

Equipe Modélisation Mathématique, Calcul Scientifique (MMCS - responsable Simon Masnou)

Présentation de l'équipe

L'équipe *Modélisation mathématique et calcul scientifique* (MMCS) est avec ses 88 membres, dont 58 membres permanents, la plus grande équipe de l'Institut Camille Jordan. Elle compte 21 PR, 1 DR INRIA, 1 DR CNRS, 28 MCF, 1 PRAG, 1 CR INRIA, 3 CR CNRS, 1 IR Lyon 1, 1 IR CNRS. Actuellement 27 doctorants et 3 postdoctorants font partie de l'équipe (28 thèses ont été soutenues au cours de la période d'évaluation et 8 autres postdoctorants ont effectué un séjour de recherche au sein de l'équipe). La responsabilité de l'équipe a été dévolue à F. Filbet de 2009 à 2013 et elle incombe désormais à S. Masnou. L'équipe est répartie sur l'ensemble des sites du laboratoire : 41 membres permanents travaillent sur le site de la Doua (que ce soit au bâtiment Braconnier du département de mathématiques de Lyon 1, à Polytech Lyon, à l'INSA de Lyon ou dans les locaux d'Inria à la Doua), 10 à l'Université Jean-Monnet de Saint Etienne et 7 à l'École Centrale de Lyon.

Le spectre des recherches passées et actuelles au sein de l'équipe est conforme à sa taille, c'est-à-dire très large. Une très grande part de travaux relèvent de la modélisation en physique, en ingénierie, en biologie, en médecine, en chimie ou en imagerie et géométrie discrète : de nouveaux modèles sont étudiés ou des anciens modèles revisités dans une perspective théorique (avec pour l'essentiel les outils de l'analyse des EDP) et des schémas numériques pour l'approximation des solutions de ces modèles sont mis au point, étudiés, et traduits en code. Le développement de codes de calcul concerne d'ailleurs un nombre significatif de membres de l'équipe et une section spécifique de ce rapport quinquennal est consacrée au calcul au sein de l'Institut Camille Jordan (voir page 90).

Les membres de l'équipe ont une activité remarquable tant par le nombre et la qualité des publications (plus de 400 articles dans la période de référence, dont plus de 320 dans des revues à comité de lecture), l'interaction avec le milieu industriel, le développement de codes de calcul (cf la partie *Calcul* du rapport), l'engagement dans les instances (locales et nationales), l'animation scientifique nationale et internationale, et l'implication dans des opérations de diffusion. Le rayonnement de l'équipe se manifeste aussi au travers des relations régulières qu'elle entretient avec de nombreuses universités et institutions du monde entier.

Fonctionnement de l'équipe, activités collectives, liens avec d'autres équipes de recherche.

Des journées de l'équipe sont organisées chaque année depuis 2011 par **F. Filbet**, **A. Heibig** et **L. Palade**. Elles ont lieu en général sur deux jours en fin d'année civile et les orateurs sont aussi bien des membres de l'équipe que des chercheurs extérieurs au laboratoire.

La vie scientifique de l'équipe est structurée autour de plusieurs séminaires et groupes de travail :

- le séminaire de *Modélisation mathématique et calcul scientifique* est le séminaire principal de l'équipe. Il est commun avec le groupe d'EDP/modélisation de l'UMPA à l'ENS Lyon. Il se tient environ tous les 15 jours, alternativement au bâtiment Braconnier de l'université Lyon 1 sur le site de la Doua et à l'École Normale Supérieure de Lyon. Il y a deux exposés à chaque séance et les thèmes abordés au cours de l'année couvrent l'ensemble du spectre de l'équipe. Chaque membre de l'équipe peut proposer des orateurs. A titre d'exemple, il y a eu 28 exposés dans le cadre de ce séminaire au cours de l'année universitaire 2013-2014. Les organisateurs actuels sont **J. Vovelle** pour l'ICJ et **V. Calvez** pour l'ENS Lyon. Les anciens organisateurs pour l'ICJ sont **E. Fouassier** et **M. Rodrigues**.
- le groupe de travail *Méthodes numériques pour les sciences et l'ingénierie* propose une dizaine d'exposés par an principalement sur des problématiques de mécanique des structures ou des fluides. Les exposés ont lieu à l'INSA de Lyon ou à l'École Centrale de Lyon. Les organisateurs sont **A. Petrov** et **G. Vial**.
- le séminaire de *Modélisation mathématique pour la biologie et la santé* est mensuel. Il compte une dizaine d'exposés chaque année, sur des thématiques spécifiquement liées aux biomathématiques. Les exposés ont lieu en général dans les locaux d'Inria sur le campus de la Doua. Les organisateurs sont **F. Crauste**, **T. Lepoutre** et **L. Pujon-Menjouet**.

- le séminaire *INRIabcd* est également consacré aux biomathématiques. Il s'agit d'un séminaire mensuel de modélisation commun aux équipes Inria Dracula et Beagle (environ 10 exposés par an). Les organisateurs pour MMCS sont **F. Crauste**, **T. Lepoutre** et **L. Pujo-Menjouet**.

Ces séminaires génèrent une dynamique importante puisqu'ils permettent qu'une soixantaine de chercheurs viennent chaque année présenter leurs travaux au laboratoire.

De façon générale, l'équipe entretient des liens très nombreux avec d'autres équipes de recherche, en France et à l'étranger, non seulement en mathématiques, mais aussi en mécanique des solides et des fluides, en physique, en biologie, en médecine et en informatique, qui sont les domaines traditionnels des travaux de modélisation menés au sein de MMCS.

Au sein de l'ICJ, il existe des liens thématiques naturels avec les recherches menées au sein des équipes EDPA et PSPM, que ce soit

- sur des questions d'analyse, d'analyse des EDP, d'analyse géométrique ou de théorie des opérateurs, notamment pour l'étude de problèmes en mécanique des fluides ou en science des matériaux ;
- sur des questions statistiques, notamment dans le cadre des recherches en biomathématiques ;
- sur des problèmes mêlant analyse et probabilités, notamment pour l'étude des EDP stochastiques.

Ces liens favorisent les discussions entre membres des équipes MMCS, EDPA et PSPM et, même s'ils ne débouchent pas nécessairement sur des publications communes, facilitent les relations entre équipes et le dynamisme de la recherche.

Évolution de l'équipe depuis 2009.

L'équipe a connu une évolution très importante de ses effectifs dans la période de référence. Tout d'abord en raison de l'intégration à l'équipe en 2012 des 10 membres de sa composante stéphanoise. Cette intégration s'est bien déroulée car des collaborations fructueuses existaient déjà entre des chercheurs de l'ICJ et du LAMUSE, et qu'elles se sont même développées.

L'évolution importante des effectifs de l'équipe tient aussi aux nombreux départs et aux nombreux recrutements qui sont survenus durant la période de référence. Huit membres de l'équipe sont partis ou détachés depuis 2009 : Laurent Chupin (MCF) a été promu PR à Clermont-Ferrand en 2010, Pascal Noble (MCF) a été promu PR à Toulouse en 2013, Stéphane Génieys (MCF) a muté à Toulouse dans le cadre d'un échange de postes avec Élise Fouassier, Julien Berro (MCF) était en détachement à Yale depuis 2009 et a démissionné en 2014, Olivier Pinaud (MCF) est en détachement à Colorado State University depuis 2010, Jean-Marie Morvan (PR) est en détachement à KAUST (Arabie Saoudite) depuis 2013, Mohand Moussaoui (PR) et Pierre Bonnet (MCF) ont pris leur retraite, respectivement en 2011 et 2012. Alain Largillier (MCF) et Michelle Schatzman (DR) sont malheureusement décédés en 2010.

L'équipe a d'autre part recruté douze chercheurs (8 sur le site de Lyon 1 dont 2 sur des postes Inria, 2 à l'INSA de Lyon, 1 à Saint-Étienne et 1 à Centrale Lyon) et la qualité de ces recrutements a apporté un surcroît de dynamisme ainsi que de nouvelles thématiques. Les chercheurs recrutés sont : Alexandre Boritchev (MCF, analyse des EDP) et Khaled Saleh (MCF, analyse numérique) en 2014, Léon Tine (MCF, analyse numérique) en 2013, Morgane Bergot (MCF, analyse numérique) et Frédéric Chardard (MCF, analyse des EDP) en 2012, Elie Bretin (MCF, analyse numérique), Adrien Petrov (MCF, modélisation et analyse numérique) et Grégory Vial (PR, analyse appliquée) en 2011, Elise Fouassier (MCF, analyse des EDP) et Thomas Lepoutre (CR, modélisation et analyse des EDP) en 2010, Mostafa Adimy (DR, modélisation et analyse appliquée) et Simon Masnou (PR, analyse appliquée) en 2009.

Enfin, Andro Mikelic a rejoint l'équipe MMCS en 2014 en provenance de l'équipe EDPA.

Production scientifique

Pour présenter les travaux de l'équipe, nous avons opté pour un découpage en trois sections :

1. la section **Modélisation mathématique pour la physique et l'ingénierie** décrit sommairement l'ensemble des contributions théoriques et de modélisation qui ont porté sur l'étude de certains problèmes d'interaction fluide-structure, sur la modélisation de fluides non-newtoniens, sur l'étude de modèles en dynamique des gaz ou en physique des plasmas, sur l'analyse de problèmes à frontière libre, en particulier en mécanique des fluides, sur l'étude de problèmes en

imagerie et en géométrie discrète, et enfin sur l'étude de différents problèmes en mécanique des structures.

2. la section **Biomathématiques** regroupe l'ensemble des contributions en Mathématiques des Sciences du Vivant, que l'on peut pour l'essentiel classer en deux grandes familles : la modélisation du sang et certains phénomènes dynamiques en biologie cellulaire ou protéique, pour l'étude des populations ou pour la modélisation de la reproduction.
3. la section **Méthodes numériques et calcul scientifique** est plus spécifiquement dédiée aux travaux portant d'une part sur le développement et l'analyse de schémas numériques et d'autre part sur le développement de codes. A la différence des sections précédentes, structurées par application, nous avons opté pour un découpage par outils qui correspond davantage aux travaux de certains membres de l'équipe.

Comme on le verra dans la description détaillée, ce découpage ne correspond pas à une partition des membres de l'équipe : nombre d'entre eux, notamment ceux dont les travaux sont aussi bien théoriques que numériques, ont des contributions relevant de différentes sections. En outre, les collaborations entre membres de l'équipe sont nombreuses -- les séminaires réguliers organisés par l'équipe sont d'ailleurs très utiles pour mettre à jour de nouveaux intérêts communs de recherche. Les sujets de discussion sont également nombreux avec les membres de l'équipe EDP-Analyse.

L'équipe MMCS offre un cadre propice à l'épanouissement scientifique de ses jeunes chercheurs, comme en témoignent la qualité des habilitations à diriger des recherches soutenues au cours de la période :

- **M. Rodrigues**, "Asymptotic stability and modulation of periodic wavetrains. General theory & applications to thin film flows", décembre 2013, ICJ, Lyon 1 ;
- **L. Grammont**, "Approximation d'opérateurs et problèmes spectraux", mars 2012, ICJ, Université Jean Monnet, Saint-Etienne ;
- **J. Vovelle**, "Quelques problèmes d'équations aux dérivées partielles : approximation numérique, équations de courbure moyenne, perturbations stochastiques", décembre 2011, ICJ, Lyon 1 ;
- **O. Pinaud**, "Contribution à l'étude de la propagation des ondes en milieux aléatoires et au transport dans les nanostructures", décembre 2010, ICJ, Lyon 1 ;
- **P. Noble**, "Analyse d'écoulements en eaux peu profondes et stabilité de solutions périodiques pour les équations de Saint Venant et des systèmes hamiltoniens discrets", décembre 2009, ICJ, Lyon 1.

1. Modélisation mathématique pour la physique et l'ingénierie.

Cette activité de recherche est présente depuis longtemps à Lyon mais ses contours ont évolué très significativement au fur et à mesure de l'évolution des effectifs de l'équipe. Il est remarquable que les recherches relevant de la modélisation pour la physique et l'ingénierie au sein de MMCS couvrent désormais un très large spectre mêlant mécanique des structures, mécanique des fluides, dynamique des gaz, dynamique des plasmas, et de nombreux phénomènes d'interactions faisant intervenir plusieurs états de la matière, auxquels il faut ajouter les travaux en imagerie et en géométrie discrète où de nombreux problèmes font intervenir des modèles physiques classiques. Toutes ces recherches bénéficient des relations qui ont été nouées entre des membres de l'équipe et des chercheurs dans des laboratoires de physique, de mécanique ou d'informatique à Lyon et à Saint-Étienne. Le spectre des outils mathématiques utilisés pour justifier les modèles étudiés est également large, relevant pour l'essentiel des différentes théories pour l'étude des EDP elliptiques, paraboliques, hyperboliques, cinétiques ou dispersives, pour l'étude des problèmes variationnels, des problèmes multi-échelles, etc. Il faut également souligner l'émergence depuis quelques années de travaux où les aspects stochastiques jouent un rôle grandissant. La modélisation pour la physique et l'ingénierie est, au sein de l'équipe MMCS, une thématique très dynamique, sachant se renouveler, se préoccupant de problématiques aussi bien théoriques que très appliquées, où l'analyse pure côtoie l'analyse numérique et le développement de codes de calcul (qui seront décrits plus en détail dans la section **Méthodes numériques et calcul scientifique**, voir page 61).

Nous présentons ci-dessous un panorama synthétique de l'ensemble des travaux théoriques et de modélisation en lien avec la physique et l'ingénierie au sein de MMCS. Les membres permanents de l'équipe sont en caractère gras.

Interactions fluide-structure

Lubrification. Les travaux réalisés sur ce thème s'efforcent de maintenir un équilibre entre théorie et application comme en témoignent les publications dans des revues tant mathématiques que mécaniques. Plusieurs travaux ont porté sur des questions de modélisation en mécanique des films minces. **S. Ciuperca, M. Jai** et I. Tello, ont démontré rigoureusement par des techniques de sur/sous solutions l'existence de positions d'équilibre pour des mécanismes lubrifiés lorsque l'action du fluide est modélisée de façon à tenir compte des phénomènes de cavitation. Ces modèles font intervenir des équations de type Reynolds incluant des non linéarités liées à l'aspect diphasique du fluide (inéquations variationnelles ou compressibilité variable). **G. Bayada** et M. El Alaoui Talibi ont montré la possibilité dans les mêmes conditions d'identifier les coefficients intervenant dans l'équation de Reynolds ou d'optimiser leurs valeurs à partir des données sur la solution de l'équation.

L'étude numérique d'un système mécanique en lubrification peut se révéler très vite gourmand en calcul, surtout quand on considère la dynamique du système en plus de la résolution des équations régissant l'écoulement du fluide entre deux surfaces en mouvement. **G. Buscaglia, M. Jai** et H. Checo ont développé un code de calcul utilisant la méthode multigrille pour accélérer les calculs.

M. Boukrouche, en collaboration avec G. Łukaszewicz, étudie des problèmes de lubrification, où le domaine du flux est généralement très mince et les effets de cisaillement et de rugosité de la frontière affectent fortement le flux, donc aussi la dimension de l'attracteur. Ses apports dans cet axe sont sur l'influence et la dépendance de la dimension d'attracteurs de la géométrie du domaine de flux et des conditions aux bords du problème considéré en tenant compte de l'hypothèse de glissement du fluide aux parois du domaine de flux.

Écoulements avec conditions de frottement. **M. Boukrouche** et **L. Paoli** se sont intéressés aux écoulements non-isothermes de fluides newtoniens. Dans le modèle étudié, la propagation de la chaleur dans le fluide est décrite par une loi de Cattaneo faisant intervenir un temps de relaxation conduisant à un système elliptique-hyperbolique couplé. Des conditions aux limites de type frottement de Tresca sont également prises en compte. Pour ce problème des résultats d'existence, d'unicité et de régularité ont été démontrés et une étude numérique est en cours.

M. Boukrouche et D.A. Tarzia ont considéré une famille de problèmes de contrôles optimaux où la variable de contrôle est donnée par une condition aux limites de type Neumann. Cette famille est régie par une inéquation variationnelle parabolique de seconde espèce et dépendant d'un paramètre. **M. Boukrouche** et D.A. Tarzia ont prouvé la convergence forte des contrôles optimaux et des systèmes d'état associés vers les solutions d'un problème de contrôle optimal similaire.

Écoulements dans des structures minces et développements asymptotiques. R. Fares et **G. Panasenko** ont effectué le développement asymptotique de la solution du système de Stokes avec viscosité variable dans une structure tubulaire mince bi-dimensionnelle.

G. Panasenko et R. Stavre ont pris en compte l'interaction fluide - paroi élastique dans une structure composée de deux tubes, puis dans un autre travail ont étudié le cas du tube axisymétrique en 3D. Une autre collaboration avec R. Stavre a porté sur le développement asymptotique complet pour l'interaction entre une plaque mince rigide élastique et un écoulement type Stokes. Une condition de jonction des modèles de différentes dimensions de la paroi asymptotiquement exacte a été proposée. Enfin, une condition de couplage de haute précision type Robin entre un réservoir et les capillaires a été proposée et justifiée asymptotiquement dans un travail de **G. Panasenko**, A. Quarteroni et C. D'Angelo.

G. Panasenko a étudié asymptotiquement l'écoulement de Navier-Stokes non-stationnaire dans un tube mince.

Diffusion-absorption. L'équation de diffusion-absorption décrit la diffusion d'une substance dans une solution contenant des cellules qui absorbent cette substance. **G. Panasenko** a effectué le développement asymptotique de la solution de cette équation en dimension un avec coefficient d'absorption

fortement variable. Ce problème dépend de trois petits paramètres ; le développement a une forme non-standard et il concerne le cas où l'homogénéisation classique du problème ne marche pas.

Un nouveau modèle de diffusion continue et absorption discrète a été proposé et étudié mathématiquement par P. Kurbatova (doctorante), **G. Panasenko** et **V. Volpert**. Le problème limite a été justifié et l'estimation d'erreur pour une approximation asymptotique a été démontrée. **G. Panasenko** a par ailleurs formulé et justifié un modèle hybride partiellement continu et partiellement discret.

Fluides non-newtoniens

Fluides polymériques. **I. Ciuperca**, **A. Heibig** et **L. Palade** travaillent, en collaboration avec V. Busuioic et D. Iftimie de l'équipe EDPA, sur la modélisation des fluides polymères, qui sont non-newtoniens et viscoélastiques. Ils s'intéressent à 3 modèles de type cinétique issus des théories moléculaires : FENE, rod-like et Doi-Edwards. Dans tous ces modèles l'inconnue principale est la densité de répartition des molécules du polymère, et cette densité satisfait une équation aux dérivées partielles du type Fokker-Planck.

C. Reichert et **L. Palade** travaillent sur la modélisation multi-échelle de fluides polymériques en supposant que le comportement mécanique d'un polymère est modélisé par deux masses connectées par un ressort. Le but de ce travail est de prendre en compte des effets non-linéaires (par exemple l'interaction hydrodynamique) et d'étudier leur contribution aux contraintes.

A. Zine et M. Farhloul ont développé une formulation mixte pour le problème non-isotherme de Stokes--Oldroyd. En plus des variables primales, l'approche permet d'obtenir une bonne approximation du tenseur des extra-contraintes et du vecteur flux de chaleur.

Aspects non newtoniens en film mince. **G. Bayada**, B. Cid, G. Garcia et C. Vazquez ont montré qu'il était possible d'utiliser des algorithmes de dualité (Bermudez-Moreno) pour résoudre une nouvelle modélisation proposée pour des fluides minces piézo-visqueux. B. Grec, **L. Chupin** et **G. Bayada** ont étudié rigoureusement le comportement d'un fluide visco-élastique (de type Oldroyd-B) dans un écoulement de faible épaisseur. Avec S. Martin (Paris), ils ont montré que le modèle asymptotique était proche du modèle Rabinowisch utilisé en lubrification et ont proposé de nouveaux algorithmes.

M. Boukrouche et **L. Paoli** ont étudié l'écoulement d'un fluide micro-polaire dans un domaine mince rugueux. De tels fluides (par exemple le sang humain) contiennent des particules en suspension dont les micro-rotations doivent être prises en compte dans la description de l'écoulement, conduisant à un système d'équations aux dérivées partielles couplées pour la vitesse, la pression et la vitesse angulaire des particules. L'existence et unicité d'une solution a été établie. L'analyse asymptotique, par des techniques d'homogénéisation double échelle, a permis d'obtenir une description macroscopique de l'écoulement en terme de vitesse et pression, sans couplage avec la variable décrivant les micro-rotations des particules en suspension dans le fluide. Ce travail s'inscrit dans la thématique *Modélisation multi-échelle physique et numérique des phénomènes complexes relatifs aux écoulements non-newtoniens dans des réseaux de vaisseaux sanguins* de la structure fédérative MOD MAD (pôle MODélisation Mathématique et Aide à la Décision), créée en 2011 sous la tutelle de l'Université de Saint-Etienne, de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne et de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne. Cette thématique entre dans les projets internationaux de coopération scientifique PICS CNRS entre la France, la Russie et la Roumanie.

Modèles pour la dynamique des gaz et la physique des plasmas

F. Filbet et S. Jin ont travaillé sur l'approximation de l'équation de Boltzmann pour la dynamique des gaz pour différents régimes. Ce travail a d'autres applications, notamment aux semi-conducteurs et en physique des plasmas.

En 2014, Inria a validé la création du projet KALIFFE (*Kinetic models applied for the future of fusion energy*) porté par **F. Filbet** et qui est consacré à l'analyse mathématique et numérique de modèles cinétiques. Ces modèles sont basés sur des interactions particulaires (champ moyen, collisions à l'échelle microscopique). Les applications principales sont dédiées à la physique des plasmas. D'une part, le projet de recherche veut proposer et analyser les méthodes numériques permettant

de conserver au niveau discret des propriétés physiques, des propriétés d'entropie et de conservation des régimes asymptotiques. D'autre part, des applications pour la physique des plasmas seront étudiées, en particulier pour la fusion par confinement inertiel et par confinement magnétique (tokamak ITER). Ces problèmes de grande dimension sont le plus souvent multi-échelles (plasmas sans collisions, les modèles de gyro-cinétique pour les plasmas de tokamak). Les membres du projet sont **F. Filbet** (responsable), **M. Bergot**, **S. Delcourte**, **T. Dumont**, **E. Fouassier**, **D. Le Roux**, **V. Louvet** et **M. Rodrigues**.

En collaboration avec A. Debussche, **J. Vovelle** a commencé un programme de recherche sur les limites de diffusion d'équations cinétiques. Il s'agit de limites de diffusion au sens probabiliste du terme, les équations cinétiques de départ étant forcées par un processus stochastique. Dans les limites d'échelles concernées, ils obtiennent des équations aux dérivées partielles (type fluide) stochastique pour lesquelles ils caractérisent l'opérateur de covariance du bruit. Pour cela ils ont étendu la méthode de la fonction test perturbée de Stroock, Papanicolaou, Varadhan à la dimension infinie : résultat validé dans le cas d'un opérateur de collision linéaire, avec le processus en terme source et étendu (diffusion fractionnaire, bruit dans la force, collision non-linéaire) avec leur étudiant en thèse Sylvain De Moor.

Dans un contexte d'asymptotique déterministe, **J. Vovelle** a montré avec F. Berthelin la convergence de l'approximation BGK des lois de conservations scalaires avec flux discontinu et a montré avec A. Debussche la convergence en temps grand vers les états constants dans les lois de conservations scalaires non-linéaires en domaine périodique. Dans un contexte d'asymptotique stochastique, **J. Vovelle** a résolu le problème de Cauchy pour les perturbations stochastiques de lois de conservations scalaires avec A. Debussche, puis montré l'existence de mesure invariante (équilibres en loi) en dimension quelconque, sous une condition faible de non-linéarité du flux, ce qui généralise et simplifie des travaux antérieurs de E. Khanin, Mazel, Sinai. D'autre part, **J. Vovelle** a montré avec F. Berthelin la convergence en loi de l'approximation parabolique des équations d'Euler isentropiques stochastiques (dimension 1 d'espace, domaine périodique), obtenant ainsi une solution martingale du problème d'ordre un.

J. Vovelle et **M. Rodrigues** travaillent actuellement avec E. Fedrizzi, un postdoctorant financé par le labex MILYON, sur la régularisation stochastique pour les équations cinétiques.

Problèmes à frontière libre

Ondes de surface. **S. Benzoni-Gavage** a obtenu plusieurs résultats sur les équations d'onde de surface faiblement non-linéaires. Elle a aussi caractérisé les équations bien posées dans le cadre d'une collaboration avec J.-F. Coulombel et N. Tzvetkov. Elle a en outre montré, avec J.-F. Coulombel, le lien fort entre le caractère bien posé de l'équation d'amplitude et du problème aux limites de départ.

P. Noble et **M. Rodrigues**, avec certains de leurs collaborateurs américains et dans le cadre du projet ANR SWECF, ont mené à bien un projet d'envergure incluant :

- d'une part une théorie générale pour analyser la stabilité des ondes progressives périodiques planes dans les systèmes paraboliques, validant et complétant la théorie de la modulation ;
- d'autre part une inspection spectrale de certaines instabilités hydrodynamiques conduisant à la formation de telles ondes, en l'occurrence de rouleaux dans les fluides s'écoulant en couche mince le long d'une pente.

S. Benzoni-Gavage travaille depuis une douzaine d'années sur le modèle d'Euler-Korteweg, et notamment les ondes progressives associées. Récemment, elle s'est plus spécialement intéressée avec **P. Noble** et **M. Rodrigues** aux ondes périodiques, en mettant en évidence différents types de conditions nécessaires ou suffisantes de stabilité (variationnelle, spectrale, modulationnelle).

Ambitionnant de tirer partie de certaines des percées décisives récemment réalisées dans la compréhension de la dynamique proche des ondes périodiques planes dans des systèmes dissipatifs, **S. Benzoni-Gavage** et **M. Rodrigues** projettent de mener un même travail de défrichage pour l'étude de phénomènes plus ou moins proches comme les ondes périodiques des systèmes hamiltoniens, celles des systèmes discrets en espace, les ondes multi-périodiques, ou des structures plus complexes comme les chocs dispersifs. Ils visent une meilleure appréhension des phénomènes à la fois à un niveau fondamental et général mais surtout dans certaines situations bien choisies (dynamique des fluides capillaires non visqueux, des superfluides, des condensats, propriétés qualitatives de certains schémas numé-

riques, ...). Cet ambitieux programme constitue une partie significative des objectifs du projet ANR BoND ("Boundaries, Numerics and Dispersion") (2013-2017) porté par **S. Benzoni-Gavage**.

L'équation de Kawahara a été introduite pour modéliser certains milieux dispersifs non-linéaires, notamment pour des couches d'eau minces soumises à la capillarité et à la gravité, et pour certains plasmas. **F. Chardard**, également membre du projet BoND, a étudié la stabilité modulationnelle des ondes périodiques apparaissant dans l'équation de Kawahara, appliquant les méthodes développées précédemment à Lyon 1 faisant intervenir la théorie de la modulation de Whitham. Cela impliquait notamment de calculer numériquement ces solutions à l'aide de méthodes spectrales.

F. Chardard commence à s'intéresser à la recherche des solutions de type « ondes solitaires généralisées » (des solutions stationnaires dans un référentiel adéquat) pour les équations d'Euler irrotationnelles à surface libre en présence de capillarité, en s'aidant des solutions trouvées pour l'équation de Kawahara.

D. Le Roux s'est intéressé à la modélisation des fluides à surface libre (équations de Saint-Venant et de Navier-Stokes) et aux applications en environnement (océan, climat, sédimentation, hydrologie).

Les écoulements de rivières, les glissements de terrains, les éruptions volcaniques ou les avalanches de neiges sont des situations très difficiles à étudier à cause de la complexité du fluide (boue, neige, lave) et du type d'écoulement (topographie complexe, régime turbulent). Pour simplifier le problème, **P. Noble**, E. D. Fernandez-Nieto, D. Bresch et J.-P. Villa ont considéré un écoulement peu turbulent et de faible profondeur. Malgré ces hypothèses, le problème complet est encore trop complexe à cause de la présence d'une surface libre. Un modèle simple très utilisé est le système de Saint-Venant décrivant l'évolution de la hauteur et la vitesse moyenne du fluide. Ce système est obtenu de manière heuristique et la dynamique prédite par ces équations est mal connue. **P. Noble** et ses collaborateurs ont proposé une approche rigoureuse d'obtention de ces équations dans des situations nouvelles (fluides complexes) et de nouveaux outils pour étudier la dynamique des équations hors équilibre (instabilités hydrodynamiques de surface libre). Les retombées à long terme concernent l'ingénierie environnementale (conception et dimensionnement d'ouvrages de protection et détermination de zones à risque) et l'industrie (sidérurgie, BTP, génie des procédés). Sur les modèles obtenus, le fait marquant est l'obtention des premiers modèles consistants pour les fluides de Bingham et des modèles d'ordre deux pour les films en loi de puissance. Ces modèles seront prochainement implémentés dans le cadre d'une collaboration avec l'IRSTEA. L'analyse montre que les rhéologies considérées induisent artificiellement des singularités dans les modèles qu'il faut régulariser en prenant mieux en compte la nature du fluide (fluides thixotropes, régularisation physique aux basses contraintes).

Interfaces et transitions de phase. **S. Benzoni-Gavage**, **L. Chupin** et **J. Vovelle** ont étudié un modèle de transition de phase liquide-solide proposé par le physicien D. Jamet. Il s'agit d'un modèle champ de phase de type Caginalp, dont ils ont montré qu'il donnait un problème de Cauchy localement bien posé, et pour lequel ils ont identifié un modèle asymptotique de type Stefan lorsque l'épaisseur des interfaces tend vers zéro.

J. Vovelle a montré avec M. Pierre comment utiliser une formulation cinétique du problème pour résoudre les équations paraboliques avec données L^1 . En collaboration avec A. Mellet, il a étudié des équations de courbure moyenne modélisant des gouttes d'eau en suspension à l'extrémité d'une pipette dans un champ de gravité (il s'agit d'équilibres d'équations paraboliques). Ils ont démontré, pour une section de pipette de géométrie quelconque, l'existence d'une valeur critique de l'accélération de la pesanteur au delà de laquelle aucune solution n'existe. Ils ont également montré, dans le cas radial, l'existence d'au moins deux solutions juste en deçà de cette valeur critique.

En théorie de la combustion, **M. Marion** et A. Langlois ont étudié des systèmes de réaction-diffusion dits presque-équidiffusifs et ont obtenu dans la limite d'une grande énergie d'activation des modèles à frontière libre.

E. Bretin et **S. Masnou** ont étudié différents modèles champs de phase pour l'approximation numérique de l'évolution d'une interface par le flot de Willmore. Cette approche permet de contourner de façon robuste les difficultés liées à la singularité de l'énergie de Willmore. Plusieurs autres travaux de **S. Masnou** ont porté sur des problèmes faisant intervenir la notion de courbure d'une interface : relaxée dans L^1 de la fonctionnelle généralisée de Willmore définie sur les fonctions, propriétés des

minimiseurs de la courbure moyenne totale, propriété de localité de la courbure moyenne pour les varifolds entiers.

Récemment, **E. Bretin** et **S. Masnou** ont travaillé sur un nouveau modèle champ de phase pour l'approximation du périmètre multiphasique lorsque les tensions de surface sont ℓ^1 -plongeables : ce nouveau modèle se prête bien non seulement à l'analyse théorique mais aussi aux simulations numériques.

C. Reichert travaille actuellement sur la modélisation du film passif qui résulte de la formation de produits de corrosion très stables à la surface des métaux. Ce travail est effectué en collaboration avec des collègues du laboratoire MATEIS de l'INSA de Lyon.

E. Canon a obtenu une unification des principaux systèmes de lois de conservation de type Temple (chromatographie/électrophorèse et système 2x2 de LeRoux) à l'intérieur d'une classe plus large, de structure simple, et qui permet d'exhiber de nouveaux systèmes de Temple de taille arbitraire.

J. Bodin, **T. Clopeau** et **A. Mikelic** travaillent sur des modèles monocomposants multiphasiques en milieux poreux insaturés. Une nouvelle formulation uniforme est introduite avec une variable de densité de mélange du fluide, permettant la représentation simultanée des trois phases liquide/saturé/gazeux. Le modèle obtenu est une équation parabolique non-linéaire couplée avec une équation hyperbolique. Un schéma numérique basé sur une régularisation et l'utilisation de la transformée de Kirchhoff a été mis en œuvre. La prise en compte d'un terme de pression capillaire dynamique entre les phases liquide et vapeur rend l'équation de la saturation parabolique dégénérée d'ordre 3. Un schéma numérique stable a été développé et des tests avec des données fournies par l'ANDRA (Agence National des Déchets Radioactifs) ont été menés dans le cas d'une désaturation et re-saturation d'alvéoles de stockage.

Cavitation. Ce phénomène mal connu doit être pris en compte dans de nombreuses applications et est au centre de nombreux travaux actuels. **S. Ciuperca**, **M. Jai** et **E. Dalissier** (thèse Cifre Renault) ont proposé et obtenu des résultats d'existence pour un nouveau modèle prenant en compte une description localement bifluide du phénomène. **G. Bayada** et **L. Chupin** ont pu relier les résultats de **D. Bresh** et al sur l'existence de solutions pour des équations de Navier Stokes compressibles à un modèle heuristique couramment utilisé en lubrification (modèle dit d'Elrod). Ceci a permis de proposer de nouveaux algorithmes.

Géophysique. Dans le but de modéliser la tectonique des plaques, l'équipe de **G. Panasenko** développe des modèles asymptotiques pour deux couches visco-élastiques, lorsque la couche supérieure est mince. **F. Chardard** a commencé à utiliser des méthodes d'éléments finis (P1 puis éléments conformes d'ordre élevé) pour comparer les modèles asymptotiques au modèle initial.

S. Benzoni-Gavage travaille avec les géophysiciens **F. Chambat** et **Y. Ricard** sur la modélisation du manteau terrestre, siège de transitions de phase et dont la fluidité aux échelles de temps géologiques est caractérisée par un nombre de Reynolds extrêmement bas.

Imagerie et géométrie discrète

Dans un travail en collaboration avec le laboratoire CREATIS de l'Université de Lyon et l'Université de Neuchâtel, **E. Bretin**, **J. Pousin** et **M. Picq** se sont intéressés à la segmentation et au suivi dynamique d'images en utilisant comme flot régularisant l'opérateur de l'élasticité linéarisé. Une méthode de perturbation singulière faisant tendre les paramètres de l'élasticité (coefficient de Poisson et module de Young) vers 0 au cours du temps associée à un filtrage dans le domaine de Fourier du terme d'attache aux données ont permis de segmenter et de suivre le mouvement cardiaque à partir d'images 2D sur un cycle.

E. Bretin et **J. Pousin** se sont intéressés à l'utilisation de la méthode des moindres carrés pour l'approximation numérique des solutions de certains problèmes de transport optimal.

E. Bretin a poursuivi ses recherches sur certains problèmes inverses en imagerie médicale. Il s'est en particulier intéressé, dans le cadre de l'ANR *Adventure* et en collaboration avec le groupe d'Habib Amari à l'École Polytechnique, à des techniques de renversement temporel ainsi qu'à des approches de dérivées topologiques pour des problèmes inverses liés à des équations d'ondes élastiques visqueuses.

C. Reichert a travaillé avec plusieurs collègues du laboratoire CREATIS (imagerie médicale) sur une méthode de segmentation d'image par une approche de croissance de régions basée sur la minimisation d'une énergie discrète.

Avec plusieurs collaborateurs, **S. Masnou** a travaillé sur le problème de l'*inpainting*, c'est-à-dire de la restauration plausible de zones manquantes dans les images numériques. Les travaux ont porté à la fois sur les aspects de modélisation, d'analyse théorique des modèles et de simulation numérique. **S. Masnou** s'est également intéressé à différents problèmes de segmentation, soit par des techniques d'optimisation linéaire sous contraintes de variables entières, soit par des méthodes de partitionnement de graphes (dans le cadre de la thèse de X. Wang).

E. Bretin et **S. Masnou** collaborent avec F. Lebourgeois, un informaticien du LIRIS, le laboratoire d'informatique de Lyon 1/ECL/INSA, sur différentes problématiques liées à la restauration de vieux manuscrits numérisés.

La géométrie discrète est depuis longtemps le domaine de recherche de **J.-M. Morvan**. Il a poursuivi ses travaux à la fois théoriques et appliqués sur le sujet, notamment sur les questions de courbure généralisée et d'approximation de courbure, en utilisant les outils de la théorie géométrique de la mesure et de la géométrie différentielle. La théorie géométrique de la mesure, en particulier la notion de varifold, est également au cœur des travaux de B. Buet, dont la thèse encadrée par **S. Masnou** et G.P. Leonardi (Modena) a porté sur l'approximation de surfaces par des objets discrets (surfaces triangulées, nuages de points, représentations volumétriques, etc.).

Il existe des liens forts entre les travaux en géométrie discrète menés au sein de l'équipe MMCS et les travaux théoriques d'O. Druet et X. Liang qui ont rejoint récemment l'équipe EDPA. Ces liens devraient permettre de futures collaborations.

D'un point de vue plus appliqué, **J.-M. Morvan** a également collaboré avec le groupe d'informaticiens de L. Chen à l'École Centrale de Lyon, ce qui a débouché sur plusieurs publications autour de la reconnaissance de visages et d'expressions du visage.

De façon générale, les collaborations sur des questions de traitement d'images et de géométrie discrète 2D/3D existent déjà entre des membres de l'équipe MMCS et des informaticiens du LIRIS et du CREATIS, un laboratoire spécialisé dans l'imagerie médicale. L'arrivée au cours de la période d'évaluation de S. Masnou et E. Bretin devraient permettre de renforcer ces collaborations, en particulier si le projet de parcours "Traitement d'images/Géométrie discrète" voit le jour au sein du master recherche "Maths en Action".

Propriétés et mécanique des structures

Problèmes de contact, déformations et fissurations. **A. Petrov**, **J. Pousin**, **Y. Renard** ont réalisé plusieurs travaux communs, notamment avec F. Dabaghi (doctorant, soutenance en juin 2014) et P. Krejci (université Charles de Prague), sur l'amélioration de l'approximation numérique des problèmes de contact en élastodynamique. Ces travaux relèvent autant de la modélisation que de l'analyse théorique et numérique, ou encore du calcul scientifique. Un paragraphe est d'ailleurs consacré aux aspects numériques de ces recherches dans la section **Méthodes numériques et calcul scientifique**.

J. Pousin, **Y. Renard** et M. Fabre (doctorant, soutenance prévue fin 2014) ont collaboré sur l'approximation dans le cadre des domaines fictifs des problèmes de contact par des méthodes de Nitsche.

L. Paoli a travaillé sur les systèmes mécaniques à nombre fini de degrés de liberté, soumis à des contraintes unilatérales parfaites, dont le mouvement peut être décrit par une inclusion différentielle du second ordre, complétée par une loi d'impact faisant intervenir un coefficient de restitution. **L. Paoli** s'est intéressée en particulier au cas où l'ensemble des configurations admissibles du système comporte des angles et l'opérateur d'inertie n'est pas constant. Le cas où les contraintes unilatérales peuvent dépendre du temps a aussi été étudié.

Le problème élastoplastique dynamique avec contact unilatéral sans régularisation visqueuse et sans pénalisation de la loi de contact est un problème ouvert. Une première approche proposée par **A. Petrov** a consisté à s'intéresser à un problème viscoélastoplastique dynamique avec une pénalisation de la loi de contact avec et sans couplage thermique. Sans cette pénalisation, les estimations ne donnent pas suffisamment d'informations pour en déduire un résultat d'existence, comme le montrent des travaux en cours de P. Krejčí, **A. Petrov** et **J. Pousin** dans le cadre du projet de coopération AVCR

entre le CNRS et l'Académie des Sciences de la République Tchèque.

Par ailleurs, J. Jarušek, L. Paoli et A. Petrov se sont penchés sur un problème couplé faisant intervenir la dynamique d'une poutre de Timoshenko avec impact et effets thermiques. Les principales difficultés de l'étude sont liées à la présence de termes de couplages dans le second membre de l'équation de la chaleur qui sont naturellement dans L^1 et pas dans L^2 ainsi qu'à la non linéarité due au contact unilatéral.

Propriétés des structures. Dans le cadre des projets ANR MACADAM et ARAMIS, G. Vial (en collaboration avec V. Bonnaillie-Noël, D. Brancherie, M. Dambrine, F. Héreau et S. Tordeux) s'est intéressé à des problèmes de perturbation singulière pour des matériaux présentant des inclusions ou inhomogénéités. L'analyse asymptotique permet de mettre en place des méthodes numériques peu coûteuses de résolution approchée de tels problèmes multi-échelles. En particulier, l'interaction entre inclusions proches a été quantifiée. Des problématiques nouvelles concernant des problèmes de type Ventcel non coercifs sont apparues dans le cadre du calcul de profils qui interviennent dans ces développements.

D'autre part, G. Vial est investi dans les projets ANR GAOS et OPTIFORM, autour de l'optimisation de formes. Il est plus particulièrement impliqué dans la partie numérique, en collaboration avec V. Bonnaillie-Noël et E. Oudet (cf la section *Calcul*).

En collaboration avec N. Ben Abdallah, C. Jourdana et D. Sanchez, E. Fouassier a étudié le problème de l'injection d'un courant de spin dans des dispositifs magnétiques multicouches, dans le but de renverser l'aimantation d'un matériau ferromagnétique. Ces travaux concernent à la fois la modélisation, l'analyse des échelles en oeuvre, les simulations numériques, et l'analyse asymptotique.

A. Zine et A. Kawano (Brésil) ont obtenu un résultat d'existence et d'unicité pour une classe de distributions presque-périodiques. C'est un résultat important et très utile pour les problèmes inverses d'identification.

Matériaux à mémoire de forme. La propriété de « mémoire de forme », permettant à un matériau de retrouver sa forme initiale après déformation, est due à une réorganisation de sa structure cristalline. Le comportement macroscopique est décrit par l'équilibre des forces élastiques et des forces internes, donné par un couplage entre le système de l'élasticité et une inclusion différentielle faisant intervenir une variable modélisant l'évolution de la structure interne du matériau, ainsi qu'un potentiel de dissipation modélisant les pertes d'énergie dues aux changements d'état cristallin. L. Paoli et A. Petrov se sont intéressés à la prise en compte des effets thermiques par un couplage avec l'équation de la chaleur. Plus généralement ils s'intéressent à la modélisation, à l'analyse mathématique et à l'élaboration de simulations numériques de processus irréversibles dans des matériaux à mémoire en mécanique des milieux continus. Ces travaux sont complémentaires aux résultats expérimentaux obtenus, indispensables pour une bonne compréhension des problèmes. Ils font appel à différentes théories comme la méthode énergétique, les inéquations variationnelles, l'analyse de Fourier, la théorie du point fixe, ou encore la méthode des opérateurs d'hystérésis

Modèles composites. I. Ciuperca, M. Jai, C. Pognard et R. Perussel se sont intéressés aux propriétés de conduction d'un matériau composé d'un objet bidimensionnel entouré d'une couche mince très rugueuse et plongé dans un milieu ambiant. Ils ont caractérisé les propriétés de conduction à la limite lorsque l'épaisseur de la couche mince tend vers 0.

E. Canon a obtenu avec M. Lenczner, dans un travail qui clôt une série d'articles sur le sujet, des modèles de plaques composites piézoélectriques avec électronique élémentaire (conduisant notamment à des conditions aux limites non locales).

L'équation de l'élasticité dans une barre mince avec une condition de Robin a été étudiée par G. Panasenko, D.Z. Bare et J. Orlik (Kaiserslautern). Le modèle couplé thermo-chemo-visco-élastique du problème de formation d'un matériau composite a été homogénéisé dans des travaux en coopération avec I. Kostin, A. Amosov (Moscou) et V. Smyshlyaev (University College London).

2. Biomathématiques.

Les mathématiques pour les sciences du vivant ont connu au sein de l'équipe MMCS un essor formidable au cours des dix dernières années grâce au recrutement de plusieurs maîtres de conférences, à la création de l'équipe Inria Dracula et à l'affectation de CR/DR Inria ou CNRS. La recherche en biomathématiques au sein de MMCS est aujourd'hui très dynamique et a su gagner une réelle visibilité nationale et internationale. Les aspects de modélisation y sont très présents, les collaborations avec des biologistes et des médecins sont nombreuses et les outils théoriques utilisés couvrent un large spectre. Les liens sont naturels et nombreux avec d'autres travaux décrits dans les sections **Modélisation mathématique pour la physique et l'ingénierie** (p. 51) et **Méthodes numériques et calcul scientifique** (p. 61).

Modélisation du sang

Écoulement sanguin. **N. Debit** s'intéresse à la simulation de l'écoulement sanguin par une méthode de décomposition de domaine espace-temps et l'utilisation de préconditionneurs performants. Elle étudie également la régulation intracellulaire des cellules cancéreuses.

G. Panasenko travaille, notamment avec **V. Volpert** et des collègues de l'équipe du Centre des Problèmes Théoriques en Pharmacologie Physico-Chimique de l'Académie des Sciences de Russie, sur des nouveaux modèles continus de coagulation du sang.

V. Volpert s'intéresse à la modélisation mathématique des écoulements sanguins, de la coagulation du sang, de l'athérosclérose, de l'érythropoïèse, de la leucémie, de l'anémie. Il étudie également les problèmes de spéciation et d'évolution biologique, la croissance de plantes. Les outils théoriques utilisés sont l'analyse mathématique des problèmes elliptiques, les opérateurs de Fredholm, les conditions de résolubilités, la théorie de l'indice et du degré topologique, l'existence de solutions, l'étude des ondes de réaction-diffusion (études d'existence, stabilité, bifurcations, dynamique non linéaire, applications).

G. Panasenko, **A. Nachit** et **A. Zine** ont développé une méthode de décomposition asymptotique partielle de domaine mince. Ils ont appliqué et testé numériquement cette méthode dans le cas d'un écoulement non-newtonien dans une structure mince modélisant les vaisseaux sanguins. Le calcul numérique a confirmé une grande précision de la méthode. La version volumes finis de cette méthode appliquée à une structure mince a été étudiée dans un travail de **G. Panasenko** et **M.C. Viallon**, où l'estimation totale d'erreur a été prouvée ; cette estimation exprime l'erreur en fonction du petit paramètre (le rapport de la largeur et la longueur des éléments minces composant la structure) et du pas du schéma numérique. L'objectif des années à venir est d'améliorer le plus possible la modélisation pour se rapprocher du système vasculaire humain.

Modélisation de l'athérosclérose. **S. Génieys**, **N. El Khatib**, **V. Volpert** et **A. Zine** ont étudié l'effet non-newtonien sur les re-circulations du sang en aval de la plaque d'athérome. Ils ont montré que cet effet est particulièrement sensible aux taux de déformation.

Érythropoïèse. **F. Crauste** et **V. Volpert**, dans différents travaux en collaboration avec Bessonov, Demin, Fisher, Gandrillon et Kurbatova, ont proposé et étudié des modèles multi-échelles de l'érythropoïèse (processus de production des globules rouges), basés sur des équations différentielles et aux dérivées partielles ainsi que sur des modèles hybrides discrets/continus, démontrant les rôles essentiels des rétro-contrôles locaux dans la stabilité du processus.

N. Bessonov, **I. Demin**, **L. Pujo-Menjouet** et **V. Volpert** ont travaillé sur la formation et la régulation des cellules sanguines en utilisant des modèles individus centrés afin de modéliser l'auto-renouvellement, la différenciation des cellules, et la mutation engendrant des maladies liées au sang comme les leucémies.

Phénomènes dynamiques

Renouvellement cellulaire. L'activité de recherche de **S. Bernard** sur la période 2009-2014 a été marquée par le développement de modèles et de méthodes d'estimation des taux de renouvellement

des tissus humains à renouvellement lent. **S. Bernard** travaille depuis plusieurs années avec une équipe de l'Institut Karolinska à Stockholm (Jonas Frisén et Kirsty Spalding) à mesurer l'âge des cellules de tissu humain à partir de l'intégration dans l'ADN du carbone 14 rejeté dans l'atmosphère lors des tests nucléaires en surface dans les années 1950-60. L'interprétation de ces données, uniques au monde, a nécessité de développer des outils de modélisation, basées sur des équations de renouvellement cellulaire à des échelles de plusieurs décennies, et des outils d'analyse statistique (régression non-linéaire, méthodes de Monte Carlo, chaînes de Markov, ...). Ces méthodes ont permis de reconstruire la dynamique du renouvellement cellulaire dans des organes à renouvellement très lent, comme le muscle cardiaque, le bulbe olfactif, l'hippocampe et le striatum.

Dans le contexte de la dynamique cellulaire, **M. Adimy** et **F. Crauste**, dans différents travaux en collaboration avec Hbid, Qesmi, Marquet, El Abdllaoui et Terry, ont étudié la stabilité d'équations ou de systèmes d'équations à retard, avec retards discrets, retard distribué, et retard dépendant de l'état, démontrant l'existence de bifurcations de Hopf et obtenant des conditions nécessaires et suffisantes pour la stabilité asymptotique.

P. Michel a démarré l'encadrement d'une thèse avec **M. Adimy** sur la modélisation de la réponse secondaire du système immunitaire et son contrôle via la vaccination.

Dans le cadre de l'équipe Inria NUMED, en collaboration avec E. Grenier et P. Vigneaux (ENS), A. Samson (Grenoble) et C. Helbert de l'équipe PSPM, **T. Dumont** et **V. Louvet** s'intéressent à l'identification de paramètres jouant un rôle dans certains systèmes biologiques, avec notamment comme application la modélisation de la croissance des tumeurs cancéreuses.

Dynamique du prion. **I. Ciuperca**, E. Hingant, **L. Palade** et **L. Pujo-Menjouet** ont travaillé sur la modélisation de la polymérisation et la fragmentation de polymères en tenant compte de la dépendance par rapport à la variable d'espace de la densité de répartition des molécules. Ce modèle permet d'étudier la prolifération du prion.

Avec différents collaborateurs, **L. Pujo-Menjouet** a d'une part travaillé sur l'apparition de plusieurs souches de prion liées à leurs structures, et d'autre part étudié le rôle du prion dans la maladie d'Alzheimer et notamment son influence sur la perte de mémoire.

Dynamique des populations. **A. Ducrot**, **M. Marion** et **V. Volpert** ont étudié des propriétés spectrales d'opérateurs intégro-différentiels avec applications à l'étude de la stabilité d'ondes progressives. Ces travaux ont des applications à certains modèles non locaux en dynamique des populations et en cinétique chimique.

T. Lepoutre s'est intéressé à des modèles de populations structurées. Il a mis en place un argument théorique de convexité de type inégalité de Kingmann sur la valeur propre de Floquet dans les modèles de type renouvellement (convexité selon les taux de mort, convexité géométrique selon les taux de naissance) qui permet d'appuyer le principe de la chronothérapie comme minimisant la toxicité. Il s'est intéressé de près aux modèles de diffusion croisée obtenant avec **M. Pierre** et **G. Rolland** (ENS Ker Lann) des résultats généraux d'existence et unicité pour des modèles régularisés et des résultats d'existence pour des modèles généraux avec **L. Desvillettes** et **A. Moussa**. Un travail d'analyse des états d'équilibres du système régularisé a également été mené avec **S. Martinez** (Santiago). **T. Lepoutre** s'est enfin intéressé à la polarisation cellulaire avec **N. Meunier** et **N. Muller** menant avec eux l'étude complète d'un modèle jouet unidimensionnel à l'aide d'inégalités de type LogSob ou HWI.

J. Pousin s'est intéressé aux méthodes de viabilité pour contrôler les paramètres dans un modèle de propagation de virus.

Reproduction. **P. Michel** a collaboré à l'action de grande envergure REGATE (REGulation of the GonAdoTropE axis) clôturée en avril 2013, portée par **F. Clément** (Inria Rocquencourt) et ayant pour but de modéliser, simuler et contrôler l'axe gonadotrope. Le système régissant l'ovulation est complexe, multi-échelle en espace et en temps. **P. Michel** a notamment étudié un système non linéaire couplé d'équations aux dérivées partielles modélisant la compétition de follicules ovariens. **P. Michel**, **F. Clément**, **D. Monniaux** et **T. Stiehl** se sont intéressés à la modélisation (formalisme stochastique) des stades précoces de formation des follicules ovariens (travaux initiés à la suite du projet RNSC "Stochodet"). L'étude mathématique de ce modèle stochastique et sa limite en temps long/grande population va être un des deux axes de recherche sur les cinq prochaines années.

3. Méthodes numériques et calcul scientifique.

L'analyse et le développement de méthodes numériques, mais aussi le développement de codes efficaces, font également partie du registre traditionnel de l'équipe MMCS. C'est la multiplication et la diversité des outils utilisés qui nous ont conduits à en faire une section à part, mais les travaux numériques au sein de l'équipe sont rarement dissociés des travaux en modélisation. Ces dernières années ont connu l'essor des méthodes spectrales pour l'étude numérique des équations cinétiques, ce que confirme la création en 2014 de l'équipe Inria Kaliffe, évoquée dans la section **Modélisation mathématique pour la physique et l'ingénierie** (p. 51). Le développement du *Calcul scientifique*, et notamment le calcul haute performance, ont accompagné le développement du matériel informatique (cf la description plus détaillée des activités de calcul dans la partie spécifique, p. 90).

Méthodes spectrales

Équations cinétiques. **F. Filbet** a récemment achevé un programme de recherche débuté il y a plusieurs années sur l'analyse de méthodes spectrales pour l'équation de Boltzmann : il a obtenu une preuve de stabilité asymptotique (c'est-à-dire pour un pas de discrétisation suffisamment petit) et un résultat de convergence avec des estimations d'erreur.

D'autres travaux de **F. Filbet** ont concerné la mise au point de schémas numériques pour les équations cinétiques posées dans des domaines bornés. Il a fallu pour cela adapter une stratégie proposée par C.-W. Shu pour les lois de conservation.

Analyse spectrale. Bien que plus théoriques, les travaux décrits ici ont des liens forts avec des problématiques numériques.

D. Le Roux s'est intéressé à l'étude de problèmes spectraux pour des opérateurs discrets.

M. Ahues Blanchait et **L. Grammont** ont mené avec Muzafar Hama (Irak) et H. Guebbai (Algérie) une étude sur le pseudo-spectre de matrices et d'opérateurs différentiels à dérivées partielles. L'objectif de cette recherche était d'établir un parallèle entre les propriétés mathématiques du spectre et celles du pseudo-spectre.

L. Grammont a étudié avec N. Higham et F. Tisseur (Manchester) les valeurs propres de polynômes de matrices

Théorie des RKHS (Reproducing Kernel Hilbert Spaces). Un groupe de travail sur ce sujet a été mis en place par **L. Grammont**, X. Bay et O. Roustand (École des Mines de Saint-Etienne) et une thèse vient de démarrer. L'objectif est double : développer des méthodes dans un cadre théorique et les utiliser pour des applications industrielles. L'élaboration de nouvelles méthodes repose sur l'interaction entre l'étude des processus stochastiques, qui est une spécialité de l'École des Mines de Saint-Étienne, et la théorie spectrale des opérateurs de Hilbert-Schmidt (**L. Grammont** et **M. Ahues Blanchait**). Les applications industrielles font l'objet de discussions avec Y. Richet, chargé de mission à l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire).

Méthodes de volumes finis

Une partie des activités de recherche de **F. Filbet** a été consacrée à la preuve d'inégalités fonctionnelles discrètes permettant une analyse robuste d'une large classe de schémas volumes finis.

S. Delcourte a travaillé en collaboration avec le CEA Saclay et Dassault Systèmes sur l'approximation numérique de la vitesse et de la pression de Bernoulli pour le problème de Navier-Stokes non linéaire avec formulation rotationnelle du terme de convection. Elle a proposé une méthode de volumes finis qui autorise des maillages non structurés ou non conformes et elle a développé un code 2D à partir de cette méthode.

En collaboration avec A. Bousquet et R. Temam, **M. Marion** a introduit des approches volumes finis multi-niveaux pour les équations en eau peu profondes linéarisées.

D. Le Roux a étudié l'influence de certains schémas de volumes finis sur des EDP singulières, et il a proposé de nouveaux schémas.

M.-C. Viallon étudie les schémas de type volumes finis, pour des équations aux dérivées partielles de différents types, sur des domaines où la dimension en espace est différente d'une zone à l'autre. Il s'agit de problèmes qui découlent de la méthode de décomposition asymptotique partielle de domaine (initiée par **G. Panasenko**) ou du couplage de codes industriels. **M.-C. Viallon** a défini une nouvelle norme discrète qui a été utilisée pour mesurer l'erreur commise entre la solution exacte (d'un problème modèle dans une structure en treillis 1D-2D) et son approximation par un schéma hybride. Cette norme géométriquement multi-dimension permet d'avoir une approche globale. **M.-C. Viallon** a également effectué des comparaisons entre le traitement des conditions à l'interface entre les domaines unidimensionnels et bidimensionnels par le schéma hybride, avec l'utilisation d'un schéma classique standard sur un maillage entièrement bidimensionnel, mais non-admissible. Elle a récemment établi le développement plus complet pour une structure en treillis générale.

Méthodes de Galerkin

Y. Renard a développé des collaborations industrielles durant la période 2009-2014 (notamment avec les entreprises Michelin, Exxon-Mobil et Plaxis) sur la thématique de l'amélioration des méthodes d'éléments finis pour la modélisation numérique des problèmes de contact, de la multi-fissuration et des grandes déformations plastiques de structures mécaniques. Ces collaborations ont permis de financer deux thèses (S. Amdouni, soutenue en janvier 2013 et R. Ben Hassine, en cours) ainsi qu'une année de post-doctorat (T. Ligursky, bifurcations non régulières dans les problèmes de contact avec frottement).

Ces problèmes ont également fait l'objet d'une collaboration avec l'ENIT de Tunis (M. Moakher et M. Arfaoui) qui a débouché sur des stages de master d'étudiants tunisiens en France et les thèses (en co-tutelles) mentionnées précédemment. **Y. Renard** a également entretenu une collaboration avec M. Salaün (ISAE, Toulouse) et C. Pozzolini (IFFSTAR, Lyon) sur les problèmes de vibro-impact et une collaboration avec P. Laborde (IMT Toulouse) et M. Salaün sur l'analyse numérique des méthodes de type Xfem.

Par ailleurs, durant cette période, l'ensemble des méthodes développées par **Y. Renard** sont venues enrichir le logiciel élément fini généraliste Getfem++ qui est mis à la disposition de la communauté.

A. Petrov s'intéresse également aux problèmes de contact. Il a développé des schémas numériques pour des problèmes de contact unilatéral en utilisant une nouvelle méthode, dite de redistribution de masse, permettant d'avoir une semi-discrétisation bien posée. Il développe un logiciel capable de simuler le comportement des matériaux intelligents (matériaux à mémoire de formes, ferromagnétiques...).

N. Debit a travaillé sur l'analyse numérique de modèles de couplage d'équations, la décomposition de domaine hétérogène et l'application au couplage de Darcy-Stokes. Elle a élaboré et étudié des méthodes numériques conservatives adaptées aux problèmes de stockage avec des conditions d'interface non standards. Elle a également étudié certains problèmes inverses et phénomènes d'incertitudes qui apparaissent en mécanique et en environnement. Elle a proposé des méthodes d'identification de paramètres (conditions aux limites, sources de pollution, ...). Elle a par ailleurs travaillé sur la construction et l'analyse d'estimateurs a posteriori pour les éléments finis non-conformes et des schémas volumes finis.

Certains travaux sont en collaboration avec **A. Agouzal** qui étudie de façon générale les méthodes adaptatives en éléments finis. Ces méthodes permettent de réduire le coût de calcul en construisant un maillage quasi-optimal. **A. Agouzal** a d'une part justifié l'hypothèse de saturation dans le cadre anisotrope, ce qui lui a permis (avec Y. Vassilevski et K. Lipnikov) de développer les bases théoriques de ces méthodes. D'autre part, il a étudié diverses méthodes de reconstruction de flux, pour les méthodes d'éléments finis conformes et nonconformes, et construit des estimateurs a posteriori robustes basés sur la méthode de l'hypercercle pour les problèmes elliptiques.

S. Delcourte a collaboré avec le projet Inria NACHOS sur le développement d'une méthode de Galerkin discontinu d'ordre élevé pour la simulation de la propagation sismique. Elle a développé un code 2D/3D.

M. Bergot s'est intéressée à la construction d'éléments finis d'ordre élevé pour la résolution des systèmes hyperboliques linéaires issus des phénomènes de propagation d'onde (acoustique, électro-

magnétisme), pour les régimes harmonique et temporel, sur des maillages hybrides. Des éléments optimaux au sens de la dimension des espaces d'approximation ont été obtenus pour les quatre éléments constitutifs des maillages hybrides (hexaèdres, tétraèdres, pyramides et prismes) et pour les formulations H^1 , $H(rot)$, $H(div)$ et discontinue (LDG). De nombreuses études numériques ont été menées sur des cas complexes, et notamment des études pour le CEA Gramat.

D. Le Roux s'est intéressé à l'influence des schémas numériques d'éléments finis et de la méthode de Galerkin discontinue sur des EDP singulières. Il a également introduit de nouveaux schémas.

Méthodes numériques pour les équations intégrales

M. Ahues Blanchait et **L. Grammont** ont traité avec F. Dias D'Almeida et P. Vasconcelos le modèle intégral du transfert interstellaire radiatif via plusieurs méthodes de résolution numérique des équations intégrales de Fredholm de seconde espèce et le problème de valeurs propres associé. Une collaboration préalable avec A. Amosov (Moscou) avait permis de comparer les différentes bornes d'erreur des méthodes de Galerkin et Kantorovich, et leurs versions itérées respectives. Des nouvelles méthodes (Kulkarni, soustraction de la singularité, intégration produit) sont en étude depuis 2011 et ont été généralisées à des espaces de Banach du type Lebesgue afin de traiter des seconds membres faiblement singuliers, ce qui a un intérêt en astrophysique. **M. Ahues Blanchait** et **L. Grammont** ont également étudié l'approximation numérique des solutions de certaines équations intégrales non linéaires. L'objectif était d'étudier l'incidence sur la précision finale de l'ordre dans lequel les actions de linéarisation et discrétisation sont effectuées. Les résultats théoriques, confirmés par la pratique numérique montrent que cela dépend de la discrétisation choisie. L'ordre est indifférent dans le cas de Galerkin, mais il est déterminant dans le cas de Kantorovich. Enfin, d'autres travaux de **M. Ahues Blanchait** et **L. Grammont** portent sur les équations intégrales non lisses et sur l'adaptation des méthodes par projection du type Sloan aux équations intégrales singulières de Cauchy.

Calcul haute performance et analyse numérique matricielle

Les travaux décrits ici concernent le développement et l'analyse de méthodes numériques, ainsi que le développement d'algorithmes adaptés non seulement aux applications étudiées mais aussi aux architectures de calcul considérées.

Décomposition de domaines et découplage de systèmes. **D. Tromeur-Dervout** a mis au point dans le cadre de l'ANR CIS07 MICAS une technique d'accélération par Aitken d'une méthode de décomposition de domaine de type Schwarz utilisant une représentation algébriques par SVD des traces des itérées aux interfaces permettant d'étendre ses travaux précédents aux opérateurs non séparables et aux maillages quelconques. Ceci lui a permis avec L. Berenguer et T. Dufaud de résoudre l'équation de Darcy 3D avec une perméabilité fortement hétérogène qui suit une distribution log normale sur un domaine de 10^9 points de discrétisation.

D. Tromeur-Dervout et P. Linel ont développé, dans le cadre de l'ANR MONU12 H2MNO4, une décomposition de domaine en temps en se basant sur des conditions de transmissions non linéaire permettant de briser la séquentialité des intégrateurs numériques pour les systèmes d'EDO.

D. Tromeur-Dervout et T. Pham Duc ont développé dans le cadre de l'ANR TLOG06 PARADE une méthode de découplage de système d'EDO en sous systèmes à base de décomposition orthogonale propre pour garder l'influence de la dynamique des autres sous-systèmes sur un sous-système non réduit.

Conditionnement. **D. Tromeur-Dervout** a développé avec T. Dufaud dans le cadre de l'ANR TLOG07 LIBRAERO un préconditionneur Aitken-RAS pour des méthodes de Krylov. Il développe avec L. Berenguer dans le cadre de l'ANR MONU12 H2MNO4 des techniques de préconditionnement et d'initialisation pour les systèmes d'équations différentielles algébriques non linéaires.

M. Ahues Blanchait et B. Limaye ont étendu la notion de conditionnement d'une base d'un sous-espace vectoriel de dimension finie, ce qui est essentiel dans les procédures de raffinement itératif des solutions approchées d'équations intégrales ou différentielles,

Systèmes de réaction-diffusion raides. **T. Dumont** et **V. Louvet** ont travaillé sur la résolution numérique de systèmes de réaction diffusion au sein de l'ANR *Sechelles* en lien avec la modélisation des

accidents vasculaires cérébraux (ANR *AVCInSilico*) et de certaines réactions chimiques en combustion (équipe EM2C Paris). L'ANR Sechelles comportait une importante partie théorique (autour de S. Descombes à Nice). **T. Dumont** et **V. Louvet** ont participé à l'encadrement de Max Duarte (prix Ecomas et lauréat SMAI-GAMNI) dans le cadre de cette ANR. **T. Dumont** a développé un code multirésolution (23000 lignes de C++) et effectué des expériences numériques cohérentes avec les conclusions théoriques.

Rayonnement et attractivité académiques

N.B. : les données recensées ci-dessous ne portent, pour les membres stéphanois de l'équipe, que sur la période postérieure à 2012.

Récompenses et distinctions.

- F. Filbet** : ERC-starting grant : NuSiKiMo 2011-2014, porteur.
- F. Filbet** : prix Blaise-Pascal du GAMNI-SMAI et de l'Académie des Sciences en 2012.
- V. Louvet** : Cristal du CNRS 2009
- G. Bayada** : Best referee Award 2010 American Society Mech. Eng. Journal of Tribology

Participation à des projets financés

A) Projets portés à l'ICJ par des membres de l'équipe. Durant la période d'évaluation deux équipes Inria ont été créées dans le cadre de l'ICJ et associées à MMCS :

- le projet Dracula, créé en juin 2011 et porté par **M. Adimy**, est consacré à la modélisation multi-échelle des dynamiques cellulaires et l'application à l'hématopoïèse. Ses autres membres sont **S. Bernard**, **F. Crauste**, **T. Lepoutre**, **P. Michel**, **L. Pujo-Menjouet**, **L. Tine** et **V. Volpert**. Cette équipe-projet a permis le recrutement à l'ICJ de deux chercheurs Inria (1 DR, **M. Adimy** et 1 CR, **T. Lepoutre**).
- le projet Kaliffe, créé en juin 2014 et porté par **F. Filbet**, a pour nom l'acronyme de "Kinetic models applied for the future of fusion energy". Ses autres membres sont **M. Bergot**, **S. Delcourte**, **T. Dumont**, **E. Fouassier**, **D. Le Roux**, **V. Louvet** et **M. Rodrigues**.

Plusieurs projets ANR ont été portés par des membres de l'équipe MMCS durant la période 2009-2014 :

- le projet ANR BoND ("Boundaries, Numerics and Dispersion"), financé par le programme blanc (2013-2017) et porté par **S. Benzoni-Gavage**. Parmi les autres membres du projet figurent **F. Chardard**, **P. Noble** et **M. Rodrigues**.
- le projet ANR JCJC "ProCell" (sep 2009 - fev 2014, budget : 90 000 €. Titre : "Mathematical Methods for Erythropoiesis Modelling : from Proteins to Cell Populations"), porté par **F. Crauste**. Parmi les autres membres du projet figuraient **S. Bernard**, **T. Lepoutre**, **P. Michel**, **L. Pujo-Menjouet** et **V. Volpert**.
- le projet ANR JCJC SWECF ("Shallow Water Equations for Complex Fluids : mathematical analysis and applications", 2009-2013), porté par **P. Noble**. Parmi les membres du projet figuraient **S. Delcourte**, **D. Le Roux** et **M. Rodrigues**.
- le projet ANR MADCOW ("Modelling amyloid dynamics and computation output work : applications to Prion and Alzheimer's disease", 2008-2013), porté par **L. Pujo-Menjouet** et qui a compté parmi ses membres **S. Bernard**, **F. Crauste** et **T. Lepoutre**.
- le projet ANR PARADE ("Parallel numerical Algorithms for Real time simulation of Algebraic Differential Equations systems", 2006-2010), porté par **D. Tromeur-Dervout**.
- le projet ANR BIMOD ("Hybrid models of cell populations. Application to cancer modelling and treatment", 2010-2014), porté par **V. Volpert**. Parmi les autres membres du projet figuraient **M. Adimy** et **F. Crauste**.

Le projet ERC Starting Grant NuSiKiMo a été attribué à **F. Filbet** pour la période 2011-2014. **S. Delcourte** était également membre de ce projet.

La liste ci-dessous récapitule les autres projets portés par des membres de MMCS :

M. Ahues a été le responsable français du projet CEFIPRA-IFCPAR 4101-1 "Numerical treatment of integral equations with nonsmooth kernels", 2009-2012.

S. Benzoni-Gavage a été directrice du groupement de recherches Modélisation, Asymptotique, Dynamique non-linéaire, GDR CNRS n° 2948 (2006-2009).

N. Debit est responsable français du PHC Toubkal depuis janvier 2013.

L. Grammont est responsable pour la France du projet "Approximate Solutions of Linear and Non-Linear Integral Equations with Non Smooth Kernels" (Indo-French Center for Applied Mathematics).

T. Lepoutre est responsable d'un programme équipe associée avec D. Levy (University of Maryland).

D. Le Roux a géré une subvention du Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) (subvention individuelle, 124 500\$, 2006-2011).

V. Louvet a porté le projet PEPS Math-info MIPAC et le projet PEPS 1 Maths-Entreprise MCC (2013).

S. Masnou est responsable du projet PEPS "Restauration numérique d'images de manuscrits du Moyen-Âge" (2013-2014), dont **E. Bretin** est également membre.

P. Michel a porté avec F. Clément l'appel à idée RNSC : projet Stochtodet, 2009-2011.

G. Panasenکو est responsable de la structure fédérative MODMAD (pôle MODélisation Mathématique et Aide à la Décision), créée en 2011 sous la tutelle de l'Université de Saint-Etienne et de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne. Parmi les membres de cette structure figurent **M. Boukrouche**, **F. Chardard**, **L. Paoli**. **G. Panasenکو** est également responsable du projet « Problèmes multi-échelles : analyse et méthodes » (2011-2012) du Ministère de la Recherche et de l'Education Nationale de la Russie. Il est responsable du projet « Construction, analyse et application de méthodes de résolution des problèmes aux limites et des problèmes initiales aux limites multi-échelles » (2012-2013) du Ministère de la Recherche et de l'Education Nationale de la Russie. Responsable du projet franco-allemand PROCOPE EGIDE/DAAD 28481WB "Homogenization based optimization for elasticity on the network of beams" (2013-2014).

A. Petrov est responsable du Projet de coopération CNRS et Académie des Sciences de la République Tchèque intitulé "Analyse mathématique et numérique de modèles multidimensionnels pour des matériaux à mémoire". **L. Paoli** est membre du projet.

J. Pousin a coprésidé le comité PHC Utique 2005-2012 et est responsable du PHC Maghreb depuis 2011.

B) Participations à des projets portés hors ICJ.

S. Benzoni-Gavage a participé au projet ANR MANIPHIC, porté par Lydéric Bocquet et financé par le programme SYSCOMM (2009-2012).

E. Bretin est membre du projet ANR Geometrya (2012-2016), du projet ANR DigitalSnow, du projet ANR Adventure et du projet ANR Miriam (2014-2018).

I. Ciuperca est membre d'un projet de coopération avec l'Espagne, projet financé par le Ministère de la Science, Espagne ; coordonateur J.I. Tello (Madrid). période 2009-2013.

F. Crauste est responsable Inria pour l'ANR RPIB "PrediVac" (jan 2013 - dec 2015) (budget : 990 540 €, titre : Outils de modélisation innovants pour la prédiction de l'efficacité de vaccins basés sur les lymphocytes T CD8, responsable : Jacqueline Marvel, U1111 Inserm). Il a participé au projet ANR Blanc "Anatools" (2007 - 2010). Titre : Analytical Tools for Cancer Chemotherapy Improvement. Responsable du projet : Ch. Perigaud (LCOBS, Montpellier).

E. Fouassier a participé à l'ANR Quatrain (2007-2011, porteur Florian Méhats, Rennes).

L. Grammont a participé au projet No IFC/4101-A "Numerical treatment of integral operators with non smooth kernels" du CEFIPRA (Centre franco-indien pour la promotion de la recherche avancée) porté par R. Kulkarni, professeure à l'Indian Institute of Technology de Bombay. Ce programme s'est achevé en 2013.

T. Lepoutre est membre des projets ANR MODPOL (V. Calvez) et KIBORD (L. Desvillettes).

D. Le Roux est membre de "Development of an Ocean Modelling Capacity Using Unstructured Grid Models for the Canadian Arctic Archipelago and Arctic-Atlantic Fluxes". ArcticNet, 269 450\$, 2008-2011.

V. Louvet est membre de l'ANR Séchelles (porteur S. Descombes, Nice).

S. Masnou est membre et responsable pour l'ICJ du projet ANR MIRIAM (2014-2018), membre du projet ANR Geometrya (2012-2016), membre du GDR "Mathématiques et Entreprises", membre du GDR

"Mathématiques des systèmes perceptifs et cognitifs". Il a participé entre 2008 et 2010 au projet ANR FREEDOM. Il est responsable depuis 2011 du volet "Traitement des images par équations aux dérivées partielles" dans le cadre du projet EGIDE franco-marocain "Modèles mathématiques et algorithmes appliqués au traitement et à la reconnaissance de textes dans les images ou les vidéos numériques".

G. Panasenko : Participation au projet international PICS CNRS avec le Centre National d'Hématologie et avec l'Université d'Etat de Moscou Lomonosov (2010-2012) « Modelling of Blood Diseases ».

J. Pousin est responsable scientifique pour l'université de Lyon de l'ANR 3DSTRAIN 2011-2015

L. Pujo-Menjouet est membre d'un projet POLONIUM sur la régulation des cellules sanguines avec des EDP réaction-diffusion et d'un projet FFCR (2014-2016) sur la modélisation de la mégacaryopoïèse avec Jianhong Wu de l'université York (Toronto) (étude des équations à retard dépendant de l'état).

M. Rodrigues participe au GdR CNRS 2434 « Analyse des Équations aux Dérivées Partielles ».

D. Tromeur-Dervout est mis à disposition de l'Institut pour la Transition Énergétique SUPERGRID, responsable scientifique d'un sous projet numérique dans le projet Calcul Haute performance du cluster ISLE région Rhône-Alpes (2006-2010). Responsable de la partie préconditionneur dans le projet CINEMAS2 du cluster automobile région Rhône-Alpes (28 K€/3ans) (2006-2010). Responsable scientifique pour l'ICJ dans le projet ANR Calcul Intensif et Simulation 2007 MICAS, subvention pour l'ICJ 135K€(2007-2011). Responsable scientifique pour l'ICJ dans le projet ANR Technologie logicielle 2007 LIBRAERO, subvention pour l'ICJ 134K€(2007-2011). Responsable scientifique pour l'ICJ dans le projet ANR Modèles Numériques 2012 H2MNO4, subvention pour l'ICJ 153K€(2012-2016).

G. Vial est membre des projets ANR Gaos (2009-2012), Aramis (2012-2016) et Optiform (2012-2016).

V. Volpert a coordonné le projet PAI France-Poland « Reaction diffusion equations in biology », 2010-2011, et le projet PICS CNRS-Russie « Mathematical modeling of blood diseases », 2010-2012.

J. Vovelle est membre du projet ANR Stosymap et du projet ANR Stab.

Organisation ou co-organisation de colloques.

Les journées de l'équipe, organisées chaque année, ont été évoquées en introduction. Les orateurs sont aussi bien des membres de l'équipe que des chercheurs extérieurs au laboratoire.

S. Benzoni-Gavage et **L. Paoli** font partie du comité scientifique des "Journées EDP Rhône-Alpes et Auvergne" (JERAA) qui ont lieu chaque année en novembre dans l'un des sites des laboratoires de mathématiques de Rhône-Alpes et Auvergne. Ces journées sont l'occasion de réunir un grand nombre de chercheurs de ces régions dont les recherches relèvent des EDP et de la modélisation. Les orateurs sont choisis parmi les membres des différents laboratoires. En 2013 ces journées ont été organisées à Saint-Etienne sous la responsabilité conjointe de **F. Chardard** et **L. Paoli**. En 2014, elles auront lieu à l'École Centrale de Lyon et **G. Vial** en sera l'organisateur principal.

Au premier semestre 2013, avec un soutien fort du Labex MILYON a été organisé un trimestre thématique consacré à la modélisation mathématique en biologie et médecine. Dans le cadre de ce trimestre (organisé en réalité sur 5 mois!), plusieurs chercheurs ont pu effectuer un séjour à Lyon (ENS ou Université). De plus quatre conférences et une école (certaines en collaboration avec d'autres LABEX) ont été organisées à Lyon : sur le campus de l'université ont eu lieu

- Conférence : "Biological invasions and evolutionary biology, stochastic and deterministic models" (11-15 mars 2013),
- Conférence : "Mathematical modeling in cell biology" (25-29 mars 2013),
- Conférence : "Systems Biology Approach to Infectious Processes" (13-15 mai 2013)
- Conférence in honour of Michael Mackey's 70th birthday (3-6 juin 2013)

et l'école ESMTB-EMS Summer school : "Multiscale modeling in the life sciences" (27-31 mai 2013) a eu lieu à l'ENS Lyon. Les membres de l'équipe ayant co-organisé ce trimestre sont **S. Bernard**, **F. Crauste**, **T. Lepoutre**, **L. Pujo-Menjouet** et **V. Volpert**. Ce trimestre thématique a en particulier permis aux membres de l'équipe MMCS de la thématique biomathématiques d'accueillir de nombreux collègues.

Dans le cadre du GDR Calcul, **V. Louvet** a organisé plusieurs écoles, workshop et journées scientifiques, notamment le CEMRACS 2012 ainsi que, en collaboration avec le LEM2I, 4 modules de cours de calcul scientifique en Algérie, en Tunisie et au Maroc. Dans le cadre de LyonCalcul et du réseau Calcul scientifique, **V. Louvet** a participé à l'organisation d'écoles, de journées scientifiques et d'ateliers.

Les listes ci-dessous recensent les autres colloques organisés ou co-organisés par les membres de l'équipe durant la période de référence. Nous listons d'abord les colloques organisés dans la région de Lyon et Saint-Étienne, dont certains ont pu bénéficier du soutien financier du Labex MILYON.

Colloques organisés à Lyon / Saint-Étienne.

- 2015. SMAI 2015, région lyonnaise. **F. Filbet, T. Dumont, V. Louvet.**
- 2015. Equadiff, Lyon. **S. Benzoni-Gavage** et T. Gallay (Grenoble).
- 2014. Trois sessions au colloque franco-roumain de mathématiques appliquées, Lyon. **F. Chardard, S. Masnou** et **Y. Renard.**
- 2013. Colloque XFEM 2013, 11-13 Sept. 2013, Lyon. **Y. Renard**
- 2013. Colloque des Entretiens Jacques Cartier, "Mathématiques et changements climatiques", Lyon, 27-28 novembre 2013. **D. Le Roux.**
- 2013. Journées Optiform (Ecole Centrale de Lyon, juin 2013). **G. Vial.**
- 2013. 3rd International Workshop "Multiscale Methods and Modelling" en octobre 2013 à Saint-Étienne. **G. Panasenko.**
- 2012. 2nd International Workshop "Multiscale Methods and Modelling" en octobre 2012 à Saint-Étienne. **G. Panasenko.**
- 2012. Conférence "Mathématiques et grandes dimensions -- de la théorie aux développements industriels", Lyon, 10 décembre 2012. **S. Masnou**
- Journées de l'ANR Geometrya, Lyon, 11-12 octobre 2012. **S. Masnou**
- 2012. Spring School in Kinetic Theory and fluid mechanics, 26-30 mars 2012, Lyon, **F. Filbet.**
- 2011. Journées DYNAMO "Dynamique non linéaire, asymptotique, modélisation" à Lyon. **S. Benzoni-Gavage.**
- 2011. 2ème Semaine d'Etude Mathématiques et Entreprises, Lyon, 28 nov. - 2 déc. 2011. **S. Masnou**
- 2011. Colloque « Méthodes numériques & méthodologies avancées pour les problèmes inverses en mécanique », INSA-Lyon, 24 mars 2011. **Y. Renard**
- 2010. Integrative Post Genomics IPG'10, à Lyon. **F. Crauste**
- 2009. Integrative Post Genomics IPG'09, à Lyon. **F. Crauste**
- 2009. Colloque en l'honneur des 60 ans de Michelle Schatzman, Lyon. **S. Benzoni-Gavage** et **T. Dumont.**
- 2009. Workshop autour des développements de l'ANR Tlog06 PARADE, ICJ-ISTIL Lyon 30 Juin 2009. **D. Tromeur-Dervout.**

Colloques organisés hors Lyon / Saint-Étienne.

- 2014. École d'hiver Nonlinear dispersive waves : theory, numerics and applications, École de physique des Houches. **S. Benzoni-Gavage.**
- 2014. Minisymposium à la 10ème AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, Madrid (Espagne). **L. Pujo-Menjouet, F. Crauste, M. Adimy.**
- 2014. Minisymposium à SIAM "Non-Linear Waves and Coherent Structures". **F. Chardard**
- 2014. Minisymposium "New frontiers in inpainting", SIAM Conference on Imaging Science, Hong-Kong, mai 2014. **S. Masnou**
- 2013. Journées Lagrange au CIRM. **S. Benzoni-Gavage** et G. Jouve.
- 2013. Workshop Nonlinear conservation laws and related models, Banff International Research Station, **S. Benzoni-Gavage** avec G.-Qi. Chen, W. Craig, C. Dafermos et K. Trivisa.
- 2013. Workshop « Dispersive Shock Waves » (CIRM, Janvier 2013). **P. Noble.**
- 2013. Ecole de Recherche CIMPA, Saint-Louis (Sénégal). **D. Le Roux.**
- 2013. Minisymposium à la conférence "1st Euro-Mediterranean Conference on Structural Dynamics and Vibroacoustics", Marrakech. **A. Zine.**
- 2013. Workshop on Mathematical topics in Kinetic Theory, Cambridge (UK), **F. Filbet, C. Mouhot.**
- 2013. Journées Thématiques du GdR Metice. **T. Lepoutre** et **L. Tine.**
- 2013. Congrès SMAI, Seignosse. **S. Masnou.**
- 2012. Workshop on "Kinetic Theory & Related fields : Theoretical and Numerical approaches" 24-28 Sept. 2012, Kyoto University, organizers : **F. Filbet, K. Aoki** and **S. Takata.**
- 2012. École EDP -probas pour la bio. **T. Lepoutre**
- 2012. 21ème conférence "Domain Decomposition Methods", Rennes. **D. Tromeur-Dervout.**

- 2011. Workshop on "Kinetic Theory & Computation" , Kyoto (Japon). **F. Filbet**, K. Aoki and S. Takata.
- 2011. Minisymposium MS1 - Modelling and Intensive Computation for Aquifer Simulations Parallel CFD 2011. **D. Tromeur-Dervout**.
- 2011. Workshop on "Vlasov Theory & Computation" 17-23 September 2011, Brown University. **F. Filbet**, P. Degond, G. Rein and J. Qiu.
- 2011. Minisymposium PARENG2011-S01 : Parallel preconditioning techniques, Parallel preconditioning Techniques, Pareng 2011. **D. Tromeur-Dervout**.
- 2011 Minisymposium à la conference SIAM PDE (San Diego). **T. Lepoutre**
- 2011 Mini--symposium au 7th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2011)), Vancouver, Canada. **L. Paoli** et **A. Petrov**.
- 2011. 1ère Semaine d'Etude Mathématiques et Entreprises, Paris, 4-8 avril 2011. **S. Masnou**
- 2010. 10ème Colloque Franco-Roumain de Mathématiques Appliquées, Poitiers. **F. Crauste** a organisé une session.
- 2010. Second Congrès de la Société Marocaine de Mathématiques Appliquées (SM2A), à Rabat (Maroc). **F. Crauste** a organisé une session.
- 2009. Workshop Mathematical Modeling in Biology and Medicine, à Dubrovnik (Croatie). **F. Crauste** et **L. Pujo Menjouet**.
- 2009. 8th International Workshop on Unstructured Mesh Numerical Modelling of Coastal, Shelf and Ocean Flows, 16-18 septembre 2009, Louvain-la-Neuve, Belgique. **D. Le Roux**.
- 2009. Symposium "Adaptive anisotropic mesh generation : Theory and practical aspects", 3rd International Conference on Approximation Methods and Numerical Modelling in Environment and Natural Resource. **N. Debit** et **A. Agouzal**
- 2009. Minisymposium MS8 : Parallel methods for solving ODEs, Conf. calcul scientifique en l'Honneur des 60 ans de Hairer, Genève Juin 10-20 Juin 2009. **D. Tromeur-Dervout**.
- 2009. Ecole d'été Modélisation Mathématique en Biologie et Médecine, Dubrovnik (Croatie). **S. Bernard**

Responsabilités éditoriales.

M. Ahues Blanchait est membre du comité éditorial de la revue Numerical Functional Analysis and Optimization.

S. Benzoni-Gavage est membre du comité éditorial du Journal de l'École Polytechnique depuis 2013 et membre du comité éditorial de la revue Confluentes Mathematici, depuis 2010.

I. Ciuperca est membre du comité éditorial de "Scientific World Journal" et "Scientific Studies and Research. Series Mathematics and Informatics, Université Bacau, Roumanie."

F. Filbet est éditeur associé EDP science - ESAIM Proc. depuis 2012.

G. Panasenko est membre du comité de rédaction de "International Journal of Computational Civil and Structural Engineering" depuis 1998 ; membre du comité de rédaction de "International Journal for Multi-scale Computational Engineering" depuis 2002 ; membre du comité de rédaction de "Applicable Analysis" depuis 2002 ; membre du comité de rédaction de "Complex Variables and Elliptic Equations Journal" depuis 2010.

L. Pujo-Menjouet est "Frontier review editor" du journal FRONTIERS in Systems Biology et membre du comité éditorial de ISRN Biomathematics.

V. Volpert est éditeur en chef du journal "Mathematical Modeling of Natural Phenomena", dont **L. Pujo-Menjouet** est éditeur associé.

Responsabilités scientifiques internationales, nationales et régionales.

Les membres de l'équipe sont régulièrement sollicités pour faire partie de comités de sélection, rapporter sur des thèses, des habilitations ou des articles. Ils participent également à plusieurs instances internationales, nationales ou régionales. La liste ci-dessous recense les principales responsabilités (hors responsabilités de projets financés qui sont énumérées dans la section concernée).

M. Ahues est membre du Comité d'Audit interne de l'Universidad de Concepcion, Chili. Il est aussi membre permanent du Steering Committee du congrès biennal "Integral Methods in Science and Engineering" (IMSE).

S. Benzoni-Gavage fut membre nommé de la section 26 du Conseil National des Universités (CNU) de 2007 à 2011, membre du comité SIMI1 (mathématiques et interactions) de l'ANR en 2010 et 2011, a effectué en 2012 des expertises pour le European Research Council (ERC) et l'Agenzia Nazionale di Valutazione del sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR), fut membre en 2012 du comité scientifique du Congrès national d'analyse numérique. Elle est membre en 2014 du comité scientifique des Journées Jeunes EDPistes Français à Fréjus, membre en 2014 du comité scientifique de la conférence internationale HYP2014 Hyperbolic problems : Theory, Numerics and Applications, Rio de Janeiro. Depuis 2003, elle est membre du comité scientifique des Journées EDP Rhône-Alpes-Auvergne.

S. Champier a participé en 2012 au groupe national de travail sur le référentiel de compétences pour la licence de mathématiques. Elle a également été experte à l'AERES pour l'évaluation des formations.

I. Ciuperca a été expert pour la fondation de recherche FRS-FNRS, Belgique.

F. Filbet est membre suppléant élu du CNU 26, membre du jury Prix de thèse SMAI-Gamni 2010-2011-2012-2013, membre du jury SMAI - Acad. Science - Blaise Pascal 2014, expert pour l'ANR, l'AERES, l'Agence de Recherche aux Pays Bas et la Région Aquitaine.

E. Fouassier est membre suppléant (élu) du CNU 26. A ce titre, elle a participé à part entière à la session de qualifications de 2012.

L. Grammont a fait partie de l'équipe qui a monté le projet de création d'une Unité Mixte Internationale du CNRS à Bangalore, l'IFCAM (Indo-French Centre for Applied Mathematics) coordonnée du côté français par J.-P Raymond (Toulouse).

T. Lepoutre est membre d'Opération Postes depuis 2010.

D. Le Roux est membre titulaire (nommé) du CNU, section 26, depuis 2011. Il a été expert pour l'INSU-CNRS en 2012.

V. Louvet a été directrice du GDR Calcul de 2009 à 2012 et responsable du réseau Calcul Scientifique de 2009 à 2011. Elle est membre du CA de la SMAI depuis 2011, responsable du groupe thématique MAIRCI de la SMAI depuis 2013, fut membre de comités ANR (Modèles Numériques) en 2012, 2013, 2014, et membre d'un comité AERES en 2011. Elle est membre de jurys de concours Ingénieur de Recherche CNRS et ministère, membre de la cellule HPC-PME Rhône-Alpes, PCN Infrastructure pour H2020, et représentante d'Allistène au GTN Infrastructure de Recherche.

S. Masnou a été membre du Comité National du CNRS, section 1 (décembre 2010 - août 2012), président du comité d'évaluation AERES du Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées, UMR 8050, Universités de Créteil et de Marne-la-Vallée (décembre 2013), et membre du comité d'évaluation AERES du laboratoire de Mathématiques d'Avignon (décembre 2011). Il est membre du bureau du GDR *Mathématiques et Entreprises* depuis 2010, et membre du comité de liaison GAMNI-AUM depuis juillet 2012.

P. Noble est membre du jury de l'agrégation externe de mathématique depuis 2008.

G. Panasenکو a expertisé des projets de recherche pour la Croatian Science Foundation (HRZZ), la Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF), Géorgie.

L. Paoli est membre titulaire (élu) de la section 26 du CNU depuis octobre 2011. Elle est également membre du comité scientifique des Journées EDP Rhône-Alpes-Auvergne.

A. Petrov a expertisé en 2013 l'enseignement de l'Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexique. Il a effectué une mission au Brésil en 2012 dont l'objectif était de participer avec des enseignants de l'UNESP à une sélection d'étudiants devant intégrer la filière internationale AMERINSA.

J. Pousin est expert au comité PHC Tassili 2008-2014 et expert au comité PHC Volubilis 2005-2013.

Y. Renard a été expert pour l'AERES en 2010

D. Tromeur-Dervout est membre depuis 2012 du comité de sélection des projets de l'axe2 de l'ARC6 de la Région Rhône Alpes. Il a été membre des comités scientifiques de la conférence "Parallel, Distributed, Grid and Cloud Computing for Engineering" en 2013, 2011 et 2009, et de la conférence "Parallel Computational Fluid Dynamics" en 2012, 2011, 2010 et 2009.

G. Vial fait partie du jury de l'agrégation externe de mathématiques depuis 2012. Il préside depuis juillet 2014 le comité 25/26 pour l'expertise PEDR de l'Université de Franche-Comté.

V. Volpert est membre du Board de l'ESMTB (European Society of Mathematical and Theoretical Biology) et membre de l'EISBM (European Institute for Systems Biology and Medicine) en tant qu'"executive committee".

Responsabilités scientifiques locales.

Les membres de l'équipe participent régulièrement aux comités de sélection pour les recrutements à l'ICJ. Nous recensons ci-dessous les autres responsabilités locales.

M. Ahues : Vice-président délégué à la qualité et l'évaluation de l'Université Jean-Monnet, Saint-Etienne, 2007-2011 et 2012-2015.

S. Benzoni-Gavage : depuis 2012, membre élu du Conseil Scientifique (CS) de l'UCBL. Depuis 2011, directeur adjoint de l'Institut Camille Jordan (UMR 5208). Depuis 2013, membre élu du Conseil du Département de Mathématiques de l'UCBL. Depuis 2013, membre au titre du CS du groupe de travail Patrimoine Scientifique et Diffusion de la Culture Scientifique, Technique et Industrielle de l'UCBL. Depuis 2014, Correspondant Mobilité Internationale du Département de Mathématiques de l'UCBL. De 2009 à 2013 : membre élu du Conseil d'UFR Faculté des Sciences et Technologies (FST) de l'UCBL. Depuis 2009, membre au titre de la FST des commissions Relations Internationales et Handicap de l'UCBL.

M. Bergot : Membre du comité consultatif, membre du conseil de département.

M. Boukrouche : membre élu du Conseil de Faculté (conseil d'UFR), depuis mars 2014. membre élu du comité du site stéphanois de l'Institut Camille Jordan depuis avril 2012.

E. Canon : Membre du comité local de Saint-Étienne.

S. Champier fait partie depuis 2012 de l'équipe d'évaluation du C2I2e pour les étudiants et les enseignants. Elle est responsable de la licence de mathématiques et du premier semestre commun aux licences de Mathématiques, MASS, Informatique, Physique et Chimie. Elle est membre élue du conseil de faculté depuis 2010.

F. Crauste : membre élu du comité de pilotage de l'Institut des Systèmes Complexes (IXXI) en Rhône Alpes depuis 2010. Membre élu du conseil de laboratoire de l'Institut Camille Jordan depuis 2010

N. Debit : Membre du Conseil de Gouvernance de Polytech Lyon. Membre du Comité de Direction de Polytech Lyon. Responsable de la Formation Continue et de la VAE au sein de Polytech Lyon. Responsable de stages inter et intra-entreprises.

S. Delcourte : Membre élu du Conseil de Gouvernance de Polytech Lyon (mandat de 2009 à 2013).

F. Filbet est directeur adjoint de l'école doctorale Infomath depuis 2012, membre du conseil du département de mathématiques de l'université Lyon 1. Il a été responsable de l'équipe "Modélisation mathématique et calcul scientifique" de 2009 à 2013.

E. Fouassier est élue au conseil de laboratoire.

T. Lepoutre : membre du conseil scientifique de l'ICJ en 2012

D. Le Roux : Responsable de la 4ème année (Master 1) du Département Mathématiques Appliquées et Modélisation (MAM), Polytech Lyon, depuis 2009. Responsable du comité consultatif Sections 25 et 26 depuis 2011. Membre du Comité scientifique de l'ICJ depuis 2011. Membre du Conseil de Département de la filière MAM de Polytech Lyon depuis 2011. Représentant à la Commission Recherche de la FST, Université Lyon 1, 2010-2014. Représentant au Conseil de Gestion du Département de Mathématiques, Lyon 1, 2010-2014.

V. Louvet : élue au conseil de laboratoire et au conseil de département, membre du bureau de la Fédération Lyonnaise de Modélisation et Sciences Numériques, et du bureau du projet CPER CIRA (Calcul Intensif en Rhône-Alpes), animatrice du réseau LyonCalcul.

S. Masnou : Responsable de l'équipe "Modélisation mathématique et calcul scientifique" depuis octobre 2013, membre du Comité exécutif du Labex MILYON, membre élu du Conseil de Laboratoire de l'Institut Camille Jordan, membre du Comité Consultatif 25/26 de l'Université Lyon 1, membre de la commission "Relation avec les entreprises" de la FST Université Lyon 1.

P. Michel : Membre du conseil scientifique de l'école Centrale de Lyon depuis 2012

G. Panasenko est directeur de la Structure Fédérative de Recherche Modélisation mathématique et Aide à Décision (MODMAD) FED 4169, membre du bureau de la Fédération de Recherche en Mathématique Rhône-Alpes-Auvergne FR CNRS 3490.

L. Paoli : membre élu du Conseil de Faculté (conseil d'UFR) à Saint-Étienne de février 2010 à février 2014. Membre du comité du site stéphanois de l'Institut Camille Jordan depuis avril 2012.

A. Petrov : Membre du Comité de Gestion et d'Animation du pôle de Maths de l'INSA de Lyon de 2006 à 2011.

L. Pujo-Menjouet : Membre du comité consultatif 25/26 de l'Université Lyon 1.

M. Rodrigues : Membre nommé puis élu du Comité Consultatif, sections 25/26 (Lyon 1) depuis 2011.

D. Tromeur-Dervout : responsable du département Mathématiques Appliquées et Modélisation de Polytech Lyon, directeur de la plateforme technologique de l'UCBL Centre pour le Développement du Calcul Scientifique Parallèle, Membre du CA de Polytech Lyon, membre du Comité de sélection 25/26 de Lyon 1, membre invité du comité de direction de l'ICJ.

G. Vial : élu au conseil scientifique de Centrale Lyon depuis 2013. Responsable de la filière "Mathématiques et ingénierie du risque" à Centrale Lyon.

M.-C. Viallon : Membre du comité scientifique de l'Institut Camille Jordan depuis 2012.

J. Vovelle : Membre du conseil de labo et membre du conseil scientifique de l'ICJ

A. Zine : membre élu du conseil scientifique de l'École Centrale de Lyon depuis 2009. Membre élu du conseil du Département de Mathématiques et Informatique. Membre de la commission des échanges universitaires de l'École Centrale de Lyon. **A. Zine** est correspondant pour les élèves de l'École Centrale de Lyon en provenance du Brésil avec qui il a des collaborations étroites aussi bien au niveau pédagogique que de la recherche. Il est également à l'origine de la mise en place d'un double diplôme avec l'École Nationale de l'Industrie Minérale de Rabat au Maroc. A ce titre, il est le correspondant des élèves en provenance de cette école (conseils dans le choix des cursus et suivi de la scolarité).

Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Les membres de l'équipe ont des collaborations régulières avec l'industrie, souvent dans le cadre de projets de recherche, parfois pour des activités de diffusion. Ces collaborations sont parfois ponctuelles, que ce soit sous forme de projet PEPS ou d'activités de conseil, mais elles ont lieu également fréquemment dans le cadre de projets à moyen terme du type ANR. L'évolution du format des programmes ANR laisse d'ailleurs penser que ce type de collaborations sera favorisé dans le futur. C'est un défi auquel l'équipe a la capacité scientifique de répondre, à condition cependant que le prochain départ à la retraite de **Thierry Dumont**, dont l'expertise en calcul scientifique est très grande, soit compensé par un recrutement adéquat.

Nous mentionnons ci-dessous plusieurs exemples de contacts avec l'industrie qui montrent l'importance que leur accorde l'équipe :

G. Bayada et **M. Jai** ont développé une coopération avec l'entreprise Renault sur la modélisation des écoulements lubrifiés dans les chemises/piston prenant en compte la cavitation. Cette collaboration s'est en particulier traduite par l'obtention d'une bourse Cifre (thèse d'Eric Dalissier) et 3 publications communes.

T. Clopeau et **N. Debit** ont collaboré en 2013 avec la société TPLM3D sur la mise en place d'outils variationnels pour le calcul d'incertitudes par des mesures de lasergrammétrie (contrat : 16k€)

T. Clopeau et **A. Mikelic** ont travaillé de 2008 à 2012 avec l'ANDRA sur l'étude de la fiabilité du stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde (contrat : 14k€/an)

T. Clopeau participe à l'organisation annuelle dans le cadre du Master Ingénierie Mathématique d'un forum entreprise (organisation mutualisée avec les responsables du master).

F. Crauste a collaboré en 2011 avec Merial (vaccin animal, actuellement membre du groupe Sanofi), financement d'un stage de 6 mois pour une étude de faisabilité. Depuis 2013, il collabore avec les sociétés AltraBio et TheCosmoCompany, dans le cadre du projet ANR PrediVac.

L. Grammont s'intéresse avec l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) aux applications industrielles des méthodes de "Reproducing Kernel Hilbert Spaces"

T. Dumont et **V. Louvet** ont été responsables d'un PEPS 1 AMIES pour une collaboration avec Intel sur l'optimisation de certaines méthodes numériques sur architectures de type *many-core*.

Y. Renard a développé des collaborations industrielles durant la période 2009-2014 (notamment avec les entreprises Michelin, Exxon-Mobil et Plaxis) sur la thématique de l'amélioration des méthodes d'éléments finis pour la modélisation numérique des problèmes de contact, de la multi-fissuration et des grandes déformations plastiques de structures mécaniques. Il a été, ou est porteur des projets suivants : Contrat EXXONMOBIL avec INSAVALOR (Multifissuration en milieux poreux, 2009-2010). Contrat PLAXIS avec INSAVALOR (Plasticité grandes déformations sous Getfem++, 2012-2015). Contrat Michelin avec INSAVALOR (Bifurcations sur les problèmes de contact avec frottement en grandes transformations, 2010-2012). Contrat Michelin avec INSAVALOR (Optimisation de la microstructure des pneumatiques, 2013-2014). Contrat Michelin avec INSAVALOR (Amélioration de l'approximation numérique des problèmes de contact, 2013-2014).

S. Masnou collabore dans le cadre du projet ANR MIRIAM (2014-2018) avec les sociétés DxO et Technicolor, ainsi qu'avec le CNES sur des problèmes de traitement d'images. Il a travaillé dans le cadre du projet ANR FREEDOM (2008-2010) avec le Centre National de la Cinématographie. Il est membre du GDR "Mathématiques et Entreprises" et a participé à deux reprises en 2011 à l'organisation de semaines "Mathématiques et Entreprises" où des entreprises ont l'opportunité de faire réfléchir des doctorants et des postdoctorants d'horizons géographiques et thématiques très divers sur des sujets à fort enjeu industriel. **S. Masnou** est également correspondant AMIES pour l'Institut Camille Jordan.

D. Tromeur-Dervout a été ou est responsable scientifique pour l'ICJ dans le cadre de plusieurs projets impliquant des industriels (cf la section *Participation à des projets financés*). En outre il a été invité en 2009 à faire un exposé à la Société des Ingénieurs de l'Automobile : Atelier Co-Simulation , Suresnes - SIA . Il a été invité en 2009 à faire un exposé aux Journées Scientifiques de l'ONERA : Nouvelles Frontières pour la Simulation des écoulements : Algorithmes et Processeurs, ONERA - Centre de Châtillon. Il a été invité en 2011 à faire un exposé au séminaire interne PSA, au sujet de la cosimulation en simulation fonctionnelle système (0D, 1D, physique et loi de commande). Il a été invité en 2013 par AMIES à tenir un stand pour présenter ses travaux sur les méthodes numériques pour le CHP aux Rencontres Inria Industrie : "Modélisation, simulation et calcul intensif : de puissants leviers pour la compétitivité des entreprises" à Paris. **D. Tromeur-Dervout** a réalisé en 2011 un contrat de recherche U.Lyon1/Mentor Graphics sur l'étude de la parallélisation de ELDO premier par des techniques de découplage de systèmes en sous systèmes avec de la POD. (7.5 KE). Entre 2012 et 2014 il a réalisé un contrat de recherche U.Lyon1/Siemens (LMS Imagine) portant sur l'initialisation des systèmes d'EDA. (45 KE).

V. Louvet participe activement à l'initiative HPC-PME destinée à soutenir et accroître la compétitivité des PME en leur facilitant l'accès au calcul haute performance.

Les membres de l'équipe sont par ailleurs très impliqués dans les activités de diffusion et de vulgarisation, dont voici un recensement :

Les conférences organisées par l'Université Ouverte permettent chaque année à plusieurs membres de l'équipe de faire découvrir leurs recherches au grand public. Y ont participé : **S. Benzoni-Gavage**, **S. Bernard**, **F. Crauste**, **S. Masnou**, **L. Pujo Menjouet**,

L'animation du site *Images des Mathématiques* occupe plusieurs membres de MMCS : **S. Benzoni-Gavage**, **F. Crauste**, **E. Fouassier**, **T. Lepoutre**, **J. Vovelle**.

Les membres de MMCS interviennent régulièrement auprès de collégiens, de lycéens ou à l'occasion de salons, forums, journées "Portes ouvertes" ou Fête de la Science, comme par exemple **S. Benzoni-Gavage**, **S. Masnou**, **L. Paoli**, **L. Pujo Menjouet** et **G. Vial**

E. Canon et **T. Lepoutre** participent régulièrement à MathÀLyon.

S. Benzoni-Gavage : 2013 : Participation à des émissions de radio : "La Tête au Carré" et "3D, le journal" sur France Inter. 2013 : Membre au titre du CNRS du comité exécutif du blog mpt2013.fr (2013, Mathématiques de la planète Terre, Un jour, une brève). Publication d'un livre prévue en 2014, Éditions du Nouveau Monde. 2013 : Corrections et préfaces de livres de la série Le Monde est mathématique (RBA & Le Monde). Depuis 2012 : une dizaine de conférences grand public (Rallye des mathématiques à Lyon, CIRM, lycées de Lyon, Carcassonne, Nîmes, colloque inter-IREM à Lyon, Fête de la Science à Nantes, Forum des mathématiques à Aix en Provence, entreprise Renault Trucks à Lyon) ; ateliers

Mathématiques de la planète Terre (lycées, Forum des mathématiques à Aix en Provence), ateliers Math@Lyon. Un stage de 3e en 2014.

S. Champier s'est fortement investie depuis 2010 dans tous les aspects pédagogiques. Elle fait partie du groupe de Valorisation des Enseignements Universitaires Scientifiques (VENUS) qui travaille entre autres sur l'innovation pédagogique. Dans ce cadre là, elle a mis en place en 2013 un travail de réflexion sur les nouveaux programmes de lycée, organisant des rencontres entre enseignants du secondaire et du supérieur, inspecteurs et proviseurs dans le but d'adapter le contenu des formations.

N. Debit est responsable de la Formation Continue et de la VAE au sein de Polytech Lyon et responsable de stages inter et intra-entreprises.

J. Pousin fut conférencier invité au colloque les mathématiques dans la société, Académie Lorraine des Sciences, Nancy, 2011.

Implication de l'équipe dans la formation par la recherche

Enseignements en master et en école doctorale.

Les membres de l'équipe sont très impliqués, que ce soit à Lyon ou à Saint-Étienne, dans les enseignements de M1 ou M2, ainsi que dans les enseignements en 3ème ou 4ème année de cycle ingénieur à l'École Centrale de Lyon et à Polytech Lyon. Ils encadrent très régulièrement des stages de recherche au niveau M2. Les membres de l'équipe sont également sollicités pour des formations de type M1 à l'étranger : **M. Ahues** a participé à un M1 délocalisé en Equateur impliquant 3 établissements locaux : Universidad Central del Ecuador (UCE), Escuela politécnica nacional del Ecuador (EPNE), Universidad de San Francisco de Quito (USFQ). **A. Zine** a participé à l'élaboration et la mise en place du programme de mathématiques de la seconde année du cycle ingénieur de l'École Centrale de Pékin. Il a également participé à cet enseignement plusieurs années.

Parmi les réalisations récentes en master à Lyon, plusieurs membres de l'équipe ont activement participé à la création du nouveau master Ingénierie Mathématique de l'université Lyon 1. En particulier, ils ont participé à la construction des deux parcours *Mathématiques pour la biologie et la médecine* (ouverture en 2013, responsable **L. Pujo-Menjouet**) et *Fluides et matériaux* (ouverture en 2014, responsable **S. Masnou**) dont les thèmes sont très fortement liés aux activités de recherche de l'équipe MMCS. Le premier parcours a attiré 15 étudiants dès sa première d'année d'existence et le second parcours devrait ouvrir à la rentrée 2014 avec une dizaine d'étudiants, ce qui montre l'attrait qu'exercent les formations proposées.

Des membres de l'équipe interviennent chaque année dans le parcours "Équations aux dérivées partielles et modélisation" au sein de la spécialité "Maths avancées" du master "Mathématiques et Applications" cohabilité par Lyon 1, l'École Normale de Lyon et l'École Centrale de Lyon. Ce parcours est mis en place dans le cadre d'une concertation entre les membres des équipes MMCS et EDPA, et certains collègues de l'ENS Lyon. L'offre de cours doit cependant suivre des règles qui nous semblent critiquables : le nombre de cours est très réduit (2 cours fondamentaux au premier semestre et 2 cours avancés au semestre de printemps) et le parcours est complètement renouvelé tous les deux ans. C'est un fonctionnement qui diffère totalement de celui des autres grands laboratoires de mathématiques en France, où une relative stabilité des enseignements fondamentaux (pas nécessairement des enseignants !) et une offre de cours plus conséquente permettent de donner une identité scientifique claire et stable à la formation. Le nombre extrêmement réduit des étudiants (parfois moins de 5) ayant suivi l'un des parcours "EDP/Modélisation" ou "Probabilités" au cours des dernières années, et en particulier le nombre anormalement faible des normaliens lyonnais qui s'y inscrivent, nous font penser qu'il est absolument nécessaire de repenser la structure de la spécialité "Maths avancées" de façon à augmenter l'attractivité de ces parcours. Cela permettrait également d'augmenter mécaniquement le nombre de thèses préparées dans ces domaines au sein de l'ICJ.

Il nous semble important de souligner que les masters "Maths en Action" et "Maths avancées" sont complémentaires. Le master "Maths en Action" met fortement l'accent sur les applications alors que le master "Maths avancées" est traditionnellement tourné vers les aspects plus théoriques. Les deux points de vue sont consubstantiels aux activités de recherche de l'équipe MMCS, ce qui d'ailleurs abonde

dans le sens d'une offre de cours plus importante dans chacun des deux masters, où les membres de MMCS ont naturellement vocation à intervenir.

Plusieurs membres de l'équipe interviennent dans des enseignements d'école doctorale à Lyon ou à Saint-Étienne : **M. Ahues** enseigne les "Grands systèmes" au sein de l'École Doctorale Sciences-Ingénierie-Santé, Université Jean Monnet Saint-Etienne. **M. Boukrouche** et **L. Paoli** assurent conjointement un cours de "Problèmes à frontières libres" en école doctorale à Saint-Étienne. **V. Louvet** a donné un cours d'école doctorale "Informatique scientifique" en 2010 à Lyon 1. **G. Panasenko** a donné un cours "Modélisation Mathématique" dans le cadre de l'ED SIS à l'UJM en 2012, 2013 et 2014.

Les membres de l'équipe sont régulièrement sollicités pour des cours de type école doctorale ailleurs en France ou à l'étranger : **S. Benzoni-Gavage** a donné un cours d'école d'été à Levico en 2010 et à Peyresq en 2013, **E. Fouassier** a donné en septembre 2009 un mini-cours "Schrödinger equations and semiclassical analysis" lors du programme intensif Mathnanosci "When mathematics meet nanosciences" organisé par l'Université de L'Aquila (public : doctorants, étudiants de M2 européens). **S. Masnou** a donné en 2013 un cours sur la restauration d'images à l'université de Vérone (Italie) dans le cadre d'une école d'automne en traitement des images. Il a également donné un cours sur les fonctions à variation bornée à Martel en 2011 à une école de printemps en traitement des images. **L. Paoli** a donné un cours dédié aux aspects mathématiques liés à la mécanique du contact dans l'école d'été « Nonsmooth contact mechanics : modeling and simulation » organisée en septembre 2012 par B. Brogliato (Inria Rhône-Alpes). **A. Petrov** a donné un cours en 2013 à l'Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexique.

Encadrement doctoral et postdoctoral.

Entre 2009 et 2014, 28 thèses ont été soutenues à l'ICJ avec un encadrement ou un coencadrement par un membre de l'équipe MMCS. Il faut y ajouter les 14 thèses soutenues hors ICJ mais co-encadrées à l'ICJ au sein de MMCS (voir liste complète en annexe). Une grande majorité des docteurs MMCS de Lyon 1/UJM continuent dans la recherche, que ce soit sur un poste permanent ou en postdoctorat. Actuellement, 28 thèses sont en cours (dont 27 à l'ICJ). La création récente du master Ingénierie Mathématique à Lyon 1 devrait logiquement déboucher dans les années qui viennent sur une augmentation du nombre de thèses préparées au sein de l'équipe. Nous espérons également une réforme à terme de la spécialité "Maths avancées" du master "Mathématiques et Applications" afin qu'elle gagne en attractivité et qu'elle permette d'accroître l'encadrement doctoral.

Quant à l'activité postdoctorale, 11 jeunes chercheurs ont participé aux activités de recherche de l'équipe entre 2009 et 2014 (3 postdoctorants sont actuellement présents dans l'équipe).

Stratégie et perspectives pour le futur contrat

En dépit de sa taille et de sa dispersion géographique, l'équipe MMCS s'efforce de mener une recherche de qualité au spectre très large, alliant analyse théorique, modélisation, analyse appliquée, analyse numérique et calcul scientifique. Le recrutement de l'équipe en 2014 est d'ailleurs emblématique puisque les recherches de K. Saleh relèvent de l'analyse numérique et du calcul scientifique tandis qu'A Boritchev est un analyste des EDP avec une composante stochastique.

Parmi les principaux défis d'organisation auxquelles l'équipe MMCS est confrontée figurent en premier lieu sa taille et la dispersion géographique de ses membres, qui rendent difficiles les relations intra-équipe. En outre, la fusion Lyon-Saint-Étienne a permis la constitution d'une grande équipe de mathématiques appliquées mais elle a également eu des conséquences concrètes désagréables, parmi lesquelles l'arrêt du séminaire de mathématiques appliquées à Saint-Étienne. C'est un frein évident au dynamisme local, puisque moins de chercheurs extérieurs au laboratoire sont amenés à visiter Saint-Étienne, et il n'est pas toujours simple pour les membres stéphanois de MMCS de se libérer toute une après-midi pour venir assister à Lyon aux différents séminaires, et notamment au séminaire de l'équipe qui a lieu tous les 15 jours. L'expérience des autres laboratoires multi-sites prouve qu'un séminaire itinérant entre Lyon et Saint-Étienne, à une telle fréquence, ne serait pas raisonnable. Une discussion a donc été amorcée au sein de l'équipe sur l'intérêt que pourrait avoir l'utilisation d'un système de

visio-conférences pour retransmettre le séminaire bihebdomadaire, d'autant plus qu'une salle équipée existe déjà à Saint-Étienne. Cette discussion doit toutefois être poursuivie au niveau du laboratoire puisqu'elle concerne l'ensemble des équipes.

Le nombre de thèses préparées au sein de l'équipe doit être augmenté. Les efforts fournis par les membres de MMCS pour la mise en place des parcours *Mathématiques pour la biologie et la médecine* et *Fluides et matériaux* au sein du M2 "Maths en Action" vont dans la bonne direction. Il faut également souhaiter qu'une discussion soit engagée entre l'Institut Camille Jordan et l'ENS Lyon sur la structure du M2R "Maths avancées" car trop peu d'étudiants (notamment de l'ENS Lyon) s'inscrivent dans les parcours "EDP/modélisation" et "Probabilités".

Pour ce qui relève de la recherche, les perspectives de développement de MMCS sont nombreuses et nous pouvons en tracer quelques unes :

- les créations récentes des équipes Inria Dracula et Kaliffe, portées par des membres de l'équipe, sont venues confirmer deux axes de recherche forts au sein de MMCS :
 1. les biomathématiques, dont le dynamisme scientifique est remarquable et qui ont su développer des échanges fructueux avec la médecine et la biologie. Le groupe s'est beaucoup renforcé ces dernières années avec l'arrivée de deux chercheurs Inria et d'un MCF lors du dernier quinquennal, et il a maintenant une très bonne visibilité internationale. Le recrutement d'un PR serait très certainement bénéfique pour que le groupe puisse continuer son développement.
 2. l'analyse mathématique et numérique de modèles cinétiques, avec des applications à la physique des plasmas. La qualité des recherches sur ce thème avait déjà été consacrée par l'attribution d'une ERC Starting Grant à F. Filbet. Un groupe de travail est né au sein de MMCS sur cette thématique, et il regroupe aussi bien des théoriciens que des numériciens. Les questions de modélisation y sont fondamentales, tout comme les questions théoriques et numériques. Le calcul scientifique devrait jouer un rôle important en raison de la dimension des problèmes numériques et de la nécessité d'avoir recours à des approches multi-échelles.
- les recherches sur les interactions fluide-structure, les problèmes de contact ou de déformation, les écoulements newtoniens / non newtoniens, l'étude de phénomènes asymptotiques et multi-échelles concernent un grand nombre de membres de l'équipe sur l'ensemble des sites. Le regroupement au sein de l'ICJ des chercheurs lyonnais et stéphanois a en effet permis la naissance d'un groupe très important et de grande qualité sur ces thématiques, encore renforcé en 2014 avec la décision d'Andro Mikelic de rejoindre l'équipe MMCS. Des collaborations existent déjà avec des laboratoires de physique, de mécanique, de chimie ou de tribologie. Il pourrait être intéressant de profiter de la dimension du groupe pour faire naître de nouvelles collaborations, par exemple sur les questions de modélisation liées à la matière condensée ou aux nanomatériaux qui ont émergé ces dernières années et qui font l'objet de recherches actives par les physiciens de l'Institut Lumière Matière, situé juste à côté du bâtiment Braconnier qui héberge une partie de l'ICJ. Il est certain qu'il y a là matière à de nombreuses recherches théoriques et numériques pour des mathématiciens appliqués.
- les recrutements au cours de la période de référence ont permis l'émergence d'un groupe significatif de chercheurs de MMCS travaillant dans les domaines du traitement des images, de la géométrie discrète et de l'optimisation de forme. Il s'agit de thématiques très représentées en région Rhône-Alpes, notamment à Grenoble avec les mathématiciens du laboratoire Jean Kuntzmann, mais aussi au sein des laboratoires d'informatique de Lyon (LIRIS, CREATIS) et de Grenoble. Il existe donc de multiples perspectives de collaborations et de développement que l'équipe devra saisir. Les perspectives de collaborations industrielles au niveau national sont également nombreuses, comme en témoigne l'attribution du projet ANR MIRIAM ("Restauration Multi-Images : des Mathématiques Appliquées à l'Industrie de l'Imagerie", 2014-2018) dont l'ICJ est partenaire.
- l'attribution du projet ANR BoND ("Boundaries, Numerics and Dispersion", programme Blanc, 2013-2017), porté par S. Benzoni-Gavage, montre la qualité des travaux engagés au sein de MMCS sur les questions de perturbations dispersives de problèmes hyperboliques et l'approximation numérique de problèmes aux limites. Il s'agit d'une direction de recherche pertinente et prometteuse.

- la modélisation faisant intervenir des termes stochastiques est de plus en plus présente dans la recherche mondiale. Différents travaux théoriques et de modélisation dans un contexte aléatoire ont été menés ces dernières années au sein de MMCS, et le recrutement récent d'A. Boritchev montre l'importance qu'accorde l'équipe à ces questions. Une perspective de développement futur serait le recrutement d'un chercheur en analyse numérique capable de développer des méthodes numériques pour les EDP stochastiques.
- la structuration de l'activité de calcul scientifique au sein de l'équipe devrait se poursuivre et les axes de développement possibles sont nombreux, que ce soit vers les méthodes numériques pour les EDP stochastiques que nous venons d'évoquer ou pour tenir compte de l'évolution du calcul intensif dans le cadre de l'émergence d'architectures hybrides (CPU et cartes accélératrices) pour lesquelles les méthodes numériques et les algorithmes traditionnels sont inadaptés. Il existe de multiples perspectives de collaborations avec les autres laboratoires de Lyon et Saint-Étienne concernés par le calcul intensif, notamment en mécanique des fluides et plus généralement en physique computationnelle, mais aussi avec l'industrie. Un effort important de synergie devra être fourni. Il est toutefois indispensable, pour que l'activité de calcul se développe, que soit renouvelé le poste d'ingénieur de recherches Lyon 1 de Thierry Dumont, qui partira prochainement en retraite et dont l'expertise en calcul est extrêmement précieuse.

Concernant l'évolution de l'équipe, on peut regretter que MMCS n'ait pas réussi à attirer de nouveaux CR ou DR CNRS durant la période d'évaluation, alors que les autres équipes de l'ICJ se sont considérablement renforcées ces dernières années. L'équipe s'efforce chaque année de repérer les jeunes docteurs et de solliciter des candidatures, même si cela n'a pas porté ses fruits jusqu'à présent.

En conclusion, l'équipe MMCS souhaite se renforcer en attirant de jeunes chargés de recherche sur les thématiques de modélisation, calcul scientifique et EDP, en recrutant davantage de doctorants et post-doctorants, et en invitant des chercheurs étrangers pour des périodes longues.