



Fédération de Recherche en Mathématiques Auvergne-Rhône-Alpes
(FR MARA)

CNRS FR n° 3490^{1 2}

Projet INSMI

Institut Mathématiques de la Planète Terre
(Institut à vocation nationale, titre provisoire)

1. Fédération de Mathématiques Auvergne-Rhône-Alpes, <http://frmraa.math.cnrs.fr/>

2. Arnaud GUILLIN, Directeur FR MARA et Chargé de Mission INSMI pour la mise en place d'un "institut" interdisciplinaire autour des mathématiques de l'humain et de la planète Terre, arnaud.guillin@cnrs.fr

A INSTITUT MATHÉMATIQUES DE LA PLANÈTE TERRE : SYNOPSIS

**Institut national sans mur soutenu par le CNRS INSMI,
et animé par la FR MARA, avec pour objectifs :**

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. Structuration de la recherche dans le domaine Mathématique de la Planète Terre ;
3. Promouvoir le transfert de connaissances et méthodes entre disciplines ;
4. Financement d'équipes de recherche pluridisciplinaires sur une problématique donnée relevant des thèmes " Math. Planète Terre" (doct., post-doc, IR, fonct.).

Thèmes retenus :

1. **Terre Vivante**
 - écologie théorique ;
 - morphogénèse et croissance des plantes, compréhension des contraintes externes qui influent sur forme, croissance (dunes, avalanches, feuilles, ...);
 - évolution et modélisation des écosystèmes ;
 - dynamique et résilience des territoires naturels et sociaux ;
 - modélisation de l'adaptation ;
 - santé.
2. **Terre Humaine**
 - gestion des déchets radioactifs ;
 - gestion durable des ressources et des écosystèmes ;
 - 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 ;
 - modélisation du cycle de l'eau, hydrologie opérationnelle ;
 - approches micro-macro (nanophysique, écoulements granulaires, volcanologie, fluides complexes,...) ;



- modélisation des ondes de gravité et des processus associés (écoulements côtiers, dynamique planétaire des océans, hydrodynamique fluviale,...);
- prédiction/prévention des risques sismiques/volcaniques et analyse des risques sismiques/volcaniques ;
- imagerie des structures profondes, caractérisation des sources sismiques/volcanologiques (tectonique, faille,...).

B INSTITUT MATHÉMATIQUES DE LA PLANÈTE TERRE : DESCRIPTIF ET FONCTIONNEMENT

B.1. Contexte et présentation générale

Les mathématiques sont une discipline fondamentale qui est au cœur d'enjeux importants liés à la complexité de la Terre, et plus particulièrement à l'environnement. Appréhender tant des problèmes de recherche que des problèmes de gestion durable sur ce sujet requiert l'adaptation de techniques mathématiques en interaction avec d'autres disciplines. A l'inverse, les questions environnementales peuvent également permettre le développement de nouvelles théories mathématiques qui, à leur tour, peuvent apporter une meilleure compréhension de la complexité des phénomènes étudiés.

Les problèmes environnementaux 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 ? Réseaux complexes, comment assurer leur sécurité numérique ? Comment appréhender théoriquement et voir les implications de l'intelligence artificielle ? Répondre à ces questions fait intervenir des chercheurs de différentes disciplines, car il est impossible pour une seule personne d'être efficace dans toutes les thématiques impliquées (mathématiques, physique, chimie, informatique, biologie, sciences humaines et sociales, sciences de la terre, écologie). 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.

Nous proposons donc de créer un institut avec deux objectifs principaux : En soutenant sur une durée minimum de 3 ans des équipes pluridisciplinaires travaillant ensemble sur des projets "Planète Terre", ce programme devrait contribuer à voir émerger des progrès scientifiques notables dans ce domaine stratégique. Il aura aussi pour conséquence de faire naître des groupes de recherche pluridisciplinaires originaux, recomposant ainsi le paysage de la recherche française.

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 (CNRS et Université de Chambéry). Il rentre également en partie dans les projets H2020 (*Climat, efficacité des ressources et matières premières, Energie*).

◀ Axes prioritaires

Le programme a pour thématique le système Terre, et les thèmes soutenus doivent être liés à des problèmes réalistes, terrestres : 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 a été restreint à ce qui est visible par l'œil : 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). 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 climatique (tendance et variabilité), écologique et socio-économique (production végétale et animale, épidémiologie), ou à la modélisation des paysages (structure, fonctionnement, biodiversité, services éco-systémiques en fonction des activités). On pourra consulter le site de l'ARP pour y trouver certains rapports d'ateliers en lien avec ce type de couplage de systèmes complexes : voir

<http://mathsmonde.math.cnrs.fr/telechargements/textes.html>

1. Terre Vivante :

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

2. Terre Humaine :

- gestion des déchets radioactifs ;
- gestion durable des ressources et des écosystèmes ;
- 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 ;

- modélisation du cycle de l'eau, hydrologie opérationnelle ;
- approches micro-macro (nanophysique, écoulements granulaires, volcanologie, fluides complexes,...) ;
- modélisation des ondes de gravité et des processus associés (écoulements côtiers, dynamique des ondes internes régissant la dynamique planétaire des océans, hydrodynamique fluviale) ;
- prédiction/prévention des risques sismiques/volcaniques et analyse des risques sismiques/volcaniques ;
- imagerie des structures profondes, caractérisation des sources sismiques/volcanologiques (tectonique, faille,...).

B.2. Un Institut sans mur à vocation nationale

Cet institut, à l'instar du CIMPA à Nice, ou l'Institut Intelligence Artificielle à Grenoble, a vocation à favoriser et structurer les interactions Mathématiques et autres sciences en relation avec la problématique Planète Terre.

B.2.a. Pourquoi sans mur ?

La communauté mathématique a la spécificité de travailler en réseau national, que ce soit par le biais de GDR, ANR ou dans ses emblématiques Labex nationaux que sont AMIES et CARMIN. Par ces habitudes, les mathématiciens ont développé des réseaux de collaborateurs dans la France entière, ainsi qu'à l'international, mais ont également des partenaires locaux pluridisciplinaires. Le maillage national mathématique rend ainsi caduque l'idée d'un Institut localisé avec mur. Bien au contraire cet institut permettra de tisser un nouveau réseau national autour d'un thème d'importance sociétale majeure.

B.2.b. Une vocation nationale, une localisation en région

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. Dans une phase de décentralisation des portails mathématiques, rendue encore plus facile avec les nouveaux outils numériques, et en adéquation avec les recherches dynamiques menées dans la région Auvergne-Rhône-Alpes autour du thème Planète Terre, il apparaît toutefois important de localiser cet Institut sans mur en région Aura.

La "Fédération de Recherche en Mathématiques Rhône-Alpes-Auvergne" (FR 3490), 3ème Fédération nationale en mathématiques (après la région parisienne), regroupe 6 laboratoires (Clermont-Ferrand, Lyon (UMPA et ICJ), Chambéry, Grenoble (IF et LJK)), 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, biomathématiques, médecine, environnement). Elle bénéficie d'une forte reconnaissance internationale (LabEx, ERC, IUF, médailles CNRS,...). Outre un LabEx ancré en Mathématiques (MiLyon) et un deuxième liant Mathématiques et Informatique (PERSYVAL-Lab, Pervasive Systems and Algorithms liant mathématiques, physique, informatique), la Fédération a de

plus des liens forts interdisciplinaires avec plusieurs laboratoires fortement orientés MathInTerre (LEGI, LECA, LGGE, ISTERRE, LMV, ...), avec la "Maison de la Modélisation et de la Simulation, Nanosciences et Environnement" (MaiMoSiNE), à travers des équipes INRIA comme Airsea et Steep (LJK), 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 la Planète Terre. Une gestion en région AuRA de cet institut paraît ainsi naturelle.

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. Il s'agit de mettre en place un Institut (délocalisé) des Mathématiques de la Planète Terre qui coordonnerait la recherche en labellisant "Math In Terre" 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 des Mathématiques de la Planète Terre seront alors dotées de moyens d'action leur permettant de fonctionner, de se rencontrer et de développer une recherche interdisciplinaire féconde.

Un deuxième 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.

Un dernier objectif est de favoriser les actions permettant un transfert de connaissances entre les mathématiques et les autres disciplines pour plus d'efficacité.

B.4. Structuration des équipes délocalisées

Les équipes labellisées "Maths in Terre" devront comporter trois composantes bien identifiables :

- un groupe de chercheurs investis dans la recherche théorique ;
- un groupe de chercheurs en lien avec implémentation numérique (calcul scientifique) ;
- un groupe de chercheurs plus proches de l'applicatif.

Ce troisième groupe de chercheurs proches des applications sera issu de laboratoires relevant d'autres disciplines que les mathématiques. Ils orienteront la recherche vers les questions importantes pour l'environnement. Ils feront remonter des questions vers les mathématiciens et, dans le dialogue avec ceux-ci, feront émerger des modèles pertinents. Les "théoriciens" seront principalement issus de laboratoires de Mathématiques. Spécialistes de l'analyse de modèles, ils pourront discuter des modèles proposés, discerner leurs limites en échangeant avec les "applicatifs" et enfin les améliorer. Pour être fécond, cet échange, présenté comme

un dialogue entre "théoriciens" et "applicatifs", doit impliquer le deuxième groupe, celui des "calculateurs". En effet, un modèle n'est efficace que s'il se prête à l'implémentation numérique, qui peut alors être utilisée pour le tester. Ce deuxième groupe est donc l'élément pivot du projet, il en constitue le cœur.

Les projets en recherche fondamentale inter-disciplinaire sont bien évidemment éligibles même si ils ne comportent pas un axe numérique du moment qu'ils assurent un transfert de compétences et de connaissances fort entre les disciplines concernées.

B.5. Fonctionnement des équipes

Le porteur du projet sera entouré de deux collègues afin de constituer un groupe de pilotage de trois personnes représentant chacun des trois groupes mentionnés ci-dessus (ou deux si pas de partie numérique). Les porteurs s'occuperont de la gestion financière (répartition du budget) ainsi que de l'animation scientifique de l'équipe. Des rencontres régulières, plutôt sous forme d'ateliers que de "conférences", seront organisées entre les membres du projet pour que les deux ou trois groupes se connaissent et collaborent efficacement. Dans ces ateliers, la parole sera donnée aux membres des groupes pour présenter leurs travaux à ceux des autres groupes. A chaque étape du projet, ces rencontres seront cruciales, qu'il s'agisse au début de définir un langage commun, ou lors du déroulement du travail, lorsqu'il faudra résoudre ensemble des problèmes.

B.6. Financement des projets

Dans cette partie, nous donnons un exemple de fonctionnement sur la base d'un financement minimal institutionnel. Il est bien évident que face à la multitudes d'enjeux importants liés à notre planète, un appel au mécénat sera nécessaire.

B.6.a. Financement des équipes

L'Institut pourrait typiquement labelliser 8 équipes par an sur des projets d'une durée de 3 ans, en veillant à la diversité thématique. Ce programme mené sur 5 ans permettrait ainsi de lancer 3 appels d'offre pour 8 projets, couvrant ainsi la majeure partie des axes prioritaires mentionnés en préambule. Parmi ces 8 projets, 1 à 3 pourraient être de nature plus fondamentale. Chaque année, l'équipe enverra un rapport sur son activité.

Une équipe labellisée pour une durée de 3 ans recevrait une enveloppe de 25 k€ par an. Voici le coût annuel de ces projets :

1. Année 1 : $8 \times 25 = 200$ k€
2. Année 2 : $8 \times 25 + 8 \times 25 = 400$ k€
3. Année 3 : $16 \times 25 + 8 \times 25 = 600$ k€
4. Année 4 : $16 \times 25 = 400$ k€
5. Année 5 : $8 \times 25 = 200$ k€

Coût Total : 1800 k€

Les ressources seront principalement consacrées à l'activité de recherche et à l'organisation des ateliers de travail ainsi qu'au financement de missions nécessaires aux rencontres entre les membres des différents groupes.

B.6.b. Personnels alloués

Les projets interdisciplinaires ou en amont ont un besoin vital de doctorants et post-doctorants, qui servent de lien entre les 3 groupes (théoriques, numériques, appliqués) ou bien pour développer de nouvelles pistes. Chaque équipe devrait a minima pouvoir bénéficier du financement d'un doctorant ou d'un postdoctorant

- **Bourses de Thèse** : 4 bourses par an, d'une durée de 3 ans au coût annuel de 30 k€.

1. Année 1 : $4 \times 30 = 120$ k€
2. Année 2 : $4 \times 30 + 4 \times 30 = 240$ k€
3. Année 3 : $8 \times 30 + 4 \times 30 = 360$ k€
4. Année 4 : $8 \times 30 = 240$ k€
5. Année 5 : $4 \times 30 = 120$ k€

Coût Total : 1080 k€

- **Post-doctorant** : 4 post-doctorats de deux ans tous les ans (45 k€ par par post-doc).

1. Année 1 : $4 \times 45 = 180$ k€
2. Année 2 : $4 \times 45 + 4 \times 45 = 360$ k€
3. Année 3 : $4 \times 45 + 4 \times 45 = 360$ k€
4. Année 4 : $4 \times 45 + 4 \times 45 = 360$ k€
5. Année 5 : $4 \times 45 = 180$ k€

Coût Total : 1440 k€

Des ressources devraient également être utilisées pour financer des CDD d'ingénieur calcul. Il apparait en effet que les besoins humains en ingénieur de recherche sont criants dans nombre de laboratoires français, alors que leur présence est plus que jamais nécessaire face aux enjeux actuels. Un des buts de cette action est de contribuer à l'émergence d'une population d'ingénieurs de recherche de haut niveau spécialisés sur des thématiques liées à l'environnement. Ces ingénieurs sont fondamentaux pour le transfert et la valorisation des travaux effectués.

B.7. Invitations de chercheurs étrangers

En multipliant l'invitation de chercheurs étrangers leaders de leurs domaines, de post-doc, l'institut se placera en concurrence des Instituts internationaux (Hausdorff Math Center (Bonn, All.), Banff (Canada),...). Un système équivalent des Chaires d'excellence pour des projets courts sera installé.

Coût Total : 200 k€

B.7.a. Fonctionnement

- L'Institut devrait pouvoir soutenir des actions venant de projets non financés directement (conférences, bourse voyage jeunes,...), mais également des projets très en amont niveau recherche en mathématique (Ressourcement) mais dans le cadre "Mathématiques de la Planète Terre" : 100 k€.
- Un budget mission interne (réunions du conseil scientifique, ...) et matériel : 50 k€.
- Décharge horaire : 50 k€.

Coût Total : 200 k€

B.7.b. Coût final

Dans sa version minimale, le budget total de l'Institut Mathématiques de la Planète Terre s'élèverait à : **4720 k€**.

B.8. Pilotage

Pilotage administratif .

Structure porteuse : Fédération de Mathématiques de la région Rhône-Alpe-Auvergne
Porteur : Directeur de la Fédération, Arnaud Guillin, Professeur (Univ. Clermont-Auvergne).

Conseil Scientifique .

Directeur Scientifique : Didier Bresch, DR CNRS (Univ. Mt-Blanc-Savoie)

Bureau :

- Trois personnes représentant les 3 axes
- 2 personnes assurant l'expertise implémentation numérique
- 3 experts étrangers.

Membres : Pour chacune des trois thématiques autour desquelles s'articulent les 15 axes prioritaires, on propose plusieurs experts relevant des mathématiques ainsi plusieurs experts relevant des domaines scientifiques impliqués dans la thématique. On propose également des numériciens et ingénieurs pour valider la qualité de l'axe numérique des projets.

- Terre vivante : **Sylvie Méléard** (Aléatoire-Biologie, Polytechnique), **Vincent Calvez** (EDP-Biologie, Lyon 1), **Wilfried Thuiller** (Ecologie-Climat, LECA), Anne Renaud (Biogéochimie-écotoxicologie Océan, Ifremer), **Patricia Reynaud-Bouret** (Statistique-Médecine, Nice), **Arezki Boudaoud** (Morphogénèse végétale, ENS Lyon), **Benoit Perthame** (EDP et biologie, LJLL et académie des sciences).
- Terre humaine : **Adrien Blanchet** (maths économie et sciences sociales, Toulouse School of Economics), Jean-Baptiste André (comportement social humain, département d'étude cognitives ENS), Sylvia del Monte (éco-évolution et mathématique, ENS), **Eric Moulines** (statsciences données, Polytechnique), **Bertrand Maury** (systèmes de particules et mouvements collectifs, Orsay), **Filippo Santambrogio** (Transport optimal, Lyon 1), Gaël Giraud (Economie, AFD).

- Terre fluide/solide :
David Lannes (Ecoulement cotier-hauturier et interaction vagues-structure, IMB), **Laure Saint-Raymond** (turbulence faible et interactions d'ondes, UMPA Lyon), François Bouchut (écoulement granulaire, LAMA Marne la Vallée), **Josselin Garnier** (modélisation stochastique et ondes, Polytechnique), Hervé le Treut (système climatique et modèles numériques, IPSL et académie des sciences), Yoël Forterre (mécanique et écoulement de matériaux complexes, IUSTI Marseille), **Annie Colin** (Matériaux innovants pour l'énergie, ESPCI), **Ludovic Métivier** (modélisation et calcul intensif pour propagation ondes, LJK Grenoble), **Freddy Bouchet** (Fluide-Climat, ENS Lyon), Olivier Boucher (Climat, LMD).
- Axe transverse numérique :
Éric Blayo (Assimilation de données et analyse numérique océan/atmosphère, LJK Grenoble), **Denis Talay** (Monte-Carlo et contrôle stochastique, INRIA), **Violaine Louvet** (calcul intensif, directrice du GRICAD), **Raphaël Herbin** (analyse numérique des edps, I2M Marseille).

Note : en gras, les personnes ayant déjà acceptées de faire partie de ce CS. Les autres ont été contactés.

Experts étrangers possibles : Alison Etheridge, Simon Levin, Karl Sigmund, Rupert Klein, Christian Schmeiser.