

# UNITÉ DE RECHERCHE DOCUMENT PROJET

Le dossier Projet comprend, le présent document Projet (incluant l'organigramme cible en fin de document) ainsi que le fichier Excel « Données du prochain contrat ».

## INFORMATIONS GÉNÉRALES

**Nom de l'unité pour le contrat en cours :** Institut de Mathématiques de Marseille

**Acronyme pour le contrat en cours :** I2M

**Label et numéro :** UMR 7373

**Nombre d'équipes :** 5

**Domaine scientifique principal :** ST Sciences et Technologie

**Domaine scientifique (si évaluation interdisciplinaire, indiquer 2 domaines) :**

**Sous-domaines scientifiques (dans la nomenclature du Hcéres) par ordre décroissant d'importance :**

**Sous-domaine 1** ST1 Mathématiques

**Sous-domaine 2** ST6 Sciences et technologies de l'information et de la communication

**Directeur pour le contrat en cours :** Peter Haïssinsky

**Directrice / directeur pour le prochain contrat :**

## Type de demande :

Renouvellement à l'identique  Fusion, scission, restructuration  Création ex nihilo

## Établissements et organismes tutelles :

Liste des établissements et organismes tutelles de l'unité de recherche pour le contrat en cours et pour le prochain contrat.

Contrat en cours :	Proposition pour le prochain contrat :
- Université d'Aix-Marseille	- Université d'Aix-Marseille
- CNRS	- CNRS
- École Centrale de Marseille (tutelle partenaire)	- École Centrale de Marseille (tutelle partenaire)

## PROJET ET STRATÉGIE À CINQ ANS

Ce document a été rédigé en commençant par présenter l'Unité, puis en déclinant les items pour les cinq équipes du laboratoire.

### Projet de l'unité

#### Analyse SWOT

Ce tableau synthétise l'analyse SWOT qui est ensuite détaillée par la suite. On observera que certains items sont à la fois source d'opportunité et de risques. Dans ce cas, ils ne sont explicités qu'une seule fois.

Points forts	Points à améliorer
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laboratoire de grande taille</li> <li>- Large spectre thématique, aussi bien fondamentales qu'appliquées</li> <li>- Production scientifique de très grande qualité</li> <li>- Rayonnement international (nombreux prix et invitations)</li> <li>- Nombreuses interactions scientifiques sur des défis sociétaux</li> <li>- Dynamisme des activités de recherche en interne avec 16 séminaires ou groupes de travail</li> <li>- Recrutements au meilleur niveau</li> <li>- Liens privilégiés avec le CIRM</li> <li>- Thématiques à l'interface avec l'informatique</li> <li>- Activité soutenue de diffusion des mathématiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence au laboratoire</li> <li>- Cohésion et communication interne</li> <li>- Gestion interne du multisite</li> <li>- Organisation des mathématiques fondamentales</li> <li>- Accompagnement de nos jeunes collègues, en particulier les doctorants</li> <li>- Stabilité de l'équipe de direction</li> <li>- Parité de genre</li> </ul>
Possibilités offertes par l'environnement.	Risques liés à l'environnement.
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépendance multitutelle</li> <li>- Participation de l'I2M dans les programmes issus des PIA</li> <li>- Implication de l'I2M dans les programmes nationaux et internationaux de l'INSMI et du CNRS (GdR, IRL, ...)</li> <li>- Implication de l'I2M dans les instituts d'établissement, en particulier l'institut Archimède</li> <li>- Proximité du CIRM</li> <li>- Déménagement à Saint-Charles</li> <li>- Présence de l'hôtel à projets Eureka au sein de la Cl-SAM</li> <li>- Besoin croissant de mathématiques dans l'économie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vieillesse du laboratoire (50% des membres de plus de 50 ans) et départs non compensés</li> <li>- Multisite (3 sites de recherche, 5 sites d'enseignement...)</li> <li>- Pression sur la recherche interdisciplinaire au détriment des mathématiques fondamentales</li> <li>- Faiblesse du nombre de contrats doctoraux à l'ED Maths-Info</li> <li>- Faiblesse du nombre de post-doctorats</li> <li>- Forme des appels à projets inadaptée à la pratique de la recherche en mathématiques</li> <li>- Déménagement sur Saint-Charles dans des locaux sous-dimensionnés</li> <li>- Dépendance multitutelle</li> <li>- Complexité, technicité et lourdeur grandissantes des tâches administratives (process, tickets, évaluations permanentes...)</li> <li>- Déshumanisation des rapports dans une structure de trop grande taille</li> <li>- Démultiplication des guichets et des sources de financement</li> </ul>

L'étude menée par l'INSMI sur l'impact des mathématiques sur l'économie en France montre que son importance est en forte croissance pour atteindre une contribution de 18 % du PIB en 2019. En outre, 3,3 millions d'emplois salariés sont impactés par les mathématiques, soit 13 % de l'emploi salarié total en 2019. Au niveau de la région PACA, elles impactaient déjà 211 000 emplois salariés.

Toujours d'après cette étude, les secteurs les plus riches en emplois impactés par les mathématiques sont en proportion :

- Les services informatiques (78% des emplois sont impactés par les mathématiques) ;
- La recherche-développement scientifique (72%) ;
- La production et distribution d'électricité et de gaz (59%) ;
- Les télécommunications (59%) ;
- La fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques (57%).

De nouveaux enjeux émergent concernant notamment la planète Terre —l'évolution du climat en particulier— auxquels les mathématiques peuvent beaucoup apporter. Elles se sont dotées d'un Groupement d'intérêt scientifique (l'IMPT) au CNRS qui permet de coordonner son développement au niveau national et de garantir une visibilité internationale.

Les applications d'aujourd'hui reposent souvent sur les avancées d'hier, aussi abstraites soient-elles : les développements théoriques sont donc les fondements de ce large impact sur le monde socio-économique. La recherche de pointe, des mathématiques pour elles-mêmes —exploratoires, détient les cartes de notre avenir.

L'Institut de mathématiques de Marseille (I2M) est la seule unité mixte de mathématiques en Provence. En tant que tel, il est donc le seul à même de piloter les projets de recherche en mathématiques et d'assurer son transfert vers le monde socio-économique. A ce propos, l'I2M contribue aux services informatiques, à la recherche-développement scientifique, au domaine des énergies, télécommunications et climat.

Son rôle est la production du savoir, son organisation et sa diffusion, aussi bien disciplinaire que pour ses applications ; cela inclut la formation des jeunes et la diffusion auprès du grand public. Vis-à-vis des tutelles et du monde socio-économique, il a pour but de faire contribuer les mathématiques à l'économie d'aujourd'hui et de demain. En interne, il doit fournir les conditions de travail adéquates à ses membres pour leur permettre d'accomplir leurs missions en leur garantissant des espaces de travail, de discussions et d'échanges d'idées, en leur permettant de partir en mission, d'inviter des collègues, d'organiser des événements de toute sorte.

L'Institut de Mathématiques de Marseille a l'ambition de se placer parmi les laboratoires de mathématiques de tout premier plan, non seulement au niveau national, mais également sur la scène internationale. Il en a le potentiel et la volonté, il suffit d'exploiter ses atouts. Plusieurs ingrédients sont nécessaires pour cette réussite : une politique audacieuse et dynamique en interne, mais aussi une politique volontariste des tutelles, notamment en local, qui tienne compte des spécificités de la discipline et de son mode opératoire. Nous avons avant tout besoin de la confiance de nos tutelles afin de nous laisser conduire notre politique scientifique dans de bonnes conditions.

On commence l'analyse *SWOT* en décrivant les points forts de l'I2M et en présentant les opportunités offertes par son environnement, avant d'expliquer les risques qui nous inquiètent et les points que nous devrions tâcher d'améliorer en interne, puisqu'ils découlent en partie des risques encourus.

## Points forts

Le potentiel de l'I2M se lit sur différents champs.

- L'I2M est un laboratoire de très grande taille, d'environ 300 membres, couvrant un spectre scientifique très large et cohérent allant du plus théorique au plus appliqué. Le graphe de la figure

1 en est une illustration. La force de notre laboratoire tient d'une part dans le nombre important de cellules et d'arêtes de ce graphe, d'autre part dans sa connexité : seule l'histoire des mathématiques et l'étude des équations cinétiques sont isolées. Cette connexité souligne la cohérence de notre activité, et permet le transfert des connaissances des plus théoriques vers les plus appliquées, et réciproquement la promotion de problèmes socio-économiques et industriels pour développer des nouvelles théories.

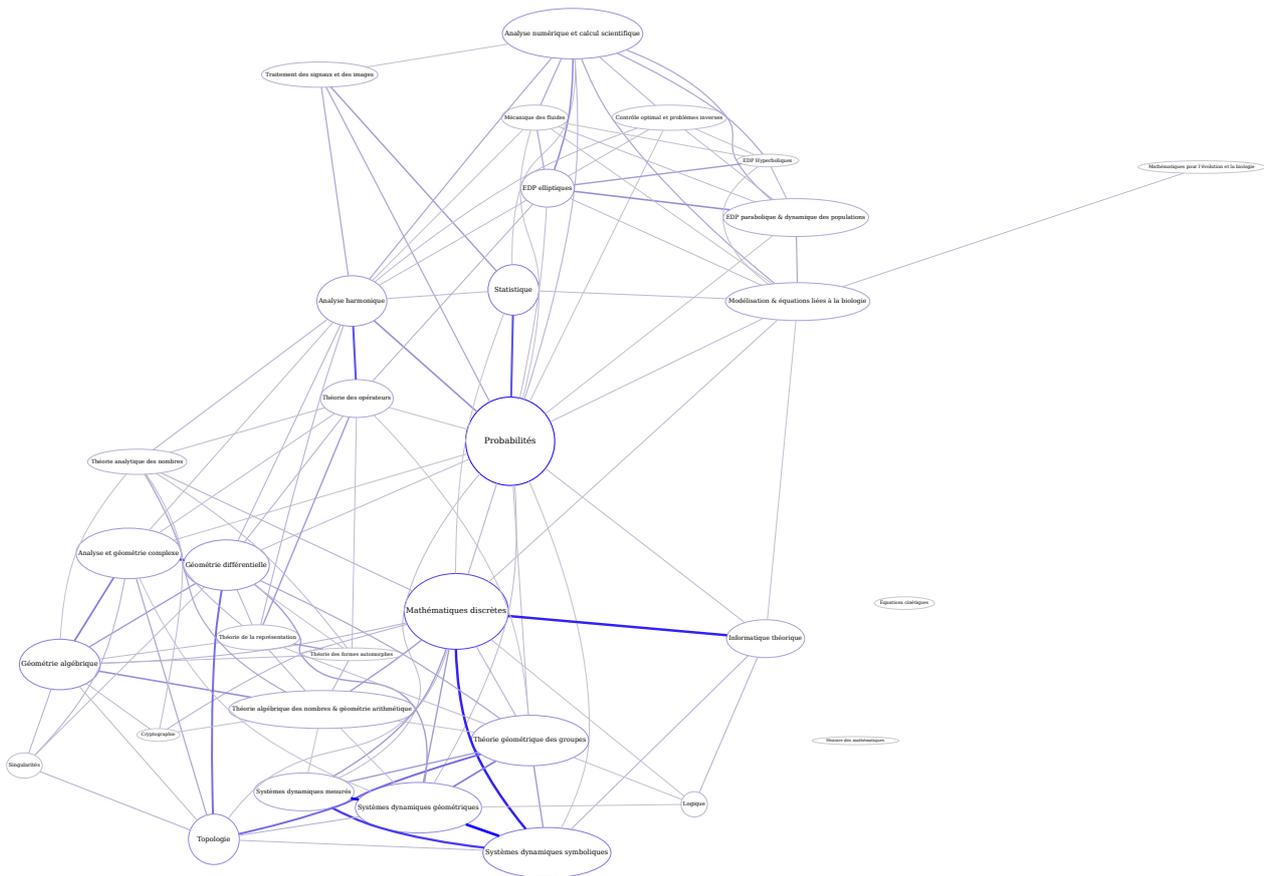


FIGURE 1 – **La recherche à l’I2M** : Les cellules représentent des thèmes mathématiques couverts par l’I2M et les arêtes relient deux thèmes lorsque au moins quatre membres du laboratoire sont experts de ces deux domaines.

- Il est composé de membres de très grande qualité scientifique, et de renommée internationale. Les invitations à des congrès prestigieux l’attestent, notamment au séminaire Bourbaki, et au Congrès International de Mathématiciens (deux membres de l’I2M étaient invités au Congrès de 2022). Notons aussi les nombreux prix reçus par des membres du laboratoire : prix de l’innovation, membres de l’IUF, prix Marc Yor, etc.
- L’I2M propose de nombreuses activités de recherche (16 séminaires hebdomadaires —quelques-uns virtuels, des groupes de travail…), ce qui en fait un lieu dynamique et accueillant.
- L’I2M bénéficie de ses relations privilégiées avec le CIRM, grand instrument national, qui constitue l’un —pour ne pas dire le— plus grand centre de conférences au monde pour les mathématiques et ses interactions. Comme activités phare, nous mentionnerons la Chaire Morlet (invitation d’un chercheur de renommée internationale par un membre du laboratoire pour animer un programme de recherche pendant six mois) qui fonctionne toute l’année, ainsi que le mois thématique (entre 4 et 5 semaines de conférences sur une thématique donnée organisée par des membres de l’I2M sur quatre ou cinq semaines en février).

- On notera également le rayonnement international impressionnant de ses membres qui ont de nombreuses collaborations à l'étranger, sont invités à des conférences sur tous les continents.
- Ces atouts permettent de faire des recrutements de grande qualité qui donnent de nouvelles impulsions au laboratoire.

**Mathématiques-informatique.**— L'I2M a une forte activité de recherche à l'interface des mathématiques et de l'informatique depuis de longues années. Elle se décline de manière différente selon les équipes concernées et par des entrées diverses vers le Laboratoire d'informatique et systèmes.

L'implication de l'I2M dans les mathématiques-informatique se traduit pour commencer par la présence au laboratoire de chercheurs CNRS des sections 6 et 7 (au nombre de six) ainsi que d'enseignants-chercheurs relevant de la section 27 (au nombre de trois). Ces membres sont très bien intégrés dans leurs équipes respectives. Cette immersion apporte des points de vue nouveaux et complémentaires aussi bien aux informaticiens qu'aux mathématiciens de formation.

L'équipe AGLR a deux sous-équipes qui a des liens profonds avec l'informatique. D'une part, la sous-équipe ATI, avec ses contributions à la cryptographie et d'autre part la sous-équipe LdP qui traite principalement de logique.

L'équipe ALEA a également deux sous-équipes qui entretiennent des liens avec l'informatique : les sous-équipes de statistique et de théorie du signal, pour leurs contributions aux sciences des données et à l'intelligence artificielle.

Enfin, l'équipe GDAC a des contributions à l'informatique théorique par l'étude de la combinatoire des mots, des automates cellulaires, en lien avec les pavages et la dynamique symbolique.

Il est intéressant d'observer que ces contributions touchent à la fois l'informatique théorique et appliquée ; elles sont réparties dans plusieurs équipes du laboratoire. De nombreux collègues se reconnaissent dans les mathématiques discrètes, un sujet à la frontière des deux disciplines, cf. le graphe des thèmes. L'intérêt de développer ces sujets provient du point de vue adopté qui donne une approche mathématique à des sujets qui relèvent aujourd'hui plus généralement de l'informatique. Cela produit de nombreux travaux originaux qui ont un impact important. Il est également à noter que l'I2M est particulièrement attractif dans ces sujets.

Enfin, de nombreux collègues de l'I2M sont membres du GDR Informatique-Mathématiques. Lors de son renouvellement, Guillaume Theyssier, membre de l'I2M, devrait en prendre la codirection et l'I2M sa gestion financière. Un mois thématique sur le sujet est aussi en préparation.

**Interactions scientifiques.**— L'I2M a une bonne connaissance de son environnement de recherche : il est impliqué dans les différents PIA, les instituts d'établissements d'AMU, les instruments de l'INSMI (CIRM, IMPT, IRL, GDR, etc.). Cela lui permet de relever des défis sociétaux dans différents domaines :

- Recherches théoriques et numériques sur la fusion (collaborations de l'équipe AA avec l'institut ISFIN et le CEA)
- Modélisation du cancer et de l'impact des traitements (collaboration de l'équipe AA avec l'institut Centuri, et le CR02)
- Schémas numériques pour les écoulements complexes (collaboration avec l'IRSN qui a abouti à l'obtention de la médaille de l'innovation du CNRS par R. Herbin)
- Modélisation des épidémies, et de l'évolution biologique (équipes AA, ALEA-MEB)
- Modélisation des réseaux d'interaction biologiques (équipe ALEA-MABios)
- Cybersécurité (équipe AGLR)
- Quantique (équipe GDAC)
- Préservation de la planète Terre (équipes AA et ALEA-Stat au sein de l'IMPT)

**Diffusion des mathématiques.**— L'I2M a une longue tradition de diffusion scientifique auprès des jeunes et du grand public qui ne fait que s'amplifier. Cette diffusion est orchestrée par des membres de plusieurs équipes et s'exprime par différents biais.

Au niveau institutionnel, l'I2M est représenté par ses membres dans de nombreuses structures de diffusion (Animaths, Maths en jeans, Audimaths, Club et Laboratoires des maths, etc.). Il intervient également dans les programmes de l'IREM (devenu IRES cette année) depuis de nombreuses années. Ses membres participent à la rédaction des « Images des mathématiques ». Ils font de nombreuses interventions tout au long de l'année dans les lycées et collèges de la région. Ils sont aussi partie prenante dans des manifestations comme les « Treize minutes Marseille », le « Pi day », et autres, et sont à l'origine de « l'école des Cigales » dont l'objet est de sensibiliser les lycéennes à la recherche en mathématiques. La diffusion scientifique n'est pas seulement nationale, mais également internationale. Nous comptons de nombreux co-organiseurs d'écoles CIMPA par exemple, et aussi l'organisation de masters en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso.

L'I2M est aussi très investi dans les liens avec les arts, notamment à travers la visualisation des mathématiques : création d'objets, scénarii de films, bandes dessinées, etc.

Ces activités ont été récompensées par le prix d'Alembert à deux reprises. Plus récemment, le prix du défi « diffusion » des Assises des mathématiques a été décerné à une de nos collègues ce 15 novembre 2022.

### Possibilités offertes par l'environnement

L'I2M est très bien intégré dans le tissu local et national. Nous profitons donc pleinement de nos deux tutelles principales que sont AMU et le CNRS qui nous offrent de nombreuses opportunités et nous avons un bon taux de réussite aux appels à projets auxquels nous répondons.

### Les Projets d'Investissement d'Avenir

**PIA1.** — Les mathématiciens et informaticiens d'AMU ont obtenu un LabEx mathématiques-informatique nommé « Archimède » avec pour vocation d'appuyer les laboratoires partenaires, dont l'I2M, mais aussi les laboratoires d'informatique (LIF et LSIS devenus LIS), le CPT (physique théorique), et le CIRM.

**PIA2.** — AMU héberge deux instituts de convergence parmi les cinq nationaux qui proviennent du PIA2 : l'Institut CentTuri (Centre Turing des Systèmes vivants) et l'ILCB (Institut Langage, Communication et Cerveau), des structures intrinsèquement inter et pluridisciplinaires. L'I2M est impliqué dans ces deux instituts depuis leurs créations.

**PIA3.** — AMU a obtenu différents financements davantage tournés vers la formation par la recherche (appel SFRI obtenu avec le projet TIGER) et vers le renforcement de l'attractivité internationale et le développement partenarial (appel IDÉES obtenu par le projet IDÉAL). Ces projets sont portés par A\*Midex. Nous sommes aussi partie prenante dans le projet AMPIRIC (projet SFRI).

**PIA4.** — Ce quatrième volet des projets d'investissement d'avenir est tout juste lancé. L'I2M est impliqué de manière plus ou moins directe sur différents projets « PEPR ».

### L'insertion dans AMU

A la fin des LabEx, AMU par le biais d'A\*Midex a mis en place des « instituts d'établissement » dont la vocation affichée est l'interdisciplinarité et le lien formation-recherche, à insérer entre les composantes d'AMU et les laboratoires. A partir de 13 LabEx, 18 instituts ont vu le jour avec des financements variables.

L'I2M est impliqué dans cinq d'entre eux :

— Institut Archimède Mathématiques-Informatique (AMI)

- Institute Marseille Imaging (Marseille Imaging)
- Institut Marseille Maladies rares (MarMaRa)
- Institut Sciences de la Fusion et de l'Instrumentation en Environnements Nucléaires (ISFIN)
- Institut Laënnec - Sciences numériques et intelligence artificielle pour la santé

L'I2M fait partie de la FRUMAM (Fédération de Recherche des Unités de Mathématiques de Marseille) dont les locaux sont situés à Saint-Charles. La FRUMAM héberge plusieurs séminaires et groupes de travail transverses, finance des journées à thèmes, des invitations, des manifestations scientifiques... Surtout, elle est un lieu de rencontres important pour les chercheurs du sud et du nord. L'institut est également très investi dans l'IREM de Marseille transformé récemment en IRES.

### **Le CIRM**

La présence du CIRM (Centre International de Rencontres Mathématiques) sur le campus de Luminy, est un des grands atouts du laboratoire. Il permet l'organisation de multiples manifestations scientifiques tout au long de l'année, et attire à Marseille les mathématiciens du monde entier, donnant une grande visibilité à Marseille et à l'I2M. Deux manifestations annuelles sont particulièrement importantes pour l'I2M : la chaire Jean Morlet et le mois thématique.

### **Les interactions nationales et internationales offertes par l'INSMI et le CNRS**

L'I2M est impliqué dans une trentaine de GDR couvrant ainsi un large spectre scientifique et offrant une visibilité nationale sur un maillage très serré. Nous contribuons à la politique nationale de mobilité de ses membres afin de renforcer la circulation des idées et le rayonnement du laboratoire. Il participe aux enjeux sociétaux, comme l'IMPT et ses membres ont été partie prenante dans les Assises des mathématiques.

Il est également investi dans les laboratoires internationaux de l'INSMI (IRL) et nous répondons aux appels à projet internationaux comme les contrats doctoraux.

### **L'insertion socio-économique**

L'I2M est impliqué dans le transfert des connaissances vers le tissu socio-économique. En particulier, l'I2M a fourni à La Cité de l'Innovation et des Savoirs Aix-Marseille une cartographie détaillée de ses compétences afin de pouvoir répondre à ces enjeux. En complément, l'I2M est présent dans l'hôtel à projet Eureka, dont le responsable est Frédéric Richard (I2M) qui vise plus particulièrement les entreprises qui souhaitent développer des technologies innovantes basées sur les mathématiques et l'informatique.

Eureka est présent à la CISAM. Il est membre du réseau « Modélisation, Simulation et Optimisation » (MSO) qui est animé par l'agence pour l'interaction des mathématiques avec les entreprises et la société (AMIES) et intégré au réseau européen EU-MATH. Pour la valorisation, Eureka s'appuie sur la SATT Sud-Est et Protis Valor.

En dehors de ces portes vers l'entrepreneuriat, l'I2M a un fort potentiel tourné directement vers les entreprises, avec des collaborations par exemple avec EDF, Renault, TOTAL, et le co-encadrement de nombreuses thèses CIFRE.

### **Risques liés au contexte et à l'environnement**

Les risques majeurs liés au contexte concernent principalement les ressources humaines et le multisite.

### **Les ressources humaines du laboratoire**

Cette question est très sensible puisque le cœur d'un laboratoire de mathématiques est la circulation des idées : si les départs ne sont pas remplacés et si nous ne pouvons pas former des jeunes à la recherche, nous entérinons la fin du laboratoire.

Le laboratoire compte environ 170 membres permanents, dont 14 personnels d'appui à la recherche. L'attractivité de l'I2M pendant le présent contrat s'est traduite entre autres par l'arrivée de plusieurs chercheurs du CNRS, par mutation et recrutement. Par contraste, nous avons subi au sein de la Faculté des Sciences de nombreux départs à la retraite ainsi que des promotions qui n'ont pu être compensés. Cependant, sur 15 supports vacants fin 2022 (8 PR 25, 3 PR 26, 2 MCF 25 et 2 MCF 26) auxquels s'ajoutent cinq MCF toutes équipes confondues qui sont en détachement ou mis en disponibilité de longue durée, la Faculté nous proposerait la publication de 7 postes en 2023 : 2 PR 25, 1 PR 26, 2 MCF 25 et 2 MCF 26. Nous remplaçons ainsi les supports de MCF mais peinons à recruter des rangs A. Notre influence sur l'ECM et les autres composantes d'AMU sur ce sujet est trop faible pour avoir la moindre incidence.

La pyramide des âges du laboratoire est alarmante (cf. figure 2). Au 31 décembre 2021, plus de 25% des membres du laboratoire ont 60 ans et plus, et parmi les rangs A, cette proportion est près de 50% : cela présage de nombreux départs à la retraite dans le contrat à venir. Sans une politique volontariste, l'I2M va perdre une proportion importante de ses membres, PR en particulier. Plus de la moitié du laboratoire a plus de 50 ans. Le vieillissement du laboratoire est une inquiétude partagée par l'ensemble des équipes, l'équipe AA étant la plus touchée.

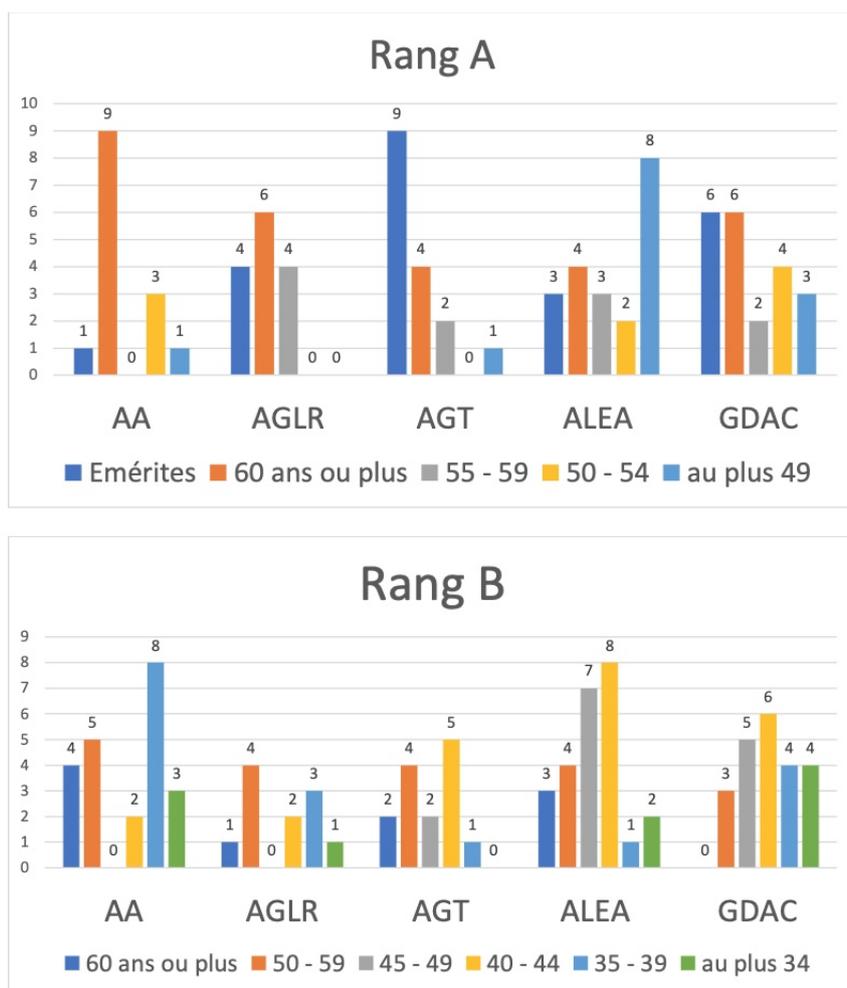


FIGURE 2 – Âge des membres de l'I2M au 31/12/2021.

Par ailleurs, les mathématiques sont organisées nationalement sous la forme d'une communauté. C'est une force de l'école française qui est récompensée par de nombreux prix prestigieux décernés aux chercheurs travaillant en France. Son fonctionnement est donc davantage porté par la collaboration inter-laboratoires que par un esprit compétitif qui diluerait son potentiel. La pérennisation de

cette communauté passe par une politique nationale de mobilité soutenue par l'INSMI et les deux sections 25 et 26 du CNU. En revanche, les politiques locales préfèrent en général promouvoir ses rangs B —car bien moins onéreux à court terme, mais cela pénalise donc le laboratoire qui peine à publier des postes ouverts vers l'extérieur.

Les personnels d'appui à la recherche sont aussi concernés par la pyramide des âges. Leur présence est cruciale pour le bon fonctionnement du laboratoire. Leur implication permet aussi de faciliter le travail de recherche. Leur remplacement est donc nécessaire pour préserver la vie du laboratoire. Il est important de souligner la trop faible possibilité d'évolution de carrière : sans passer de concours internes ou externes avec une infime chance de réussite, ces derniers peuvent rester des décennies sans aucune perspective d'évoluer ou de changer de poste. La situation semble plus difficile pour les personnels universitaires qui se retrouvent isolés dans les laboratoires.

### **Formation des jeunes**

L'I2M a accueilli 238 doctorants sur la période d'évaluation pour une centaine de membres titulaires d'une HdR. Les 2/3 tiers de ces doctorats sont codirigés. On peut donc estimer qu'en moyenne, un encadrant potentiel a dirigé 1,6 doctorants. En termes de moyens humains, l'I2M est donc en capacité de former bien plus de doctorants. La majorité de ces doctorats est financée sur des contrats doctoraux. Il faut toutefois souligner que ces contrats doctoraux ne proviennent pas de l'ED 184, qui ne distribue que 7 contrats par an pour l'ensemble des laboratoires qui en dépendent (I2M et LIS pour l'essentiel). Ce nombre est ridicule en comparaison avec les autres ED de mathématiques en France. Notons que l'augmentation de contrats au niveau d'AMU via la LPR n'a rien apporté à l'ED principale de l'I2M. Ce faible nombre ne permet pas d'attirer d'étudiants étrangers aussi talentueux soient-ils.

Toutes les équipes participent à l'encadrement doctoral, avec une part plus importante des équipes relevant de la 26ème section. Il est à prévoir que cette tendance va s'accroître dans les années à venir, vu la pression sur l'interdisciplinarité et la multiplication des appels sur des thématiques ciblées qui mettent à l'écart les mathématiques les plus théoriques. C'est une inquiétude de l'I2M. Même si nous avons parfaitement conscience de l'importance des projets interdisciplinaires ou en collaboration avec des entreprises, nous pensons qu'il est très important de former des doctorants sur des sujets plus théoriques et exploratoires.

L'I2M a accueilli 81 postdoctorants sur la période d'évaluation, une large proportion (43%) étant financée par des contrats d'ATER. Les « véritables » postdoctorants sont en majorité financés soit sur ressources propres (ERC, contrats ANR, ...) ou sur des contrats AMU liés aux instituts. Il faut noter que lors du passage du LabEx Archimède à l'Institut Archimède, la division par deux du budget a conduit à l'abandon du programme de postdoctorats mené par le LabEx. Cette perte a été en partie compensée par des financements de postdoctorats par d'autres instituts, mais ces contrats concernent des projets interdisciplinaires et ne s'adressent pas à l'ensemble du laboratoire. Il faut souligner que le statut d'ATER —avec un enseignement à plein temps (192 heqTD par an)— n'est pas favorable à une recherche de qualité pour trouver un emploi stable.

### **Multisite**

L'éclatement géographique pourrait être une richesse (en ce qu'il favorise les interactions avec d'autres laboratoires), mais c'est surtout une source de complexité pour le fonctionnement de l'I2M, et un risque pour l'unité scientifique de l'Institut. Les sites sont suffisamment éloignés pour que nombre de collègues ne se connaissent pas d'un site à l'autre (cf figure 3). En particulier, le temps de transport entre Château-Gombert et Luminy est supérieur à une heure en transport en commun (source : RTM), et pas forcément moindre en voiture, vu les conditions de circulation à Marseille. Ce manque de communication rend les choix sensibles difficiles à prendre, par manque de vision globale des réalités des besoins du laboratoire. À cela s'ajoute les pratiques différentes des laboratoires d'origine (IML et LATP), chacun implanté dans un site différent. La mise en place du télétravail ne simplifie pas non plus l'organisation de la vie du laboratoire. Le multisite constitue de fait une des difficultés majeures de la vie du laboratoire et un véritable défi.

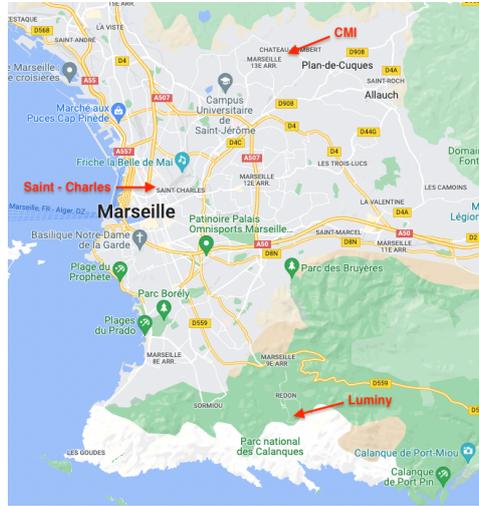


FIGURE 3 – Localisation de l’I2M à Marseille

De plus, l’enseignement des mathématiques a lieu principalement sur cinq sites éloignés (Aix-Montperrin, Château-Gombert, Luminy, Saint-Charles, Saint-Jérôme). Très peu d’enseignement ont lieu aujourd’hui sur le site nord de l’I2M. Comme l’essentiel des scientifiques de l’I2M sont enseignants-chercheurs, ce multisite d’origine pédagogique est à prendre sérieusement en considération car il vide les locaux de ses membres.

Nous avons mis en place les actions suivantes afin de minimiser les effets du multisite :

- l’équipe administrative et technique est répartie sur les différents sites pour assurer un service de proximité pour les usagers ;
- le directeur et la responsable administrative se déplacent sur tous les sites, toutes les semaines, pour échanger avec le laboratoire, les adjoints étant principalement rattachés à un seul site ;
- les commissions thématiques pour couvrir l’ensemble des sujets poussent les membres des différents sites à se côtoyer ;
- des évènements scientifiques à caractère généraliste, comme le colloquium de Marseille et le séminaire Kécékssa sont organisés ;
- nous avons acquis du matériel professionnel de visioconférence sur tous les sites afin de pouvoir organiser des réunions multisites dans de bonnes conditions ;
- nous organisons des évènements de cohésion (journée des nouveaux entrants, pot de Noël, de fin d’année, etc.), hors crise sanitaire.

Ces mesures ne sont malheureusement pas encore satisfaisantes. Les nombreux déplacements de la direction engendrent beaucoup de fatigue, une perte d’énergie et rendent la communication plus compliquée entre les parties. Il en est de même pour tous les enseignants-chercheurs qui passent beaucoup de temps et d’énergie à se déplacer d’un site à l’autre, soit pour y enseigner, soit pour assister à une réunion. Une des conséquences est la désertification du laboratoire, amplifiée par les deux années de pandémie que nous venons de vivre. Cette désertification a de lourdes répercussions sur les doctorants qui peuvent se sentir isolés.

Les évènements adressés à l'ensemble du laboratoire ne sont pas toujours très suivis. Enfin, la quantité d'instances consultatives produit une charge administrative sur l'ensemble des collègues trop importante, et risque d'avoir une incidence négative sur la recherche à proprement parler.

### **Le déménagement sur Saint-Charles.**

Un des grands enjeux des années à venir est la reconstruction d'une vie de laboratoire mise à mal par le multisite et la pandémie. Sur ce point, nous espérons beaucoup du déménagement du site nord à Saint-Charles qui aura lieu entre 2023 et janvier 2024.

Ce déménagement concrétisera un projet conduit depuis plus de quinze ans. C'est un choix stratégique qui a de nombreux objectifs, basés sur la situation géographique centrale du campus de Saint-Charles et sa facilité d'accès :

- Augmentation de la présence des membres du site nord de l'I2M au laboratoire, ce qui stimulera les interactions, les discussions, les collaborations et l'émergence de nouvelles idées.
- Rapprochement des deux sites principaux de l'I2M, et suppression d'un site, ce qui permettra aux chercheurs des deux sites de mieux se connaître.
- Raccourcissement des temps de transport des membres du laboratoire, mais aussi des chercheurs invités, ce qui augmentera leur temps consacré à la recherche.
- Rapprochement avec différentes structures d'AMU : la direction de l'UFR Sciences (la faculté dont dépend l'I2M), la direction du département de mathématiques, la direction de l'ED 184 de Mathématiques Informatique, la Frumam et l'institut Archimède, tous localisés à Saint-Charles.
- Coïncidence des lieux de recherche et des lieux d'enseignement. Le site de Saint-Charles accueille de nombreux étudiants faisant des sciences, et est donc un lieu tout à fait indiqué.
- Réduction des déplacements, ce qui contribuera à un allègement de l'impact environnemental du laboratoire.

C'est donc un projet très important pour le laboratoire qui lui donnera une nouvelle impulsion, nécessaire après la crise sanitaire que nous vivons. Notons toutefois un point de vigilance : nos quatre collègues de l'Ecole Centrale de Marseille localisés sur le technopôle de Château-Gombert pourraient se trouver isolés.

Il est prévu que l'I2M s'installe dans les bâtiments 7 et 8 du campus, proches l'un de l'autre. L'I2M avait établi un cahier des charges en 2016 afin que cet investissement de la part d'AMU porte ses fruits. Force est de constater que de nombreuses requêtes ne seront pas satisfaites. L'importance du projet pousse l'I2M à faire de nombreuses concessions pour qu'il aboutisse. Néanmoins, on entrevoit un véritable risque de dégradation des conditions de travail au sein de ces nouveaux locaux.

Le point principal est la surface allouée qui est bien en deçà de ce que celle que nous occupons aujourd'hui (perte d'environ 600 m<sup>2</sup>). L'I2M compte beaucoup sur une promesse de 200 m<sup>2</sup> supplémentaires qui a été renouvelée par la présidence actuelle, sans davantage de confirmations. De ce manque d'espace découle un certain nombre de problèmes que nous allons évoquer :

- Au CMI, les membres du laboratoire (permanents, ATER et postdocs) ont tous un bureau simple, à quelques unités près. Dans les nouveaux locaux, il n'y en aura que 13, la plupart des bureaux étant doubles (24), voire triples (20), impactant respectivement 48 et 60 personnes —soit au total plus de cent scientifiques, inutile de calculer exactement le taux d'insatisfaction sur ce point d'origine essentiellement budgétaire.

Évidemment, il est impossible de faire un travail de réflexion poussé dans un bureau triple, ou de participer à des réunions en visioconférence. Quant aux doctorants, ils seront par cinq dans des bureaux de 20 à 25 m<sup>2</sup>. Dans ces conditions, il est très important d'avoir de nombreuses salles de travail, notamment pour ne pas déranger ses collègues et par exemple discuter avec les doctorants. Or, le nombre de salles de travail est très restreint, 2 au bâtiment 7, et 3 au bâtiment 8, soit 5 au total pour plus de 200 personnes.

- Les conditions d'accueil des chercheurs invités ne sont pas prometteuses. Il est alors légitime de se demander comment nous allons pouvoir préserver notre attractivité.

- En ce qui concerne la qualité de vie au travail, chaque bâtiment n'aura qu'une seule salle de détente, au lieu d'une par étage comme demandé, et que l'on trouve communément dans les laboratoires de mathématiques. De plus, certaines toilettes ne seront accessibles que par des salles de travail, et les toilettes du bâtiment 7 sont entièrement mixtes.
- La surface de la future bibliothèque est moindre que celle de la bibliothèque du CMI, obligeant l'I2M à se séparer d'une importante partie de son fond documentaire.
- Enfin, l'I2M occupera le bâtiment de Chimie historique. Certaines paillasses existantes ont été classées par la DRAC et la disposition des locaux doit en tenir compte. Certaines de ces paillasses traversent plusieurs bureaux.

Ce projet qui aurait dû être ambitieux, s'avère finalement plus modeste tout en étant financièrement coûteux. Nous continuons à espérer qu'il aura un effet bénéfique sur la vie du laboratoire, mais nous craignons aussi que les conditions de travail dans les futurs locaux ne dissuadent les membres de l'I2M de reprendre le chemin du laboratoire.

### **Recherche par projets**

Les contraintes actuelles se manifestent également par la multiplication des appels à projets qui d'une part sont particulièrement chronophages et d'autre part visent à orienter la recherche pour répondre à des enjeux immédiats qui sortent en général de la démarche scientifique de projets à long terme. Cette mise en œuvre de la recherche par appels à projets ne couvre qu'une partie des besoins de la recherche mathématique, même lorsqu'ils préservent un caractère ouvert. Contrairement aux sciences expérimentales, les mathématiciens travaillent souvent en petits groupes, dépassant rarement quatre, cinq personnes. Les projets pluri-annuels, comme les projets ANR, permettent de créer et consolider des réseaux de mathématiciens inter-laboratoires et d'obtenir une indépendance financière pour augmenter l'autonomie des chercheurs.

Le laboratoire, quant à lui, doit inciter ses membres à créer et faire vivre ces réseaux, en sélectionnant les appels à projets adaptés, en aidant ses membres à y répondre, et en employant ses ressources pour mettre en œuvre les projets.

Ces appels ne sont pas non plus toujours adaptés à la pratique des recrutements des doctorants en mathématiques. En effet, le projet de recherche se décide souvent en relation avec le futur doctorant. C'est d'abord un binôme doctorant/encadrant qui est formé. A partir de là, on propose plusieurs sujets de thèse assez diversifiés pour toucher l'appétence du doctorant. Les appels à projet fonctionnent en sens inverse : on propose un sujet et on attend des candidatures –en espérant que l'une d'elle correspondra au profil recherché. Ce mode fonctionne sans aucun doute dans un certain nombre de cas. Mais le systématiser n'est pas forcément pertinent. Dans la même veine, les contrats postdoctoraux non fléchés sont essentiellement inexistantes au niveau local. Du coup, il est impossible de faire venir de jeunes étrangers dans nos locaux pour travailler avec eux pendant une période raisonnable.

Enfin, il n'est pas motivant de monter un dossier qui sera examiné par de nombreuses instances dont les dernières sont sans compétence mathématique, et qui sera interclassé avec des candidatures incomparables.

### **Dépendance multitutelle**

L'I2M est très attaché à la multitutelle. C'est une source de richesse indéniable, à tout point de vue. Il bénéficie ainsi de leur infrastructure, et bien sûr d'un budget conséquent sous forme de subvention d'état. On apprécie également les actions conjointes qui sont menées. Leurs politiques scientifiques sont complémentaires et cela multiplie les opportunités de développement du laboratoire.

Néanmoins, c'est également une source de complexité, par différents aspects. Les réglementations se ressemblent mais sont différentes. Cela concerne notamment les droits et obligations des agents : salaires, jours de congés, primes, télétravail, perspectives d'évolution. Cela concerne aussi

la gestion financière et ses outils. Ces complications techniques nous distraient de nos activités principales et sont de fait un frein à une certaine inventivité quant à l'organisation du travail et à un travail de fond.

En tant qu'unité —comme son nom l'indique, nous ne distinguons pas dans nos activités les personnels selon leur employeur. Nous souhaitons profiter pleinement d'être multitutelle en se référant aux dispositions les plus adéquates pour nos objectifs. Par exemple, nous ne comprenons pas l'intérêt pour l'unité de la gestion contractuelle unique. Au contraire, selon les projets, la gestion par telle ou telle tutelle peut s'avérer plus efficace et il est dommage de s'en passer.

### Points à améliorer

Le laboratoire se voulant être un lieu propice aux échanges fructueux, il doit améliorer les conditions de travail. Le diagnostic RPS établi par le Service universitaire de la médecine de prévention des personnels souligne l'importance du sujet.

### Vie du laboratoire

Malgré une production scientifique de haute qualité et un dynamisme apparent de l'I2M, le travail au quotidien s'avère complexe et dégradé : la fusion des laboratoires il y a huit ans n'est pas encore complètement digérée, le multisite n'arrangeant pas la situation. De plus, le vieillissement de ses membres et le peu de perspectives d'évolution de carrière sont décourageants. Enfin, nous accusons des abandons de doctorants, un signal alarmant sur la capacité de l'I2M à les intégrer correctement en son sein. Le multisite ayant pour effet de vider les locaux, et le manque de doctorants en général, sont deux facteurs prédominants qui aggravent leur isolement. En effet, ils sont trop peu par site pour créer une émulation de groupe.

Les mathématiques étant par nature assez abstraites, il est difficile pour les personnels d'appui d'apprécier leur rôle dans le bon fonctionnement du laboratoire. L'organisation des missions, invitations et autres événements ne rend pas bien compte de l'intérêt de leurs activités au sein de l'unité. Ces personnels bénéficient de trop peu de reconnaissance dans leurs tâches quotidiennes, confrontés trop souvent à la pression d'enseignants-chercheurs qui ne comprennent pas les complexités grandissantes des règles qui entourent leur activité.

Le principal problème de l'I2M réside encore et toujours dans la difficulté à communiquer efficacement en interne. Le multisite et la mise en place généralisée du télétravail depuis la pandémie Covid-19 complexifient encore davantage cette communication. Il est évident que des situations complexes ne peuvent être réglées que par un échange en présentiel, et il en est de même des tâches quotidiennes. On perd un temps infini en mails et appels quand il suffirait de quelques minutes d'échange réel pour résoudre l'éventuel problème ou déjà l'anticiper.

Cette réalité rend la direction du laboratoire particulièrement difficile, ce qui se traduit par une rotation rapide des équipes de direction (directeurs et administratrices) : huit ans d'existence de l'I2M ont vu quatre binômes occuper ces postes. Il est donc compliqué de mettre en place des projets ambitieux et d'instaurer un esprit de confiance, notamment pour les personnels d'appui.

### Parité de genre

Comme tous les laboratoires de mathématiques, l'I2M souffre d'une sous-représentation des femmes, cf. la figure 4. La proportion des membres permanents femmes est de l'ordre de 20%, légèrement en deçà des moyennes nationales. La proportion de femmes en 26ème section à l'I2M est en revanche supérieure aux moyennes nationales, cf. <https://femmes-et-maths.fr/enseignement-superieur-et-rech>. Elle est dramatiquement basse en PR25 puisque l'I2M ne compte que trois femmes à ce grade (+50% en 2022!).

Cette sous-représentativité a pour conséquence une misogynie latente. Bien qu'elle soit souvent inconsciente et involontaire, elle crée une souffrance chez certaines femmes qui n'a pas lieu d'être.

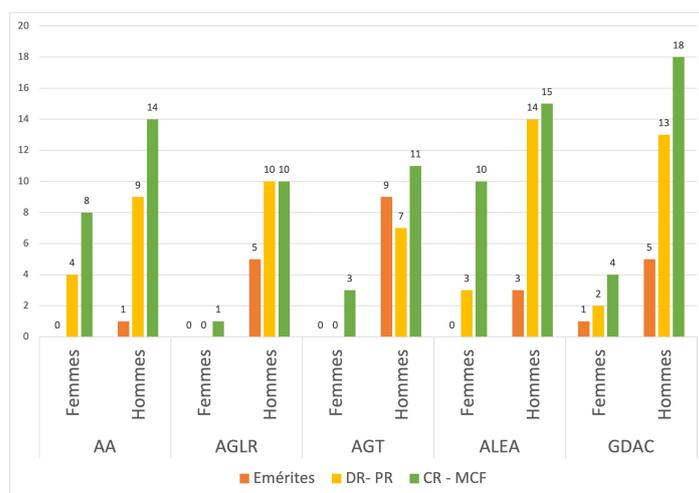


FIGURE 4 – Répartition du laboratoire par genre, équipe et grade

## Structuration, effectifs et orientations scientifiques

Au regard de ce contexte, nous avons plusieurs projets concrets que nous aimerions réaliser dans les années à venir. Ces projets visent soit à renforcer les points forts de l'I2M, soit à résoudre les problèmes que nous rencontrons. Parmi eux, certains demandent un travail en interne alors que d'autres vont aussi requérir un soutien des tutelles.

### Attraction de nouveaux talents

Nous souhaitons amplifier notre attractivité pour recruter de nouveaux talents au laboratoire. Cela repose sur différents aspects tant scientifiques que de qualité de vie au travail.

Tout d'abord, un laboratoire n'attire des talents que s'il en possède déjà : c'est le cas de l'I2M. Un autre atout est la couverture très large des mathématiques par ses chercheurs. Il faut ensuite garantir de pouvoir bénéficier de cet entourage stimulant. Pour cela, il y a aussi différents leviers.

Il faut que les locaux soient des lieux vivants, qu'ils abritent de nombreuses activités, séminaires, groupes de travail, accueil de visiteurs, etc. L'I2M compte effectivement de nombreux événements réguliers, qui sont capables d'évoluer dans le temps. L'implantation à Saint-Charles du CMI aura l'intérêt de concentrer ces activités sur deux sites uniquement, et aura donc tendance à augmenter le taux d'occupation de ses locaux.

Le laboratoire doit également pouvoir garantir à ses membres de conduire leur recherche en toute liberté. Cette autonomie est inhérente à la recherche en mathématiques et fait partie de la formation des doctorants. Elle passe par la mise en place de réseaux internationaux propres à créer des collaborations sur des sujets précis. La pression subie par les nombreux appels à projets interdisciplinaires est un frein, mais ne devrait pas être rédhibitoire.

Les membres du laboratoire doivent être disponibles. Ce point est plus complexe à réaliser. La situation d'enseignement multisite que nous vivons à AMU ne permet pas d'être optimal. Là aussi, la position centrale de Saint-Charles, sa bonne desserte et la forte concentration d'enseignement sur ce site réduisent cette difficulté sans pour autant la résoudre. Cette disponibilité ne peut être effective que si les scientifiques sont présents dans les locaux. Pour cela, les locaux doivent être accueillants et pouvoir satisfaire l'intellect de ses membres : avoir des bureaux qui permettent de s'isoler, des salles de travail disponibles pour discuter à plusieurs sans avoir à faire de réservation à l'avance, des lieux de convivialité, une bonne bibliothèque ; une salle de musique est particulièrement appréciée, comme on peut le constater dans les grands laboratoires internationaux. Luminy possède ce potentiel avec la proximité du CIRM et le retour au TPR2 devrait faire revenir les collègues qui se sont éloignés. Les

plans de Saint-Charles laissent à désirer sur ce point puisque l'espace est restreint, qu'il contient très peu de bureaux simples et que le nombre de salles de travail est très limité.

## Ressources humaines

L'I2M se montre inquiet sur les possibilités de maintenir son potentiel humain et déplore le peu de possibilités pour former les jeunes à la recherche.

Une des priorités de l'I2M est de préserver et de développer les compétences mathématiques qui n'existent pas en dehors du monde académique et des laboratoires de mathématiques, à savoir la recherche en mathématiques théoriques, qui regroupent les mathématiques fondamentales et une large partie des mathématiques appliquées. Nous avons pour cela essentiellement besoin de ressources humaines. Au vu de la pyramide des âges du laboratoire, l'I2M va devoir faire face dans les années à venir à un nombre important de départs en retraite. Cet état de fait avait déjà été signalé dans le précédent dossier d'évaluation, sans effet dans la durée du présent contrat. L'équipe AA par exemple perdra demain trois quarts de ses rangs A, et nous déplorons déjà aujourd'hui un manque de professeurs de la section 25. Schématiquement, la politique scientifique de l'I2M revient à augmenter le nombre de cellules et d'arêtes du graphe de la figure 1, de renforcer sa connexité. Actuellement, chaque thème ne contient que très peu de spécialistes, donc le prix à payer de notre large spectre est la fragilité de notre édifice : les futurs départs vont créer des vides qui disloqueront le graphe. Par ailleurs, un des principaux indicateurs d'excellence pour un laboratoire de mathématiques est la mobilité de ses membres. En favorisant le renouvellement et l'évolution des thématiques, la mobilité des mathématiciens est une des pierres angulaires du dynamisme des mathématiques, et une politique soutenue par l'INSMI et les sections 25 et 26 du CNU. Aux départs en retraite, s'ajoutent donc les promotions éventuelles de nos MCFs dans d'autres laboratoires français ou étrangers.

Actuellement, la politique des ressources humaines d'AMU pénalise chacune de ces mobilités par la ponction non négligeable d'un « bonus masse salariale ». Ce sujet a déjà été abordé lors de l'évaluation du HCERES en 2016. Les supports libérés et non remplacés sont transformés en postes d'ATER afin de garantir l'enseignement des mathématiques. En 2021-2022, 19 postes d'ATER ont ainsi été publiés au département de mathématiques. Comme cela a déjà été recommandé lors de la dernière évaluation, nous souhaitons la republication des postes issus des mobilités sans ponction.

L'I2M a peu de marges de manœuvre sur les politiques nationales et locales de republication des postes. Les chaires A\*Midex sont toutefois un outil qui n'a pour l'instant pas été utilisé par le laboratoire (à une exception près), pour différentes raisons (court-circuit des procédures de recrutement habituelles, instauration d'inégalités entre collègues, etc.). Néanmoins, notre dernier projet, qui était bien construit et soutenu par AMU, a été débouté. Sur certains sujets où la compétition du secteur privé se fait particulièrement sentir, comme la sciences des données ou la cryptographie, le laboratoire envisageait de faire des demandes de chaires. Cette expérience avortée ne nous encourage pas à persévérer.

Avec une centaine de membres détenteurs d'une HdR, l'I2M a la capacité et la volonté de former de jeunes docteurs à la recherche en mathématiques. Or à ce jour, l'ED 184 ne peut contribuer qu'à 3, 4 contrats par an pour tout le laboratoire. C'est (trop) peu et nous souhaitons l'augmentation du nombre de contrats doctoraux confiés à l'ED 184. Les doctorants de l'I2M sont financés soit par des cotutelles avec l'étranger, soit par des contrats ANR, soit par des appels à projets spécifiques liés en particulier aux instituts, soit par des thèses CIFRE. Nous continuerons à utiliser l'ensemble de ces outils. Néanmoins, nous ressentons de plus en plus une orientation de la recherche vers les applications des mathématiques à l'interface avec d'autres disciplines, à laquelle nous souhaitons participer, mais qui ne doit pas se faire au détriment de notre cœur de métier. En plus d'être concentrés sur des thématiques ciblées, les appels à projets pour les doctorats sont mal adaptés aux pratiques des

mathématiciens, qui privilégient les mérites et les appétences du doctorant, sa capacité à mener à bien un projet de thèse, plutôt que le sujet lui-même.

Le faible nombre de contrats pousse les membres du laboratoire à censurer les candidatures d'étudiants étrangers qui souhaiteraient venir, avant même de déposer un dossier à l'Ecole doctorale.

Nous faisons le même constat sur les financements de postdoctorats.

## Evolution des services d'appui à la recherche

L'évolution des services d'appui est un projet d'envergure lancé sous la précédente direction.

La première étape a consisté à remanier l'organigramme afin de prendre en compte les compétences et attentes de chaque personnel au regard des besoins du laboratoire. Il place au centre les activités principales des scientifiques. Un des intérêts de cet organigramme est la dépendance des pôles les uns avec les autres, les incitant à davantage d'échanges, et donc à avoir une vision plus globale de leurs actions.

Actuellement, nous développons une application informatique en ligne de gestion financière qui doit simplifier les actes et les harmoniser, pour tous les acteurs. Cela va de la demande de mission/invitation à l'achat de matériel et aux gratifications de stages. Cet outil doit automatiser des actes mécaniques. Il sera un outil important pour les personnels d'appui dans le cadre du télétravail, et permettra aussi d'assurer la continuité de service. Pour la direction et les détenteurs de budget, cette application aidera à avoir une vision globale du budget tout au long de l'année, car elle prendra en compte toutes nos sources de financement.

L'évolution que nous vivons de l'administration de la recherche par projets, nous incite à développer un pôle spécifique d'appels à projet. Il s'agirait de développer une plateforme de financement adaptée aux mathématiciens. Cet objectif est encore très exploratoire, sans réel plan d'attaque, mais il revêt une importance manifeste et il faut donc le garder en tête. Le rôle de ce pôle serait multiple et sa mise en place ainsi que son animation devrait *a minima* nécessiter un assistant ingénieur. Il serait sans doute bon d'y associer un mathématicien qui pourrait garantir la pertinence scientifique de ce travail.

Une première mission serait d'aider à monter les projets, en se reposant sur les expériences des autres contrats. Il fournirait les informations techniques (non scientifiques) pour faire les meilleurs choix, et renseigner les rubriques environnementales du projet en tant que tel.

Les autres missions seraient plus prospectives. Il s'agirait d'une part de décrypter les nombreux appels à projets diffusés afin d'en faire une sélection qui cible notre communauté. D'autre part, ce pôle serait en charge de prospecter directement les associations, entreprises, collectivités et mécènes pour obtenir des financements désintéressés de nos projets, de contrats doctoraux et postdoctoraux.

Les autres pôles sont aussi impactés par l'évolution de la recherche : l'usage de la bibliothèque change et il est important de lui redonner un nouveau souffle. Le déménagement à Saint-Charles est une opportunité pour mettre en place de nouvelles idées. Le pôle informatique voit ses activités d'infogérance en baisse, mais on lui demande d'être plus actif en développement de logiciels, et en terme d'appui aux calculs. La visioconférence est aussi un nouvel outil à gérer.

## Cohésion du laboratoire

On peut envisager le rôle d'un laboratoire de mathématiques de bien des manières. Le minimum serait de proposer à chacun de ses membres un bureau, un accès aux outils numériques et de

documentation, une réponse à ses demandes de financement, et la gestion de l'administration qui en découle. Le laboratoire serait donc une agence de moyens, sans corps ni âme. Certains collègues pensent ainsi et ne viennent au laboratoire que pour satisfaire un besoin, préférant conduire leur recherche ailleurs.

La direction de l'I2M entend donner un tout autre rôle au laboratoire. Son objectif est d'en faire un lieu vivant, propice à des échanges scientifiques riches et variés. Cet objectif a pour but d'augmenter la cohésion du laboratoire, notamment entre personnels scientifiques et d'appui. Il n'est pas question d'obliger les personnels, mais de fournir des outils adéquats pour inciter les personnels à s'en saisir. La réflexion sur ce sujet est loin d'être aboutie : on propose quelques pistes assez modestes comme point de départ.

### **Restructuration scientifique**

L'organisation en cinq équipes, de tailles comparables, avec un budget propre pour chacune d'elles, a un caractère pratique et fonctionnel. Cela permet en particulier d'avoir un Bureau de petit effectif, donc efficace, dans lequel chaque responsable représente un nombre comparable de personnels. Nous favorisons également une gestion financière au plus près des scientifiques, ce qui permet de s'adapter aux spécificités des demandes. Aujourd'hui, les nouveaux membres du laboratoire choisissent l'équipe qu'ils souhaitent intégrer à leur arrivée.

Les équipes à tendance "appliquée", AA et ALEA, sont cohérentes, lisibles, avec un mode de fonctionnement efficace. En revanche, il semble nécessaire de restructurer les trois équipes plus fondamentales (AGLR, AGT et GDAC) avec pour objectif de concilier efficacité de gestion et cohérence scientifique, prenant en compte la richesse et la connexité des thèmes. Cela augmenterait également la visibilité de nos activités et devrait améliorer la politique scientifique du laboratoire. Le changement étant toujours un processus long, et souvent difficile à accepter, les aspects positifs de l'organisation actuelle ne doivent pas être défaits. On pourra s'appuyer sur la Commission de Prospective afin que cette nouvelle organisation soit au moins partiellement co-construite et donc plus facilement acceptable.

Il n'est pas à l'ordre du jour de rendre l'I2M mono-équipe. Vu sa taille, il est important de garder un découpage raisonnable pour rester au plus proche des besoins de ses membres. Il n'est pas question non plus de transformer les organisations qui donnent entière satisfaction —on recherche un nivellement par le haut.

Parmi les objectifs à réaliser lors de cette restructuration, soulignons les suivants :

- Faciliter les échanges scientifiques entre collègues et les discussions de politique scientifique au niveau du laboratoire.
- Tenir compte de la richesse des thèmes du laboratoire et favoriser leurs entrelacements.
- Avoir une gestion financière efficace des missions, invitations et des séminaires.
- Respecter une représentation équilibrée des membres du laboratoire au Bureau de l'I2M.

### **Sensibilisation des activités scientifiques et d'appui**

Il apparaît enfin qu'une vie de laboratoire n'est possible et durable que par la cohésion entre personnels d'appui à la recherche et enseignants-chercheurs. La sensibilisation aux enjeux de chaque population par le partage de moments de formation et d'information à leurs métiers respectifs serait en effet à envisager pour l'I2M.

Les mathématiques étant par nature très abstraites, il est difficile pour les personnels d'appui de comprendre leur intérêt et le mode de travail des mathématiciens, de leur donner du sens, et donc de se sentir impliqué dans la finalité des activités de l'I2M. Pourtant, l'I2M est très active dans la diffusion scientifique. Il s'agirait donc de sensibiliser tous les membres du laboratoire, personnels d'appui

et scientifiques, aux petits et grands enjeux des mathématiques, de nous réunir autour de la culture scientifique.

Jusqu'à peu, existait le séminaire « Kécékssa » qui consistait en un court exposé (trente minutes) sur un sujet ou un objet mathématique sur lequel « on a toujours voulu tout savoir sans jamais oser le demander ». Un membre du laboratoire se proposait d'apporter des éléments de réponse, en une demi-heure donc, à la pause déjeuner —après un petit buffet. Sa fréquence était de l'ordre de tous les deux mois. Ce séminaire pourrait être remis en place en incluant les personnels d'appui à la recherche. Pour augmenter ses chances de réussite, son équipe organisatrice devrait inclure un membre des service d'appui. Cela permettrait de sélectionner les sujets les plus intéressants et accessibles, à l'instar des « cafés de l'IMT » de Toulouse. Plusieurs bénéfiques en sont attendus. D'une part, cela permettra aux personnels administratifs et techniques de mieux comprendre le travail des scientifiques, augmentant le sens de leur travail ; d'autre part, ces activités permettront aux différents personnels de partager un moment de culture et de mieux se connaître. C'est fondamental pour apprécier et respecter les activités des uns et des autres. Cela facilitera donc le travail au quotidien.

Inversement, cela pourrait être bénéfique de sensibiliser les scientifiques au travail concret des personnels d'appui. Cela pourrait prendre la forme d'ateliers dans lesquels les scientifiques seraient amenés à exécuter les actes des personnels d'appui sous leur encadrement : décrypter les courriels, vérifier la légalité des demandes, émettre des ordres de mission, etc. Ce serait une manière explicite d'apprécier leur travail, ce qui faciliterait par la suite les échanges. Il faudrait sans aucun doute mettre en place d'autres dispositifs.

De manière générale, on doit continuer à inciter l'interdépendance entre les différents membres du laboratoire. L'organigramme des services d'appui va dans ce sens. Afin de la conforter, on pourrait renforcer les réunions inter-pôles en présentiel. Ces moments privilégiés permettraient de partager les expériences, et de donner un sens global aux actes de chacun.

Les équipes scientifiques ont l'habitude de se retrouver lors d'événements scientifiques. La venue de la gestionnaire financière dédiée à chaque équipe scientifique lors de son séminaire afin de régler en direct des problèmes de gestion ou simplement créer du lien pourrait être également très bénéfique.

### **Qualité de vie au travail**

Le multisite reste une difficulté prégnante pour créer un véritable collectif. Les efforts faits ne sont que des solutions partielles : visioconférences, instances locales, etc. En effet, elles ont toutes des défauts qu'il faut maintenant corriger en trouvant d'autres leviers. Le déménagement devrait être l'un d'eux.

La crise sanitaire a stoppé un certain nombre d'événements de qualité de vie au travail qu'il faudrait ré-activer.

Au quotidien, on peut proposer des moments de rencontres : pauses thé/café, plus ou moins institutionnalisées, pour créer des occasions d'échanges informels.

La « journée des nouveaux entrants » était une manière de réunir le laboratoire. Non seulement, les nouveaux entrants se présentaient, ainsi que leurs intérêts scientifiques, mais c'était aussi l'occasion pour les personnels d'appui de rappeler leurs missions, et les façons dont les scientifiques pouvaient s'appuyer sur eux. Ces journées ou demi-journées selon les ans, étaient ponctuées de pauses permettant des échanges personnalisés, avec comme effet une meilleure intégration et compréhension de chacun.

L'année était aussi marquée par d'autres événements de QVT—à l'approche de ses fins civile et académique notamment. Les soutenances de doctorat et d'HDR doivent aussi en faire partie.

Les actions de qualité de travail qui avaient été initiées ont eu des apports significatifs dans la création d'un collectif soudé, elles devront être maintenues et enrichies d'autres événements : reprise du séminaire de l'équipe administrative et technique sur une à deux journées hors les murs de

l'I2M, journée des nouveaux entrants, buffets de fin d'année académique pour tous les personnels du laboratoire, etc.

## Parité de genre

Le laboratoire est loin de la parité et nous souhaitons inverser la tendance qui tend à s'aggraver par les départs à venir. La commission parité sera l'acteur principal pour proposer des actions concrètes.

Un des enjeux de la parité de genre est la sécurisation des personnels féminins au sein du laboratoire, en faisant du sexisme ordinaire un comportement anormal, en diminuant les comportements méprisants et/ou de harcèlement etc. La commission parité pourrait étendre ses prérogatives pour prendre en charge les questions de harcèlements au laboratoire.

Derrière ce problème de parité, se cache celui de l'équité d'accès aux métiers des mathématiques. Ce sujet dépasse largement le laboratoire. En effet, les études montrent que dès le plus jeune âge, les femmes sont écartées des pratiques scientifiques, et ce phénomène ne fait que s'amplifier tout au long de leurs études et du déroulement de leur carrière. Le laboratoire a un rôle à jouer pour contrer ces effets négatifs.

De manière générale, progresser sur cette question sera un atout pour lutter contre les discriminations en général : si nous sommes capables de faire avancer la cause de la moitié du genre humain, nous ne serons que plus avertis sur les autres problèmes.

Les actions de diffusion de l'I2M sont une première contribution à favoriser l'accès des jeunes femmes aux mathématiques. Citons bien entendu l'école des Cigales, mais également les interventions dans les établissements scolaires et les actions envers le grand public, ainsi que nos implications dans les associations de type math en jeans, maths pour tous, etc. Il s'agira de poursuivre ces actions. Nous pouvons aussi mettre en avant les travaux des mathématiciennes afin d'assurer l'existence de modèles et de casser le stéréotype du métier masculin.

Au niveau du laboratoire, nous devons aller bien au-delà des campagnes d'emploi. Une sensibilisation auprès des personnels masculins semble nécessaire. Une formation aux inégalités de genre est d'ores et déjà prévue en 2023. Elle s'adresse en priorité aux personnels qui ont des responsabilités. Nous pouvons nous appuyer sur nos tutelles, notamment sur la vice-présidence d'AMU dévolue à l'égalité femmes-hommes et à la lutte contre les discriminations. Cette première étape pourrait se systématiser plus largement. Il est avant tout important d'assurer la sécurisation de tous nos personnels.

Une politique de discrimination positive reste un sujet délicat. Nous pouvons cependant faire évoluer nos critères d'excellence et la reconnaissance. Cela devrait avoir pour effet d'attirer des candidatures féminines au laboratoire. La politique des quotas a atteint ses limites, et semble même contre-productive. Il faut réussir à préserver les mathématiciennes des tâches les plus ingrates qui ne font que les empêcher d'accomplir leurs projets.

La parité de genre est un projet à long terme, qui doit s'appuyer sur des projets originaux qui mettent en confiance l'ensemble des personnels.

## Sciences avec et pour la société

Nous souhaitons renforcer nos actions de sensibilisation et de transfert de nos connaissances vers le tissu socio-économique.

### Interactions avec le monde économique

Il est important pour un laboratoire de la taille de l'I2M d'amplifier ses relations avec le monde de l'entreprise. Nous comptons sur notre implantation à la CISAM et à l'hôtel à projets Eureka pour créer de nouveaux contacts et mettre en place de nouveaux contrats. Nous devons aussi renforcer nos liens avec les entreprises *via* des contrats doctoraux CIFRE. Ce dispositif est très intéressant pour

les doctorants car il est à la base de débouchés hors du monde académique. Malgré l'importance des mathématiques dans l'économie, nous devons encore être pro-actifs afin que les sociétés comprennent la plus-value d'engager des docteurs ès mathématiques. Nous pourrions nous appuyer sur les réseaux d'AMIES.

### **Interdisciplinarité**

A travers les différents dispositifs offerts par les tutelles, nous continuerons à développer des projets en interaction avec d'autres disciplines. Plus qu'une discipline de services, nous souhaitons que l'I2M puisse profiter de ces collaborations pour ouvrir de nouveaux champs de recherche mathématiques et enrichir notre corpus de connaissance. Il est important que les questions mathématiques qui sont posées soient de nature à ouvrir de nouvelles voies.

### **Diffusion scientifique**

L'I2M est déjà bien investi dans la diffusion scientifique. Nous comptons continuer dans cette voie qui répond bien aux demandes. Les activités auprès des jeunes –club des maths, les Cigales, etc.— prennent de plus en plus d'ampleur. Nous continuerons à nous investir dans la formation via les masters africains, en appui avec nos tutelles ainsi que par des écoles CIMPA. Nous avons aussi de bons contacts avec la mairie de Marseille sur ces sujets.

Enfin, nous aimerions donner un nouveau souffle au « Pi Day » afin de sensibiliser les doctorants à la diffusion en leur proposant une activité transverse.

L'IRES et les nombreuses associations de diffusion sont des partenaires avec lesquels nous continuerons de collaborer.

### **Environnement**

Doté d'une commission environnement, l'I2M se sent particulièrement concerné par les problèmes d'environnement. Nos actions sont aussi bien locales, en privilégiant les moyens de transport alternatifs : vélos, etc. et donc en réclamant auprès des tutelles les conditions nécessaires à leur usage (parkings protégés, douches, entretien de la voirie, etc.). On rappelle régulièrement l'existence de cofinancements des transports en commun par les employeurs.

Nous avons mis en place du matériel de visioconférence afin de limiter les déplacements, que ce soit à l'échelle locale ou plus large. Il conviendrait de pouvoir également mesurer l'impact du numérique sur l'environnement. Cependant, nous étendons les garanties de notre matériel lorsque c'est possible afin de prolonger leur durée de vie. Lors des déménagements, nous prenons garde à ne pas remplacer du matériel en état de fonctionnement.

Le laboratoire est aussi impliqué par sa recherche. Plusieurs projets sont cofinancés par l'IMPT, et nous souhaitons amplifier cela. Nous incitons également les collègues à s'engager et à développer des projets de recherche qui mettent les mathématiques au service de ces enjeux.

### **Le soutien des tutelles**

Le projet de l'I2M est très ambitieux. Il requiert de faire des transformations en interne, ce qui est toujours compliqué, mais à notre portée. Les lignes précédentes montrent notre détermination et notre capacité à les accomplir. Par ailleurs, nous avons besoin d'un soutien des tutelles et de leur confiance, que nos spécificités soient bien prises en considération : on demande donc un traitement particulier de l'I2M en ce qui concerne les ressources humaines et les locaux et les appels à projets. Ce sont nos seules dépenses conséquentes, en comparaison avec les sciences expérimentales. Le point central pour les mathématiques est la circulation des idées.

On souhaite que la politique scientifique l'emporte sur une politique budgétaire que l'on ressent de plus en plus. Étant multitutelée, nous souhaitons pouvoir nous appuyer selon les champs sur la tutelle la plus adéquate, et non subir une répartition des rôles soi-disant « efficace » et la complexité de leurs différences.

Une de nos difficultés majeures est donc le maintien du potentiel humain du laboratoire. Il est particulièrement vieillissant, de nombreux collègues sont partis à la retraite et ne sont pas remplacés. Nous comprenons la volonté des tutelles de conduire des projets qui reposent sur le potentiel à sa disposition, et donc de pouvoir orienter une partie des recrutements. Cependant, les ponctions sur les mobilités sont particulièrement dommageables pour l'I2M — et il serait même légitime de réclamer également la republication de tous les supports des départs à la retraite. Il est vraiment important que, *a minima*, tous les supports issus des mobilités soient sanctuarisés. Nous avons également besoin d'avoir une politique pluri-annuelle des ressources humaines pour anticiper les campagnes d'emploi. Aujourd'hui, la Commission de prospective n'a pas les moyens de travailler correctement, car elle n'apprend que trop tardivement les possibilités d'emploi. On ne peut pas envisager de politique scientifique sans connaissance de nos possibilités.

Afin de répondre aux politiques de nos tutelles, nous avons besoin qu'elles soutiennent indépendamment de nos forces le recrutement de nouveaux collègues. En effet, ce sont des missions qui s'ajoutent à celles que nous accomplissons déjà et ces nouvelles orientations ne sauraient se substituer à notre cœur de métier qui souffre déjà des carences issues des départs non remplacés.

Nous avons également besoin de pouvoir recruter des doctorants et postdoctorants. Pour cela, les appels à projets standard ne sont pas satisfaisants : la structure même de notre recherche, de nature individuelle, nécessite une autre approche. Il est important que les contrats ne soient pas fléchés au préalable et qu'ils soient bien plus nombreux : sept contrats pour l'ED 184 (mathématiques-informatique) est ridiculement faible quand on a plus de 100 personnes avec une habilitation à diriger la recherche, rien qu'à l'I2M. Ne parlons pas des contrats de postdoctorat qui sont maintenant de l'ordre de l'inexistant.

Enfin, la réduction drastique des mois d'invités a fortement diminué les dépôts de dossiers. Il faudrait remotiver les collègues à proposer des invitations, et donc avoir un taux de réussite bien supérieur à celui dont on dispose.

A l'heure actuelle, nous sommes très inquiets sur le déménagement à Saint-Charles : nous pensons que la quantité de bureaux doubles et triples et le manque de salles de travail n'inciteront pas les membres du laboratoire à revenir sur site. Les 200 m<sup>2</sup> promis de surface supplémentaires nous sont absolument nécessaires et permettraient au moins d'avoir des salles de travail à disposition.

En ce qui concerne les appels à projets, nos tutelles peuvent nous aider de plusieurs manières. Aujourd'hui, nous sommes ensevelis par de nombreux appels, dont une forte proportion ne correspond pas à nos besoins. Une simplification de ces appels et une digestion en amont seraient très profitables pour tout le monde. Idéalement, il faudrait réduire le nombre de guichets.

La recherche mathématique n'a pas besoin en général d'outils lourds. De ce fait, elle s'organise autour de projets légers en termes d'infrastructure mais potentiellement très ambitieux avec des retombées formidables. Cela permet d'être très réactif aux sujets brûlants et de pouvoir s'en saisir. Le large spectre mathématique du laboratoire est un atout qui fournit les ressources scientifiques nécessaires. Les mathématiciens ont besoin d'un nombre important de projets peu coûteux. L'essentiel des appels à projets ne répond que très rarement à ce type de financement. Nous avons donc besoin d'une enveloppe qui permette de répondre à ces besoins.

Enfin, nos projets sont souvent en collaboration avec différents laboratoires de mathématiques. La gestion des projets doit donc pouvoir en tenir compte. Pour cela, il faut réussir à avoir une vision claire des comptes. Il est important que les porteurs des projets puissent choisir la tutelle de gestion.

## Projet de l'équipe Analyse appliquée (AA)

### Analyse SWOT

- **Vision prospective de l'évolution du domaine scientifique et sa contribution aux questionnements en cours**

Les domaines de recherche des membres de l'équipe Analyse Appliquée couvrent un large spectre avec comme point commun d'être en lien avec les équations aux dérivées partielles. Avec les nombreux départs à la retraite que connaît l'équipe en ce moment et qui vont perdurer dans le prochain quinquennal, le panorama des thématiques couvert par l'équipe devrait évoluer au gré des possibles futurs recrutements. Nous présentons ci-dessous quelques problématiques phares de l'équipe et les nouveaux défis sous-jacents.

### **Autour des problématiques des sciences du vivant**

L'épidémie mondiale de Covid-19 a montré la nécessité de développer des modèles mathématiques prédictifs pour comprendre et décrire l'évolution de la propagation de virus ou pathogènes au sein d'une population hétérogène. L'équipe peut s'appuyer sur ses compétences théoriques concernant l'analyse de modèles d'EDP de réaction-diffusion et ses liens forts avec l'équipe ALEA de l'I2M qui étudie les modèles probabilistes pour la propagation d'épidémies et avec l'unité BioSP de l'INRAE à Avignon pour continuer à développer et analyser des modèles pertinents de propagation d'épidémies et d'invasions biologiques.

Le cancer est l'une des maladies qui tue le plus dans le monde. Les mathématiques ont ces dernières années montré qu'elles pouvaient aider à mieux comprendre les phénomènes complexes sous-jacents, qu'elles pouvaient fournir un outil de prédiction supplémentaire aux médecins et être force de prédiction quant aux thérapies. L'équipe qui s'est investie dans ce domaine depuis plus de quinze années déjà, avec un groupe de travail régulier, avec l'encadrement de six doctorants, continue à travailler dans ce domaine actuellement avec notamment une collaboration avec le groupe de Fanny Mann à l'Institut de Biologie du Développement à Marseille (IBDM) autour du rôle des axones dans la progression du cancer du pancréas.

L'équipe continue à interagir avec les pharmacologues de la Timone à Marseille sur les problématiques d'hétérogénéité spatiale dans les tumeurs.

Dans le cadre d'un financement PEPS de l'INSMI, a été initié un projet collaboratif entre le LAMA (Université Paris-Est) et le CEREMADE (Paris Dauphine) ayant pour objectif d'approcher des problèmes de formation de réseaux en biologie par des modèles de transports branchés (variante du problème classique de transport optimal prenant en compte des contraintes d'économie d'échelle). Les objectifs visés sont notamment de pouvoir établir un lien entre la morphologie des embranchements et les modalités de drainage des ressources d'un milieu en fonction de l'environnement et des contraintes de déploiement de l'organisme étudié (notamment la capacité de récolte contrainte par le coût d'entretien du réseau). Cette étude a également pour intérêt de pouvoir être couplée avec l'étude d'autres problèmes plus généraux de transport optimal "déséquilibré" ("unbalanced"), notamment pour des problèmes inspirés de la physique traitant de modèles de transport nécessitant la consommation de la ressource transportée.

### **Autour des problématiques en lien avec la géophysique et les questions environnementales**

Dans le cadre de l'étude des impacts géomorphologiques du changement climatique, l'équipe s'investit dans un projet financé par l'IMPT (Institut des Mathématiques pour la Planète Terre) autour de la modélisation des avalanches de neige, en collaboration avec le laboratoire marseillais de mécanique IUSTI et l'équipe ETNA de l'INRAE Grenoble. Les avalanches de neige, de blocs rocheux et de glace constituent en effet un aléa important en montagne. Les changements climatiques entraînent une augmentation de la fréquence de certains de ces aléas, notamment des avalanches de neige humide, mais le réchauffement peut aussi diminuer la cohésion de certaines parois rocheuses et provoquer ainsi des avalanches de roche. Sur le plan scientifique on cherche à développer des modèles mathématiques fiables permettant des simulations numériques d'événements dans des temps de calcul raisonnables. Sur le plan de l'analyse mathématique, il s'agit d'inclure des phénomènes de compressibilité au sein de rhéologies complexes et de comprendre des phénomènes de congestion en lien avec certaines

caractéristiques des milieux granulaires (friction, départ/arrêt de l'écoulement, phénomènes de non-localité et de transition de phase).

### **Autour des problématiques en lien avec l'énergie**

L'équipe est impliquée dans la modélisation et l'analyse mathématique de phénomènes d'hétérogénéités et de singularités dans les écoulements fluides. Ces aspects sont d'importance majeure dans la compréhension de la dynamique des enveloppes fluides de la Terre, et ce d'autant plus dans un contexte de réchauffement climatique.

L'équipe entretient une étroite collaboration avec l'IRSN Cadarache depuis presque 20 ans, dans le but de développer des méthodes numériques et des algorithmes robustes et performants pour mieux comprendre les phénomènes d'incendie et d'explosion et pour simuler les accidents de ce type dans les installations nucléaires. Les codes de calcul ISIS (explosion) et P2REMICS (incendie) sont des codes qui utilisent la librairie CALIF3S : ces trois logiciels sont en open source et développés à l'IRSN. Les études de l'I2M concernent les schémas numériques implantés dans CALIF3S pour la discrétisation des équations de la mécanique des fluides en régime compressible et incompressible. Ces schémas sont basés sur des volumes finis et éléments finis de bas degré, qui respectent les propriétés physiques des phénomènes simulés, telles que la positivité de la masse volumique, la conservation de l'énergie cinétique, ou encore la positivité de l'énergie interne. Ils sont basés sur une discrétisation dite "à mailles décalées" qui permet d'obtenir des schémas dits "asymptotic preserving" par rapport au nombre de Mach, ce qui permet d'utiliser les mêmes schémas pour les régimes compressible et incompressible qui peuvent intervenir au cours d'une même simulation. L'excellente performance de schémas ainsi que les preuves théoriques de leurs propriétés ont valu la médaille de l'innovation du CNRS à l'une des auteurs. Récemment, les discrétisations ont été étendues à des maillages 3D formés de prismes, pyramides et hexaèdres non planaires couramment utilisés pour mailler les géométries des installations nucléaires. Actuellement, le projet est de mieux simuler les phénomènes de turbulence dans les écoulements, en développant des méthodes numériques pour des modèles hybrides RANS (Reynolds Average Navier Stokes) et LES (Large Eddy Simulation). On cherche d'une part à développer des schémas de degré supérieur pour l'opérateur de convection dans un algorithme de résolution semi-implicite de type correction de pression, d'autre part, à tester et analyser différentes stratégies de raffinement local, et enfin à adapter les techniques connues d'extension de l'espace des pressions discrètes aux maillages 3D hybrides utilisés dans les simulations.

L'équipe est également impliquée dans un projet en lien avec la fusion. La fusion par confinement magnétique est destinée à contribuer dans les décennies à venir aux besoins énergétiques croissants de la population mondiale sans rejet de gaz à effet de serre, en complément des énergies renouvelables classiques, avec l'avantage par rapport à celles-ci de pouvoir produire de l'électricité à la demande, indépendamment des conditions extérieures. La proximité du réacteur expérimental ITER, en fin de construction et de l'Institut de recherche sur la fusion magnétique (IRFM) du CEA à Cadarache rendent la recherche mathématique dans ce domaine particulièrement pertinente. Outre les aspects de modélisation (en magnétohydrodynamique ou par équations cinétiques), nous comptons développer davantage le volet « calcul scientifique », grâce à la simulation numérique de modèles de plus en plus complexes, et aussi avec une implication plus forte dans le développement de codes de production.

### **Autour des problématiques en lien avec le contrôle et les problèmes inverses**

Les problématiques contrôle et problèmes inverses font parties des thématiques phares de l'équipe. Des avancées sur la contrôlabilité des systèmes d'EDP ou les questions de temps minimal dans le cadre parabolique ont été obtenues ces dernières années et ouvrent la voie vers de nouvelles questions en lien avec la théorie spectrale. Certains de ces travaux ont permis une très bonne compréhension des propriétés de contrôlabilité des équations paraboliques unidi-

mensionnelles. L'extension en dimension supérieure de ces résultats est une question qui sera au cœur des prochains projets étudiés dans l'équipe.

Des liens avec les problèmes inverses et l'ergodicité quantique se sont imposés ces derniers temps ce qui devrait conduire à un approfondissement.

### **Autour de problématiques en lien avec l'opérateur de Dirac**

L'analyse théorique du système Hall-MHD (un système couplé entre le champ magnétique et la vitesse du fluide), qui consiste à ne pas négliger l'effet Hall dans le système magnéto-hydrodynamique, en dimension supérieure ou égale à 2, dans des domaines bornés (réguliers ou non) sera abordée via des techniques d'analyse harmonique et d'analyse fonctionnelle.

L'équipe est impliquée dans plusieurs projets en collaboration avec des laboratoires de physique de l'aire marseillaise (CPT, Institut Fresnel). Les problèmes étudiés sont associés au confinement de particules élémentaires et leur résolution repose sur l'étude d'asymptotiques spectrales pour des opérateurs différentiels avec des petits paramètres.

### **Autour de problématiques en lien avec les problèmes aux valeurs propres.**

Plusieurs membres de l'équipe se sont intéressés à l'étude de problèmes aux valeurs propres, tant du point de vue de l'analyse qualitative (multiplicité de la première valeur propre pour des problèmes d'ordre quatre, symétrie et multiplicité des valeurs propres supérieures pour un problème non-linéaire de type p-laplacien, simplicité des valeurs propres pour l'opérateur de Dirichlet-Pauli), que du point de vue de l'optimisation de forme (inégalités de type Faber-Krahn pour l'opérateur de Dirac, et pour l'opérateur laplacien tronqué). Cette ligne de recherche sera sûrement poursuivie et développée au cours des prochaines années.

### **– Positionnement du projet dans le champ scientifique national ou international**

Les recherches de l'équipe s'inscrivent dans un environnement local scientifique de pointe et très riche et dynamique avec la présence du CEA, de l'INRAE, de l'IRSN. De surcroît, les membres de l'équipe entretiennent des collaborations fructueuses, variées et de longue date en France comme à l'étranger comme le montre la carte interactive ci-contre <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1xBSEf3-G-IHzIDP9AtXMPMeBmZqS60dC&ll=14.81196410036281%2C0&z=2>

Notons que la pandémie a permis d'intensifier certaines de ces collaborations, notamment avec la Chine ou d'en initier d'autres avec des collègues en Afrique du Sud ou au Tchad. Pour pallier l'isolement causé par les restrictions sanitaires, ces pays ont développé de nombreuses manifestations à distance (conférences, écoles ou séminaires en ligne) qui se traduisent par de nouvelles collaborations, des encadrements à distance de doctorants et post-doctorants. Cette nouvelle dynamique devrait perdurer dans les années à venir.

### **– Points forts**

L'équipe Analyse Appliquée a pour objectif de maintenir une activité intense, de grande qualité. Elle souhaite entretenir ses collaborations interdisciplinaires avec des organismes comme l'IRSN, le CEA, l'INRAE ou avec les laboratoires de mécanique environnants ou encore celles établies plus récemment dans le cadre des nouveaux instituts mis en place (ISFIN, Centuri) au sein de l'université. La grande visibilité de l'équipe dans l'écosystème local est source de nombreuses sollicitations pour de nouveaux projets. L'équipe souhaite maintenir ses nombreuses collaborations internationales issues de pays variés et maintenir ainsi son rayonnement scientifique. L'équipe a, comme toujours, de nombreux projets d'organisation de manifestations, qui attirent des chercheurs du monde entier. On citera par exemple la participation en 2024 à la Chaire Jean-Morlet portée par José Carillo et Anne Nouri. L'équipe continuera à tirer profit de la richesse de l'écosystème local et de ses collaborations non-académiques afin de diversifier les sources de financements doctoraux et profiter ainsi pleinement de ses capacités d'encadrement.

### – Points à améliorer

Le principal point faible de l'équipe est en lien avec l'âge moyen élevé de ses membres et en particulier de ses rang A. Cela se traduit déjà par un départ à la retraite de 6 (1 DR, 4 PR, 1 MCF) d'entre eux en 2022 et 2023 et vraisemblablement autant dans le prochain quinquennal comme le montre la figure 5. Si, comme c'est le cas actuellement, les postes de rang A

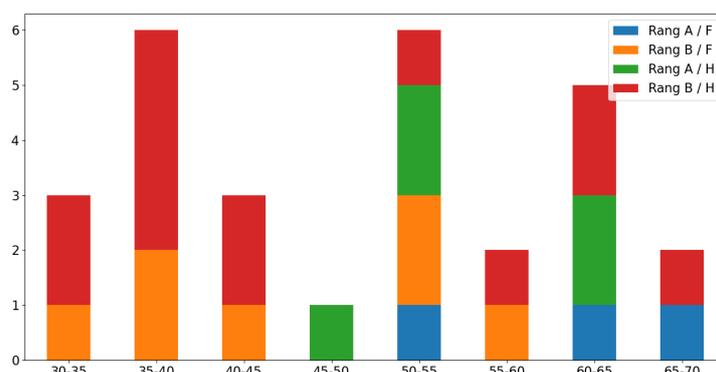


FIGURE 5 – Répartition en âge des membres de l'équipe au premier janvier 2024

étaient peu renouvelés, l'équipe se verrait fortement fragilisée et ne pourrait plus faire face aux nombreuses sollicitations qu'elle reçoit.

L'équipe a toujours eu un faible nombre de membres CNRS (1 en moyenne sur une période de trente ans). Avec le départ à la retraite de son DR, l'équipe n'a plus qu'une chargée de recherche CNRS. Il est clair que l'augmentation du nombre de chercheurs CNRS pour notre équipe serait un fort atout pour celle-ci qui a toutes les qualités pour les accueillir.

L'éparpillement des sites d'enseignement nuit à la vie de l'équipe.

Un dernier point à améliorer concerne l'obtention de bourses pour accueillir des post-doctorants dans l'équipe. Seulement trois post-doctorants ont pu être accueillis dans le précédent quinquennal.

### – Possibilités offertes par le contexte/l'environnement dans lequel elle se trouve

L'équipe Analyse Appliquée bénéficie d'un environnement local très riche avec

- la proximité de laboratoires de mécanique, physique, chimie et biologie,
- la présence d'instituts d'établissement tels que l'Institut Sciences de la Fusion et de l'Instrumentation en Environnements Nucléaires (ISFIN) et l'institut de convergence Centuri,
- la proximité d'instituts tels que l'IRSN, le CEA à Cadarache, l'INRAE à Avignon avec l'unité BioSP ou un peu plus loin à Grenoble.

La grande visibilité de l'équipe dans cet écosystème local est source de nombreuses sollicitations pour de nouveaux projets qui se traduisent souvent par des co-encadrements doctoraux. L'équipe profite également de la proximité du CIRM pour organiser régulièrement des manifestations, qui attirent des chercheurs du monde entier.

L'université offre également de nouvelles possibilités au sein de l'alliance CIVIS. Le renforcement des liens avec l'Université de Rome La Sapienza est d'ores et déjà en cours.

### – Les risques liés à ce contexte

Dans le contexte du vieillissement de l'équipe et du gel d'un nombre important de postes d'enseignants-chercheurs, l'équipe pourrait être amenée à ne plus pouvoir répondre à toutes les sollicitations intéressantes qui lui parviennent.

Un autre risque concerne l'augmentation continue des charges administratives qui empiètent de plus en plus sur nos activités de recherche.

## Structuration, effectifs et orientations scientifiques

### • **Structuration et orientations scientifiques de l'équipe**

L'équipe Analyse Appliquée regroupe des chercheurs et enseignants-chercheurs dont les domaines de recherche sont tous en lien avec les Equations aux Dérivées Partielles (EDP). Leurs activités peuvent concerner des problématiques théoriques autour des EDP (analyse des EDP, analyse spectrale, analyse de problèmes inverses, analyse de problèmes de contrôlabilité, analyse asymptotique), comme des problématiques numériques (analyse numérique de schémas volumes finis, d'EDP stochastiques) ou encore des problématiques de modélisation en lien avec des applications à la biologie ou à la médecine, à la mécanique, à la mécanique des fluides, à la mécanique quantique, aux problématiques liées à ITER. Les membres de l'équipe sont pour la plupart impliqués dans différentes thématiques, ils ont tissé des collaborations internes variées rendant impossible toute sous-structuration et confortant ainsi l'unité de cette grosse équipe.

L'équipe est au 1er novembre 2022 composée de 28 permanents (1 CR CNRS, 9 PR, 6 MCF HDR, 12 MCF) et 3 émérites (1 DR, 2 PR) avec, comme le montre la figure 5, un pourcentage de 34% de femmes réparties de façon quasi-identique entre les rangs A et les rangs B. La figure met aussi en lumière le caractère vieillissant de l'équipe avec un tiers du groupe âgé de plus de 55 ans et la moitié du groupe âgé de plus de 50 ans.

L'équipe se retrouve toutes les semaines autour d'un séminaire. Ce séminaire commun hebdomadaire contribue fortement à notre unité et à l'échange des idées malgré la diversité des thèmes étudiés. Plusieurs groupes de travail sont également régulièrement organisés autour de problématiques plus spécifiques. Des journées thématiques sont également organisées deux fois par an avec le soutien de la FRUMAM. L'équipe a également initié cette année des journées d'équipe afin de faciliter l'insertion des nouveaux arrivants, notamment les doctorants.

### • **Stratégie partenariale**

- **Académique (échelle locale, nationale, européenne, internationale)**, L'équipe compte entretenir ses nombreuses collaborations locales avec différents laboratoires de mécanique, physique, chimie et biologie (voir ci-dessous), ses collaborations au niveau national et international (voir ci-dessus) et si l'occasion se présente en développer de nouvelles.

On notera une relation étroite avec les équipes EDP des universités de Nice et de Toulon avec lesquelles sont organisées chaque année des rencontres annuelles à Porquerolles, permettant des discussions fructueuses sur les thèmes en cours et le développement de collaborations.

- **Partenariats socio-économiques ;**

L'équipe a de longue date d'importantes collaborations non-académiques avec le CEA Cadarache, l'IRSN, EDF et TOTAL.

Ces liens forts se sont traduits par un nombre important de thèses en co-encadrement et un nombre important de publications et l'obtention de la médaille de l'innovation obtenu en 2017 par R. Herbin. Le départ à la retraite de plusieurs rang A va affecter ces interactions.

### • **Intégration du projet dans la stratégie des établissements tutelles et dans la stratégie du site universitaire ;**

Les membres de l'équipe Analyse Appliquée ont un rôle actif dans les activités de l'Institut Sciences de la Fusion et de l'Instrumentation en Environnements Nucléaires (ISFIN) et l'institut de convergence Centuri.

La recherche autour de la Fusion a été structurée au niveau européen via des contrats Eurofusion (dans le cadre Horizon H2020 ; ces financements se sont terminés fin 2020), avec en particulier des collaborations avec l'Institut Max-Planck de Physique des plasmas, au niveau français

avec la Fédération Fusion et enfin plus localement avec le CEA Cadarache (plus précisément l'IRFM) et plus récemment au niveau d'AMU avec l'Institut ISFIN, dans lequel l'I2M émerge.

L'institut de convergence Centuri <https://centuri-livingsystems.org/>, créé en 2017, a permis d'initier de nouvelles collaborations entre des membres de l'équipe Analyse Appliquée et des biologistes ou biophysiciens du Campus de Luminy mais aussi des rapprochements avec les statisticiens de l'I2M. L'équipe est également fortement impliquée dans un nouveau master interdisciplinaire et international « Computation Mathematical Biology » piloté par l'institut <https://centuri-livingsystems.org/cmb>.

- **Positionnement et contribution des équipes (ou départements pour les TGU) et synergies entre les équipes (départements) ;**

L'équipe qui entretient depuis longtemps des interactions avec l'équipe ALEA-Proba, a initié récemment des collaborations avec l'équipe Statistique du groupe ALEA qui devraient se concrétiser par le co-encadrement d'une thèse dans le prochain quinquennal.

L'équipe entretient de nombreuses collaborations interdisciplinaires au sein de l'université

- avec le Centre de Physique Théorique (CPT, AMU),
- avec l'Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industrielles (IUSTI, AMU),
- avec le Laboratoire de Mécanique et Acoustique (LMA, AMU),
- avec l'institut Fresnel (AMU),
- avec l'Institut des Sciences Moléculaires de Marseille (ISM2, AMU),
- avec l'Institut de Biologie du Développement de Marseille (IBDM, AMU),
- avec le Laboratoire Adhésion et Inflammation (LAI, AMU)

- **Moyens mobilisés par l'unité de recherche et adéquation projet/moyens, incluant les aspects plateformes (instrumentales ou numériques), les infrastructures ;**

Pour faire face à ces nombreux départs à la retraite, et pour pouvoir répondre aux nombreuses sollicitations liées à l'environnement riche qui l'entoure, l'équipe espère pouvoir maintenir son effectif en recrutant des jeunes chercheurs qui pourront renforcer certaines thématiques affaiblies par ces départs ou qui pourront amener de nouvelles thématiques au sein de l'équipe.

Noter également que depuis plusieurs années le laboratoire demande un poste d'IR calcul scientifique, qui serait d'un grand soutien pour plusieurs membres de notre équipe.

- **Liens formation recherche, école doctorale, EUR, ...**

L'équipe Analyse Appliquée s'est investie dans deux formations Master, orientées toutes deux vers la recherche : le Master "Mathématiques et Applications" avec notamment le M2 CEPS ( Calcul Scientifique, EDP, Proba, Stat) et le Master "Computational Mathematical Biology", formation initiée par l'institut de convergence Centuri. Ces deux formations Master ont obtenu l'appui du programme TIGER de l'université.

L'équipe rassemble des enseignants-chercheurs de plusieurs UFR (Sciences, INSPE et IUT) dont 57% sont porteurs d'une HDR et plus de 86% sont impliqués dans un encadrement doctoral.

Le souci de la vulgarisation est porté par plusieurs d'entre eux (fort investissement dans l'IRES, diffusion scientifique auprès des jeunes collégiens, lycéens, voire du grand public, de nombreuses interventions ayant pour objectif de promouvoir les sciences auprès des jeunes filles).

## **Projet de l'équipe Arithmétique, géométrie, logique et représentations (AGLR)**

## Présentation de l'équipe

L'équipe AGLR regroupe 3 sous-équipes qui appartenaient à l'institut de mathématiques de Luminy (IML) avant la fusion des deux laboratoires de mathématiques de Marseille. Elles représentent trois thématiques bien distinctes. Chaque sous-équipe a donc sa propre analyse SWOT et son propre projet. Depuis 2018, le responsable d'AGLR est Alexis Bonnetaze et Stéphane Ballet est responsable adjoint.

## Sous-équipe Arithmétique et Théorie de l'Information (ATI)

La sous-équipe ATI a pour thématiques la géométrie arithmétique et algébrique théorique, effective et computationnelle et leurs applications à la théorie de l'information (cryptographie, codes correcteurs et calcul formel). Son effectif de titulaires est de 3PR (Alexis Bonnetaze, David Kohel et Serge Vladuts), 1DR (Patrick Solé arrivé en 2019), 3MCF (Samuele Anni affecté à l'IUT d'Aix, Yves Aubry affecté à l'université de Toulon et Stéphane Ballet) et 1CR (Michel Balazard). Elle a eu durant la période 11 doctorants et en a actuellement 5. Il est à noter que Stéphane Louboutin, PR, a pris sa retraite en septembre 2022. La sous-équipe est dirigée depuis 2018 par Stéphane Ballet qui est par ailleurs vice-président de la SMF, en charge de sa cellule de diffusion.

La vie de l'équipe est notamment rythmée par son séminaire géré par Samuele Anni et David Kohel et son groupe de travail organisé par Samuele Anni. Les pages WEB du séminaire et du groupe de travail sont sur la page de Samuele Anni : <https://sites.google.com/view/samuele-anni>. L'équipe est aussi très active dans l'organisation d'événements scientifiques reconnus comme par exemple AGC2T ou AMUSEC et en 2023 l'organisation du semestre thématique "Arithmetic Statistics : Discovering and Proving Randomness in Number Theory" au CIRM qui comprend 11 événements de Janvier à Juin.

## Stratégie partenariale

- Académique (échelle locale, nationale, européenne, internationale).

La sous-équipe ATI collabore de manière dynamique dans le cadre des recherches individuelles et collectives type ANR (ANR MANTA) ou autre et dans le cadre d'organisations d'événements scientifiques (participation aux comités de pilotage d'AGCT, d'AMUSEC, aux comités d'organisation d'AGCT et autres conférences internationales) avec les membres des communautés concernées par ses domaines de recherche. ATI collabore également avec des membres du laboratoire d'informatique LIS d'AMU. En particulier, plusieurs membres d'ATI travaillent avec Nicolas Baudru (équipe MOVE) sur un algorithme de multiplication dans les corps finis qui a donné lieu à deux publications et un projet interdisciplinaire A\*Midex a été soumis fin 2022 avec quatre autres membres du LIS (équipes DALGO et MOVE).

De manière non exhaustive les partenaires principaux nationaux et internationaux sont : INRIA (LIX équipe Augot/Couvreur), Université de Toulon équipe emath Herbaut/Langevin/Véron/Robert), Université de Rennes/CNRS (Nardi / Ritzenthaler), de Toulouse (Hallouin / Perret etc), Les Mines de St Etienne (antenne Gardanne : El Mrabet), TelecomParis Tech (Rambaud) et ANSI (Randriam), ENST (O. Rioul), université Paris 8 (M. Borello). Les collaborations internationales sont extrêmement nombreuses. Les principaux pays sont l'Allemagne, la Grande Bretagne, la Chine, l'Arabie Saoudite, les USA, l'Australie, la Norvège, la Turquie, la Russie, la Corée.

- Partenariats socio-économiques ;
  - Partenaire de soutien académique au **projet de migration post-quantique éco-agile** (« Cryptographie post-quantique éco-agile ») de la **société Qualcomm France SARL** (porteur du projet : Florient Caullery) dans le cadre du thème prioritaire national « Cryptographie post-quantique » porté par la Stratégie Nationale Quantique « Développer l'offre de cryptographie post-quantique » et la Stratégie Nationale Cyber « Développement de technologies cyber innovantes critiques »).

- AMUSEC (<https://amusec.i2m.univ-amu.fr/index.php/presentation/>) est un événement annuel dédié à la sécurité informatique créé en 2016 par l'équipe ATI avec trois objectifs. Le premier objectif est d'organiser une rencontre entre les différents acteurs de la sécurité afin - de renforcer les liens entre les acteurs académiques et les acteurs industriels, - de renforcer les échanges multidisciplinaires, en particulier entre mathématiciens et informaticiens dans le domaine de la sécurité informatique, - de renforcer les relations entre les étudiants d'une part, et la recherche et le monde de l'entreprise d'autre part.

Le deuxième objectif est de présenter un panorama actuel non exhaustif de la sécurité informatique. Il s'agit de présenter aussi bien les recherches académiques que les recherches, développements et pratiques industriels.

Le troisième objectif est de promouvoir ce domaine pluridisciplinaire qui est sous représentée à AMU. Dans ce cadre, AMUSEC s'intéresse aussi à l'enseignement de la sécurité et les entreprises proposent des démos permettant de captiver les plus jeunes.

Depuis 2021, AMUSEC est organisé au CIRM, avec le soutien de l'institut Archimède.

### **Intégration du projet dans la stratégie des établissements tutelles et dans la stratégie du site universitaire**

Le projet d'ATI consiste en partie à retrouver les conditions de possibilité pour exercer une activité de recherche dans un des domaines initialement couverts par l'équipe ATI à savoir la cryptologie (cryptographie théorique et appliquée) en complément du maintien de son activité de recherche traditionnelle dans les domaines de la géométrie algébrique et arithmétique fondamentale (en caractéristique positive surtout), et de la géométrie algébrique et arithmétique computationnelle ainsi que leurs applications à la théorie de l'information (principalement l'étude des codes correcteurs d'erreurs classiques et algébraico-géométriques).

Ce champ de recherche initialement couvert rentre dans le cadre des priorités nationales ainsi que de celles d'AMU (cf. lettre de cadrage du 7 octobre 2013).

L'un des enjeux principaux d'ATI consistent à court/moyen terme à restaurer une dynamique dans le domaine de la cryptologie appliquée, perdue lors de nombreux départs subis par l'équipe ces 10 dernières années, en complémentarité avec l'excellence reconnue de l'équipe dans le domaine théorique de la géométrie algébrique et arithmétique effective et de la théorie de l'information. Il s'agit de répondre aux attentes de la société civile et des tutelles/institutions. En effet, cette demande s'inscrit dans le cadre de la politique scientifique de l'Université, telle que décrite dans la lettre de cadrage du lundi 7 octobre 2013 concernant le projet de Maison de l'Innovation et de la Technologie (HIT) qui compte parmi les actions phares portées par A\*MIDEX et qui vise à développer, sur la région PACA, la recherche partenariale dans le domaine porteur de la sécurité numérique. En l'occurrence, il s'agit de s'inscrire dans cette dynamique transdisciplinaire souhaitée dans les projets collaboratifs de R&D public-privé. Cet objectif visé initialement par AMU est d'autre part réitéré par la mise en place d'une feuille de route régionale et nationale sur la Cybersécurité (cf. par exemple courriel de la Direction de la recherche et de la valorisation (DRV) d'AMU du 7 avr. 2020).

**Science avec et pour la Société.** Stéphane BALLEST, en tant que VP de la SMF en charge de la Cellule de diffusion de la SMF est porteur des projets :

- Abonnements électroniques gratuits en faveur des pays ayant peu de moyens (principalement pays du continent africain).

- Dons de livres dans le cadre des désherbages (et de dons de livres de particuliers) en faveur des pays ayant peu de moyens (principalement pays du continent africain, mais aussi Ukraine, Amérique du Sud, Liban, etc...) en coopération aussi avec l'APSA, des partenaires d'autres équipes de l'I2M (équipe GDAC Bédaride/Cassaigne/Hubert), le Service de relations internationales d'AMU, de donateurs particuliers ou institutionnels nationaux et internationaux (par exemple Donation Programme

partner institutes du service Acquisitions Marie Curie Library du Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICPT) de Trieste en Italie).

Ces deux projets (soutenus par l'Unesco) s'inscrivent dans le cadre de la Science ouverte, de la Science avec et pour la Société et d'efforts prévus pour réduire l'impact environnemental des activités de l'unité mais aussi de la communauté mathématique nationale et internationale.

**Evolution du domaine scientifique et sa contribution aux questionnements en cours.** Avec l'avènement de la cryptologie post-quantique et les problèmes croissants liés à la sécurité de l'information, la spécialité reconnue de l'équipe ATI, à savoir la géométrie algébrique théorique et computationnelle et leurs applications à la cryptologie, le codage, l'algorithmique et le calcul formel, est en parfaite symbiose avec un domaine extrêmement dynamique de recherche en mathématiques et en informatique théorique et appliqué au niveau national et international. Cette spécialité initiale correspond aussi à une forte attente de la part de la société civile.

D'un point de vue prospectif, le problème principal réside dans le non renouvellement des membres partis à la retraite ou recrutés dans d'autres universités (lors d'avancement de grade) lors des campagnes annuelles d'emploi des EC AMU. Ce problème est accentué par le manque d'attractivité lié aux conditions de travail. Aussi, le risque est de ne plus pouvoir couvrir à terme le spectre thématique initialement couvert.

**Points forts.** Les membres de l'équipe sont animés d'une grande motivation et de beaucoup d'énergie. Ceci est corroboré par le fait que la plupart des membres assurent des missions de responsabilité (directions ou co-direction de département, VP SMF, direction de groupe, membre de conseil de l'UFR Sciences, du comité scientifique de l'UFR Sciences etc...) tout en assurant leur mission d'enseignement (la plupart sans décharge), d'encadrement (directions de thèse, groupe de travail, séminaire), d'organisation de multiples événements (AMUSEC, AGCT, Mois Thématique, Chaire Morlet, etc...), de diffusion (exposé en colloque, en séminaires etc...) tout en effectuant une production scientifique importante tant au niveau quantitatif (plus de 100 articles par plan quadriennal) que qualitatif.

**Points à améliorer.** Malgré les efforts pédagogiques que l'équipe ATI a pu déployer en faveur de l'équipe de direction, l'équipe ATI n'a pas réussi à convaincre le laboratoire de donner un poste de MCF rattaché à l'UFR Sciences dans la thématique concernée.

ATI n'a pas bénéficié d'une politique de recrutement favorable ces dernières années, contrairement à d'autres équipes. La politique de recherche de l'I2M n'est pas suffisamment équilibrée dans la mesure où ATI est une des rares équipes à ne pas avoir été en capacité de recruter un MCF rattaché au Département de math de l'UFR Sciences (0 depuis la création de l'I2M, il y a donc plus de 10 ans) ce qui a eu pour effet en particulier de ne plus être en capacité d'effectuer correctement sa mission d'enseignement en master 2, et de ne plus pouvoir répondre aux attentes de l'institution et de la société civile.

### **Possibilités offertes par le contexte, l'environnement dans lequel elle se trouve**

Les conditions offertes par le contexte et l'environnement évoluent de manière plutôt défavorable. Les obligations relevant du travail administratif ainsi que du rayonnement empiètent de plus en plus sur le travail de recherche pure (sur-sollicitation par les différentes institutions et tutelles).

Il semble de plus en plus que les institutions et les tutelles ne permettent plus de garantir aux chercheurs et surtout aux enseignants chercheurs un temps suffisant consacré à la recherche, ce qui est pourtant leur mission première en tant que structures légales en charge de la recherche publique. Il est à noter également que le membre le plus jeune de l'équipe est affecté dans un IUT à Aix-en-Provence, ce qui lui demande des efforts supplémentaires non négligeables liés au transport pour venir sur le site de Luminy. Ses conditions d'exercices d'enseignement sont d'autre part plus difficiles.

**Risques liés à ce contexte / cet environnement.** Les risques liés à ce contexte et à cet environnement sont clairement la possibilité d'apparition d'une fatigue psychologique et physique, qui pourrait entraîner une démotivation progressive, d'autant plus qu'une partie des membres de l'équipe n'ont pratiquement aucune perspective d'évolution de carrière, et sont donc soumis à une reconnaissance insuffisante du travail fourni qui, lui, est de plus en plus conséquent.

### Sous-équipe Logique de la Programmation (LdP)

Depuis sa création en 1992, le thème central de l'équipe *Logique de la Programmation* (LdP) porte sur la théorie de la démonstration, éclairée par la correspondance de Curry-Howard entre preuves et programmes : ses contributions dans ce domaine se situent en particulier en logique linéaire,  $\lambda$ -calcul et sémantique dénotationnelle des programmes et des preuves.

Au fil des années, ses lignes de recherches se sont ouvertes à diverses thématiques connexes : les dernières en date sont la réalisabilité classique et la théorie des types pour les plus proches, et l'algèbre homotopique et les catégories supérieures, ainsi que le traitement formel de la langue naturelle, pour les plus transdisciplinaires.

Elle est actuellement dirigée par Lionel Vaux Auclair, et ce depuis janvier 2018. La vie de l'équipe est notamment rythmée par :

- son séminaire hebdomadaire : le séminaire Logique et Interactions ;<sup>1</sup>
- son groupe de travail, initié en 2014, également hebdomadaire : là où le séminaire est ouvert vers l'extérieur et destiné à la présentation de travaux de recherche plus ou moins finalisés, le groupe de travail réunit l'équipe autour d'un sujet fixé chaque année (par exemple : théorie des types dépendants et théorie de l'homotopie ; forcing et réalisabilité classique ; modèles de la programmation probabiliste ; *etc.*), en rapport avec ses thèmes, mais dont au plus un ou deux membres de l'équipe (et parfois aucun) sont spécialistes ; il s'agit de creuser le sujet choisi en profondeur, avec le souci d'explorer ses objectifs, ses pré-requis et ses méthodes spécifiques ; cette activité contribue notablement à la cohésion de l'équipe et à l'ouverture scientifique de ses membres.

L'équipe LdP compte actuellement :

- 2 PR : Yves Lafont, Laurent Regnier ;
- 5 MCF : Dimitri Ara, Étienne Miquey, Alexei Muranov, Myriam Quatrini (HDR), Lionel Vaux Auclair (HDR) ;
- 1 postdoc : Simon Forest (depuis octobre 2021) ;
- 5 doctorants :
  - Luigi Bernardi (2020-2023, dir. Emmanuel Beffara & Myriam Quatrini),
  - Lison Blondeau (2021-2024, dir. Pierre Clairambault (LIS) & Lionel Vaux Auclair),
  - Rémy Cerda (2020-2023, dir. Laurent Regnier & Lionel Vaux Auclair),
  - Léo Hubert (2020-2023, dir. Dimitri Ara & Yves Lafont),
  - Valentin Maestracci (2022-2025, cotutelle Paris 13, dir. Laurent Regnier & Thomas Seiller) ;
- 1 DR CNRS émérite : Jean-Yves Girard.

**Objectifs scientifiques.** La sous-équipe LdP continuera ses recherches dans ses domaines d'excellence :

- logique linéaire et  $\lambda$ -calcul différentiels, notamment les techniques mobilisant le développement de Taylor des programmes et des preuves pour établir des propriétés opérationnelles ou guider la mise au point de modèles dénotationnels quantitatifs — Regnier, Vaux Auclair ;

---

1. <https://www.i2m.univ-amu.fr/agenda/seminaires/logique-et-interactions/>

- exploration du contenu calculatoire des preuves, notamment en réalisabilité classique et en présence de types dépendants, mais également en explorant la contrepartie logique des langages de programmation pour la dérivation automatique (*automatic differentiation*), ou dans le cadre de la réalisabilité concurrente (due à Beffara, ancien membre de l'équipe) — Miquey, Regnier, Vaux Auclair ;
- mobilisation de la Ludique (un modèle interactif de la logique linéaire) pour représenter et analyser le dialogique en linguistique — Quatrini ;
- continuation du programme de la Syntaxe Transcendantale, visant à fonder la logique sur un modèle de calcul basé sur l'unification du premier ordre — Girard ;
- étude des catégories en dimension supérieure, exploitant les liens entre algèbre homotopique, catégories supérieures et logique, avec un intérêt particulier d'une part pour les  $\infty$ -catégories comme objet d'étude, et d'autre part pour une approche diagrammatique — Ara, Lafont.

Parmi les axes plus prospectifs, Thomas Seiller, chercheur au LIPN et ancien doctorant de l'équipe LDP, a donné récemment plusieurs exposés dans lesquels il développe une notion de modèles de calculs comme système dynamique : l'idée étant qu'un modèle de calcul est une structure algébrique (monoïde, groupe, semi-groupe inversif, algèbre d'opérateurs) finiment engendrée, dont les générateurs peuvent être pensés comme des instructions agissant sur un espace d'états. Cette façon de voir les choses établit un lien entre certains modèles de calcul en logique, notamment ceux issus de la géométrie de l'interaction de Girard et la théorie des systèmes dynamiques, qui demande à être exploré. L'équipe LdP, de par sa proximité avec l'équipe GDAC et la présence d'un doctorant, Valentin Maestracci codirigé par Thomas Seiller et Laurent Regnier, est particulièrement bien placée pour ce travail.

Vaux Auclair a par ailleurs entamé une collaboration avec Pierre Guillon (GDAC) en 2022, visant à explorer la dynamique topologique induite par la  $\beta$ -réduction en  $\lambda$ -calcul infiniitaire. Ce sujet a déjà fait l'objet d'un stage de recherche d'un étudiant de L3 de l'ÉNS Lyon, qui a permis de clarifier des premières pistes (notamment concernant l'influence de la stratégie de réduction), mais l'essentiel reste à faire.

**Partenariats.** Au sein de l'I2M, les collaborations de l'équipe LdP sont importantes en matière d'enseignement. Elle est en particulier active dans l'animation du parcours IMD, commun aux masters de Mathématiques et Applications et d'Informatique de Marseille, et qui fédère également des thématiques des équipes ATI et GDAC.

Les collaborations de recherche avec d'autres équipes de l'I2M sont moins systématiques, mais deux ont récemment émergé. On a déjà mentionné celle de Vaux Auclair avec Guillon (GDAC). D'autre part, les travaux d'Yves Lafont autour d'une approche diagrammatique du calcul quantique lui permettent de contribuer à l'effort mené au sein d'AMU autour des *Calcul et Technologies quantiques*, effort porté à l'I2M par Benjamin Audoux (équipe GDAC), avec une première journée de travail en 2021.

Localement toujours, l'équipe LdP entretient des relations étroites avec les équipes LIRICA et MoVe du LIS, dans ses activités de recherche comme d'enseignement. Plusieurs chercheurs du LIS sont des collaborateurs très proches de l'équipe, impliqués dans des projets de recherche communs : Pierre Clairambault (ANR PPS et Reciproq), Raphaëlle Crubillé (ANR PPS), Giulio Guerrieri (ANR PPS), Luigi Santocanale (ANR Reciproq et LambdaComb). Une autre collaboration locale est établie avec le CGGG, notamment avec Gabriella Crocco.

Au niveau national, l'équipe LdP fait partie des groupes LHC (dont Vaux Auclair est co-responsable) et Scalp du GDR Informatique Mathématique, et elle est impliquée dans les projets ANR en cours PPS (dont Vaux Auclair est le responsable local), Reciproq et LambdaComb.

Elle participe régulièrement au séminaire mensuel *Chocola*<sup>2</sup> à Lyon (dont Miquey est membre du comité de programme, et correspondant local).

---

2. <https://chocola.ens-lyon.fr/>

Au niveau international, l'équipe est une composante de l'IRN de Logique Linéaire, formalisant entre autres ses collaborations importantes avec des partenaires italiens (Roma Tre, Bologna). En sus de la participation des membres de l'équipe aux événements portés par l'IRN (rencontres annuelles, écoles thématiques) Vaux Auclair y coordonne un projet de rédaction d'un manuel de Logique Linéaire, dont Regnier est également contributeur.

**Points forts.** LdP jouit d'une très bonne visibilité et d'une production scientifique de qualité. Elle peut s'appuyer sur un réseau de collaborations étendu, au plan géographique (en France et en Europe, mais aussi au Canada) comme thématique (en informatique bien sûr, mais aussi en topologie algébrique et en linguistique).

Sa production et son activité scientifique la placent précisément à la jonction de la logique mathématique et de l'informatique fondamentale : cette singularité peut être une fragilité car l'équipe se retrouve sur une frontière thématique, mais elle s'est également révélée une source d'opportunités (voir ci-dessous).

**Points à améliorer.** Depuis le départ à la retraite de Girard en 2012, LdP ne compte plus aucun personnel CNRS : le recrutement en section 41 semble extrêmement difficile sur ses thématiques, et les précédentes tentatives de recrutement sur les postes croisés (poste section 6 pour unité en section 41) ont échoué. Il faut tempérer ce dernier point avec l'arrivée de Clairambault et Crubillé au LIS voisin, avec un programme de recherche visant spécifiquement la collaboration avec LdP (voir Opportunités ci-dessous).

Par ailleurs, l'équipe souffre d'un déséquilibre rangs A/rangs B et bénéficierait nettement d'un recrutement au niveau PR.

Enfin, l'équipe gagnerait à mieux répartir l'effort de recherche et notamment à relancer la production de ses non-publiants.

**Opportunités.** L'année 2021–2022 a vu une amélioration très notable de l'environnement scientifique de l'équipe, non seulement avec le recrutement d'Étienne Miquey en septembre 2021, mais aussi avec l'arrivée au LIS voisin de deux chercheurs CNRS (section 6) dont les thèmes de recherche sont très proches de ceux de LdP : Pierre Clairambault (CR arrivé à l'automne 2021, en mobilité depuis le LIP à Lyon) et Raphaëlle Crubillé (recrutée CR en janvier 2022).

Il se trouve que l'arrivée de ces deux collègues à Marseille est motivée par leurs collaborations potentielles avec LdP : Clairambault collabore avec Vaux Auclair sur les liens entre sémantique des jeux et développement de Taylor en logique linéaire (sujet sur lequel ils co-encadrent les travaux de Lison Blondeau) ; Crubillé travaille notamment sur les modèles dénotationnels du  $\lambda$ -calcul et de la logique linéaire prenant en compte des primitives de calcul probabiliste, sujet qui rejoint des contributions centrales de Regnier et Vaux Auclair.

Depuis leur arrivée au LIS, Clairambault et Crubillé participent activement à la vie de l'équipe, y compris au séminaire et au groupe de travail. Cet axe s'est encore renforcé avec le recrutement de Giulio Guerrieri, comme maître de conférences, toujours au LIS. Avec Luigi Santocanale, également un collaborateur de longue date, ces quatre chercheurs et enseignants-chercheurs, devraient monter une nouvelle équipe au sein du LIS. Étant données les synergies existantes, LdP et cette nouvelle équipe devraient fonctionner en coordination étroite, exploitant autant que possible leur proximité comme leur complémentarité. Il s'agira d'une contribution majeure au développement de l'axe mathématiques-informatique liant les deux laboratoires.

Par ailleurs, l'équipe a récemment initié des collaborations de recherche au sein de l'I2M (mentionnées plus haut) : ses collaborations internes s'étant jusque là limitées à l'enseignement ou à la diffusion scientifique, l'équipe gagnera à développer ces axes de recherche émergents.

**Risques.** L'année académique 2020–2021, séparant le départ d'Emmanuel Beffara pour Grenoble et le recrutement d'Étienne Miquey, a montré à quel point l'équipe se trouvait tout juste au seuil

d'une masse critique nécessaire pour fonctionner de manière satisfaisante, à la fois dans son activité de recherche (organisation de séminaires et colloques, accueil de stagiaires, maintien de collaborations scientifiques) et dans son implication dans les tâches administratives et d'enseignement. Dans sa configuration actuelle, il est clair que tout départ non anticipé d'un membre de l'équipe la placera à nouveau dans une situation difficile.

### Sous-équipe Représentations des groupes réductifs (RGR)

La sous-équipe RGR est dirigée par Michael Puschnigg depuis 2021. Elle comprend 3 professeurs (Volker Heiermann, Michael Puschnigg, Richard Zekri) et 3 chargés de recherche (Raphael Beuzart-Plessis, Olivier Dudas, Bertrand Lemaire). 4 membres travaillent sur les formes automorphes : Beuzart-Plessis sur la formule de traces relative et ses applications, Dudas sur les représentations des groupes réductifs sur les corps finis, Heiermann sur les représentations des groupes réductifs  $p$ -adiques, et Lemaire sur la formule de trace tordue pour les corps globaux de caractéristique positive. Puschnigg travaille sur l'homologie cyclique des algèbres de Banach et Zekri sur la  $K$ -théorie bivariante des algèbres d'opérateurs.

La recherche de la sous équipe RGR est d'un niveau exceptionnel et reconnu à l'échelle nationale et internationale. Pour stabiliser et continuer la recherche à un tel niveau il sera indispensable de recruter des PR ou MCF d'un niveau excellent, qui renforcent/complètent le spectre scientifique de l'équipe. En 2023 un poste de MCF à l'interface entre les équipes RGR et ATI sera à pourvoir. Ce recrutement est susceptible de réaliser une ouverture thématique vers l'arithmétique et vers un échange productif entre ces équipes. Une autre voie est l'ouverture vers la géométrie  $p$ -adique à la Fontaine, Fargues, Scholze, ses applications aux formes automorphes et aux représentations Galoisiennes.

La participation au plusieurs ANR et le ERC-grant de Raphael Beuzart-Plessis permettent à l'équipe de financer des collaborations nationales et internationales.

- Stratégie partenariale
  - Académique (échelle locale, nationale, européenne, internationale)  
Collaborations actuelles et prévus avec Wei Zhang(MIT), Raphael Rouquier(UCLA), Xinwen Zhu(Caltech), Erik Opdam(Amsterdam), Alexander Ivanov(Bonn), Gunter Malle(Kaiserslautern), Chaudouard, Colette Moeglin, Jean-Loup Waldspurger(Paris), Guy Henniart(Orsay), Cédric Bonnafé, Moulay Benamer(Montpellier), Victor Nistor(Metz).
- Positionnement et contribution des équipes (ou départements pour les TGU) et synergies entre les équipes (départements);

Le programme de M2 organisé en 2021/2022 par Volker Heiermann (RGR) et Christophe Pittet (AGT) sur le programme de Langlands a conduit à des échanges fructueux entre ces équipes. Ce programme a été un grand succès avec 17 participants dont 6 ont commencé des thèses sous la direction de membres des équipes RGR et ATI. L'équipe est en train d'étudier des applications mutuelles de la géométrie noncommutative (Puschnigg) à la théorie géométrique de groupe (Pittet).

- Moyens mobilisés par l'unité de recherche et adéquation projet/moyens, incluant les aspects plateformes (instrumentales ou numériques), les infrastructures;

Raphael Beuzart-Plessis a obtenu en 2021 un ERC Grant de 1,4 Mio. Euros. Les membres de l'équipe RGR participent à divers ANR. Olivier Dudas développe des logiciels pour le calcul des invariants des groupes réductifs sur les corps finis.

## **Vision prospective de l'évolution du domaine scientifique et contribution aux questionnements en cours.**

Le "Programme de Langlands" constitue un des sujets clés de la recherche mathématiques contemporaine. La recherche de l'équipe RGR y ajoute des résultats reconnus à l'échelle nationale et internationale. Partant de la théorie des représentations des groupes algébriques réels et  $p$ -adiques, la recherche de l'équipe inclut actuellement les versions relatives/tordues de la formule de trace d'Arthur et Selberg et ses applications et, depuis l'arrivée d'Olivier Dudas (CR) en 2022 la théorie des représentations des groupes algébriques sur les corps finis. Elle envisage une ouverture vers des applications arithmétiques et vers les applications de la géométrie  $p$ -adique à la Fontaine, Fargues, Scholze, au programme de Langlands. L'équipe espère pouvoir faire des recrutements qui renforcent ou complètent son spectre de recherche. Du côté de la géométrie non-commutative, les travaux actuels sur les invariants homologiques des algèbres de convolution, et en particulier des travaux prévus sur ces invariants pour les algèbres de Hecke devaient rapprocher les activités des chercheurs dans ce domaine au reste de l'équipe.

## **Positionnement du projet dans le champ scientifique national ou international.**

Avec ces nombreuses collaborations actuelles et prévus dans les années à venir (MIT(Wei Zhang), Los Angeles (Rouquier, Xinwen Zhu), Paris (Chaudouard, Mœglin, Waldspurger), Orsay (Henniart), Amsterdam (Opdam), Bonn(Ivanov), Kaiserslautern (Malle)), les activités de recherche de l'équipe RGR sont bien intégrées à la recherche nationale et internationale sur le programme de Langlands et la théorie des représentations. Les collaborations prévus en géométrie non-commutative (Metz (Nistor, Yuncken), Montpellier(Benameur)) devaient augmenter la visibilité de ce côté de l'équipe au niveau national.

## **Points forts.**

Recherche de l'équipe d'un niveau exceptionnel reconnu à l'échelle nationale et internationale : 1 invitation d'un membre à l'ICM 2022, publications dans les journaux mathématiques prestigieux : (Ann.Math. (2 membres), Inventiones (3 membres), Publ.Math.IHES (2 membres),...). 3 membres étaient orateurs au Séminaire Bourbaki. Encadrement actif des doctorants (14 encadrements et 5 soutenances entre 2016 et 2022)

## **Points à améliorer.**

Le point faible de l'équipe est sa composition : il y a un déséquilibre entre les chercheurs (3 CR, (2CR d'âge < 40 ans)), dont le travail représente une grande partie de la recherche de l'équipe, et les enseignants chercheurs (3 PR (2 PR d'âge > 55 ans, 1 PR d'âge > 60 ans)).

## **Possibilités offertes par le contexte / l'environnement dans lequel elle se trouve.**

Recrutement des enseignants-chercheurs et/ou maîtres de conférence de niveau excellent pour compléter le spectre scientifique de l'équipe et pour établir une activité de recherche durable de très haute qualité.

## **Risques liés à ce contexte / cet environnement.**

Dissolution de l'équipe à long terme suite au départ sans remplacement adéquat des enseignants-chercheurs.

## Projet de l'équipe Analyse, géométrie et topologie (AGT)

### Analyse SWOT

#### Positionnement du projet dans le champ scientifique national ou international

L'équipe AGT entretient des collaborations à l'échelle nationale et internationale, parfois instaurés de longue date, ou en initiera, en France (Angers, Bordeaux, Brest, Calais, Clermont, Dijon, Lille, Lyon, Nancy, Orsay, Palaiseau, Paris, Toulouse), comme à l'étranger (Allemagne, Brésil, Danemark, Espagne, Grèce, Israël, Japon, Maroc, Pologne, Royaume-Uni, Russie, Suède, Tunisie, USA).

#### Moyens mobilisés

L'équipe organise deux séminaires :

- Séminaire de Géométrie et Topologie de Marseille (en commun avec GDAC) ;
- Séminaire d'Analyse et Géométrie.

#### Liens formation recherche

- Sur 20 permanents de l'équipe, 15 sont PR ou MCFHDR ;
- Un membre de l'équipe vient de prendre la direction de l'Ecole Doctorale de Mathématiques et Informatique de Marseille (ED 184).

#### Faiblesses et risques

- Au sein de l'équipe, les groupes historiquement importants d'Analyse complexe et de Géométrie complexe ont été affaiblis par de nombreux départs et peu de remplacements. Le prochain quinquennal va connaître de nouveaux départs à la retraite. Dans le contexte du gel d'un nombre important de postes d'enseignants-chercheurs, les compétences de l'équipe dans ses thématiques centrales, ses capacités à s'adapter à l'évolution du savoir et à participer à son élaboration, pourraient se perdre ; l'encadrement scientifique devenir insuffisant ; l'équipe pourrait ne plus pouvoir répondre à ses missions.

Le nombre actuel de jeunes Maîtres de Conférences et de jeunes Professeurs est insuffisant pour assurer la transmission et le renouvellement du savoir.

Dans un contexte national où la croissance du nombre d'étudiants s'accompagne d'une décroissance des moyens, l'inflation des charges administratives et l'alourdissement des enseignements fait que ces charges empiètent toujours plus sur nos activités de recherche.

- L'équipe compte six Maîtres de Conférences habilités dont les perspectives de carrière ne sont pas à la hauteur de leurs compétences, dans un contexte national et local tendu.

- L'accès aux financements de thèses, de positions post-doctorales et aux invitations de collègues est réduit dans le contexte local.

- Le nombre de doctorants de l'équipe (5) est insuffisant ; il n'est pas proportionné au potentiel d'encadrement.

- Le laboratoire I2M connaît actuellement de sérieux problèmes de personnel administratif.

- La vie scientifique de l'équipe a été mise à mal ces toutes dernières années par le confinement, par la généralisation du travail à distance, et par les problèmes liés au site du CMI à Château-Gombert.

## Forces et opportunités

- Les thématiques qui ont perdu des chercheurs ces dernières années devraient être renforcées lors des futurs recrutements (conformément aux recommandations de la Commission Prospective de l'I2M).

- La vie scientifique de l'équipe devrait se relever avec notre regroupement dans de nouveaux locaux sur le site de Saint-Charles.

- L'équipe Analyse Géométrie Topologie a une activité soutenue et de qualité, dans un environnement riche d'opportunités : proximité avec les autres équipes de l'I2M (collaboration actuelle avec AGLR, séminaire commun avec GDAC), avec l'INSPE, avec l'INRIA Nice.

- La proximité du CIRM constitue bien sûr un atout majeur : chaires Morlet, conférences nationales et internationales, séjours de nombreux experts.

## Structuration, effectifs et orientations scientifiques

Les recherches de l'équipe couvrent un spectre large mais cohérent de thématiques interconnectées, à l'interface Analyse/Géométrie/Algèbre/Topologie. En voici treize que nous nous proposons de développer dans les prochaines années.

### Thématique Noyaux Reproductibles

Les noyaux reproductibles font partie des outils mathématiques dont les applications sont abondantes. Ils apparaissent naturellement dans les problèmes de reconstruction des images et le traitement de signaux à travers les questions sur l'échantillonnage et l'interpolation. Les noyaux reproductibles d'espaces de Hilbert de fonctions holomorphes ou polyanalytiques sont utilisés en théorie du contrôle, et dans l'étude des équations de Sturm-Liouville ou de Schrödinger ainsi que les Hamiltoniens qui engendrent des systèmes canoniques. Ils apparaissent très naturellement en théorie de l'approximation, théorie spectrale, théorie des opérateurs ainsi qu'en géométrie complexe. La métrique de Bergman fait partie des outils géométriques relevant de la théorie des noyaux reproductibles. Le groupe d'Analyse AGT est impliqué dans des projets liés à ce thème regroupant des chercheurs de l'INSPE de notre université et des laboratoires CNRS (Bordeaux, Toulouse, Université Gustave Eiffel), Barcelone, St Petersburg et l'Institut Mathématique Prague. Il a des liens très forts avec de nombreux chercheurs nationaux et internationaux travaillant sur les noyaux reproductibles en lien l'analyse complexe en une et plusieurs variables, l'analyse harmonique, la théorie des opérateurs et les probabilités. Les collaborations menées par les membres de l'équipe pendant les dernières années en matière de recherche et d'encadrement se poursuivent.

### Thématique Approximation et Dynamique linéaire

L'approximation polynomiale ou rationnelle est également au cœur des recherches de certains membres de l'équipe, comme source d'outils puissants pour aborder des problèmes d'interpolation, de théorie des fonctions, ou de la dynamique des opérateurs. L'équipe poursuit ses collaborations nationales et internationales sur l'étude de l'hypercyclicité et de ses différentes variantes en lien avec la théorie ergodique. Les chercheurs du groupe d'Analyse AGT sont en effet impliqués dans des projets communs avec l'INSPE à l'Université d'Aix-Marseille, l'INRIA Sophia (Nice) et les universités de Clermont-Ferrand, Lille, Rabat (Maroc), Indiana (USA), Tel-Aviv (Israël) et Dublin (Irlande).

### Thématique Analyse complexe et Probabilités

L'interaction entre l'analyse et probabilités nourrit de nombreuses activités de recherche liées aux thématiques de l'équipe. Les aspects probabilistes continuent à se développer au sein de l'équipe

d'analyse complexe. Ils se manifestent par exemple par le recours aux techniques d'analyse complexe dans l'étude des séries aléatoires et par les interactions récentes de certains membres de l'équipe avec des membres de l'équipe (ALEA) du groupe de probabilités-statistiques autour de l'approche probabiliste au théorème de Nyman-Beruling. D'autres nouveaux aspects comme les processus déterminantaux proviennent d'espaces de fonctions polyanalytiques, des fonctionnelles de mouvements Browniens horizontaux et des probabilités libres.

### **Thématique Analyse fonctionnelle et EDPs**

L'équipe d'analyse étudie différents aspects de l'analyse fonctionnelle et les équations aux dérivées partielles moyennant la théorie des semi-groupes à opérateurs. L'équipe a des programmes de recherche sur des questions liées à la théorie spectrale et à la dynamique des opérateurs ainsi qu'à l'étude des paires de Heisenberg en lien avec les paires de Lax. Des collaborations sont menées par des membres de l'équipe et des chercheurs nationaux et internationaux (France, Japon, Irlande, Grèce).

Recherches de l'équipe AGT à l'interface de l'Algèbre, de la Topologie et de la Géométrie (dans les cadres différentiel et algébrique).

### **Thématique Espaces de Modules et théorie de Jauge**

Un projet de recherche de l'équipe est dédié à une nouvelle classe d'espaces de modules : pour une variété complexe compacte  $X$  et une hypersurface réelle fermée  $S$  dans  $X$ , on regarde l'espace de modules de fibrés holomorphes sur  $X$  munis d'une trivialisations différentiable sur  $S$ . On obtient un espace de modules de dimension infinie. En collaboration avec Matei Toma (Université de Lorraine) on a étudié la structure locale de cet espace de modules et on a démontré que, en utilisant des complétions de type Sobolev appropriées, on obtient un espace analytique banachique. Dans le cas particulier où  $S$  sépare  $X$  en deux variétés à bord, on obtient une relation intéressante avec les espaces de modules de fibrés holomorphes sur une variété à bord munis d'une trivialisations sur le bord. D'après un article de Donaldson, ce dernier espace s'identifie à un espace de modules de connexions hermitiennes de Yang-Mills munies d'une trivialisations unitaire sur le bord. En utilisant cette idée et les méthodes de la théorie de jauge, on va introduire, étudier et comparer deux complétions naturelles de notre espace de modules (par des objets singuliers) obtenues dans deux cadres différents : de la géométrie complexe et de la théorie de jauge. Cela en collaboration avec Matei Toma, Université de Lorraine.

### **Thématique Géométrie algébrique complexe non Kählerienne**

- Construction de nouvelles familles de variétés non-kähleriennes compactes.
- Classification des surfaces de Stein admettant une action holomorphe presque libre du groupe  $\mathbb{C}$ .
- Caractérisation complète des variétés homogènes complexes  $X = G/\Gamma$ , où  $G$  est un groupe de Lie complexe et  $\Gamma$  un sous-groupe discret tels que  $X$  soit holomorphiquement séparable, mais pas de Stein. Leurs enveloppes d'holomorphie sont également à déterminer. En liaison avec ce problème, on envisage de montrer une version globale presque homogène de la conjecture de Lipman-Zariski.

Sur ces thèmes, continuation des collaborations avec Christian Miebach (Calais) et le groupe de géométrie complexe à l'université de Bochum.

### **Thématique Géométrie algébrique réelle, Difféomorphismes birationnels et K-stabilité**

- Topologie des variétés algébriques réelles de dimension 3. Nous étudierons les types topologiques réels des solides de Fano réels. Il s'agit d'un travail transversal qui mêle géométrie algébrique,

singularités, géométrie en petite dimension et topologie géométrique. Ce projet, collaboration avec Andrea Fanelli (Bordeaux), est en partie motivé par une série de conjectures de J. Kollàr (Princeton).

- Groupes modulaires de surfaces et difféomorphismes birationnels. On recherche une présentation des groupes modulaires de surfaces par des difféomorphismes birationnels, en se basant sur des travaux antérieurs sur les groupes de difféomorphismes birationnels effectués en collaboration avec J. Kollàr (Princeton).

- Involutions birationnelles du plan projectif réel. Nous étudions, en collaboration avec I. Cheltsov (Edinburgh), E. Yasinsky (École Polytechnique) et S. Zimmermann (Orsay), les involutions birationnelles du plan à conjugaison près. Une question analogue sur les éléments d'ordre 2 du groupe de Cremona complexe avait fait l'objet d'un article de Bayle-Beauville en 2000.

- Topologie des surfaces affines fibrées en droites affines. Dans ce travail en cours avec Adrien Dubouloz (Dijon), nous étudions la topologie du lieu réel des surfaces définies sur les réels dont le lieu complexe possède la même homologie rationnelle que le plan complexe ; en lien notamment avec l'étude des faux plans réels.

- Organisation d'une Chaire Morlet au CIRM "K-stabilité et Géométrie Birationnelle des 3-Variétés de Fano réelles", 1er semestre 2025 : 1 école d'hiver, 2 recherches en résidence, 1 conférence, 1 workshop, invité principal Ivan Cheltsov.

- Participation au futur projet ANR DREaM "Déformations, Représentations et Espaces de Modules" sur la K-stabilité (porteur Carl Tipler, UBO à Brest).

### Thématique Représentations du groupe fondamental, Harmonicité et Volume

- Etant donnée une variété  $M$  de même dimension qu'un espace homogène symétrique sous un groupe de Lie  $G$ , on associe un volume à toute représentation du groupe fondamental de  $M$  dans  $G$ . On cherche les représentations de volume maximal, et les diverses traductions géométriques de cette propriété ;

- Quand  $M$  est de dimension 3, on veut interpréter géométriquement en terme de volume la partie réelle de l'invariant de Chern-Simons des représentations du groupe fondamental de  $M$  dans  $PSL(2, \mathbb{C})$  ;

- On veut comprendre, pour une application  $f$  entre deux variétés riemanniennes  $M, N$  de même dimension, les contraintes exercées par les courbures de  $M$  et  $N$  sur le degré et le jacobien de  $f$ , en cherchant un représentant harmonique dans la classe d'homotopie de  $f$ . On veut en déduire des théorèmes de rigidité locaux ou globaux quand  $N$  est localement homogène symétrique.

### Thématique Homologie des Groupes, notamment stable

L'homologie des groupes est très généralement un outil majeur à la jonction de l'algèbre avec la topologie. Depuis les travaux pionniers de Quillen il y a cinquante ans, on sait que dans certaines suites naturelles de groupes, l'homologie se stabilise. Cette homologie stable, souvent mieux calculable que l'homologie des groupes en général, est un sujet en développement. L'équipe projette de calculer de telles homologies stables (à coefficients tordus), en particulier stabilité homologique secondaire introduite en 2019 par Galatius et al (collaboration avec Najib Idrissi, univ. Paris-Cité) ; homologie des foncteurs pour les outre-foncteurs (collaboration avec Geoffrey Powell, univ. Angers) et pour des foncteurs associés aux représentations linéaires des groupes de difféotopies ; cohomologie stable des groupes de tresses (collaboration avec Nariya Kawazumi, univ. Tokyo) ; étude des foncteurs sur la catégorie linéaire des diagrammes de Jacobi dans les corps en anses, introduite par Habiro et Massuyeau.

Ces études donneront lieu à des interactions en France avec les laboratoires d'Angers, Lille, Paris Cité, Paris 13 ; à l'étranger, avec les universités de Tokyo, Copenhague, Stockholm ; les questions liées aux diagrammes de Jacobi donneront lieu à des interactions avec le groupe GDAC de l'I2M ; et les catégories supérieures et la théorie des représentations, avec le groupe AGLR de l'I2M.

L'équipe interviendra au titre de cette thématique dans divers projets :

- ANR SHoCos « Structure and Homotopy of Configuration Spaces » (2022-27, responsable : Najib Idrissi) ;
- ANR HighAGT « Higher Algebra, Geometry and Topology » (2021-25, responsable : Bruno Vallette) ;
- ANR AIMaRe «Aspects algébriques des groupes de difféotopie et de groupes s'y rattachant» (2020-24, responsable : Gwenael Massuyeau) ;
- IRN (International Research Network) MaDeF «Mathematics in Denmark and France" (2022-27).
- Dans le cadre du Masterclass "Homologie des groupes et foncteurs" (Lille, juin 2023) organisé par le GDR 2875 (Topologie algébrique et applications), mini-cours "Twisted stable homology via functor homology".

### Thématique Topologie des variétés singulières

- Etude des classes caractéristiques (en situation Lipschitz) (en collaboration avec T. Mostowski, univ. Varsovie, et Thuy Nguyen T.B., IBILCE-UNESP Sao Paulo) ;
- Cobordisme (en collaboration avec M. Saia, A. Libardi et E. Rizioli, univ. fédérale UFSCar à Sao Carlos et UNESP à Rio Claro) ;
- Cours CIMPA professés au Brésil à UNESP et UFSCar (2023).

### Pentamérisme en Biologie marine et en Botanique

C'est un projet de collaboration interdisciplinaire avec le Laboratoire de Biologie Marine d'Endoume et le laboratoire de botanique de l'ENS Lyon (RDP, UMR 5667). Il inclut une participation aux équipes de formation doctorale (Endoume et ENS Lyon).

### Thématique h-principe en Géométries feuilletée, symplectique et de contact

- Type d'homotopie de l'espace des feuilletages de dimension 2 d'une variété de dimension au moins 4 (recherche en cours).
- La conjecture de Haefliger-Thurston stipule que le classifiant de Haefliger pour les Gamma-structures parallélisées en codimension  $q$  serait  $2q$ -connexe. Elle aurait de vastes conséquences en termes d'existence de feuilletages, c'est-à-dire de champs de plans intégrables, et en termes d'homologie des groupes de difféomorphismes rendus discrets. Cette conjecture continuera de nous occuper. Un modeste pas dans ce sens sera une preuve géométrique de la nullité de la cohomologie continue dans ces degrés, nullité obtenue par Bott-Haefliger comme corollaire du calcul de la cohomologie de Gelfand-Fuchs : recherche en cours.
- Un mini-cours comprenant ces deux sujets sera donné en septembre 2023 au Masterclass BGamma school IV organisé par Y. Mitsumatsu à l'université Chuo (Tokyo).
- Un livre d'introduction à la théorie homotopique des feuilletages est en cours d'écriture (il n'en existe pas pour l'instant).
- Rigidité pour les feuilletages de Lie à feuilles localement symétriques (collaboration avec Hiraku Nozawa, université Ritsumeikan, Kyoto).
- Existence de feuilles compactes à la Novikov pour les feuilletages de codimension 1 des variétés de grande dimension : recherche en cours, une annonce a été exposée à l'université Fluminense (Rio de Janeiro) pour la fête de Paul Schweitzer en novembre 2022.
- Alternative vrillé/tendu en géométrie symplectique conforme, et unicité à isotopie près dans le cas vrillé (en collaboration avec Y. Eliashberg, Stanford).

- Contractibilité de l'espace des fonctions sans point critique sur la boule de dimension 3 avec germe prescrit au bord. (Outre son intérêt propre, ce résultat simplifierait la résolution par Eliashberg-Mishachev du type d'homotopie de l'espace des structures de contact tendues sur la sphère de dimension 3).

- Des travaux de l'équipe dans ces dernières années, ainsi que de S. Nariman (Purdue) et de M. Freedman (Microsoft) ont mis en évidence l'opportunité d'un "c-principe", version affaiblie du "h-principe" de Gromov où l'on remplace l'homotopie par du cobordisme. Une meilleure compréhension de quelques c-principes connus et de leur parenté pourrait en faire apparaître de nouveaux.

- En collaboration avec Sam Nariman (université Purdue, Indiana) et Mehdi Yazdi (King's College Londres), organisation d'une conférence "Foliations and Diffeomorphisms Groups" au CIRM en 2024.

## Thématique Topologie des 3-variétés et propriétés algébriques des groupes fondamentaux

Cette thématique se divise en sous-catégories.

**Homologie de Heegaard-Floer.** L'homologie de Heegaard-Floer a mis en évidence une classe très intéressante de variétés, les L-espaces, pour lesquels cette homologie est la plus simple possible. Malgré les nombreux exemples, il n'y a aucune caractérisation topologique connue des L-espaces. Il y a une forte activité autour de cette question, et les résultats laissent apparaître des liens très forts entre le fait de ne pas être un L-espace et l'existence d'un feuilletage tendu. Nous nous intéressons en particulier à la caractérisation des sphères d'homologie entière qui sont des L-espaces : on conjecture qu'il n'y a que la sphère  $S^3$  et l'espace dodécaédral de Poincaré. Cette question peut-être vue comme une version Heegaard-Floer de la conjecture de Poincaré, et impliquerait que l'homologie de Heegaard-Floer reconnaît la sphère  $S^3$ . Beaucoup d'exemples de L-espaces sont des revêtements cycliques ramifiés de  $S^3$ . La question suivante est donc naturelle : *Quels noeuds ou entrelacs dans  $S^3$  admettent un revêtement cyclique ramifié à  $n \geq 2$  feuilles qui est un L-espace ?* Avec S. Boyer (UQAM) et C. Gordon (Austin Texas), nous avons étudié cette question pour le cas des noeuds et entrelacs fibrés fortement quasipositifs. La maximalité de la signature de l'entrelacs permet de montrer que le degré  $n$  du revêtement est au plus 6 et de placer des restrictions très fortes sur le polynôme d'Alexander. Actuellement nous travaillons sur la conjecture suivante : un noeud fibré fortement quasipositif  $K$  admet un revêtement cyclique ramifié à  $n \geq 2$  feuilles qui est un L-espace si et seulement si  $K$  est un noeud torique de type  $(2, k)$ ,  $(3, 4)$ , ou  $(3, 5)$ .

**Groupes à dualité de Poincaré de dimension 3.** L'étude des propriétés algébriques des groupes fondamentaux des variétés de dimension 3 a fait des progrès décisifs ces dernières années. Cependant, aucune caractérisation algébrique de ces groupes n'est connue. La cohomologie (à coefficients dans un  $\mathbb{Z}G$ -module) du groupe fondamental d'une variété de dimension  $n$ , fermée et asphérique, vérifie une dualité de Poincaré. Dans les années 1960 C.T.C. Wall a conjecturé que cette propriété de dualité cohomologique suffit à caractériser le groupe fondamental d'une variété fermée et asphérique. Le théorème de géométrisation de Perelman montre que pour un groupe à dualité de Poincaré de dimension 3, hyperbolique au sens de Gromov, la conjecture de Wall est équivalente à la conjecture de Cannon. Cette dernière conjecture est une conjecture majeure en géométrie des groupes : il s'agit de caractériser les groupes Kleinien par leur dynamique à l'infini.

Dans une collaboration avec Steve Boyer, nous avons utilisé la cohomologie à coefficients modulo  $p$  et la notions de pro- $p$  complétions, pour étudier l'alternative de Tits pour les groupes  $PD(3)$  presque cohérents. Pour l'instant nous avons seulement obtenu une trichotomie : un groupe  $PD(3)$  presque cohérent vérifie l'alternative de Tits ou contient un sous groupe d'indice fini qui est simple et localement cyclique (appelé monstre de Tarski). En particulier un groupe  $PD(3)$  presque cohérent et résiduellement fini vérifie l'alternative de Tits. Il serait bon d'éviter l'hypothèse de cohérence (i.e. tout sous-groupe finiment engendré est finiment présenté). C'est une question ouverte de savoir si un groupe  $PD(3)$  est cohérent. La question de savoir si un groupe  $PD(3)$  contient toujours un

sous-groupe propre d'indice fini est aussi ouverte. Une réponse positive éliminerait la possibilité d'un groupes  $PD(3)$  qui serait un monstre de Tarski.

Nous travaillons actuellement sur une version faible de la Conjecture de Wall qui est d'ajouter l'hypothèse supplémentaire que le groupe  $PD(3)$  a la même complétion profinie qu'un groupe de variété de dimension 3, c'est à dire les mêmes quotients finis. Nous savons établir cette conjecture lorsque le groupe  $PD(3)$  a le même complétion profinie qu'une variété de Seifert ou une variété de groupe fondamental résoluble. Nous essayons d'étendre ce résultat au cas des variétés graphées en utilisant la version profinie de la théorie de Bass-Serre. Pour le cas des groupes  $PD(3)$  ayant la même complétion profinie qu'une variété qui n'est pas graphée, comme ces variétés sont virtuellement fibrés sur le cercle, l'idée serait de montrer que la propriété d'être virtuellement fibré est une propriété profinie pour un groupe  $PD(3)$ . C'est le cas pour un groupe de variété de dimension 3.

### **Épimorphismes entre groupes de noeuds.**

- Avec T. Kitano (Soka University Tokyo), S. Sivek (Imperial College London) et R. Zentner (Durham University) nous étudions la question suivante : *Si un épimorphisme entre les groupes fondamentaux des complémentaires dans  $S^3$  de deux noeuds premiers induit une bijection entre les variétés des caractères dans  $SL(2, \mathbb{C})$ , ces noeuds sont-ils équivalents ?*. Dans un article en préparation, nous étudions le cas où le but est un noeud hyperbolique. Dans ce cas nous montrons que la réponse est oui sauf peut-être si la source est un noeud satellite avec un nombre de tours (winding number) nul par rapport à chacun de ses companions hyperboliques ou toriques. Nous espérons pouvoir lever cette restriction, en utilisant des méthodes de perturbations holonomiques pour étudier le recollement de représentations le long de tores incompressibles.

- Avec T. Kitano (Soka University Tokyo) et Y. Nozaki (Hiroshima University) nous travaillons sur une question posée par Jonathan Simon : *L'existence d'un épimorphisme entre les groupes fondamentaux des complémentaires dans  $S^3$  de deux noeuds implique-t-il que le genre de Seifert de la source est supérieur ou égal au genre de Seifert du but ?*. De façon surprenante cette question reste ouverte depuis 1976. La réponse est positive dans le cas où l'épimorphisme est induit par une application de degré non nul. Nous avons obtenu des conditions suffisantes pour que ce soit le cas. Nous étudions aussi des constructions particulières d'épimorphismes induits par des applications de degré nul, comme par exemple à partir de l'union symétrique d'un noeud et de son miroir.

## **Projet de l'équipe Mathématiques de l'aléatoire (ALEA)**

### **Structuration, effectifs :**

Le groupe ALEA est le groupe de l'I2M le plus important en taille. A ce jour il est constitué de 5 équipes (MaBios, MEB, Probabilités, Signal et Image, Statistiques). Néanmoins, la composante MEB (Mathématiques-Evolution-Biologie), ayant vu ses membres partir les uns après les autres, est vouée à disparaître à très court terme et ses membres réaffectés dans le laboratoire. Le groupe ALEA compte une petite quarantaine de permanents. Ce chiffre est à mettre en perspective avec les effectifs des équipes correspondantes dans les autres universités nationales de taille comparable à AMU : il est très en dessous (dans des proportions qui vont du simple au double). L'équipe MABioS (Mathématiques et Algorithmique pour la Biologie des systèmes) est probablement la plus touchée par le manque d'effectifs (4 permanents), suivie ensuite par l'équipe Signal et Image (7 permanents). Viennent ensuite Statistiques (12 permanents) et Probabilités (14 permanents). Ces faibles effectifs ne sont qu'une des facettes du faible soutien que portent les tutelles de l'I2M aux mathématiques.

### **Vision prospective :**

S'il existe des liens entre les différentes équipes d'ALEA, ils méritent également d'être renforcés via des recrutements dans des thématiques transverses, que ce soit des enseignants-chercheurs (AMU ou Ecole Centrale Méditerranée) ou chercheurs (CNRS). Une réflexion est menée par les équipes pour recruter des profils dans des thématiques liées à l'intelligence artificielle, au Big Data ou au machine

learning. Le besoin de tels profils a été mentionné dans les diverses équipes d'ALEA, et même dans d'autres groupes du laboratoire. Les liens avec le groupe Analyse Appliquée demandent également à être développés et des réflexions pour des recrutements communs ont été menées, même si elles n'ont pu encore aboutir. Enfin, le renforcement de l'équipe MABioS, en sous-effectif, est un objectif des prochaines années.

### **Matrice SWOT :**

#### **Points forts**

- ALEA présente un très large spectre de compétences, qui va des applications au théorique.
- Le groupe ALEA obtient des sources de financement variées (appels d'offre des instituts, bourses CIFRE, agences nationales ou européennes de recherche, etc...).
- Les équipes sont très dynamiques (hormis MEB qui est en restructuration). Les équipes MABioS et Signal-Image, bien que de faibles effectifs, sont parfaitement soudées et animées.
- Les membres d'ALEA sont fortement présents dans l'enseignement des masters.

#### **Points à améliorer**

- Le vieillissement des effectifs se fait sentir. Peu de jeunes collègues arrivent au laboratoire.
- Le groupe, comme le laboratoire, pâtit d'une baisse significative d'effectifs, les départs n'étant remplacés qu'en faible partie.
- Le groupe ALEA est dispersé sur plusieurs sites tant au niveau recherche (campus Luminy et Château-Gombert) qu'en enseignement (campus Luminy, Château-Gombert, Saint-Charles, Aix-en-Provence), constituant un vrai frein pour les échanges scientifiques entre collègues.
- Renforcer les liens entre les équipes ALEA, et ce malgré les difficultés liées à la dispersion géographique.
- L'équipe MaBioS est très dynamique mais a besoin de moyens humains. Le recrutement de jeunes enseignants-chercheurs mathématiciens y est difficile car MABioS n'est pas intégrée à l'enseignement dans les licences et masters de mathématiques (cette équipe est en revanche très active dans les enseignements pluridisciplinaires). A contrario, l'équipe de Statistique présente un très fort volume d'heures complémentaires : la pression en enseignement est trop forte sur l'équipe et ce point doit absolument être corrigé.
- Le recrutement de jeunes CR au sein du groupe a été peu actif ces dernières années.

### **Possibilités offertes par le contexte / l'environnement dans lequel elle se trouve**

- Le groupe bénéficie d'un excellent environnement propre à toutes les grandes structures telles qu'AMU.
- Nombreux instituts dans l'environnement AMU qui offrent des possibilités de coopération interdisciplinaire.
- Le Centre International de Rencontres Mathématiques (CIRM) est un vrai atout pour le groupe, et pour le laboratoire en général. Le groupe ALEA organise de nombreuses conférences au CIRM mais n'utilise peut-être pas au maximum les possibilités des différents programmes du CIRM (chaire Jean Morlet, semaines SMF, recherches en résidence, recherche internationales en groupes,...). L'attractivité du CIRM permet de faire venir régulièrement à Marseille les chercheurs les plus renommés dans tous les domaines des mathématiques.

### **Les risques liés à ce contexte / cet environnement**

- Le rôle des instituts est différemment perçu selon la thématique. Les équipes proches des applications interagissent même si le contenu des appels d'offre ne correspond pas toujours aux spécificités des équipes. Les équipes plus théoriques ne parviennent pas à tisser des liens avec les instituts, leurs recherches ne se prêtant pas au cadre interdisciplinaire imposé. Le périmètre des instituts n'a certainement pas été pensé pour faire de la place aux mathématiques plus fondamentales.

- Manque d'ambition scientifique des tutelles pour les mathématiques sur le site d'Aix-Marseille. Les effectifs en mathématiques ne sont pas à la mesure de la taille d'AMU qui se définit comme la plus grande université francophone pluridisciplinaire et plus généralement de l'ensemble du site d'Aix-Marseille qui a été reconnu par un IdEx pérennisé, AMIDEX.
- Les contrats doctoraux attribués à l'ED 184 Mathématiques-Informatique sont trop peu nombreux pour assurer à tous et toutes les majors de Master un financement certain sans contrainte de sujet. C'est une autre facette du faible soutien des tutelles, dont AMU, pour les mathématiques. Le nombre de bourses de thèses attribuées à chaque ED est basé sur des indicateurs *auto-réalisateurs* (comme le nombre d'encadrants, etc...), donc il est très difficile d'en inverser la tendance. Il serait peut-être judicieux de repenser ces critères sur des bases plus justes au niveau d'AMU.
- Grande difficulté à mener une politique scientifique vu le mode de fonctionnement imposé par les tutelles. Les possibilités de recruter sont annoncées au dernier moment et les délais pour établir les profils de poste sont extrêmement courts. Il est donc impossible de prospecter, sonder le vivier, etc...

## Equipe Probabilités

### Vision prospective :

Une partie importante des thématiques couvertes par l'équipe de Probabilités peut être rassemblée sous le terme de *mécanique statistique* entendue dans un sens assez large et qui correspond à un axe traditionnel du groupe. Dans la période récente, les aspects déjà abordés dans le groupe (systèmes désordonnés, grandes déviations, systèmes de particules, métastabilité, modèles divers de marches aléatoires ...) ont été enrichis par de nouvelles perspectives apportées notamment via les recrutements. Cela inclut le transport optimal, les matrices aléatoires, les permutations aléatoires, les réseaux aléatoires ainsi que l'étude des modèles pour la turbulence, le chaos multiplicatif gaussien et la théorie de Liouville. Ces ouvertures thématiques, et peut-être plus généralement une évolution contemporaine de la place des probabilités au sein des mathématiques, ont amené l'équipe à renforcer et diversifier ses interactions, notamment au niveau de collaborations internes au laboratoire (au sein d'ALEA avec les équipes Signal et Image ou MEB, avec des membres des groupes d'Analyse Appliquée (AA) et Géométrie-Dynamique-Arithmétique-Combinatoire et leurs Interactions (GDAC).

### Matrice SWOT :

#### Points forts

- Cohérence thématique de l'équipe autour de la mécanique statistique.
- Diverses interactions sur des thèmes variés.
- Coeur d'équipe très actif (capacité à collaborer, à bénéficier de financements collectifs ou individuels et à organiser des événements scientifiques)

#### Points à améliorer

- Equipe vieillissante. Absence de recrutement de jeunes MCF ou CR depuis bien longtemps.
- Manque de jeunes thésards et/ou postdocs au regard de la capacité d'encadrement de l'équipe.
- Même si une partie de l'équipe est très active dans ses interactions avec les mathématiques fondamentales, l'aspect modélisation est en perte de vitesse. De plus, la seule thématique « modélisation » vraiment présente dans l'équipe avec Etienne Pardoux (PR émérite) qui collabore avec l'équipe Mathématiques-Evolution-Biologie (MEB) est vouée à disparaître en raison de l'évolution de la place de l'équipe MEB au sein du laboratoire.

#### **Possibilités offertes par le contexte / l'environnement dans lequel elle se trouve**

- L'équipe bénéficie d'un excellent environnement scientifique (laboratoire dynamique, position exceptionnelle des mathématiques à Marseille avec le CIRM, grosse université de recherche intensive qui met en oeuvre de nombreuses ressources pour la recherche mais pas de façon toujours adaptées à la recherche en mathématiques, . . .)
- Le système de recrutement est tel qu'il est impossible de mener une politique scientifique acceptable (aucune visibilité pluriannuelle sur les postes, annonces toujours tardives ne laissant aucune possibilité de sonder le vivier, arbitrages à différents niveaux qui ne permettent pas d'organiser une politique à moyen/long terme, etc. . .).

#### **Les risques liés à ce contexte / cet environnement**

- Manque total d'ambition de la part d'AMU/Amidex pour les mathématiques en général, et donc pour l'équipe Probabilités en particulier (pas de soutien d'AMU pour pallier au faible nombre de bourses de thèses distribuées à l'Ecole Doctorale 184 Mathématiques-Informatique, appels d'offre d'AMIDEX inadaptés aux mathématiques).
- Rôle décevant d'Archimède quant à son soutien à la recherche en mathématiques auprès de l'ensemble du laboratoire. Est-ce un problème de définition trop étroite du périmètre de l'institut ?

#### **Structuration, effectifs et orientations scientifiques :**

L'équipe de Probabilités est constituée de 14 permanents : 10 enseignants-chercheurs (5 MCF dont 2 HDR, 5 PR dont 1 émérite) et 4 chercheurs CNRS (3 DR dont 1 émérite, 1 CR).

Les recherches développées dans l'équipe de Probabilités portent sur la mécanique statistique au sens large. Une partie de l'équipe, représentée par Etienne Pardoux, s'intéresse également aux applications des probabilités pour les sciences de l'évolution. L'équipe poursuivra ses efforts à développer ses compétences dans les thématiques de la mécanique statistique. Les derniers recrutements ont renforcé les liens entre l'équipe et les mathématiques fondamentales, notamment avec les composantes géométrie-dynamique et l'équipe souhaite continuer à développer cet aspect. Néanmoins il est important de ne pas dénaturer l'essence même de l'équipe de Probabilités. En ce sens, il sera important de renforcer les liens avec les autres composantes du groupe ALEA tournées vers les applications, comme Signal et Image ou Statistique, liens qui ne sont pas encore aux niveaux attendus. Des liens, naturels, existent également avec le groupe d'Analyse Appliquée et doivent être renforcés : des discussions ont notamment été évoquées pour mener des recrutements communs. L'objectif est donc de renforcer les thématiques de l'équipe tout en recentrant l'équilibre théorie/applications.

#### **Stratégie partenariale :**

Académique (échelle locale, nationale, européenne, internationale)

- échelle locale :
  - Centre de Physique Théorique (CPT).
- échelle nationale :
  - Université Lyon 1 (Institut Camille Jordan).
- échelle européenne :
  - Allemagne : Universität Bonn.
  - Finlande : University of Helsinki
  - Italie : Collaborations franco-italiennes (LYSM) représentées à l'I2M par A. Gaudillière.
  - Royaume-Uni : Imperial College London.
  - Suisse : Université de Genève.
- échelle internationale :
  - Brésil : IMPA de Rio de Janeiro.
  - États-Unis : IAS Princeton ; MIT Boston.

— Japon : RIMS de l'Université de Tokyo.

Partenariats socio-économiques :

De par sa nature, l'équipe de Probabilités présente peu d'affinités envers le monde socio-économique. En conséquence, les partenariats dans ce domaine sont quasiment inexistants.

### **Intégration du projet dans la stratégie des établissements tutelles et dans la stratégie du site universitaire :**

L'équipe pâtit du faible soutien d'AMU pour les mathématiques en général. Ce manque de soutien n'est pas compensé par les divers instituts qui proposent des appels d'offre inadaptés aux mathématiques en général, et donc en particulier à l'équipe Probabilités. L'institut Archimède ne tient pas son rôle non plus de soutenir la recherche en mathématiques auprès de l'ensemble du laboratoire en raison de son périmètre thématique restreint aux Sciences des données et à la Cybersécurité. N'ayant pas de politique scientifique émanant de nos tutelles en mathématiques, il paraît donc difficile de s'y intégrer.

### **Positionnement et contribution des équipes (ou départements pour les TGU) et synergies entre les équipes (départements) :**

L'équipe de Probabilités présente tout d'abord des interactions au sein même du groupe ALEA, plus particulièrement avec les équipes Signal et Image (SI) ou Mathématiques-Evolution-Biologie (MEB). Néanmoins le groupe MEB a vu la plupart de ses membres quitter l'université et son fondateur, Etienne Pardoux, est en position de PR émérite. Cette composante est donc vouée à disparaître à court terme. Les échanges Probabilités/Statistique existent encore mais sont moins actifs que ce qu'ils ont pu l'être par le passé, de même pour ce qui concerne les liens avec l'équipe d'Analyse Appliquée (AA). Cela s'explique notamment par une tendance d'une partie de l'équipe à se rapprocher des mathématiques pures, et donc en particulier de l'équipe Géométrie-Dynamique-Arithmétique-Combinatoire et leurs Interactions (GDAC). L'équipe doit donc veiller à développer ces interactions naissantes tout en maintenant le lien avec des collaborations plus historiques, notamment celles tournées vers les applications.

### **Liens formation recherche, école doctorale, EUR, ... :**

Les membres de l'équipe de Probabilités interviennent régulièrement dans les masters, notamment au sein d'un parcours du Master *Mathématiques et applications* partagé avec le groupe Analyse Appliquée. Des liens existent également avec les Ecoles Normales Supérieures afin d'attirer des élèves normaliens pour des encadrements doctoraux. Néanmoins l'équipe est pénalisée par le fait qu'elle ne dispose que de (trop) peu de contrats doctoraux locaux.

### **Science avec et pour la Société, Science Ouverte**

#### **Equipe Statistique**

#### **Vision prospective :**

L'équipe de Statistique développe des recherches théoriques et appliquées en statistique. Elle est le fruit de la fusion en 2014 des équipes de Statistique du LATP et de l'IML. Ses recherches reposent sur trois grands axes :

1. actuariat et économétrie,
2. statistique computationnelle et appliquée (statistique bayésienne, méthode de Monte-Carlo, machine learning),
3. fondements mathématiques de la statistique (statistique non-paramétrique, approche mini-max).

L'équipe de Statistique dispose d'un spectre assez large qui est en général plutôt l'apanage d'équipes plus importantes, par exemple 35 chercheurs et enseignants-chercheurs en statistique et actuariat au Laboratoire de Probabilités, Statistique et Modélisation (LPSM) de l'Université Paris Sorbonne et de

l'Université Paris Cité, 31 chercheurs et enseignants-chercheurs en statistique à l'Institut de Recherche Mathématiques de Rennes, 56 chercheurs et enseignants-chercheurs dans l'équipe Statistique et optimisation de l'Institut de Mathématiques de Toulouse.

### **Matrice SWOT :**

#### **Points forts**

- Trois thèmes assez équilibrés : actuariat et économétrie, statistique computationnelle et appliquée (statistique bayésienne, méthode de Monte-Carlo, machine learning) , fondements mathématiques de la statistique (statistique non-paramétrique, approche minimax)
- Implication dans plusieurs formations qui attirent de nombreux étudiants, en particulier le Master Mathématiques appliquées, statistique avec trois parcours. Bonne interaction en enseignement des membres de l'équipe de statistique en raison de leur implication dans les formations à dominante statistique. Implication dans des formations pluridisciplinaires comme le Master CENTURI, le parcours MASS-POP du Master Mathématiques appliquées, statistique, cursus ingénieur Centrale Méditerranée, avec des ouvertures vers la recherche (thèse en co-tutelle, alternance recherche à Centrale Méditerranée).
- Organisation de nombreuses conférences : Journées Statistiques du Sud, Journées Marseille-Avignon (en alternance une année sur deux), Rencontres de Statistique Mathématique organisée au CIRM depuis 2000 par l'équipe de Statistique, nombreuses conférences ponctuelles organisées au CIRM, projet de candidature pour organiser les Journées de la Société Française de Statistique (SFdS) à Marseille sur proposition de Mitra Fouladirad (professeure au Laboratoire M2P2, tutelles AMU-CNRS-Centrale Méditerranée).
- Des projets de chaires au niveau d'AMIDEX ou avec des entreprises (comme Axa).

#### **Points à améliorer**

- Éparpillement entre les sites tant recherche (Luminy et Château-Gombert qui va déménager à Saint-Charles) qu'enseignement (Luminy, Château-Gombert, Saint-Charles, Aix,...)
- Animation de la vie scientifique de l'équipe difficile en tant que groupe de chercheurs et d'enseignants-chercheurs (séminaire de statistique qui a du mal à attirer un public important régulier en raison des contraintes en enseignement, pas de groupe de travail organisé depuis de nombreuses années, rares réunions de l'équipe avec une faible participation).
- Recrutement de chercheurs CNRS (Guillaume Lecué, recruté CR CNRS en 2007, a quitté le laboratoire en 2009, Yuri Golubev, DR CNRS, est parti en retraite en 2019).

#### **Possibilités offertes par le contexte / l'environnement dans lequel elle se trouve**

- Le déménagement, s'il est réussi, sera une opportunité pour favoriser les discussions, notamment scientifiques, mais il y a un risque d'échec en raison des conditions de travail en enseignement sur Saint-Charles et des futurs locaux de l'IM.
- Les instituts d'AMU tels qu'Archimède, CENTURI, ILCB et aussi la FRUMAM sont plus ou moins directement liés à la statistique, notamment à travers l'analyse de données de recherche. Ils s'inscrivent le plus souvent dans une logique de recherche pluridisciplinaire et appliquée.
- Le remplacement d'un MCF, promu PR à la Faculté d'Economie et Gestion (département d'économie, laboratoire AMSE), peut être l'occasion de renforcer certaines thématiques de l'équipe.
- Le programme CEDRe (Centre de Formation et de Soutien aux Données de Recherche, partie du projet IDeAL PIA3) peut être l'occasion pour l'équipe de Statistique de développer de nouvelles collaborations en étant identifiée comme une équipe disposant de compétences dans le traitement de données.

#### **Les risques liés à ce contexte / cet environnement**

- L'équipe de statistique réalisent de très nombreuses heures complémentaires tant à AMU qu'à Centrale Méditerranée ce qui impacte la recherche d'une partie des membres de l'équipe

- La faiblesse du nombre des bourses dont bénéficie l'ED 184 Mathématiques-Informatique, risque de voir la statistique systématiquement cantonnée à un rôle de discipline pour des applications et donc renvoyée aux AAP pluridisciplinaires ou aux collaborations avec les entreprises.
- L'équipe de statistique reçoit de nombreuses sollicitations de l'extérieur pour participer à des projets de recherche. La fragilité des moyens humains (sur-services - cf premier point de la liste-, expertise scientifique limitée à un ou deux membres) peuvent mettre en péril la participation de l'équipe de statistique à de tels projets.

### **Structuration, effectifs et orientations scientifiques :**

L'équipe de statistique est organisée autour de trois axes : actuariat-économétrie, statistique computationnelle et appliquée (statistique bayésienne, méthodes de Monte-Carlo, machine learning) et fondements mathématiques de la statistique (statistique non-paramétrique, approche minimax, inégalités d'oracle, transport optimal).

Elle est constituée de 12 enseignants-chercheurs (8 MCF dont 2 HDR, 4 PR). C'est la seule équipe du groupe ALEA à avoir des membres (1 PR et 1 MCF) employés par Centrale Méditerranée et aussi la seule à ne pas avoir de chercheur CNRS. En revanche, l'équipe compte un PAST rattaché à la thématique de l'actuariat et de l'économétrie. Son activité de recherche est impactée très négativement par les sur-services en raison des nombreuses heures complémentaires effectuées par ses membres tant à AMU qu'à Centrale Méditerranée, même si la situation s'est un peu améliorée à Centrale Méditerranée avec l'arrivée d'une professeure en Statistique au sein du Laboratoire de Modélisation Mécanique et de Procédés Propres (M2P2).

Du point de vue de ses thématiques, l'équipe de Statistique souhaite poursuivre autour des trois axes de recherche actuels. De nouvelles collaborations pluridisciplinaires devraient voir le jour, par exemple avec l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (IMO). Autour de l'analyse de données en neurosciences, une dynamique se met en place, notamment à travers l'encadrement d'alternants recherche à Centrale Méditerranée par plusieurs membres de l'équipe, et des possibilités de collaboration sont à étudier avec l'équipe Signal et Image mais aussi avec d'autres laboratoires d'AMU.

Au cours des cinq prochaines années, l'équipe souhaiterait recruter au moins deux chercheurs CNRS (dans l'idéal 1 DR et 1 CR). A plus long terme, l'équipe de Statistique devra réfléchir à sa pyramide des âges tant pour connaître un renouvellement permanent que pour ne pas être confrontée à une période de départs massifs qui désorganiserait l'équipe.

L'équipe souhaite poursuivre sa forte activité d'organisation d'événements scientifiques ponctuels et récurrents au service de la communauté statistique et pour le rayonnement de l'I2M mais doit faire face aux besoins de financement de ces activités.

### **Stratégie partenariale :**

Académique (échelle locale, nationale, européenne, internationale)

- échelle locale :
  - Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM).
  - Institut Méditerranéen d'Océanologie (IMO).
  - Laboratoire de Psychologie Cognitive (LPC).
  - Laboratoire de Neurosciences Cognitives (LNC).
  - Institut Fresnel.
- nationale :
  - Université Lyon 1 (Institut Camille Jordan).
  - Université de Lorraine (Institut Elie Cartan de Lorraine).
  - Cergy Université.
  - Université Clermont-Auvergne.
  - Université Rennes 1 (Institut de Recherche Mathématique de Rennes).

- échelle européenne :
  - Belgique : KU Leuven.
  - Irlande : Trinity College Dublin.
  - Pologne : AGH University of Science and Technology.
  - Royaume-Uni : University of Cambridge ; University of Sussex.
- échelle internationale :
  - Arabie Saoudite : KAUST.
  - Australie : Queensland University of Technology.
  - États-Unis : MIT.
  - Éthiopie : Haramaya University.
  - Israël : University of Haifa
  - Nouvelle Zélande : Massey University of New Zealand.

#### Partenariats socio-économiques

Les partenariats avec les entreprises sont surtout le fait de la thématique actuariat-économétrie. Il y a d'ailleurs une demande de chaire Axa en cours soutenue par Aix-Marseille Université. Il existe une chaire DIALOG (Digital Insurance and Long-Term Risk) avec CNP Assurances dont Xavier Milhaud, MCF de l'équipe de Statistique, est l'un des porteurs au côté de Katrien Antonio (Professeure, KU Leuven).

La thématique statistique computationnelle et appliquée collabore avec des entreprises à travers des thèses CIFRE. Badih Ghattas, MCF promu PR à la Faculté d'Economie et de Gestion (FEG), encadrerait de nombreuses thèses dans ce cadre avec des sociétés comme Renault ou Thalès. L'équipe de statistique souhaite poursuivre cette activité d'encadrement de thèses CIFRE qui permet de financer des doctorants et aussi des projets de recherche. Il y a des collaborations en cours avec la société Résurgence et la SERAMM (Service d'Assainissement Marseille Métropole, filiale du groupe Suez).

#### **Intégration du projet dans la stratégie des établissements tutelles et dans la stratégie du site universitaire :**

La statistique est l'une des principales composantes de la thématique Sciences des données qui est bien reconnue au sein d'AMU et d'AMIDEX avec l'Institut Archimède et avec le programme CEDRe (Centre de Formation et de Soutien aux Données de Recherche, projet IDeAL PIA3).

Au niveau de l'association AMPM (Aix-Marseille Provence Méditerranée), l'équipe de Statistique entretient des liens avec l'équipe de Statistique de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse à travers l'organisation d'événements scientifiques récurrents tels que les Journées Marseille-Avignon et les Journées Statistiques du Sud (en collaboration avec l'Université de Nice Côte d'Azur, Université de Montpellier, Université Toulouse Paul Sabatier).

#### **Positionnement et contribution des équipes (ou départements pour les TGU) et synergies entre les équipes (départements) :**

L'équipe de Statistique présente actuellement peu de collaborations au sein du groupe ALEA et c'est un point qui est à développer à l'avenir. Deux axes sont à retenir : un axe théorique où pourrait s'inscrire des interactions avec l'équipe de Probabilités et un axe plus appliqué autour d'une communauté de projets pluridisciplinaires comme avec l'équipe Signal et Image autour du traitement et de l'analyse des signaux en neurosciences ou avec l'équipe MaBioS autour du traitement de données en biologie.

Une interaction existe avec le groupe Analyse Appliquées initiée par des enseignants-chercheurs de Centrale Méditerranée (1 MCF de l'équipe de Statistique et 1 PR et 1 MCF du groupe d'Analyse Appliquée). Le thème général est le transport optimal et ses applications en statistique. Des thèses co-encadrées par un membre de l'équipe de Statistique et des membres du groupe d'Analyse Appliquée sont actuellement en cours.

### **Liens formation recherche, école doctorale, EUR, ... :**

L'équipe de Statistique est très liée au Master *Mathématiques appliquées, statistique* dont la vocation est plutôt professionnelle. Il est assez difficile pour les très bons étudiants de ce Master souhaitant poursuivre en thèse d'obtenir une bourse de l'ED 184 Mathématiques-Informatique et l'équipe doit donc chercher des financements alternatifs (CIFRE, ANR, appel à projet d'instituts,...) qui orientent nécessairement le sujet de recherche.

L'équipe de Statistique enseigne aussi au Master *Mathématiques et applications*, parcours Calcul scientifique-EDP-Probabilités-Statistique, et dans des Masters pluridisciplinaires comme le Master *Computational and Mathematical Biology* porté par l'Institut de Convergence CENTURI. Elle accueille régulièrement en stages de M1 ou M2 des étudiants de ces masters.

Enfin depuis quelques années, plusieurs membres de l'équipe de Statistique proposent des sujets pour les élèves alternants recherche de Centrale Méditerranée afin de renforcer l'attractivité de la recherche auprès des étudiants ingénieurs.

### **Science avec et pour la Société, Science Ouverte**

Les membres de l'équipe de Statistique étant accaparés par les enseignements ne peuvent pas participer activement à des activités de promotion de la Science au sein de la Société ou à toute autre action d'ouverture ou de réflexion sur la parité ou l'impact environnemental.

### **Equipe Signal et image**

#### **Vision prospective :**

Les travaux de recherche de l'équipe Signal et Image relèvent d'axes méthodologiques et d'applications variés. Leur point commun est le développement de modèles et de méthodes basées sur différents champs mathématiques (statistiques, probabilités, optimisation, analyse harmonique, analyse numérique, etc...) pour résoudre des problèmes en traitement du signal et des images. C'est l'une des rares équipes sur ces thèmes faisant partie d'un laboratoire de mathématiques en France, ce qui lui permet d'attirer d'excellents chercheurs et enseignants-chercheurs dans le domaine du traitement du signal et des images.

#### **Matrice SWOT :**

##### **Points forts**

- Construction et analyse de modèles mathématiques de signaux à l'aide d'outils comme l'analyse harmonique et les probabilités-statistiques.
- Mise au point et étude de méthodes et d'algorithmes à partir de techniques mathématiques en optimisation, en inférence statistique, en simulation...
- Nombreuses collaborations interdisciplinaires sur des applications très variées (audio, neurosciences, données biomédicales, biologie, médecine, mécanique des fluides, et biomécanique).
- Partenariat privilégié avec l'équipe Qarma du Laboratoire d'Informatique et Systèmes (LIS, tutelles AMU-CNRS).

##### **Points à améliorer**

- Développement, maintenance et mise à disposition de Toolbox et logiciels (DevOps)
- Difficultés à développer des collaborations à l'intérieur de l'I2M en raison des contraintes géographiques liées à l'enseignement.

##### **Possibilités offertes par le contexte / l'environnement dans lequel elle se trouve**

- Participation active aux instituts interdisciplinaires (CENTURI, ILCB, Imaging, Archimède...)
- Utilisation des techniques d'apprentissage statistique comme un outil d'aide à la modélisation mathématique.

##### **Les risques liés à ce contexte / cet environnement**

- Pression externe des domaines applicatifs pour des solutions d'ingénierie mathématique ne laissant pas la place à des sujets de recherche au niveau d'exigence de l'équipe Signal et Image.
- Pression externe liée au diktat des mesures de performance des méthodes, effectuées sur des jeux de données standardisés, qui ne laisse aucune place à des travaux exploratoires.
- Prise de risque, voire perte de temps, dans des problèmes parfois très appliqués où la mise au point d'un sujet de recherche intéressant nécessite beaucoup d'investissement préalable.

### **Structuration, effectifs et orientations scientifiques :**

L'équipe Signal et Image (SI) est constituée de 5 enseignants-chercheurs (3 PR et 2 MCF) et de 2 chercheuses CNRS (1 CR et 1 DR), 1 chercheur contractuel (financé sur une chaire par l'institut interdisciplinaire CENTURI), ainsi que plusieurs doctorants et post-doctorants.

Malgré le faible effectif de l'équipe, les thématiques de recherche sont très variées, ainsi que les applications et données sur lesquelles elle travaille. L'équipe mène des projets interdisciplinaires avec plusieurs laboratoires de recherche sur Marseille. Elle collabore avec d'autres partenaires académiques en France et à l'étranger. Il faut souligner qu'une de ses membres, Caroline Chaux, est actuellement en détachement au laboratoire IPAL (IRL CNRS) en intelligence artificielle à Singapour. L'équipe travaille aussi régulièrement avec des entreprises privées.

Elle organise des séminaires réguliers avec l'équipe QARMA du Laboratoire d'Informatique et des Systèmes autour de l'apprentissage statistique et des journées thématiques.

Les projets à venir de l'équipe Signal et Image peuvent être regroupés autour de quelques axes fédérateurs :

1. l'analyse harmonique pour la décomposition de signaux, les outils multirésolution et temps-fréquence,
2. les problèmes inverses, l'optimisation et l'apprentissage,
3. les modèles stochastiques et la modélisation, synthèse et analyse de texture,
4. les modèles de graphes et les signaux sur graphes,
5. la simulation des processus physiques par EDP.

Voici une partie des projets de recherche de l'équipe, en soulignant ceux qui mettent en valeur d'une part les éléments soulevés dans la matrice SWOT et d'autre part l'intégration des nouveaux collègues P. Roudot (Chaire CenTuri, depuis 2021) et A. Marmin (MCF AMU depuis septembre 2022). D'autres projets ne sont pas décrits ici mais sont disponibles sur la page web de l'équipe.

1. Projet BMWs (problèmes inverses, optimisation, graphes) : Le projet BMWs (Bayesian Meets Wavelets in spacetime, ANR-20-CE45-0018) est consacré à la localisation de sources cérébrales à partir d'enregistrements simultanés EEG, MEG et SEEG (*stereotaxic* EEG, enregistrements intracérébraux). Ce problème inverse est fortement sous-déterminé, l'information *a priori* injectée (sous forme de régularisation ou de loi *a priori* joue un rôle prépondérant. BMWs développe de larges classes de solveurs pour le problème inverse EEG/MEG (mobilisant des techniques d'optimisation convexe et non-convexe, des modèles Bayésiens hiérarchiques et des méthodes d'approximation de fonctions définies sur des graphes ou des surfaces), l'objectif étant d'exploiter les enregistrements intracérébraux pour définir des critères objectifs de sélection d'*a priori*, ou si possible les utiliser dans la résolution du problème inverse.
2. Projet Turbulence chargée de particules Particle-laden turbulence (modèles physiques EDP, multirésolution, graphes, apprentissage) : Dans ce projet on s'intéresse à la dynamique multi-échelle de nuages de points (formation de cluster, de vide, de tourbillons) dans des flots de turbulence chargés de particules inertielles. On développe des représentations multi-échelle pour les nuages de points en utilisant une tessellation (donc un graphe) pour les représenter.
3. Projet Descartes (optimisation, problèmes inverse, apprentissage) : DesCartes (pour DEciSion-making in CriticAI uRban sysTEmS) est un projet Franco-Singapourien (2021-2026) porté par la filiale du CNRS à Singapour nommée CNRS@CREATE et financé en partie par la NRF Singapour.

Ce projet traite de l'Intelligence Artificielle hybride, visant à faire collaborer les approches d'apprentissage et la physique des problèmes considérés, dans le contexte des villes intelligentes. C. Chauv est la référente pour le WP3.

4. Etude des paysages de problèmes d'optimisation non-convexes : Le projet consiste à étudier les paysages d'optimisation des problèmes d'optimisation non-convexes, i.e. la nature, le nombre et la distribution dans l'espace d'optimisation des points critiques. Cette étude permet à la fois d'améliorer la compréhension de l'efficacité des algorithmes existants et du choix des hyper-paramètres (par exemple le paramètre de régularisation) mais également le développement de nouveaux algorithmes s'appuyant sur l'étude géométrique menée.
5. Modélisation stochastique : L'étude des données issues des systèmes vivants requiert l'utilisation de modèles stochastiques et multi-échelles pour maîtriser leur nature collective et parfois chaotique (vol d'étourneaux, agrégats cellulaires, dynamiques moléculaires etc.). Ces recherches pourraient être l'objet de synergies constructives entre l'équipe Signal et Image et l'équipe de Statistique (c.f. matrice SWOT). Au-delà de l'aspect dynamique de ces données, des approches basées sur les champs Gaussiens anisotropes sont aussi développées pour modéliser la texture des images issues de la microscopie, inférer leurs paramètres et permettre leurs simulations pour l'apprentissage.
6. Analyse temps-fréquence adaptative : L'analyse temps-fréquence classique, qui est un outil extrêmement utilisé en traitement du signal mais est aussi devenu un domaine à part entière de l'analyse harmonique, repose sur une transformation linéaire dont la résolution conjointe temps-fréquence est limitée par des principes d'incertitude. Une variante non-linéaire, permettant d'adapter la résolution temps-fréquence à la fonction analysée, est développée et étudiée par des membres de l'équipe Signal et Image. Un volet applicatif naturel concerne des applications audio, en particulier en modélisation de la perception auditive dans laquelle des effets non-linéaires similaires aux non-linéarités étudiées sont présents.
7. Projet CM2E : Le développement d'une nouvelle approche numérique pour les équations de transport, la méthode d'application caractéristique, permet une résolution exponentielle en temps linéaire. Les premiers résultats pour l'équation d'Euler 2D montrent les capacités de résolution extrêmement élevées de ce schéma. La première partie du projet sera axée sur le développement de la méthode pour des systèmes 2D, incluant une version adaptative en ondelettes. Des écoulements d'Euler, le mélange de scalaire et la reconnexion en magnétohydrodynamique seront ensuite étudiées. La deuxième partie concernera l'extension 3D de la méthode, afin d'étudier la formation des singularités et la dispersion de la turbulence.

### **Stratégie partenariale :**

Académique (échelle locale, nationale, européenne, internationale),

— échelle locale :

- Laboratoire d'Informatique et des Systèmes (LIS).
- Institut des Sciences Moléculaires de Marseille (ISM2).
- Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM).
- Institut de Biologie du Développement de Marseille (IBDM).
- Institut des Neurosciences de la Timone (INT).
- Institut de Neurosciences des Systèmes de Marseille (INS).
- Institut Fresnel.
- Laboratoire Perception, Représentations, Image, Son, Musique (PRISM).
- Laboratoire Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires (PIIM), Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels (IUSTI).

- Institut de convergence CENTURI,
- Institut de convergence ILCB.
- échelle nationale :
  - ENS Paris.
  - Laboratoire des Signaux et Systèmes (L2S) Paris Saclay.
  - Institut Curie Paris.
  - IFP Énergies nouvelles Paris.
  - Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA) Lyon,
  - INRIA Nancy et Rennes.
  - Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT).
  - Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS) Toulouse.
  - ICUBE Strasbourg.
- échelle européenne :
  - Allemagne : TU Berlin, Universität Rostock, TU Darmstadt.
  - Autriche : Universität Wien, Universität Bayreuth, Acoustic Research Institute, Austrian Academy of Sciences.
  - Italie : Roma La Sapienza.
  - Pays-Bas : Leiden University, TU Eindhoven.
  - Royaume-Uni : University of Southampton.
  - Suisse : ETH Zürich.
- échelle internationale :
  - Brésil : INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (São José dos Campos), Universidade Federal Fluminense (Niteroi)
  - Canada : Mc Gill University ; Université de Montréal.
  - États-Unis : University of Texas, Stanford University, University of San Diego, Oregon State University, Oak Ridge National Laboratory (Tennessee), Northwestern University (Illinois).
  - Japon : Nagoya University, Tokyo Institute of Technology, JAMSTEC (Yokohama).
  - Singapour : National University of Singapore ; Nanyang Technological University ; Agency for Science, Technology and Research.

#### Partenariats socio-économiques

L'équipe Signal et Image travaille régulièrement avec les entreprises suivantes : Euranova, Ansys France. L'équipe propose aussi des services d'expertise au service des entreprises via l'AMIES (Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société). Un de ses membres est responsable de la cellule Eureka de l'Institut Archimède pour le développement de collaborations en mathématiques et informatique entre les entreprises et les chercheurs.

#### **Intégration du projet dans la stratégie des établissements tutelle et dans la stratégie du site universitaire :**

L'équipe Signal et Image est pleinement intégrée à la dynamique des instituts d'AMU soutenue par AMIDEX. De nombreuses collaborations pluridisciplinaires sont déjà effectives, par exemple au sein des instituts CENTURI et ILCB.

#### **Positionnement et contribution des équipes (ou départements pour les TGU) et synergies entre les équipes (départements) :**

L'équipe de Signal et Image a pour l'instant des interactions ponctuelles avec d'autres équipes du groupe ALEA, i.e. avec l'équipe MABioS et l'équipe de Probabilités. Des interactions plus récurrentes avec ces dernières ainsi qu'avec l'équipe de Statistique du groupe ALEA et le groupe d'Analyse Appliquée seraient également fructueuses.

### **Liens formation recherche, école doctorale, EUR, ... :**

L'équipe intervient dans les enseignements spécialisés de plusieurs masters et accueille chaque année des stagiaires de la Licence au Master 2. Elle accueille également des doctorants et post-doctorants.

Un membre est actuellement à la direction du département mathématique et a été porteur et responsable du Master *Mathématiques Appliquées, Statistique*. Des responsabilités dans ce master relèvent également de l'équipe. Par ailleurs, un membre est co-responsable du Master *Sciences Cognitives*, un master interdisciplinaire adossé à l'Institut ILCB.

Un autre projet coporté par l'équipe est le Hackathon CENTURI. Ce hackathon consiste en un rassemblement court qui permet à des scientifiques, étudiants ou de métier, de tenter de faire sauter des verrous technologiques ciblés sur le thème des systèmes biologiques complexes. Les problèmes abordés vont du traitement d'image à l'exploration des données de grande taille ou à la robotisation. Forts du succès de l'édition 2022, qui a permis de lancer de nouvelles collaborations et d'introduire sur le campus de Luminy la technique de la microscopie robotique, l'expérience sera reconduite en 2023.

### **Science avec et pour la Société, Science Ouverte**

L'équipe Signal et Image est aussi très impliquée dans l'organisation de l'événement de vulgarisation scientifique "Treize minutes Marseille" et est régulièrement sollicitée pour des conférences à destination du grand public ou des étudiants.

### **Equipe MABioS (Mathématiques Appliquées à la Biologie des Systèmes)**

#### **Vision prospective :**

Le domaine scientifique de la biologie des systèmes est en pleine extension, grâce à l'explosion de la technologie qui fournit des données génomiques à grande échelle. Cela offre des opportunités nouvelles en biomédecine pour mieux comprendre les fonctionnements normaux et/ou pathologiques des systèmes vivants, et permet des avancées significatives en recherche translationnelle et dans le domaine de la médecine personnalisée. Pour relever les défis associés, il faut lever deux verrous principaux : le manque d'expertise, le manque d'approches mathématiques formelles et numériques, ainsi que d'outils adéquats. En particulier, il existe une forte demande de développement de méthodes relevant du domaine de l'IA pour tirer parti de la masse de données produite par les biologistes. Le projet de recherche de l'équipe MABioS se place dans cette dynamique, apportant son expertise en modélisation logique de réseaux biologiques, analyse des systèmes dynamiques discrets et intégration de données dans les modèles biologiques.

#### **Matrice SWOT :**

##### **Points forts**

- Interdisciplinarité (membres (bio)mathématiciens, (bio)informaticiens). Tous les membres permanents sont HDR.
- Diverses collaborations via des projets financés, ce qui permet entre autres le recrutement de post-doctorants et doctorants (internationaux).
- Bonne intégration dans le tissu scientifique local (plusieurs instituts d'établissement AMU), national (animation du Groupe de Travail Bioss des GDR Informatique-Mathématiques (IM) et Bioinformatique Moléculaire (BiM), participations à de nombreux jurys de thèse...), et international (implication au sein de consortia comme CoLoMoTo (Consortium for Logical Models and Tools), SysMod (Computational Modeling of Biological Systems), etc...)

### **Points à améliorer**

- Effectif permanents très insuffisant par rapport au nombre de projets à gérer.
- Besoin de rangs A et de jeunes chercheurs et chercheuses.
- Recrutement d'étudiants de formation mathématique.

L'équipe est géographiquement éloignée des autres équipes du groupe Alea : communication limitée, gestion administrative à distance (un rattachement administratif à un autre groupe serait peut-être plus pertinent pour faciliter la gestion).

### **Possibilités offertes par le contexte / l'environnement dans lequel elle se trouve**

- L'équipe MABioS bénéficie de l'environnement scientifique de l'I2M (avec statisticiens, dynamiciens, équipe de mathématiques discrètes, équipe Signal et Image), le Centre de Physique Théorique (CPT), le Laboratoire d'Informatique et des Systèmes (LIS) : accès à des expertises méthodologiques. Par la présence de nombreux laboratoires de biologie (cancérologie, immunologie), le campus de Luminy et Marseille Sud est idéal pour susciter des collaborations. En outre, l'équipe MABioS est en lien étroit avec l'équipe de bioinformatique NSBD du laboratoire Marseille Medical Genetics à la Timone (convention d'accueil réciproque de tous les membres des équipes, séminaires communs...). Cette collaboration privilégiée offre à l'équipe MABioS un accès efficace à l'expertise biologique et médicale et aux données.

### **Les risques liés à ce contexte / cet environnement**

- Difficulté pour avoir un profil de poste universitaire fléché dans les thématiques de l'équipe MABioS, car elle n'émerge pas dans les filières disciplinaires standards : c'est un des biais de l'interdisciplinarité (dernier recrutement universitaire, celui de L. Tichit en 2005). L'équipe est vieillissante, le problème de la relève se pose.

### **Structuration, effectifs et orientations scientifiques :**

Les recherches développées dans l'équipe MABioS portent sur la modélisation mathématique des réseaux d'interactions biologiques pour comprendre leurs comportements transitoires et asymptotiques. L'analyse et la simulation de modèles discrets de grands réseaux biologiques restent un domaine où de nouvelles méthodes sont nécessaires pour faire face à l'explosion combinatoire des espaces d'états, domaine dans lequel nous souhaitons continuer à contribuer. L'équipe poursuivra également ses travaux pour la définition et l'analyse de modèles multi-cellulaires, combinant des réseaux de régulation propres à chaque cellule d'une population. En effet, il faut rendre compte des communications inter-cellulaires qui sont essentielles dans nombre de processus biologiques. D'autre part, l'équipe souhaite également développer des méthodes pour l'intégration dans ses modèles actuels de nouveaux types de données biologiques, en particulier des données à l'échelle de la cellule unique (RNAseq, spatial transcriptomic), et des mécanismes épigénétiques. La stratégie de l'équipe s'appuie sur trois axes principaux, entre lesquels il est veillé à maintenir un équilibre :

1. des travaux méthodologiques basés sur des outils de systèmes dynamiques discrets, théorie des graphes et combinatoire, permettant d'améliorer l'analyse dynamique de modèles discrets des réseaux biologiques, dont la taille augmente avec l'arrivée massive de nouvelles données et connaissances biologiques.
2. le développement de méthodes d'intégration et d'analyse de données biologiques hétérogènes de large dimension. Ces méthodes tirent parti d'approches de réduction de dimension, à l'instar du plongement de réseaux, de la factorisation de matrices et des auto-encodeurs. Elles font également intervenir des concepts issus du domaine de l'apprentissage automatique, tel l'apprentissage par transfert.
3. l'élaboration de modèles discrets de réseaux biologiques dans le cadre de collaborations pluridisciplinaires. Nos travaux théoriques évoluent en synergie avec les applications biologiques et biomédicales. Celles-ci motivent les recherches de l'équipe, lui donnent accès aux différents types de données, et permettent de rester proches des contraintes et des hypothèses biologiques, et de valider à la fois ses approches développées et les résultats.

### **Stratégie partenariale :**

Académique (échelle locale, nationale, européenne, internationale)

— échelle locale :

- Marseille Medical Genetics (MMG, La Timone) ;
- Centre de Recherche en Cancérologie de Marseille (CRCM, IPC) ;
- Centre d'Immunologie de Marseille Luminy (CIML) ;
- Laboratoire de Chimie Bactérienne (LCB) ;

— échelle nationale :

- Institut Curie (Paris),
- Institut de Biologie de l'École Normale Supérieure (IBENS, Paris),
- Université Côte-d'Azur : Laboratoire d'Informatique, Signaux et Systèmes de Sophia-Antipolis (I3S).

— échelle européenne :

- Portugal : Institute for Research and Innovation in Health (Instituto de Investigação e Inovação em Saúde da Universidade do Porto, I3S), University of Porto ;
- Superior Technical Institute (IST, Instituto Superior Técnico), University of Lisbon.

— échelle internationale :

- Nouvelle Zélande : Massey University of New-Zealand.

Partenariats socio-économiques

L'équipe MABioS se concentre sur les partenariats académiques et ne développe pas actuellement de relations avec des acteurs du monde socio-économique.

### **Intégration du projet dans la stratégie des établissements tutelles et dans la stratégie du site universitaire :**

Implication dans divers instituts d'établissements AMU :

- Institut CENTURI (participation active à sa fondation, comité de pilotage, Création du master CMB) ;
- Institut MarMaRa (Marseille Maladies Rares) ;
- Institut Laënnec (IA et Santé) ;
- Institut Archimède (Mathématiques-Informatique) ;
- European Joint Program on Rares Diseases (EJP RD) ;
- PEPR Santé Numérique (Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche pilotés par l'Inserm et Inria).

### **Positionnement et contribution des équipes (ou départements pour les TGU) et synergies entre les équipes (départements) :**

- Interaction avec équipe Signal et Image (P. Roudot, ANR Camudi ; participation comité de thèse) ;
- Statistique (P. Pudlo, projet Massey University of New Zealand, participation comités de thèse) ;

### **Moyens mobilisés par l'unité de recherche et adéquation projet/moyens, incluant les aspects plateformes (instrumentales ou numériques), les infrastructures**

- Implication dans le consortium international CoLoMoTo (Consortium for Logical Models and Tools), chargé de développer et comparer des méthodes, modèles et outils basés sur la modélisation logique des systèmes biologiques.

- Poursuite des développements d'outils informatique pour la modélisation discrètes de réseaux biologiques (GINsim, <http://ginsim.org> et EpiLog, <http://epilog-tool.org>)

### **Liens formation recherche, école doctorale, EUR, ... :**

- Création et responsabilités dans le master interdisciplinaire Computational and Mathematical Biology (CMB, Institut de convergence CENTURI) ;
- Enseignements Master *Bio-informatique* parcours DLAD, École Centrale Méditerranée ;
  - Membre de la commission doctorale de l'I2M.

### **Science avec et pour la Société, Science Ouverte**

Toutes les publications de l'équipe MABioS sont en accès libre (open access). Les logiciels GINsim et EpiLog sont librement disponibles, avec une licence Creative Common CC BY-NC\_SA.

## **Projet de l'équipe Géométrie, dynamique, arithmétique, combinatoire et leurs interactions (GDAC)**

### Analyse SWOT

#### **Forces**

La production scientifique de l'équipe GDAC est de haut niveau, en adéquation avec le potentiel de recherche de l'équipe. Sur 36 membres permanents (au 1er janvier 2022), 35 ont publié pendant la période 2016-2022, et 15 ont 10 publications ou plus. Les doctorants et post-doctorants participent eux aussi largement à la production scientifique de l'équipe. L'équipe entretient de nombreuses collaborations internationales de haut niveau.

L'équipe GDAC est attractive, et se renouvelle. Au cours de la période 2016-2022, ont été recrutés trois chargés de recherche (A. Boulanger, E. Moutot, O. Paris-Romaskevich), un maître de conférences (A. Belotto) et un chercheur contractuel Amidex (D. Schleicher), et sont arrivés en mutation un directeur de recherche (C. Chandre), deux professeurs (Y. Matheron, B. Saussol) et un maître de conférences (J. Raimbault). Inversement, l'équipe essaime très largement par le recrutement dans des endroits variés de ses docteurs, et les promotions et mutations de ses permanents.

Le directeur d'unité actuel est membre de l'équipe.

Les nombreuses discussions, et projets communs, entre membres de l'équipe créent une ambiance conviviale qui contribue à son attractivité.

#### **Faiblesses**

L'enchevêtrement des thèmes et de leurs interactions induit un certain manque de lisibilité dans l'abondante production de l'équipe, et il est impossible d'écrire un graphe de collaborations sans un grand nombre de flèches qui se croisent.

#### **Opportunités**

L'environnement scientifique, bien qu'en voie de dégradation, offre encore de belles opportunités. On notera en particulier la présence du CIRM (dont le directeur actuel est membre de l'équipe GDAC) sur le campus de Luminy, dans lequel l'équipe s'investit fortement, en y organisant de nombreuses rencontres, des mois thématiques (*mathématiques et informatique* en 2024), et des chaires Morlet (Athreya invité par Bédaride en 2023). La FRUMAM facilite l'interaction au sein de l'équipe, en mettant à disposition un lieu de rencontre en centre ville, et permet aussi un lien avec d'autres

laboratoires de la région (par exemple le laboratoire de mathématiques d'Avignon, avec qui nous organisons des Journées de dynamique Avignon-Marseille). La présence de l'IRES (ex-IREM) et d'associations dévouées à la cause des mathématiques facilite les actions de diffusion, en particulier auprès d'un public scolaire.

## Risques

La dynamique de renouvellement est malheureusement freinée par le fait qu'une partie des postes libérés par des départs ne sont pas republiés. De ce fait, l'équipe est jeune, mais manque de personnels de rang A prêts à assumer des responsabilités administratives.

Le manque de bourses de thèses (en 2022, 7 pour toute l'ED184, à partager entre mathématiques et informatique) est aussi un frein. L'équipe pourrait encadrer nettement plus de doctorants si leur financement était facilité.

Les multiples changements administratifs qui ont été imposés sans concertation (fusion des universités puis des laboratoires) ont pu laisser des traces, et des problèmes non résolus. Mais ce sont surtout les problèmes de locaux (déménagements, locaux provisoires, manque général d'entretien) qui affectent les conditions de travail de l'équipe, dont la répartition sur trois sites n'est pas toujours sans inconvénients. Cette situation risque de durer encore plusieurs années.

## Structuration, effectifs et orientations scientifiques

### Présentation

L'équipe GDAC regroupe (au 1er janvier 2023) 44 membres permanents et 11 non permanents, répartis à peu près également entre le site de Luminy d'une part et ceux de Château-Gombert et Saint-Charles d'autre part. Elle a été formée en 2014, au moment de la création de l'I2M, et a choisi de rester monolithique, sans structuration en sous-équipes.

La recherche menée dans l'équipe GDAC s'organise autour de quatre axes correspondant aux quatre lettres de son acronyme, "Géométrie", "Dynamique", "Arithmétique" et "Combinatoire". Leurs frontières sont floues et ouvertes. Ce flou est pleinement assumé par l'équipe : c'est en effet une des clés de la richesse de la vie scientifique de l'équipe GDAC. Les quatre thématiques interagissent régulièrement, comme peuvent en témoigner les nombreuses publications.

Les axes ne constituent pas des sous-équipes : les membres de l'équipe ne sont pas affectés à un axe donné, et la plupart des travaux mettent en œuvre plusieurs axes. C'est donc juste pour faciliter la lecture que nous choisissons de présenter ce projet par axe thématique.

L'équipe GDAC est présente sur les trois sites de l'I2M. Plusieurs séminaires permettent des échanges réguliers au sein de l'équipe : le séminaire Rauzy (anciennement Teich) à Saint-Charles, ouvert à toutes les thématiques ; le séminaire Ernest à Luminy, également ouvert à toutes les thématiques mais avec un accent plus particulier sur l'arithmétique et la combinatoire ; le séminaire de topologie et de géométrie, à Saint-Charles, commun avec l'équipe AGT, qui a récemment remplacé le séminaire Géométrie, dynamique et topologie (GDT) de Château-Gombert. Plusieurs groupes de travail plus spécialisés viennent s'y ajouter.

## Projet scientifique

### Axe "Géométrie"

Les principaux sujets de recherche sont les automorphismes de groupes libres  $F_N$  et des espaces associés, les groupes limites et représentations de groupes de trois-variétés, variétés de petites dimensions, et les singularités. L'interaction avec la dynamique passe par le cadre des surfaces de translation et de la stratification de l'espace cotangent de l'espace de Teichmüller.

Les travaux des singularistes de l'équipe ont concerné l'étude locale des singularités en géométries algébrique et analytique locale, réelle ou complexe, à l'aide de méthodes algébriques, topologiques et analytiques. Anne Pichon, partiellement en collaboration avec André Belotto, a en particulier contribué à l'étude de la classification bi-lipschitz des germes de surfaces complexes et entreprend l'étude de la dimension supérieure; Guillaume Rond a contribué principalement à l'étude des solutions d'équations polynomiales à coefficients dans des corps de séries, et l'application à des problèmes de géométrie analytique locale.

L'étude des "ending laminations" sera un des moteurs importants pour les années à venir. En particulier, une forte activité scientifique est en train de se développer autour de la notion de sous-groupes "convexes-cocompacts" de  $\text{Out}(F_N)$ , le groupe des automorphismes extérieurs du groupe libre  $F_N$  de rang  $N$ , et du "flot de pliage" sur l'Outre espace  $CV_N$ : on a notamment mis en évidence une notion naturelle de "stratification" de  $CV_N$  qui demande d'être par la suite étudiée plus en profondeur.

### Axe "Dynamique"

L'équipe GDAC étudie les systèmes dynamiques sous plusieurs aspects, le plus importants étant justement celui des interactions entre dynamique, géométrie et combinatoire, qui font apparaître naturellement des objets arithmétiques.

La dynamique dans les espaces de Teichmüller a attiré l'attention de grands mathématiciens ces dernières décennies, comme le montrent les médailles Fields d'Artur Avila et de Maryam Mirzakhani; elle s'applique aux systèmes définis par des flots sur des surfaces de translation. Mais un tel système pourra avoir pour modèle un système dynamique classique (échange d'intervalles, billard, isométrie par morceaux) qui sera lui-même codé sous forme d'un décalage sur des mots infinis dans un alphabet fini, et, pour retrouver le système géométrique à partir de cette combinatoire des mots, on est amené à définir de nouveaux algorithmes d'approximation diophantienne, ou à approfondir l'étude d'algorithmes existants. D'autres notions, comme les substitutions, pavages, et la dynamique non linéaire, seront étudiées pour elles-mêmes ou pour leurs applications à la physique. La dynamique holomorphe et les propriétés dynamiques des processus déterminantaux constituent aussi des thématiques importantes, autour des fortes personnalités de Dierk Schleicher et Alexander Bufetov.

Parmi les sujets porteurs dans une perspective d'avenir, on peut noter le problème de Novikov sur les feuilletages des surfaces posé en 1982 et des questions très proches, qui ont été récemment reprises avec un regard nouveau, et la théorie ergodique des échanges d'intervalles, qui est assez bien comprise dans le cadre des échanges dits standard, qui préservent la mesure de Lebesgue, mais qui est en plein développement, portée par de grands noms tels Marmi, Moussa, Ulcigrai, dans le cas des échanges généralisés où les translations par morceaux sont remplacées par des applications continues croissantes. L'expertise d'une équipe qui a donné naissance aux inductions de Rauzy et de Ferenczi-Zamboni, ainsi qu'à l'invariant de Sah-Arnoux-Fathi, devrait faire merveille dans ce domaine.

### Axe "Arithmétique"

Les sujets de recherche principaux sont l'approximation et la discrédance, les séries entières algébriques à plusieurs variables, les problèmes additifs en théorie multiplicative des nombres, les fonctions digitales, l'arithmétique analytique dans  $\mathbb{F}_q[X]$ . La complexité inhérente au passage de la représentation d'un nombre entier dans un système de numération à sa représentation multiplicative (comme un produit de facteurs premiers) est à l'origine de plusieurs problèmes ouverts importants en mathématiques et en informatique. Notre projet de recherche est motivé par l'étude de l'indépendance entre les propriétés multiplicatives des nombres entiers et diverses fonctions "déterministes", c'est-à-dire produites par un système dynamique d'entropie nulle ou définies à l'aide d'un algorithme simple. En approfondissant les méthodes actuelles et cherchant de nouvelles voies à l'interface de la théorie des nombres, de l'analyse harmonique, de la combinatoire et de la théorie ergodique, nous souhaitons mettre en évidence des propriétés nouvelles des nombres premiers et d'autres suites de nombres entiers remarquables. Il s'agit d'une thématique actuellement en plein essor sur le plan international et nous souhaitons développer les outils que nous avons récemment

mis en place dans le cadre de plusieurs collaborations internationales (en particulier avec l'Allemagne, l'Autriche, le Brésil, la Grande Bretagne, la Hongrie, Israël, le Japon, la Pologne, la Russie et les USA) afin de réaliser ce projet de recherche dont les axes principaux sont l'étude des relations entre nombres premiers, suites polynomiales et automates finis, l'étude des propriétés pseudo-aléatoires de certaines suites arithmétiques et la recherche de nombres premiers dans des suites déterministes, en lien avec plusieurs travaux récents de Bourgain, Green, Sarnak et Tao concernant l'orthogonalité de la fonction de Möbius avec des suites déterministes (la fameuse conjecture de Sarnak) et l'obtention éventuelle de théorèmes des nombres premiers pour ces suites. En particulier, recruter 1 MCF et 1 PR en théorie des nombres sur la période de 4 ans à venir semblerait très souhaitable, car compte tenu du nombre réduits de recrutements au niveau national il y a actuellement de nombreux candidats de niveau excellent, voire exceptionnel, à la recherche d'un poste de MCF ou de professeur ; il serait important de saisir cette opportunité.

### Axe "Combinatoire"

Les objectifs de recherche portent sur la complexité, ou comptage du nombre de facteurs de longueur donnée d'un langage, les substitutions, ou morphismes de monoïdes pour la concaténation, les automates cellulaires, les graphes et les pavages.

La résolution de la conjecture de Nivat, qui lie une faible complexité avec des propriétés de périodicité sur des suites à deux indices (le cas d'un seul indice étant complètement résolu) est un objectif raisonnable, on peut au moins espérer des progrès substantiels. Un autre problème intéressant est l'étude approfondie de la transformation combinatoire de Burrows-Wheeler, utilisée en compression de texte, qui révèle des liens inattendus avec la dynamique, et donc la géométrie, des échanges d'intervalles.

La plupart de ces problèmes sont à l'interface mathématiques-informatique, et les autres laboratoires français où ils sont étudiés sont des laboratoires d'informatique (IRIF, LaBRI, LIP, etc.). L'équipe GDAC, dans un laboratoire de mathématiques, occupe donc une place singulière dans cette communauté.

## Intégration de l'équipe

### Stratégie partenariale

Nous n'insisterons pas sur la forte interactions entre les différentes thématiques d'une équipe vaste et foisonnante : par exemple, tout système dynamique qui se respecte admet des codages sous forme d'un shift sur des mots infinis dans un alphabet fini ; c'est pourquoi l'étude des langages, et plus généralement la combinatoire des mots, fournit des solutions à de nombreux problèmes dynamiques, et en crée par là-même de nouveaux.

Des interactions avec les autres équipes de l'I2M sont elles aussi fondamentales. Ainsi, les arithméticiens (Drappeau, Ramaré, Rivat) collaborent avec la sous-équipe ATI (Balazard) sur la conjecture de Sarnak, et la localisation des zéros de la fonction  $\zeta$  en-dehors de la demi-droite connue. Les combinaticiens (Guillon) travaillent avec l'équipe LDP (Vaux) pour explorer la dynamique topologique induite par la  $\beta$ -réduction en  $\lambda$ -calcul infinitaire. Des collaborations existent aussi avec les laboratoires voisins, LIS (informatique) et CPT (physique théorique).

Les collaborations avec des mathématiciens français sont trop nombreuses pour être mentionnées ici. Plus propres à l'équipe GDAC, des collaborations avec des informaticiens sont naturelles pour les combinaticiens des mots, par exemple celle de Bédaride avec Fernique (LIPN, Paris 13) sur les pavages par losanges du plan.

L'équipe a une longue tradition de co-publications avec de nombreux mathématiciens étrangers, représentant entre autres les pays suivants : Allemagne, Arabie Saoudite, Australie, Autriche, Brésil, Burkina Faso, Chili, Chine, Espagne, États-Unis, Finlande, Hongrie, Inde, Israël, Italie, Japon, Maroc,

Pologne, Royaume-Uni, Russie, Tunisie. Certaines proviennent de contacts individuels, mais l'équipe entretient nombre de coopérations suivies.

Avec le Brésil, nous collaborons depuis 2005 avec l'IMPA à Rio de Janeiro, l'USP à Sao Paulo, et l'UNESP à Sao Jose do Rio Preto dans le cadre de divers programmes franco-brésiliens (RFBR, FAPESP); nous espérons obtenir de nouvelles affectations temporaires de chercheurs de l'équipe à l'unité CNRS de l'IMPA.

Les arithméticiens de l'équipe poursuivent un projet ARITHRAND avec l'Autriche.

Ramaré anime une fructueuse coopération avec l'Inde (IMSc Chennai, ISI Kolkata, ISER Berhampur, HRI Allahabad, ISI Delhi) à l'aide de programmes franco-indiens CEFIPRA et IRL-IFPM.

L'école de théorie des nombres de Sfax (Tunisie) fondée par Mauduit et Mkaouar collabore toujours activement avec GDAC.

Plus originale est la collaboration de l'équipe GDAC, en recherche et pas seulement en enseignement, avec l'Afrique subsaharienne; elle a créé des liens importants avec le Burkina Faso et l'équipe de mathématiques discrètes de Bobo Dioulasso (université Nazi Boni). Bédaride a obtenu un financement CNRS (Dispositif de soutien à la coopération africaine) pour une période de deux ans: des étudiants d'Idrissa Kaboré sont venus, et des articles sont en cours d'écriture.

## Science ouverte

L'équipe GDAC est particulièrement active dans le domaine de la diffusion de la culture scientifique, et ce depuis longtemps (ainsi, l'association Maths pour tous, créée par Christian Mauduit en 1993, est toujours très active et plusieurs membres de l'équipe en font partie). Deux actions en direction des jeunes ont été lancées par des membres de l'équipe (rejoints ensuite par des membres d'autres équipes, et aussi du laboratoire d'informatique et systèmes LIS) et vont continuer à se développer: le Club de maths de Marseille, destiné aux lycéens souhaitant découvrir la recherche en mathématiques, et l'école Les Cigales, qui se tient 2 semaines par an et s'adresse exclusivement aux lycéennes, dans le but de lutter contre la désaffection des filles pour les mathématiques et l'informatique. Plusieurs membres de l'équipe participent à d'autres actions de diffusion: conférences dans les établissements scolaires, fête de la science, stages hippocampe à l'IREM, encadrement d'ateliers MATH.en.JEANS, conseil pour la réalisation de films scientifiques, accueil d'élèves en stage d'observation.