

Groupement de recherche EGRIN*

12 octobre 2012

Résumé

En géophysique, les écoulements gravitaires sont généralement représentés par des modèles de type écoulements peu profonds. Mais les équations de Saint-Venant ne permettent de représenter que très imparfaitement les écoulements complexes (variation de la densité du fluide, stratification des vitesses selon sur la verticale). De même, la rhéologie des fluides complexes (aspects granulaires, présence de plusieurs phases, grande viscosité) est représentée par des modèles très délicats à manipuler.

Alors que la préservation de l'environnement, la prévention et la maîtrise des impacts des risques naturels sont au cœur d'enjeux socio-économiques majeurs, l'obtention de bons modèles adaptés aux phénomènes physiques étudiés, simulés efficacement et validés est un enjeu important pour la communauté des mathématiciens appliqués. C'est l'objectif que se fixe le GdR EGRIN.

Abstract

Gravity driven flows are often modelled by Shallow Water type models. But the Saint-Venant system can hardly represent complex flows with significant density stratification, stratified velocity fields or complex rheology that are often important in environmental flows.

Whereas sustainable development issues become more and more important, there is a great demand for efficient, validated and well-posed models of reduced complexity for the simulation of gravity driven flows. The present project is aimed to propose models and simulation tools endowed with these properties.

Responsable du groupement : Stéphane Cordier

Co-responsable : Jacques Sainte-Marie

Mots-clés : modèles mathématiques, systèmes quasi-hyperboliques, méthodes numériques, géophysique, hydrodynamique et couplages, écoulements gravitaires, risques naturels

*EGRIN : Ecoulements gravitaires et risques naturels

1 Présentation

Alors que les préoccupations associées à la modélisation des écosystèmes, à la préservation de l'environnement et au développement durable ont une urgence particulière, d'importantes questions qui relèvent des mathématiques appliquées se posent dans des domaines tels que l'impact et la prévention des catastrophes naturelles, la gestion des ressources en eau, la qualité des eaux et leur évolution, l'impact des écoulements sur les sols et les structures. Et les connaissances actuelles tant au niveau de la modélisation que de la simulation numérique ne permettent de répondre que très imparfaitement à ces problématiques. Les travaux qui seront menés dans le cadre de ce GdR tendent à répondre à ce besoin.

1.1 Rôle

Les activités du GdR EGRIN se placent autour de la modélisation mathématique, du calcul scientifique et de la mise au point de nouveaux schémas numérique. Le rôle du GdR EGRIN est de coordonner les recherches dans ce domaine, et de fédérer les compétences autour d'un certain nombre de projets. Au delà de cet aspect structurant, le Groupement a pour rôle

- de labelliser les interlocuteurs potentiellement intéressés par les domaines d'applications concernés.
- d'aider les concepteurs de codes à intégrer l'état de l'art dans ces domaines.
- d'assurer la communication entre les différentes équipes.
- d'activer des réflexions nouvelles.
- de développer les travaux à caractère fondamental soulevés par la réalisation d'outils numériques.
- de valoriser les travaux de recherche.
- d'organiser l'émergence de synthèses-couplages de connaissances et d'outils scientifiques.

Il s'agit également de faire connaître les problématiques rencontrées dans les domaines des géosciences et de l'environnement par les mécaniciens, géophysiciens, acteurs de terrain, . . . afin de susciter l'intérêt de mathématiciens pour ces sujets.

1.2 Production

Les productions du groupement EGRIN sont des articles scientifiques et des rapports techniques, des logiciels et des algorithmes, des benchmarks, des journées scientifiques de recherche ou de formation.

2 Thématiques scientifiques

Les écoulements géophysiques sont généralement représentés par les équations de Navier-Stokes. Mais les dimensions caractéristiques des problèmes étudiés justifient l'utilisation de modèles plus simples afin notamment de réduire les coûts de calcul. Ainsi le système de Saint-Venant rend bien compte de phénomènes complexes tels les ruptures de barrage, les inondations, les avalanches.

Les aléas naturels (vagues scélérates, érosion, avalanche, ...) mettent en jeu des phénomènes physiques complexes et les modèles d'écoulements peu profonds de type Saint-Venant ne permettent de représenter que très imparfaitement les situations observées. La difficulté principale est donc l'obtention de bons modèles qui doivent être adaptés au phénomène physique, simulés efficacement et validés.

Le programme scientifique de EGRIN est centré sur la modélisation, l'analyse mathématique, numérique et la simulation de modèles de complexité réduite par rapport aux équations de Navier-Stokes, mais s'affranchissant des hypothèses trop restrictives que l'on retrouve dans les modèles d'écoulements peu profonds. Même si les modèles en question n'appartiennent pas toujours à la famille des lois de conservation hyperboliques, les modèles et les techniques d'analyse que l'on se propose de développer ont une parenté évidente avec celles-ci. On s'intéresse aux écoulements complexes et aux couplages induits lorsque le fluide interagit avec les sols ou les structures (érosion, glissement de terrain, ...). Les fluides considérés sont eux-mêmes complexes au sens où ils possèdent une rhéologie particulière (avalanches, écoulements pyroclastiques, ...).

La définition de ces différents sujets de recherche est guidée par le développement des nouveaux modèles et des nouvelles applications. Pour tous les travaux menés, on s'efforcera de conserver des fondements et une justification

mathématiques.

Les travaux scientifiques décrits ci-dessous s'articulent autour d'une étroite collaboration avec :

- les meilleurs spécialistes des disciplines connexes (mécaniciens des fluides, géophysiciens, sismologues, expérimentateurs, ...),
- les acteurs publics (centre de recherche, organismes publics, ...) utilisateurs finaux des modèles/codes numériques développés,
- le monde industriel (développeurs et également utilisateurs finaux des modèles/codes numériques développés).

Les phénomènes et risques naturels auxquels on s'intéresse sont principalement :

- **hydrodynamique** : les vagues scélérates, les tsunamis, les crues, les ruptures de barrage,
- **hydrodynamique et couplages** : avalanches, coulées de boue, érosion, la morphodynamique des côtes,
- **fluides complexes** : éruption volcanique, écoulements pyroclastiques.

Le GdR ne s'intéresse pas directement à la prédiction (localisation en temps et espace) des catastrophes naturelles. Mais par l'utilisation de conditions initiales/aux limites ou de termes de forçages réalistes (séisme, tempêtes, ...), on pourra être amené à évaluer l'impact d'un événement donné.

2.1 Modélisation

En géoscience, les modèles utilisés sont souvent construits autour des hypothèses d'écoulements peu profonds et prennent la forme de lois de conservation, généralement hyperboliques. Malheureusement, ces modèles ne sont pas complètement adaptés à la résolution de nombreux problèmes caractérisés par

- des champs de vitesse complexes (recirculation, stratification, upwellings),
- des interactions avec les sols, les parois et les quantités advectées par le fluide,
- la présence de plusieurs phases au sein du fluide,
- la présence dans l'eau de nombreuses espèces biologiques et chimiques et dont l'évolution est décrite par des systèmes de type advection/diffusion/réaction,
- pour certains écoulements (avalanches, écoulements pyroclastiques, ...),

la rhéologie des fluides mis en jeu est complexe et un travail de modélisation et d'analyse numérique est nécessaire.

Il s'agit donc de travailler à l'émergence d'une nouvelle famille de modèles pour les écoulements complexes et approchant précisément les équations d'Euler ou de Navier-Stokes.

2.2 Fluides complexes

Alors que les effets visqueux ne sont pas dominants dans les écoulements géophysiques faisant intervenir l'eau, il n'en est pas de même pour les fluides plus denses mis en jeu par exemple lors des avalanches, des éruptions volcaniques, des phénomènes d'érosion, ...

Les modèles utilisés pour ces fluides sont généralement difficiles à classer. Ils font apparaître des comportements visco-élasto-plastiques et les EDP associées sont de type advection-diffusion-réaction.

L'obtention de modèles admissibles au niveau thermo-mécanique, de complexité raisonnable (par rapport aux objectifs de simulation), ces modèles étant validés et calibrés/calibrables est un enjeu important pour les mathématiques appliquées. Il existe une forte demande de tels modèles dans la communauté des géosciences.

2.3 Analyse numérique

Dans le domaine des géosciences, les chercheurs utilisent de plus en plus de modèles – de type EDP ou autres – pour compléter ou expliquer les mesures expérimentales ou de terrain. Pour discrétiser et simuler ces modèles, les outils génériques disponibles (Matlab, Scilab, ...) ne sont pas adaptés et, étant donné la complexité et la spécificité des modèles en question, des schémas numériques spécifiques doivent être développés.

Un des objectifs principaux de ce GdR est d'inciter les mathématiciens appliqués à s'intéresser à l'analyse des modèles rencontrés en géosciences. L'absence d'analyse numérique et donc les difficultés rencontrées en pratique pour leur simulation sont assez souvent un facteur limitant aux avancées scientifiques.

2.4 Couplages

Les problèmes rencontrés dans les géosciences font naturellement apparaître des couplages par exemple entre fluides ayant des rhéologies différentes. Qu'ils interviennent au travers des conditions aux limites ou bien par la présence de plusieurs phases au sein du fluide, les couplages sont délicats à traiter tant au niveau de la modélisation que de l'analyse numérique.

Les thématiques du GdR EGRIN n'intègrent pas directement toutes les préoccupations rencontrées en océanographie ou en météorologie. Mais il va de soi que les activités de modélisation et de simulation décrites aux paragraphes 2.1 et 2.3 nécessitent une connaissance précise et la prise en compte des termes de forçage tels la météorologie, les marées, . . . Plusieurs des membres mentionnés au paragraphe 6 possèdent l'expertise sur ces sujets.

2.5 Stabilisation, estimation, assimilation de données

Les modèles auxquels on s'intéresse doivent rester de complexité raisonnable par rapport aux mesures *in situ* ou expérimentales permettant de les valider. Une fois validés, on cherche souvent à exploiter le caractère prédictif et pas seulement explicatif de ces modèles. On est ainsi amené à estimer certains paramètres critiques (frottements, paramètres de lois de comportement, . . .).

Le contrôle et l'estimation pour des modèles issus de la mécanique des fluides est délicat, voir par exemple les travaux de J.-M. Coron. L'ajout de termes sources pour le filtrage (filtre de Kalman, « nudging ») à des équations aux dérivées partielles à caractère hyperbolique (lois de conservation) pose d'importantes questions de stabilité des schémas numériques.

3 Relations avec d'autres GdR

Si certains membres du GdR EGRIN participent également à d'autres GdR tels les GdR MoMas¹ ou Maths-Entreprises², il y a peu de proximité thématique avec ces GdR. Par contre le GdR EGRIN aura des relations

1. MoMas : Modélisations Mathématiques et Simulations Numériques liées aux problèmes de gestion des déchets nucléaires, <http://www.gdrmommas.org/>

2. Maths et Entreprises <http://www.maths-entreprises.fr/>

privilégiées avec le GdR CHANT³ et le GdR TranSNat⁴.

Le GdR CHANT se termine prochainement et s'est intéressé à des thèmes voisins de ceux du GdR EGRIN. Dans EGRIN, il s'agit de se focaliser sur les écoulements gravitaires et de s'intéresser aux systèmes ayant une dominante hyperbolique (advection-diffusion, advection-réaction, couplage fluide-structure,...).

A travers une collaboration entre physiciens et géophysiciens, l'objectif du GdR TranSNat est de mieux comprendre les processus physiques impliqués dans les phénomènes de transport de matière solide à la surface de la terre à travers des études de terrain, des expériences de laboratoire et des modèles prenant en compte ces processus. La modélisation est utilisée pour tester la pertinence des processus physiques en comparant les résultats aux observations à différentes échelles. Les aspects analyse mathématique et numérique ne sont que très rarement abordés. Les objectifs du GDR EGRIN apparaissent ainsi très complémentaires à ceux du GDR TranSNat, ce dernier fournissant une source de nouveaux problèmes mathématiques et numériques à résoudre. De plus, le GdR TranSNat fournira un cadre idéal à l'évaluation et à la validation des résultats obtenus dans EGRIN.

Nous proposons, en coordination avec les responsables du GdR TranSNat (voir lettre associée) de développer des interactions fortes entre le GdR TranSNat (essentiellement constitué de physiciens et de géophysiciens) et le GDR EGRIN (majoritairement constitué de mathématiciens) à travers l'organisation de journées thématiques, de workshop,... A plus long terme, l'émergence éventuelle d'une communauté forte dans les différentes disciplines pourrait permettre de créer un GdR commun.

Les responsables de TranSNat (A. Valance et A. Crave) soutiennent la proposition EGRIN (voir lettre ci-jointe) et A. Mangeney (Univeristé Paris-Diderot et Institut de Physique du Globe de Paris) est membre du conseil scientifique d'EGRIN et participe au GdR TranSNat.

3. équations Cinétiques et Hyperboliques : Aspects Numériques, Théoriques, et de modélisation, <http://www-ljk.imag.fr/membres/CHANT/>

4. TranSNat : Transport Solide Naturel, <http://transnat.univ-rennes1.fr/>, renouvellement en 2013

4 Manifestations organisées

- coorganisation de diverses rencontres scientifiques chaque année (3 à 4 rencontres thématiques avec des sujets assez ciblés + 1 rencontre avec un contenu scientifique plus général),
- organisation d'une école pour jeunes chercheurs et chercheurs confirmés.

Cette école rassemblera une trentaine de participants sur une semaine.

Les manifestations organisées par le GdR fourniront aux doctorants un complément de formation ainsi que des occasions de présenter leurs travaux. Un soutien financier pour participer à ces manifestations leur sera prioritairement apporter.

Les manifestations scientifiques organisées seront également des occasions de rencontres avec les membres d'autres GdR ayant des préoccupations connexes, par exemple les GdR Chant, Calcul, Mascot-num.

5 Instances

Les instances du GdR sont constituées :

- *d'un conseil scientifique* composé principalement de personnes extérieures au groupement et chargées des orientations scientifiques du GdR,
- *d'un conseil du groupement* composé de membres du groupement représentant les diverses composantes thématiques du GdR.

N.B. : Toutes les personnes et les laboratoires mentionnés ci-après ont confirmé leur intérêt et leur participation au GdR.

5.1 Comité scientifique

- **Christophe Ancey** (Laboratoire d'Hydraulique Environnementale, EPFL, Lausanne)
- **François Bouchut** (Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée)
- **Frédéric Coquel** (CMAP, École Polytechnique)
- **Stéphane Cordier** (Laboratoire de Mathématiques, Université d'Orléans)
- **Josselin Garnier** (Laboratoire de Probabilités et Modèles Aléatoires, Université D. Diderot)
- **Sebastian Noelle** (Division Mathématiques Numériques, Université Aachen)

- **Randall J. LeVeque** (Department of Applied Mathematics, University of Washington)
- **Carlos Pares** (Département d'Analyse Mathématique, Université de Málaga)
- **Jacques Sainte-Marie** (CETMEF-Ministère de l'écologie, Inria et laboratoire J.-L. Lions, Université P. et M. Curie)
- **Stéphane Zaleski** (Institut J. Le Rond d'Alembert, Université P. et M. Curie)

5.2 Conseil de groupement

- **Christophe Berthon** (Laboratoire J. Leray, Université de Nantes)
- **François Bouchut** (Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée)
- **Stéphane Cordier** (Laboratoire de Mathématiques, Université d'Orléans)
- **Anne Mangeney** (Institut de Physique du Globe de Paris)
- **Jacques Sainte-Marie** (CETMEF, Ministère de l'écologie et laboratoire J.-L. Lions, Université P. et M. Curie)
- **Rachid Touzani** (Laboratoire de Mathématiques, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand)

6 Membres

On donne ci-dessous la liste des laboratoires et des établissements appartenant au groupement avec le nom des principales personnes concernées au sein de ces entités.

N.B. : Toutes les équipes figurant dans cette liste ont confirmé leur intérêt et leur participation au GdR. Le nom du correspondant local du GdR au sein de chaque laboratoire est donné.

• Mathématiques Appliquées

- **LAMA** (Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées), Université Paris-Est, Marne-la-Vallée : François Bouchut
- **LAGA** (Laboratoire Analyse, Géométrie et Applications) - université Paris-Nord : Emmanuel Audusse
- **Laboratoire J.-L. Lions**, Université P. et M. Curie : Edwige Godlewski

- **MAPMO** (Laboratoire de Mathématiques, Analyse, Probabilités, Modélisation d'Orléans), Université d'Orléans : Stéphane Cordier
 - **Laboratoire Jean Leray**, Université de Nantes : Christophe Berthon
 - **Laboratoire de Mathématiques (Clermont-Ferrand)**, Université Blaise Pascal : Rachid Touzani
 - **Laboratoire de Mathématiques (Besançon)**, Université de Besançon : Ulrich Razafison
 - **Institut de Mathématiques et de Modélisation** - Université de Montpellier : Fabien Marche
 - **INRIA** : équipes-projets BANG (M.-O. Bristeau) et MOISE (Antoine Rousseau)
 - **IRMAR** : Equipe d'Analyse Numérique, Université Rennes 1 (Benjamin Boutin)
 - **DMA** (Département de Mathématiques et Applications) - École Normale Supérieure Paris : D. Lannes
 - **IMB** (Institut de Mathématiques de Bordeaux) - université de Bordeaux 1 : Mario Ricchiuto
 - **Institut Camille Jordan**, Université Claude Bernard, Lyon 1 : Pascal Noble
 - **Laboratoire Jean Dieudonné**, Université de Nice : Didier Clamond
 - **CERMICS** (Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique), École des Ponts ParisTech : Alexandre Ern
 - **LAMA** (Laboratoire de mathématiques de Chambéry), Université de Savoie : Didier Bresch
 - **MIP** (Équipe Mathématiques pour l'Industrie et la Physique) - INSA de Toulouse : Jean-Paul Vila
 - **LAMFA** (Faculté de Mathématiques et d'Informatique), Université de Picardie-Jules Verne : Véronique Martin
 - **LAMBA** Université de Bretagne Sud : Emmanuel Frénoù
 - **UMPA** (Unité de Mathématiques Pures et Appliquées) École Normale Supérieure de Lyon : Paul Vigneaux
- **Autres membres**
 - **Laboratoire Saint-Venant** (EDF R&D, ENPC, CETMEF) : Nicole Goutal
 - **IPGP** (Institut de Physique du Globe de Paris) : Anne Mangeney
 - **Institut J. Le Rond d'Alembert** - Université P. et M. Curie : Pierre-Yves Lagrée

- **Institut de Physique de Rennes (IPR)** - Université Rennes 1 : A. Valance
- **BRGM** (Bureau de Recherche Géologique et Minières) : Modaresi Hormoz
- **Unité de Recherche Science du Sol** (INRA Orléans) : Frédéric Darboux
- **MISTEA** (Mathématiques, Informatique et STatistique pour l'Environnement et l'Agronomie) - INRA-Montpellier : Alain Rapaport
- **LISAH** (Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème) : Olivier Planchon
- **IMFT** (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse) - Université de Toulouse 3 : Olivier Thual
- **LTHE** (Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement) - Université Joseph Fourier : Michel Esteves
- **ISTO** (Institut des Sciences de la Terre d'Orléans) - Université d'Orléans : Stephane Binet
- **LMV** (Laboratoire Magmas et Volcans) - Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand : Karim Kelfoun
- **CETMEF** (Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales) - Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable : Jacques Sainte-Marie
- **LMD** (Laboratoire de Météorologie Dynamique) : Thomas Dubos
- **CERFACS** (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique) - équipes GLOBC du SUC : Sophie Ricci

7 Financement demandé (pour la durée du groupement)

- organisation des rencontres scientifiques : **12 keuros**
- organisation d'une école : **12 keuros**
- missions ponctuelles : **6 keuros**

Soit un budget total de **30 keuros**.