répondre à ces objectifs, en relation avec la politique documentaire concertée au sein de l'Université Paul Sabatier et avec les autres partenaires. Ces objectifs se concrétisent pour la bibliothèque dans 3 projets :

- accompagnement au plan documentaire de l'émergence de la plateforme Mathématiques-Informatique-Biologie systémique (MIBS), par le regroupement avec la bibliothèque de l'IRIT et l'installation dans les locaux de la plateforme prévus au Plan Campus ;
- développement de ressources documentaires concernant les mathématiques et l'informatique pour les sciences du vivant, notamment la biologie systémique, la biostatistique, la bioinformatique avec les différents partenaires : Pôle de

compétitivité Cancer-Bio-Santé, Cancéropôle, Genopôle, Pôle de biotechnologies de Toulouse, et en lien avec les SCD de l'UPS et d l'INSA.

- participation à la mise en place d'une politique de conservation partagée de la documentation mathématique, initiée et coordonnée par le RNBM, en lien avec le développement de la documentation mathématique numérique.

## **1 - Maintenir une documentation d'excellence**

Pour assurer ses missions, la bibliothèque doit disposer d'un budget annuel récurrent permettant :

- le co-financement de la documentation électronique : 20 000 €
- l'acquisition de la documentation (hors consortium) : 50 000 € pour les ouvrages, tous supports confondus ; 25 000 € pour les périodiques et les archives électroniques spécialisés et en complément de l'action du SCD ; 3 000 € pour la fourniture de documents.
- l'entretien des collections : un budget récurrent pour la reliure et la petite restauration est indispensable, suite à l'effort fait au contrat précédent : 6 000 €
- le financement des contrats de maintenance, les licences d'utilisation du SIGB, sur la base des coûts actuels : 6 000 €
- l'entretien et la jouvence des matériels informatique et de reprographie, RFID... : 6 000 €
- l'acquisition de fournitures et petit équipement, frais de fonctionnement (téléphone, poste), petit matériel : 4 000 €

Les projets de développement de la bibliothèque, l'élargissement de son public de chercheurs et d'étudiants (M-D) répartis dans les différents sites du PRES de Toulouse rendent essentiel l'augmentation des crédits de vacation, permettant d'assurer une amplitude horaire et une permanence d'ouverture élargies (actuellement 50 h. hebdomadaire, lundi au vendredi, avec 2 semaines de fermeture en août et une semaine en fin d'année). L'objectif est d'atteindre une ouverture hebdomadaire moyenne de 70 h.

Le budget annuel nécessaire est de : 25 000 €

➤ **Fonctionnement récurrent : 145 000 €**

## **2 - Regroupement avec la bibliothèque de l'IRIT :**

Le regroupement des bibliothèques de mathématiques et d'informatique est une première étape dans le projet lié à la plateforme MIBS. Il s'inscrit dans la démarche de rapprochement entre les deux instituts, IMT et IRIT, et permettra de mettre en commun des ressources et des moyens documentaires, d'ores et déjà scientifiquement partagés par les équipes des deux instituts.

Prévu dans le dossier Toulouse Campus, ce regroupement devrait bénéficier de nouveaux locaux dans le cadre de l'aménagement de la plateforme MIBS, la localisation actuelle des bibliothèques (IMT : 550 m<sup>2</sup>, IRIT : 120 m<sup>2</sup>) ne permettant pas une extension des locaux existants.

L'installation dans de nouveaux locaux (650 m<sup>2</sup> a minima) offrira la possibilité de redéfinir les espaces de la bibliothèque, pour prendre en compte l'évolution des pratiques des

chercheurs induite par le passage à la documentation électronique. Les besoins, qui s'expriment d'ores et déjà, s'orientent vers plus d'espaces d'accueil et d'étude, en individuel ou en petit groupe, offrant tous les équipements indispensables à l'utilisation des ressources électroniques, tout en maintenant à disposition en libre accès la documentation indispensable aux chercheurs et étudiants.

La réalisation de cette opération va donc nécessiter des moyens pour :

- l'agencement spatial et l'aménagement mobilier : espaces de travail modulés, espace de convivialité modulable pour accueillir expositions, lectures ou échanges à l'occasion de colloques, congrès..., espaces de présentation pour plus de 32 000 ouvrages (accroissement annuel 40 ml environ, hors désherbage), de stockage pour environ 1,5 km linéaire de collections, des espaces techniques pour l'impression et la reproduction des documents, des bureaux pour le personnel... (estimation 90 000 €)

- les aménagements techniques : qualité de l'éclairage, conditions de conservation (température, hygrométrie), câblage électrique et informatique (postes fixes et mobiles), signalétique, sécurité, accès contrôlé par badge, ... (estimation 30 000 €)

- les équipements informatiques et techniques : devront être pris en compte, ce qui n'est pas le cas actuellement, les besoins d'impression, de transmission par réseau, de reproduction par numérisation, ...

- l'extension et la mise à niveau de l'équipement RFID actuellement utilisé par la bibliothèque de mathématiques pour la gestion des collections et la détection antivols, ainsi que l'équipement des collections IRIT (6 000 €)

- la conversion du catalogue de l'IRIT, actuellement sous Koha, dans le catalogue SUDOC et le SIGB du Réseau de l'Université de Toulouse (PRES) et le SUDOC, vers lesquels la bibliothèque de mathématiques vient de migrer. Les moyens nécessaires sont essentiellement des crédits de vacation et/ou de prestations de service pour le traitement des fichiers (estimation : 10 000 €)

- le déménagement : le déménagement des collections nécessite l'intervention de déménageurs spécialisés, pour assurer le conditionnement, le transfert et l'installation dans les nouveaux locaux. Le volume global des collections à déménager peut être estimé à 1,7 km<sup>3</sup>. S'ajoute le démontage et déménagement des rayonnages et mobiliers susceptibles d'être réutilisés. (50 000 €)

➤ **Coût global : 186 000 €**

### **3 - Développer les ressources documentaires dans le domaine des mathématiques et de l'informatique pour les sciences du vivant**

La politique documentaire du SCD en matière de documentation vise à assurer à la communauté universitaire un socle de documentation primaire vital dans chaque champ scientifique ouvert à l'UPS, pour les périodiques et les bases de données. Au-delà, les acquisitions d'ouvrages cruciaux pour la recherche en mathématiques et leurs interactions, l'acquisition de la documentation plus spécifique ou la documentation nécessaire à l'émergence de nouveaux axes de recherche, sont à la charge des instituts.

C'est dans ce contexte que de nouveaux besoins en documentation devront être pris en charge par la bibliothèque dans le domaine des mathématiques et également de l'informatique, pour les sciences du vivant, notamment la biologie systémique, biostatistique et bioinformatique..

Des coopérations et co-financements seront recherchés auprès d'autres partenaires, notamment de la Région Midi-Pyrénées, impliquée dans les projets du Canceropôle et du Genopôle.

L'objectif est de constituer un socle documentaire, en s'appuyant sur les fonds réunis en mathématiques et informatique et en privilégiant le support numérique. La bibliothèque étant présente dans le Réseau des bibliothèques de l'université de Toulouse et le SUDOC, ce fonds documentaire sera largement signalé et disponible pour l'ensemble des partenaires.

D'ores et déjà des lacunes ont été identifiées en matière de périodiques (..), d'actualisation du fonds (en mathématiques pour la biologie, 60 % de ce que détient actuellement la bibliothèque a plus de 10 ans ; les ouvrages de moins de 5 ans représentent environ 10 % de ce qui a été publié dans la même période), d'encyclopédies et handbooks auxquels l'accès est précieux notamment pour les étudiants en Master recherche.

➤ **Constitution initiale du fonds : 60 000 €**

➤ **Financement annuel récurrent : 30 000 €**

#### **4 – Conservation partagée de la documentation mathématique**

Membre du Réseau national des bibliothèques de mathématiques (RNBM), la bibliothèque est impliquée dans la réflexion en cours, soutenue par l'Institut national des sciences mathématiques et leurs interactions (CNRS), de mise en place de pôles régionaux de conservation de la documentation mathématique sur support papier, en lien avec le développement d'une politique d'accès aux ressources numériques.

Prenant en compte à la fois l'importance des collections numériques disponibles en mathématiques et la difficulté de maintenir les moyens nécessaires à la sauvegarde d'un patrimoine documentaire éparpillé dans de nombreuses bibliothèques, le RNBM souhaiterait promouvoir une politique de conservation partagée, dans laquelle la bibliothèque de l'Institut de mathématiques de Toulouse a la volonté de s'inscrire. Un des modes d'action serait la mise en place de pôles d'archivage régionaux de la documentation mathématique, en fonction des points d'excellence et des capacités d'engagement de chacune des structures, soit pour Toulouse la constitution d'un pôle en partenariat avec les bibliothèques de mathématiques du Grand-sud (Bordeaux-Montpellier-Pau-Perpignan).

Actuellement, ce projet est dans sa phase initiale avec la constitution en juin 2009 d'un groupe de travail au sein du RNBM. La phase active prévue dans le cadre du contrat 2011-2014, nécessitera des moyens en :

- frais de mission pour préparer et mettre en place l'organisation : 3 000 €
- frais de conditionnement et de transfert des collections, y compris renfort ponctuel en vacation : 5 000 €
- moyens de reproduction adaptés : scanner de livres pour bibliothèques (20 000 €)
- complétude et conservation des ouvrages, selon les axes de conservation définis : antiquariat, réimpression à la demande, petite restauration : 5 000 € par an.

La mise en place de ce pôle Grand-sud de conservation partagée pourra s'accompagner d'une politique d'aide et de soutien aux structures documentaires des universités de pays en voie de développement, avec lesquels les instituts de mathématiques de la région entretiennent des

liens privilégiés. Une politique de don des ouvrages issus du désherbage ou de legs faits à la bibliothèque pourrait être mise en place, en s'appuyant sur les chercheurs et étudiants impliqués dans les programmes de coopération scientifique et les partenariats existants au sein des universités du Grand-Sud.

S'il est parfois possible de trouver des solutions pour financer des échanges ponctuels, il est par contre indispensable pour assurer une coopération efficace et durable de disposer d'un financement récurrent et pérenne, pour assurer les frais d'acheminement et une aide technique (2 000 € par an).

➤ **Budget total :**

- **Equipement : 20 000 €**

- **Mise en place : 8 000 €**

- **Fonctionnement : 7 000 €/ an, soit 28 000 € sur la durée du contrat**

**Tableau récapitulatif des financements demandés :**

	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Fonctionnement	145 000 €	145 000 €	145 000 €	145 000 €
<i>dont vacations</i>	25 000 €	25 000 €	25 000 €	25 000 €
Projets : Equipement		20 000 €		
Projets : Fonctionnement	60 000 € 15 000 €	30 000 € 7 000 €	30 000 € 7 000 €	30 000 € 7 000 €
Regroupement IRIT				186 000 €
<b>TOTAL :</b>	<b>220 000 €</b>	<b>202 000 €</b>	<b>182 000 €</b>	<b>368 000 €</b>

