



**Institut National des Sciences Mathématiques  
et de leurs Interactions (INSMI)**

# **Institut des Mathématiques pour la Planète Terre**



Projet initialement porté par la Fédération de Recherche en Mathématiques  
Auvergne-Rhône-Alpes — Site web : <http://frmraa.math.cnrs.fr/>



## Table des matières

<b>A</b>	<b>Institut des Mathématiques pour la Planète Terre : Synopsis</b>	<b>5</b>
<b>B</b>	<b>Institut des Mathématiques pour la planète Terre : Descriptif et Fonctionnement</b>	<b>7</b>
	B.1. Contexte et présentation générale . . . . .	7
	B.2. Un Institut « sans mur » à vocation nationale . . . . .	10
	B.2.a. Pourquoi sans mur? . . . . .	10
	B.2.b. Une vocation nationale, un ancrage en région AURA . . . . .	10
	B.3. Objectif . . . . .	11
	B.4. Structuration . . . . .	12
	B.5. Financement . . . . .	13
<b>C</b>	<b>Un programme scientifique d'échanges autour du changement climatique</b>	<b>13</b>
<b>D</b>	<b>Quelques actions et publications Mathématiques pour la Planète Terre</b>	<b>14</b>
	D.1. Actions . . . . .	14
	D.1.a. Auvergne-Rhône-Alpes . . . . .	14
	D.1.b. Ailleurs en France . . . . .	16
	D.2. A l'étranger . . . . .	18
	D.3. Articles références . . . . .	18



## A INSTITUT DES MATHÉMATIQUES POUR LA PLANÈTE TERRE : SYNOPSIS

Réchauffement climatique, extinction des espèces, évènements extrêmes (éruption volcanique, tsunami, etc.), diffusion de la pollution constituent autant d'exemples de phénomènes très difficiles à appréhender. L'urgence de la situation environnementale nécessite une stratégie scientifique de grande envergure à plusieurs angles d'attaque et où les mathématiques ont un rôle très important à jouer au travers d'approches multidisciplinaires de qualité.

L'INSMI a affiché comme priorité la création d'un institut autour des Mathématiques pour la Planète Terre. Ce projet consiste essentiellement en un institut sans mur, à vocation nationale, capable de fédérer largement la communauté mathématique pour aborder des questions provenant d'autres domaines scientifiques dans une approche nécessairement pluridisciplinaire. L'institut se doit de fonctionner dans les deux sens entre les disciplines : un point d'entrée permettant aux collègues d'autres disciplines de trouver les bonnes compétences requises pour répondre à leurs questions, un organe interne à la discipline avec une légitimité pour préciser les définitions de l'interdisciplinarité impliquant un développement théorique et méthodologique en mathématiques. Il aura un conseil scientifique qui sera chargé de faire l'évaluation des projets de collaboration qui pourront inclure des moyens en ressources humaines (doctorants, post-doctorants, ingénieurs).

L'idée de la création d'un institut des Mathématiques pour la Planète Terre est née dans la région AURA portée dans un premier temps par la fédération de Recherche Mathématique Auvergne-Rhône-Alpes dont une part significative des recherches des laboratoires qui la composent portent sur ces thématiques. L'INSMI souhaite s'appuyer sur cet ancrage régional et développer un partenariat avec les universités de la région autour de cet institut. Un tel institut ne prendra tout son sens que s'il a une vocation nationale, s'il devient le vecteur des interactions de l'INSMI et est en capacité de mobiliser d'autres organismes de recherche, des universités extérieures à la région AURA mais également des partenaires privés. Il aura en particulier la légitimité pour trouver des sources de financements pour ces actions scientifiques.

### **Principaux objectifs :**

Structuration de la recherche mathématique en interaction avec des thématiques de la Planète Terre :

1. Création et animation d'un portail web permettant la mise en relation de mathématiciens avec des chercheurs d'autres disciplines, aptes à concevoir de nouvelles mathématiques théoriques ou numériques pour répondre à une question issue d'autres disciplines ;
2. Financement d'équipes de recherche pluridisciplinaires autour de problématiques relevant de thèmes « Mathématiques Planète Terre » (contrats doctorats, post-doc, IR, fonctionnement) ;
3. Promotion du transfert de connaissances et du partage de méthodes entre disciplines.

**Thèmes scientifiques retenus :**1. **Terre Vivante**

- écologie théorique ;
- morphogénèse et croissance des plantes, compréhension des contraintes externes qui influent sur forme, croissance (dunes, avalanches, feuilles, etc.);
- évolution et modélisation des écosystèmes ;
- dynamique et résilience des territoires naturels et sociaux ;
- modélisation de l'adaptation ;
- crises biologiques et grandes extinctions dans l'enregistrement géologique ;
- santé.

2. **Terre Humaine**

- gestion des déchets radioactifs ;
- gestion durable des ressources et des écosystèmes ;
- énergies propres, énergies renouvelables ;
- sociologie des réseaux, théorie des réseaux complexes ;
- analyse de données massives et intelligence artificielle ;
- systèmes complexes ;
- approches théoriques de l'évolution du comportement humain.

3. **Terre Fluide/Solide**

- turbulence et paramétrisation géophysique ;
- climatologie : océan et atmosphère, crises climatiques passées ;
- modélisation du cycle de l'eau, hydrologie opérationnelle ;
- approches micro-macro (nanophysique, écoulements granulaires, volcanologie, fluides complexes, etc.);
- modélisation des ondes de gravité et des processus associés (écoulements côtiers, dynamique planétaire des océans, hydrodynamique fluviale, etc.);
- prédiction/prévention des risques sismiques/volcaniques et analyse des risques sismiques/volcaniques ;
- imagerie des structures profondes, caractérisation des sources sismiques/volcanologiques (tectonique, faille, etc.);
- modèles de formation de la terre et des origines de la vie.

## B INSTITUT DES MATHÉMATIQUES POUR LA PLANÈTE TERRE : DESCRIPTIF ET FONCTIONNEMENT

### B.1. Contexte et présentation générale

De la *déraisonnable efficacité des mathématiques dans les sciences naturelles*, Eugène Wigner, prix Nobel de Physique 1963, *Réflexions et symétries*.

Les mathématiques sont une discipline fondamentale en dialogue permanent avec les autres sciences. Les collaborations entre les mathématiciens et les chercheurs des autres sciences sont particulièrement efficaces pour appréhender, modéliser et résoudre des problèmes de nature complexe issus d'autres disciplines. À titre d'exemple, on peut citer l'étude de l'invasion de crapauds-buffles et déplacement de bactéries portée par le mathématicien lyonnais V. Calvez et relatée dans cette [interview](#) sur ARTE. Le dialogue va dans les deux sens et à l'inverse, les questions exogènes, soulevées par d'autres disciplines, nourrissent les mathématiques et peuvent également permettre le développement de nouvelles théories mathématiques qui, à leur tour, peuvent apporter une meilleure compréhension des phénomènes étudiés.

Les questions environnementales, celles liées aux interactions de l'Homme avec la Terre sont des enjeux sociétaux majeurs qui revêtent un caractère d'urgence. La recherche doit relever ces défis dans une approche pluridisciplinaire et les mathématiques ont un rôle important à tenir pour répondre aux attentes de la société sur des questions concernant le changement climatique ou encore l'impact des activités humaines sur les écosystèmes. La communauté mathématique s'est déjà saisie de ces questions ; citons le trimestre thématique organisé à l'IHP par Anne-Laure Dalibard ([web](#)), l'appel à projets de AMIES, l'Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société, sur les « mathématiques du climat, de l'environnement et du développement durables » ([site web de l'appel](#)) ou encore le contrat d'objectifs et de performance du CNRS pour 2019-2023 dont les « mathématiques pour l'humain et son interaction avec la planète Terre » est une priorité.

Les problématiques environnementales et sociétales sont, par définition, fortement interdisciplinaires. Prenons quelques exemples de questions : Quels quotas de pêche imposer pour préserver l'écosystème marin ? Quelles sont les différences formelles entre évolution sociale et évolution génétique ? La fréquence des ouragans est-elle en augmentation ? Comment dépolluer rapidement un lac après un accident chimique ? Quelle organisation urbaine est la plus respectueuse de l'environnement ? Quel est l'impact des changements climatiques sur les migrations des cigognes ? Comment mesurer, prévoir et agir lors d'une éruption volcanique importante (retombées socio-économiques) ? Comment prendre en compte la panique pour modéliser le comportement d'une foule et mettre en place des procédures d'évacuation efficaces en cas de catastrophes naturelles, d'attentats, etc. ? Réseaux complexes, comment assurer leur sécurité numérique ? Comment appréhender théoriquement et voir les implications de l'intelligence artificielle ?

Répondre à ces questions transverses nécessite la mobilisation de chercheurs d'horizons différents et dont les compétences couvrent des domaines de disciplines variées telles que la biologie, la chimie, l'écologie, l'économie, l'informatique, les mathématiques, la physique, les sciences de la terre, les sciences humaines et sociales. Collaborer devient donc crucial et les mathématiciens, par leur capacité d'abstraction et de formalisme rigoureux, ont un rôle important à jouer dans la communication interdisciplinaire. Il est également nécessaire de développer des outils en amont à même de répondre aux sollicitations futures des autres disciplines.

À l'instar d'AMIES pour la promotion des interactions des mathématiques avec les entreprises et la société ou d'AUDIMATH pour la diffusion des mathématiques dans la société, l'Institut National des Sciences Mathématiques et de leurs Interactions (INSMI) du CNRS souhaite, pour contribuer efficacement à ces challenges sociétaux et environnementaux, créer un institut à vocation nationale structurant et développant ses interactions pluridisciplinaires autour des problématiques liées à la planète terre et à l'humain. Par l'éclairage théorique et numérique que les mathématiques peuvent apporter via la modélisation, l'analyse et la simulation, l'institut travaillera, en interaction avec d'autres disciplines, à ces grands défis. À l'inverse, les questions exogènes soulevées par ces défis peuvent également permettre le développement de nouvelles théories mathématiques qui, à leur tour, peuvent apporter une meilleure compréhension des phénomènes complexes étudiés.

Au niveau opérationnel, les objectifs principaux de l'institut sont

1. l'organisation du lien et du transfert de connaissances des mathématiques vers les autres sciences :
  - portail web dédié à la mise en relation des mathématiciens avec les chercheurs des autres sciences ;
  - aide à l'organisation de conférences pluridisciplinaires ;
  - organisation de formations aux outils mathématiques pour les chercheurs d'autres sciences (cours, mise en ligne de support en mathématiques, etc.) ;
  - promotion des formations initiales cherchant une double compétences (masters universitaires).
2. l'animation et le financement d'équipes composés de mathématiciens et de chercheurs d'autres sciences sur des projets à fort potentiel (thèse, post-doctorat, etc.) susceptibles de faire émerger des progrès scientifiques.
3. l'évaluation, par un comité scientifique pluridisciplinaire, des projets mathématiques en interaction autres disciplines autour de la thématique planète terre et humain.

Ce projet s'appuie sur l'analyse de l'atelier de réflexion prospective MATHS IN TERRE (MATHématiqueS en INteraction pour la TERRE), projet financé par l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR), hébergé par l'IHP et soutenu par le CNRS, mené en 2013 sous la direction de Didier BRESCH (LAMA, CNRS et Université Savoie Mont Blanc). Il rentre également en partie dans les projets H2020 (*Climat, efficacité des ressources et matières premières, Energie*).



## ◀ Axes prioritaires

Le programme a pour thématique la Planète Terre et les interactions de l'Homme avec le système Terre, et les thèmes soutenus doivent être liés à des problèmes réalistes : de l'évolution génétique à la turbulence des fluides. Plus particulièrement, l'accent est mis sur l'humain et son interaction avec l'écosystème. C'est pourquoi le champ d'étude comprend trois axes principaux : géophysique externe (océan, atmosphère, glace, climat, volcanologie externe), les ressources vivantes et minérales (hydrologie, géologie, hydrogéologie, biologie, chimie, écologie, évolution, agriculture, pêche), et l'organisation humaine (réseaux, ville, territoires, transport). Sur chacun des thèmes proposés, on pourra consulter le texte de l'ARP MathsInTerre.

<http://mathsmonde.math.cnrs.fr/>

Les axes prioritaires sont répartis autour de trois thématiques (terre vivante, terre humaine et terre fluide/solide). Il va de soi que les thèmes et les axes ne sont pas indépendants, et que ce découpage n'est envisagé que pour des raisons pratiques. Le couplage entre des dynamiques et des systèmes de différentes natures devra aussi être étudié. On pense par exemple au lien entre modèles climatiques (tendance et variabilité), écologiques et socio-économiques (production végétale et animale, épidémiologie), ou à la modélisation des paysages (structure, fonctionnement, biodiversité, services éco-systémiques en fonction des activités).

### 1. Terre Vivante

- écologie théorique ;
- morphogénèse et croissance des plantes, compréhension des contraintes externes qui influent sur forme, croissance (dunes, avalanches, feuilles, etc.);
- évolution et modélisation des écosystèmes ;
- dynamique et résilience des territoires naturels et sociaux ;
- modélisation de l'adaptation ;
- crises biologiques et grandes extinctions dans l'enregistrement géologique ;
- santé.

### 2. Terre Humaine

- gestion des déchets radioactifs ;
- gestion durable des ressources et des écosystèmes ;
- énergies propres, énergies renouvelables ;
- sociologie des réseaux, théorie des réseaux complexes ;
- analyse de données massives et intelligence artificielle ;
- systèmes complexes ;
- approches théoriques de l'évolution du comportement humain.

### 3. Terre Fluide/Solide

- turbulence et paramétrisation géophysique ;
- climatologie : océan et atmosphère, crises climatiques passées ;
- modélisation du cycle de l'eau, hydrologie opérationnelle ;
- approches micro-macro (nanophysique, écoulements granulaires, volcanologie, fluides complexes, etc.) ;
- modélisation des ondes de gravité et des processus associés (écoulements côtiers, dynamique planétaire des océans, hydrodynamique fluviale, etc.) ;
- prédiction/prévention des risques sismiques/volcaniques et analyse des risques sismiques/volcaniques ;
- imagerie des structures profondes, caractérisation des sources sismiques/volcanologiques (tectonique, faille, etc.) ;
- modèles de formation de la terre et des origines de la vie.

## B.2. Un Institut « sans mur » à vocation nationale

Cet institut, à l'instar de l'AMIES à Grenoble ou du CIMPA à Nice, a vocation à favoriser et structurer les interactions des mathématiques avec les autres sciences portées par l'INSMI autour des problématiques liées à la planète terre et à l'interdépendance de l'Homme avec son écosystème.

### B.2.a. Pourquoi sans mur ?

La communauté mathématique a la particularité de travailler en réseau national, que ce soit par le biais de GDR, de projets ANR, de LabEx nationaux (AMIES et CARMIN) ou encore de structures d'accueil (CIRM, IHES, IHP). Par ces habitudes, les mathématiciens ont développé des réseaux de collaborateurs dans la France entière, ainsi qu'à l'international. Ils ont également de nombreux partenaires locaux pluridisciplinaires au travers d'actions transverses portées notamment par les universités et de collaborations scientifiques en relation avec le monde socio-économique. Un institut sans mur à vocation nationale renforcera le maillage national des mathématiques et permettra de tisser un nouveau réseau national autour de thèmes scientifiques majeurs.

### B.2.b. Une vocation nationale, un ancrage en région AURA

Il est évident que cet Institut a une vocation nationale, de par sa problématique sociétale forte et les compétences mathématiques autour de ces thèmes présentes sur tout le territoire. Cependant, même s'il s'agit d'un institut sans mur, le projet a besoin d'un point d'ancrage à partir duquel il diffusera à l'échelle nationale. Dans une phase de décentralisation des portails mathématiques, rendue encore plus facile avec les nouveaux outils numériques, il apparaît naturel de faire de la région Auvergne-Rhône-Alpes, Lyon en particulier, le point d'ancrage de l'institut : d'une part, les recherches menées dans la région Auvergne-Rhône-Alpes autour des thèmes liés à la planète Terre et aux interactions de l'Homme avec son écosystème sont nombreuses et dynamiques, et d'autre part, l'idée d'un tel institut a été initialement mise en

avant par la Fédération de Recherche en Mathématiques Rhône-Alpes-Auvergne.

La Fédération de Recherche en Mathématiques Rhône-Alpes-Auvergne (FR 3490), 3<sup>e</sup> fédération en mathématiques à l'échelle nationale (après la région parisienne), regroupe 6 unités mixtes de recherche (LMBP à Clermont-Ferrand, ICJ et UMPA à Lyon, LAMA à Chambéry, IF et LJK à Grenoble), et près de 500 enseignants/chercheurs et 270 doctorants. Ses domaines de recherches vont des mathématiques pures (arithmétique, géométrie, théorie des nombres) aux mathématiques appliquées (équations aux dérivées partielles, probabilités, statistiques, physique mathématique, bio-mathématiques, application à la médecine, application à l'environnement). Elle bénéficie d'une forte reconnaissance internationale (LabEx, ERC, IUF, médailles CNRS, etc.). Outre deux LabEx dans lesquels les mathématiques ont une place centrale, MiLyon à Lyon et PERSYVAL-Lab à Grenoble, la Fédération a des liens forts avec plusieurs laboratoires dont les recherches s'articulent avec les thèmes de l'Institut (LEGI, LECA, LGGE, ISTERRE, LMV, etc.), avec la Maison de la Modélisation et de la Simulation, Nanosciences et Environnement (MaiMoSiNE), avec les LabEx AMIES (Agence Maths-Entreprise), ImobS3 (Innovative Mobility : smart and sustainable solutions) et CLERVOLC (Centre de Recherche Clermontois sur le Volcanisme) localisé à Clermont-Ferrand ou encore l'action MANU (Mathématiques et Numérique) du programme inter-organismes LEFE (Les Enveloppes Fluides et Environnement) liée à l'INSU, pilotée par des collègues du LJK. Ces liens symbolisent parfaitement les aspects Terre Vivante, Terre Humaine et Terre Fluide du projet d'Institut. Ainsi, on recense très rapidement plus de 100 chercheurs de la Fédération impliqués dans des projets pluridisciplinaires orientés Mathématique de l'humain et de la Planète Terre.

Un ancrage de cet institut en région AuRA paraît ainsi naturel étant donné l'implication et le dynamisme de la Fédération de Recherche en Mathématiques Rhône-Alpes-Auvergne tant d'un point de vue historique que pour la recherche sur les thématiques de l'institut.

### B.3. Objectif

L'objectif de ce projet est de structurer et d'intensifier la recherche sur des problèmes environnementaux et sociétaux innovants demandant une expertise forte en mathématiques.

Un premier objectif est de créer un portail web, permettant aux chercheurs (autres qu'en mathématiques, de pouvoir se mettre en relation avec les mathématiciens à même de répondre à leurs questions et/ou de développer de nouveaux outils mathématiques (et numériques) pour y parvenir.

Il s'agit de mettre en place un Institut (délocalisé) des Mathématiques Pour la Planète Terre qui coordonnerait la recherche en labellisant des équipes interdisciplinaires portant des projets innovants sur le sujet de l'environnement, et situées en différents endroits du territoire français. Les équipes labellisées par l'Institut seront alors dotées de moyens d'action leur permettant de fonctionner, de se rencontrer et de développer une recherche interdisciplinaire féconde.

Un dernier objectif est de favoriser les actions permettant un transfert de connaissances entre les mathématiques et les autres disciplines pour plus d'efficacité. Ce transfert se fera par le biais de conférences dédiées, de documents de cours disponibles sur le site web. Il faudra aider la mise en place de formations pluridisciplinaires sur les thématiques Mathématiques

pour la Planète Terre.

Bien évidemment, pour fonctionner, l'Institut aura besoin de financements qu'il ira chercher outre dans les institutions participant à sa création (CNRS, Universités, etc.) mais participera également aux grands appels à projets (ERC, ANR, etc.) et pourra également établir des partenariats avec le privé ou s'assurer du mécénat.

Notons également que le projet a été présenté à divers Instituts du CNRS (INSB, INSU, INSII, INC, INP, IN2P3), intégrant ainsi certaines remarques et suggestions des ces Instituts.

#### B.4. Structuration

Une structure souple est envisagée comme par exemple un **Groupement d'Intérêt Scientifique** (GIS) avec comme partenaires fondateurs le CNRS, l'ENS Lyon, l'Université Clermont-Auvergne, l'Université Grenoble-Alpes, l'Université Jean Monnet, l'Université Lyon 1 et l'Université Savoie Mont-Blanc. Il s'agit ici de la liste initiale des partenaires ; il est prévu d'élargir ce partenariat à d'autres Universités, d'autres organismes de recherche, mais aussi des à acteurs privés.

Ce GIS pourrait être épaulé administrativement par une Unité Mixte de Service si cela s'avère nécessaire.

Le GIS serait piloté par

- **un Conseil des Parties** : c'est le comité de direction qui représente les parties et délibère sur toute question relative à l'activité du GIS (programmes et orientation des recherches, suites à donner, budget, application du règlement intérieur, etc.);
- **un Directeur** : désigné par le Conseil de Gestion. Le Directeur sera assisté d'un Bureau de Direction ;
- **un Conseil Scientifique** : il rassemble des représentants des unités de recherche des fondateurs, et des personnalités extérieures qualifiées, ainsi que des personnes extérieures à l'activité de l'institut. Ce conseil est force de proposition quant aux programmes et activités scientifiques de l'Institut ; il peut également remplir des missions d'évaluation. Il nommera en son sein un Directeur Scientifique.

Dans la phase de montage, le porteur a échangé avec des experts scientifiques de chacune des trois thématiques de l'Institut en veillant à représenter toutes les disciplines impliquées et pas seulement les mathématiques. Des discussions ont également eu lieu avec des numériciens et des ingénieurs pour la partie numérique des projets. La liste des experts contactés est donnée à titre d'exemple.

Proposition de bureau.

- Laure Saint-Raymond (Directrice)

- Didier Bresch
- Arnaud Guillin (Adjoint)
- Freddy Bouchet
- Sabrina Speich
- Wilfried Thuiller
- Amandine Veber

Construction du Conseil Scientifique avec au plus 50% de mathématiciens.

En cours ...

### B.5. Financement

Le projet de fonctionnement décrit précédemment indique un besoin conséquent de financement.

Le projet de GIS va démarrer avec

- le CNRS avec son porteur l'INSMI, mais aussi l'INSU, l'INP et l'INEE ;
- les universités participantes ;
  - ENS Lyon ;
  - Université Clermont Auvergne ;
  - Université Grenoble Alpes ;
  - Université Claude Bernard Lyon 1 ;
  - Université Jean Monnet Saint-Etienne ;
  - Université Savoie Mont Blanc.

## C UN PROGRAMME SCIENTIFIQUE D'ÉCHANGES AUTOUR DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le projet est par essence orienté vers une interaction des mathématiques et d'autres disciplines scientifiques (climatologie, physique, biologie, ...). Ainsi il est fondamental que ces disciplines viennent présenter leurs problématiques aux mathématiciens afin de pouvoir engager des programmes de recherche commun. L'urgence environnementale nous incite à entamer nos échanges autour du *changement climatique*.

L'idée est de faire un lancement sur 3 ans, en abordant la complexité du problème de façon progressive : d'abord par pôle, puis en développant de façon transverse.

- Année 2021 : état des lieux
- Année 2022 : modèles prédictifs
- Année 2023 : systèmes complexes

Les activités proposées devraient permettre à chacun d'élargir son point de vue et de fédérer une communauté. L'organisation envisagée :

- Printemps : 3 workshops de 4 jours chacun
  - 1 journée de conférences pour l'ensemble des participants au projet présentant les 3 thèmes abordés.
  - 3 jours de cours avec 3 thèmes, donnés par des non mathématiciens à même de présenter les enjeux de la discipline, les verrous scientifiques et ce que les mathématiciens pourraient apporter
  - Quelques présentations courtes de mathématiciens en réponse au mini cours, ou table ronde

Automne : 2 cours doctoraux de 12h chacun

Nous organiserons également une conférence Grand Public en partenariat avec le musée des Confluences (pour l'année de lancement tout au moins), avec des ateliers (mathématiques et interactions) et une table ronde sur le changement climatique (orateurs : J. Jouzel, C. Guivarch, I. Chuyne).

Les trois workshops prévus au printemps 2021 :

- impacts morphologiques du changement climatique (en Auvergne Rhône Alpes)
  - Thème 1 : fonte des glaciers, poches d'eau
  - Thème 2 : glissements de terrain
  - Thème 3 : crues, inondations
- changement climatique et biodiversité
  - Thème 1 : dynamique des écosystèmes
  - Thème 2 : modélisation de l'adaptation
  - Thème 3 : Résilience
- dynamiques individuelles et collectives de la transition écologique
  - Thème 1 : mobilité, transports
  - Thème 2 : énergies renouvelables/propres/durables
  - Thème 3 : une transition voulue ou subie?

Les cours doctoraux seront proposés à l'issue de ces rencontres.

Autres activités :

- Conférence du labex Milyon (organisée par Freddy Bouchet, Antoine Venaille, Corentin Herbert)
- Groupe de travail mensuel : circulation globale océan/atmosphère

## D QUELQUES ACTIONS ET PUBLICATIONS MATHÉMATIQUES POUR LA PLANÈTE TERRE

### D.1. Actions

#### D.1.a. Auvergne-Rhône-Alpes

- ICJ UMR 5208 – UMPA UMR 5669 – IEES Paris :  
V. Calvez travaille avec H. Hivert et F. Debarre sur des modèles mathématiques en lien avec la biologie. Ils ont notamment obtenu un projet ERC consolidator Wacondy démarrant en 2021. Ce projet se focalisera sur la formulation mathématique pour les mouvements collectifs de cellule ou l'adaptation d'une population aux changements de l'environnement.
- UMPA UMR 5669 – LabPhys UMR 5672 :  
L. Saint-Raymond travaille avec L. Chevillard et Th. Dauxois, ainsi que d'autres collaborateurs (mathématiciens et physiciens français et américains) sur la théorie de la turbulence. Ils ont obtenu une bourse Simons sur ce sujet. Cela concerne notamment la théorie cinétique des ondes/vagues et son champ d'applicabilité. Des groupes de travail et des écoles d'été pour développer des interactions pluridisciplinaires seront développées.
- UMPA UMR 5669 – INRAE :  
P. Vigneaux travaille avec G. Chambon et d'autres collaborateurs sur la modélisation et la simulation numérique des écoulements visco-plastiques pour mieux comprendre les zones de transitions fluide-solide. Des bourses Tellus et CNRS infinity ont été obtenus sur ce projet.
- LBMP UMR 6620 – LMV UMR 6624 – Clervolc :  
Clervolc est un centre de recherche, d'innovation et de formation sur les processus volcaniques, l'aléa et le risque. Le LBMP s'est fortement investi dans ce projet (issu de l'Isite CAP20-25). L. Chupin, avec T. Dubois, K. Khelifoun et O. Roche, a développé une approximation des écoulements pyroclastiques par des écoulements multiphasiques, où la difficulté se résume à trouver un modèle suffisamment simple pour 1) être capable de donner une analyse mathématique de ces propriétés; 2) avoir des approximations numériques efficaces et 3) être suffisamment complexe pour être réaliste. Du côté statistique, N. Azzaoui, A. Guillin ont notamment travaillé avec J. Eychenne, M. Gouhier sur l'estimation des taux massiques lors d'éruptions volcaniques en utilisant la hauteur du panache, les propriétés chimiques et des observations satellites afin d'étudier les conséquences sociales et économiques des nuages de cendres engendrés.
- LJK UMR 5224 – ISTerre UMR 5275 :  
Le projet SEISCOPE rassemble des membres du laboratoire des sciences de la Terre ISTerre et du laboratoire de mathématiques appliquées LJK. Codirigé par R. Borssier et L. Métivier, ce projet se focalise sur le développement et l'analyse de méthodes d'imagerie sismique haute résolution, à même d'exploiter les données nombreuses et de haute qualité fournies par les équipements d'acquisition modernes. Un tel développement nécessite une expertise large allant de la géophysique, la physique de la propagation des ondes, modélisation numérique, optimisation, mathématique des problèmes inverses et HPC. Cela n'a été possible que grâce aux interactions log-terme entre les géophysiciens d'ISTerre et les mathématiciens appliqués du LJK.
- LJK UMR 5224 INRIA – Plusieurs centres de recherche mondiaux sur la météorologie, l'océanographie et l'assimilation de données.  
L'objectif global du projet AIRSEA dirigé par L. Debreu est de développer des méthodes mathématiques et numériques pour la modélisation des écoulements océaniques et atmosphériques. Les outils utilisent autant des approches déterministes que statis-



tiques. Les domaines d'applications vont de la modélisation du climat à la prédiction d'événements extrêmes.

- LAMA UMR 5127 – LOCIE UMR 5271 :  
D. Bresch travaille avec C. Ruyer-Quil (et d'autres collaborateurs du LAMA et LOCIE) sur les instabilités et surfaces libres. Ils ont bénéficié de l'ANR Fraise pour étudier comment optimiser la conversion d'énergie à travers le processus d'absorption de films. Son principal aboutissement technologique est le développement de concepts innovants pour la conception de désorbeurs efficaces, ce qui représente le goulot d'étranglement pour la conception de nouvelles machines compactes à absorption adaptées à la climatisation automobile, et plus généralement à la conception de pompes à chaleur, refroidisseurs et systèmes de récupération efficaces pour limiter le gaspillage d'énergie.
- LAMA UMR 5127 – LECA UMR 5553 :  
J. Garnier et L. Vuillon sont impliqués dans un projet avec W. Thullier (LECA-ANR Globnets). Le projet cherche à déchiffrer les assemblages multi-trophiques aux échelles biogéographiques et à comprendre leurs réponses face aux changements environnementaux et l'activité humaine. En particulier, ils introduisent de nouveaux modèles mathématiques pour utiliser les données "DNA metabarcoding" environnementales parmi 13 forêts du globe (tropicale, tempéré, boréale, ...), pour quantifier les effets de ces changements environnementaux sur les interactions entre espèces et prédire les conséquences écologiques de tels changements.

#### D.1.b. Ailleurs en France

Bien entendu, de nombreux projets sont développés partout en France.

- LAMA UMR8050 – IPGP UMR 7154 :  
F. Bouchut poursuit une longue collaboration avec A. Mangeney, mêlant mathématiciens et géophysiciens, sur les glissements de terrain et flots granulaires. Ils ont eu de nombreux projets financés et notamment une ERC consolidator. Ils ont développé des modèles réduits convaincants pour des applications géophysiques pertinentes.
- IMB UMR5251 – EPOC UMR 5805 :  
D. Lannes travaille avec P. Bonneton, et plusieurs autres collaborateurs (LEGI) tant mathématiciens que physiciens, sur la propagation des vagues et tsunamis dans les milieux côtiers, et plus récemment sur la dynamique des corps flottants avec le BCAM de Bilbao et Tecnalia. C'est un sujet crucial pour l'étude et le développement de nouvelles énergies marines. Ils organisent également le groupe de travail Mathocéan.
- IMT UMR 5219 – SHOM :  
Depuis plus de 10 ans, P. Noble, J.-P. Vila (IMT-INSA Toulouse), F. Couderc (CNRS) et leurs collaborateurs A. Durand (Université Lyon 1), M. Parisot (INRIA), D. Bresch (CNRS and Univ. Savoie Mont-Blanc), G. Richard (IRSTEA), M. Kazakova (INSA Rouen), V. Michel Dansac (post doc) travaillent en collaboration avec SHOM (Service Hydrographic and Oceanography of the Navy) sur des améliorations d'une version régionale (Golfe de Gascogne, Méditerranéen) des codes de calcul HYCOM.
- CMAP UMR 7641 – MnHn – Veolia environnement :



S Méléard dirige une chaire Veolia qui vise à développer une synergie entre mathématiques appliquées, écologie et biodiversité. cela concerne la modélisation décosystèmes pour mieux comprendre les questions importantes de niches écologiques, dévolution adaptative, de colonisation spatiale et la construction de scénarios de biodiversité.

○ DMA UMR 8553 – IMO UMR 8628 – LCPP :

B. Maury et S. Faure ont entamé un programme de recherche sur la modélisation des grands rassemblements de foule, en collaboration avec le Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris (LCPP). Il s'agit de développer des outils pour anticiper et éviter les problèmes potentiels liés au congestionnement dans les rassemblements, notamment par rapport aux prochains Jeux olympiques. Ils ont également été récemment sollicités dans le cas de la crise COVID 19 pour mettre en place des scénarios de circulation dans les grands établissements scolaires.

○ UMR CNRS 7343 / Maths-Mechanics-Physics interactions :

S. Gavriluk a initié diverses collaborations avec des mécaniciens et des physiciens sur les problèmes découlement avec cisaillement en eau peu profonde avec INRIA Sophia-Antipolis (Boniface Nkonga, numerics); National Cheng Kung University, Taiwan (Yih-Chin Tai and Hungchu Hsu, experiments and modelling); National Taiwan University, Taiwan (Keh-Ming Shyue, numerics); Lavrentyev Institute of Hydrodynamics and Novosibirsk State University, Russia (A. Chesnokov, V. Liapidevskii, E. Ermanyuk, stratified flows, modeling and experiments). De nombreux projets ont été financés sur ce sujet : AMOSS project (INRIA), MOST grants (Ministry of Science and Technology, Taiwan) and RNF (Russia).

○ DMA UMR 8553 :

E. Dormy est un chercheur de l'INSU travaillant dans un laboratoire de l'INSMI. Avec David Gérard-Varet (IMJ-PRG, Université de Paris) ils ont introduit le concept de séparation d'échelle de temps pour les problèmes de dynamo. Ils ont montré les effets que pouvaient avoir des frontières rugueuses sur les mécanismes de dissipation, et comment ces effets visqueux pouvaient conduire à des destabilisations des couches frontières. Ces questions sont issues de la naissance du champ magnétique terrestre, ou Geodynamo. cela a entraîné d'autres projets avec S. Descombes (Université de Nice Sophia Antipolis) and E. Grenier (ENS-Lyon).

○ LJLL UMR 7598 – INRIA :

La modélisation, l'analyse et la simulation découlements géophysiques est un sujet complexe et un challenge tant en recherche appliquée qu'en ingénierie. Le programme de recherche ANGE vise à décliner des EDPs de complexité réduite par rapport aux équations de Navier-Stokes mais enrichies par rapport aux systèmes en eau peu profondes classiques.

○ LJLL UMR 7598 – ERC BLOC :

A-L. Dalibard a obtenu un projet ERC Starting appelé BLOC. Le but est d'analyser les différents types de couches frontières apparaissant dans l'analyse des courants océaniques. Elle a également organisé un trimestre thématiques avec M. Ghill et H. le Treut (IPSL) sur les mathématiques pour le climat.

○ N. Maizi coordonne la chaire prospective Modélisation prospective et développement durable de Mines-Paristech, avec un lien fort sur les transitions énergétiques.

Quelques GDRs et instituts existants :

- Institut Neuromod (Nice Univ.), Dir. P. Reynaud-Bouret.
- Consortium Seiscope, PI L. Métivier.
- GDR Manu (Mathématiques pour le Nucléaire).
- GDR Ecologie Statistique.
- GDR Statistiques et Santé.
- GDR Mathématiques Appliquées à la MOdélisation du VIvant (MAMOVI).
- GDR Modélisation et simulations numériques Ecoulements Gravitaires et Risques Naturels (EGRIN).
- Simons Collaboration on Wave Turbulence, PI. L. Saint-Raimond, avec T. Dauxois, F. Bouchet.

Il existe également de nombreuses collaborations, de co-encadrements de thèse liant mathématiques et autres sciences pour la planète Terre qu'il nous serait difficile de lister ici. Citons tout de même le très récent "One World Mathematics of Climate seminar series" qui s'inite cette ann'e durant la rise COVID19.

## D.2. A l'étranger

Des structures sont en train de se monter dans plusieurs pays :

- SIAM Activity Group on Mathematics of Planet Earth (USA) [website](#).
- Mathematics of Planeth Earth EPSRC Doctoral training Center (UK) [website](#).

Des chercheurs utilisent également les mathématiques dans des directions originales

- J. Mattingly et le gerrymandering : [video](#)
- A. Bertozzi et la criminalité : [video](#)
- Karl Zigmund sur la théorie des jeux et contrats sociaux : [video](#)

## D.3. Articles références

Il ne s'agit en aucun cas d'être exhaustif mais de souligner que de nombreuses interactions entre mathématiques et d'autres disciplines (physique, chimie, biologie, climat, médecine, volcanologie,...) existent et mènent à a des résultats fructueux.

- E. Bonnetier, L. Jakabcin, S. Labbé, A. Replumaz, Numerical simulation of a class of models that combine several mechanisms of dissipation : fracture, plasticity, viscous dissipation, Journal of Computational Physics, 271, 397-414, 2014.
- Bouchut, F., Fernandez-Nieto, E. D., Mangeney, A., and Narbona-Reina, G.\*2016\*. A two-phase two-layer model for fluidized granular flows with dilatancy effects,J. FLUID MECH.,/801, 166–221.
- D. Bresch, N. Cellier, F. Couderc, M. Gisclon, P. Noble, G. Richard, C. Ruyer-Quil, J.P. Vila. Augmented Skew-Symmetric system for shallow-water system with surface tension allowing large gradient of density. To appear in J. Comp. Phys (2020).

- Bubba, F., Pouchol, C., Ferrand, N., Vidal, G., Almeida, L., Perthame, B., Sabbah, M.. A chemotaxis-based explanation of spheroid formation in 3D cultures of breast cancer cells. *J. Theoret. Biol.* 479 (2019), 73–80.
- Calvez, V., Débarre, F. and Girardin, L. Catch me if you can : a spatial model for a brake-driven gene drive reversal. *Bull. Math. Biol.* 2019.
- G. Chambon, A. Marly, L.-H. Luu, P. Philippe, P. Vigneaux. Flow of a yield-stress fluid over a cavity : experimental and numerical investigation of a viscoplastic boundary layer. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 2018, Vol. 261, pp 38-49.
- C. Coron, S. Méléard, E. Porcher, A. Robert. Quantifying the mutational meltdown in diploid populations. *The American Naturalist*, Vol. 181, No. 5 (Mai 2013), pp. 623–636.
- Debreu L., N. Khevlahan, P. Marshallio. Brinkman volume penalization for bathymetry in three-dimensional ocean models, *Ocean modeling* 2020.
- M. Doumic, B. Perthame, E. Ribes, D. Salort, N. Toubiana. Toward an integrated workforce planning framework using structured equations. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, 2017, 262,
- A.G. Filipini, S. de Brye, V. Perrier, F. Marche, M. Ricchiuto, D. Lannes, P. Bonneton. UHAINA : A parallel high performance unstructured near-shore wave model. XVI<sup>e</sup> journée nationale génie Côtier-Génie Civil, 47-56, Paralia, 2018.
- M. Gouhier, J. Eychenne, N. Azzaoui, A. Guillin, M. Deslandes, M. Poret, A. Costa, P. Hus. " Low efficiency of large volcanic eruptions in transporting fine ash into the atmosphere.". To appear in *Nature Scientific Reports*
- V. Guegneau, K. Kelfoun, O. Roche, L. Chupin. Effects of pore pressure in pyroclastic flows : numerical simulation and experimental validation, *Geophysical Research Letters*, 44 (2017)
- M. B. Heredia, N. Eckert, C. Prieur and E. Thibert (2020), Bayesian calibration of an avalanche model from autocorrelated measurements along the flow : application to high rate photogrammetric image. To appear in *Journal of Glaciology*.
- M. Jalbert, F. Zheng, A. Wojtuszczyzn, F. Forbes, S. Bonnet, K. Skaare, P-Y. Benhamou, S. Lablanche. Glycemic variability indices can be used to diagnose islet transplantation success in type 1 diabetic patients. Sept. 2019. To appear in *Acta Diabetologica*.
- R. Klein, U. Achatz, D. Bresch, O.M. Knio, P.K. Smolarkiewicz. Regime of validity of sound-proof atmosphere flow models. *J. Atmos. Sci.*, 67, 3226–3237, (2010)
- Lavielle M, Samson A, Fermin AK, Mentre F. Maximum likelihood estimation of long term HIV dynamic models and antiviral response. *Biometrics*, 67(1) :250–259, 2011.
- Lambert, R., Tuleau-Malot, C., Bessaih, T., Rivoirard, V., Bouret, Y., Leresche, N., Reynaud-Bouret, P. Reconstructing the functional connectivity of multiple spike trains using Hawkes models, *Journal of Neuroscience Methods*, 297, 9-21 (2018)
- Mouragues, A., Bonneton, P., Lannes, D., Castelle, B., and V. Marieu. Field data-based evaluation of methods for recovering surface wave elevation from pressure measurements, *Coastal Engineering*, 150 (2019), 147–159.
- Pelletier C., F. Lemarié and E. Blayo, 2018 : Sensitivity analysis and metamodels for the bulk parametrization of turbulent air-sea fluxes. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 144, 658-669.

- R.M. Pereira, C. Garban, L. Chevillard. A dissipative random velocity field for fully developed fluid turbulence. *J. Fluid Mech* 794, 369, (2016).
- Seville, Q., Fougères, A.-L., Mercadier, C. Modeling extreme rainfall : A comparative study of spatial extreme value models. *Spatial Statistics*, Vol. 21, pp. 187-208 (2017).
- V-T. Tran, R. Porcher, P. Ravaud. Predicting data saturation in qualitative surveys with mathematical models from ecological research, *Journal of Clinical Epidemiology*, Vol. 82, 71-78 (2017)