

# Titres et résumés des exposés

## Exposés d'overview

### **Xavier Bertin : Dynamique hydro-sédimentaire des zones littorales en conditions paroxysmales**

Les zones littorales sont de plus en plus attractives et peuplées, en dépit de l'augmentation des risques de submersion et d'érosion liée aux changements climatiques en cours. Cependant, les processus physiques contrôlant la dynamique hydro-sédimentaire des zones littorales sont seulement partiellement compris, particulièrement en présence de vagues de forte énergie. En conséquence, les capacités prédictives des modèles d'érosion et de submersion marine sont limitées lors des tempêtes et en présence de vagues fortement énergétiques. Dans cet exposé, nous commencerons par quelques généralités sur les aléas littoraux puis nous introduirons les principales stratégies de modélisation numérique : modèles à phase moyennée, modèles à phase résolue et approches intermédiaires type « surfbeat ». Dans une première partie, nous présenterons une application au sud-ouest de l'île d'Oléron où nous montrerons que les approches à phase moyennée permettent de mieux comprendre la distribution perpendiculairement au rivage des courants moyens induits par les vagues. Nous montrerons ensuite que les modèles de type « surfbeat » permettent de mieux comprendre la dynamique des ondes infragravitaires, qui correspondent à des ondes longues liées à la présence de groupes dans les vagues incidentes. Enfin, nous montrerons comment un modèle à phase résolue a permis de mieux comprendre l'origine des submersions intermittentes qui se développent lors des tempêtes à l'embouchure du Tage (Portugal). En conclusion, nous essaierons de dresser un « portrait-robot » du modèle numérique idéal, qui permettrait de mieux comprendre et de prédire la dynamique hydro-sédimentaire et les aléas littoraux.

### **Madalina Deaconu : Modélisation stochastique des phénomènes de rupture en géophysique**

La modélisation stochastique est un outil fondamental qui permet de comprendre, décrire, prédire et même généraliser des phénomènes complexes. Nous développerons des modèles de coagulation et/ou fragmentation qui sont utilisés dans de nombreuses applications comme : en chimie, la formation de polymères ; en astrophysique, la formation des étoiles et des planètes ; en géophysique, la formation des fractures ou les tremblements de terre, etc. Nous introduirons ces équations et présenterons un large spectre de leurs propriétés. Nous nous focaliserons sur la construction des outils aléatoires comme les processus de branchement et les équations différentielles stochastiques à sauts pour interpréter l'évolution de ces phénomènes. En particulier, nous illustrerons des résultats récents sur la fragmentation en lien avec les phénomènes de rupture de type avalanche et glissement de terrain. Les difficultés mathématiques sont nombreuses et nous soulignerons l'avantage de l'interprétation probabiliste dans ce contexte. Une importante caractéristique de ces modèles stochastiques sera la construction de procédures de simulation simples, permettant de décrire le comportement de la masse des particules au cours du temps. Des méthodes numériques de la classe Monte Carlo seront introduites.

## **Olivier Gagliardini : Dynamique des glaciers et calottes polaires**

Cet exposé présentera les verrous scientifiques identifiés sur la modélisation de l'écoulement des glaciers et calottes polaire. En guise d'introduction, on s'intéressera aux différentes composantes de la cryosphère terrestre dans le contexte du réchauffement climatique : banquise, permafrost, neige saisonnière, glaciers et calottes polaires. Le reste de l'intervention se focalisera sur les glaciers et calottes polaires, avec des focus sur le matériau glace et sa rhéologie complexe, le frottement à la base des glaciers et son lien avec l'hydrologie sous-glaciaire et enfin la dynamique de la ligne d'échouage, la stabilité de l'Antarctique et sa contribution à la montée du niveau des mers.

## **Arnaud Guyader : Une introduction à la simulation d'événements rares**

Les méthodes Monte-Carlo dédiées à la simulation d'événements rares se divisent en deux grandes familles : importance sampling et importance splitting. Le propos de cet exposé est de donner les idées sous-jacentes à chacune d'elles, que ce soit dans un cadre statique ou dynamique, selon que l'on s'intéresse à un événement rare pour un vecteur aléatoire ou pour un processus stochastique.

## **Marielle Simon : Équations hydrodynamiques obtenues comme limites de système de particules stochastiques**

Les "gaz sur réseaux stochastiques" (stochastic lattice gases en anglais) sont des modèles de particules en interaction soumises à une dynamique stochastique; ils sont très largement étudiés depuis une trentaine d'années, à la fois par les mathématiciens et les physiciens. Leur structure permet de les analyser rigoureusement, tout en illustrant de nombreux phénomènes physiques : en particulier, l'un des objectifs principaux consiste à prouver rigoureusement la convergence du système microscopique vers une EDP macroscopique, après remise à l'échelle en temps et en espace (ce qu'on appelle aussi "limite hydrodynamique"). Leur richesse et leur complexité s'acroît au fur et à mesure des années : au départ une façon simple de décrire microscopiquement l'équation de la chaleur linéaire, ces modèles permettent aujourd'hui d'illustrer des phénomènes de diffusion lente ou rapide, de propagation dans les milieux poreux, ou même de séparation de phases avec une frontière libre qui se déplace au sein du système. Grâce à plusieurs exemples, j'illustrerai les résultats mathématiques qui ont été obtenus ces dernières années, et les nombreuses questions ouvertes qui donnent encore beaucoup de travail aux mathématiciens pour les années à venir.

## **Bloen Metzger : Introduction to granular suspensions**

I will first discuss how sedimenting and sheared particulate suspensions differ fundamentally, the former being dominated by long range hydrodynamic interactions, while the latter is driven by geometric effects arising from solid contacts. I will then move on to more recent results highlighting the crucial role of frictional contacts on the rheology of dense granular suspensions; first by presenting the frictional transition model recently proposed to describe the shear-thickening behavior of certain dense suspensions, then showing how these new constitutive laws allow us now to explain new flow instabilities. Last, I will present recent experimental results that question our current understanding of the hysteretic behavior of the avalanche angle of a flowing granular layer. Collaborators: Baptiste Darbois-Textier, Hugo Perrin, Cécile Clavaud, Bruno Etcheverry, Yoel Forterre and Henri Lhuissier.

# Exposés

## **Cécile Agosta : Stratified atmospheric flow at the Antarctic surface: need for sub-grid parameterizations in climate models**

Pressure gradient between the Antarctic ice sheet interior and surrounding oceans induces a strong downward surface flow directed toward the ocean. In addition, cooling of air layers near the snow surface induces a strong stratification in the low atmosphere and consequently a gravity flow to the ocean. Both are critical to correctly model surface winds at the ice sheet margins, a major forcing of ocean circulation. This surface flow is also important to quantify snow accumulation over the ice sheet, as it has high potential to sublimate snow precipitation before it reaches the Antarctic surface. Current atmospheric model cannot reach the horizontal resolution needed to resolve correctly this surface flow, and use hydrostatic assumptions. There is a need to develop new parameterizations to take into account the sub-grid scale slopes and their effect on the surface flow in atmospheric models.

## **Guillaume Chambon : Modéliser les avalanches de neige : état de l'art et perspectives**

Comment prédire la trajectoire d'une avalanche ? Son dépôt final ? Les efforts exercés sur des structures ? Comment prendre en compte la variabilité des comportements mécaniques en fonction de la nature de la neige, sa température, sa teneur en eau ? Peut-on anticiper les effets du changement climatique sur l'évolution du risque ? Autant de questions au cœur des préoccupations des services opérationnels en charge de la gestion des risques en montagne, mais qui restent des problématiques très ouvertes sur le plan scientifique. De fait, la modélisation des avalanches de neige se heurte à la conjonction d'un grand nombre de verrous : un matériau fortement non-Newtonien dont les propriétés peuvent varier au cours de l'écoulement, des transitions de régime, des effets de compressibilité, des phénomènes d'érosion et de dépôt, des topographies complexes (constrictions, ressauts, ...). Dans cet exposé, nous présenterons l'état de l'art en matière de modélisation numérique de ces phénomènes, les limites des outils actuels et les principaux défis à relever pour parvenir à les améliorer. L'accent sera mis sur les approches hydrauliques intégrées dans l'épaisseur, dont l'utilisation en contexte opérationnel connaît un essor important ces dernières années.

## **Vincent Duchêne: On the stability of the hydrostatic equations for stratified fluids**

The hydrostatic heterogeneous incompressible Euler equations provide the building block for the so-called Primitive equations, before physical aspects such as eddy viscosity or diffusivity are taken into account. I will argue that properties of the hydrostatic equations are ill-understood and deserve attention from the mathematical community. In particular, within the framework of stable stratification, the well-posedness of the initial-value problem in Sobolev spaces is an open problem.

## **David Gérard-Varet : Some recent results on the mathematical theory of viscous suspensions**

We shall discuss recent progress on the mathematical analysis of viscous passive suspensions. We will notably discuss :

- 1) mathematical methods for the derivation of the effective viscosity of dilute suspensions
- 2) the use of network approximation for models of dense suspensions.

## **Frédéric Lagoutière : Modélisation des mélanges de fluides compressibles visqueux par homogénéisation**

Ce que je présenterai est issu d'une collaboration avec Dider Bresch et Cosmin Burtea. Nous tentons de décrire un mélange de deux fluides barotropes visqueux monodimensionnels (ayant deux lois d'état et deux viscosités différentes) au moyen des outils de l'homogénéisation : le mélange est donc la limite (faible) d'une suite de situations, indexée par  $\varepsilon$ , où les deux fluides sont séparés et occupent chacun une partie de  $\mathbb{R}$  différente. Chacune de ces situations, à  $\varepsilon > 0$  fixé, est, disons, connue (il existe une unique solution...) car les fluides sont purs et la loi d'état est donc connue. Par passage à la limite faible, nous aboutissons à une situation mélangée et obtenons rigoureusement un modèle à la Baer et Nunziato. La même analyse pour un système semi-discret (discret en espace, avec pas d'espace  $\Delta x$ ) est faite et conduit à l'écriture de schémas numériques convergeant visiblement vers les solutions, uniformément en  $\varepsilon$  et  $\Delta x$ . Je tenterai de décrire la démarche, les outils, les résultats, et illustrerai le tout avec des résultats numériques.

## **Aline Lefebvre-Lepot : Simulation Numérique Directe de Suspensions - Gestion des interactions proches**

Dans cette présentation on s'intéresse à la simulation numérique directe de suspensions denses. Afin de parvenir à des comportements macroscopiques pertinents, il est alors indispensable de bien prendre en compte numériquement les interactions entre particules proches. Celles-ci peuvent être de type fluide (lubrification) ou solide (contact, friction). On présentera une méthode permettant de résoudre précisément le problème fluide pour des particules proches avec des solveurs directs de type éléments finis/volumes finis... Celle-ci est basée sur un développement asymptotique de la solution entre les particules quand elles se rapprochent. On présentera également des modèles de contacts, permettant une bonne prise en compte des contacts secs, de la friction et de la lubrification. Ceux-ci entrent dans le cadre des méthodes de type Dynamique des Contacts et de l'analyse convexe non lisse.

## **Maria Kazakova : Breaking description in depth-averaged models**

Depth-averaged models are one of the classic approaches for coastal wave description. Dispersive models of this type such as the fully nonlinear model of Serre-Green-Naghdi (SGN) are used in order to have a better description of wave shoaling. However, this approach has limitations since the constant velocity profile is assumed. This hypothesis is especially restrictive in breaking regions and another derivation should be proposed. In this talk I will present an approach capable of treating wave breaking in the context of a depth-average model. The model can be described as a depth-averaged large-eddy simulation model with a cutoff in the inertial subrange. The large-scale turbulence is explicitly resolved through an extra variable called enstrophy. However this model is of mixed elliptic-hyperbolic type (as well as SGN equations) and requires an elliptical step in its numerical resolution which has a high numerical cost. In Richard (2021) a compressible dispersive model has been derived recently, which can be seen as a hyperbolic approximation of the SGN

equations. The hyperbolic nature of the model provides a framework particularly suitable for numerical resolution, allowing to overcome the technical limitations. These properties are fundamental for operational description of water waves. The breaking waves are not described by the new model, however the strategy explained in the first part of the present talk can be adapted. This adaptation is currently studied in the thesis of Yen Chung Hung in the context of the project in collaboration with J. Chauchat, G. Richard, A. Duran, F. Couderc and R. Baraille.

## **Stephane Labbé et Jerome Weiss : Modelling and simulation of sea ice dynamics**

### **Part I. Context and objectives**

In the Arctic, sea ice is undergoing for several decades a dramatic decline both in terms of spatial extent and average thickness. In the Antarctic, the declining trend was much smaller, but strongly accelerated in very recent years. As sea ice strongly affects the exchanges of energy and momentum between the ocean and the atmosphere, its decline is accompanied by a particularly strong warming in polar regions, particularly in the Arctic. The classical explanation for this combination of phenomena is an albedo feedback loop. This scenario, however, is insufficient to explain the rapidity of the sea ice decline, as illustrated e.g. by its strong underestimation in climate models. We will show that mechanical processes likely play a key role in this recent evolution. A detailed analysis of sea ice kinematics from passive tracers (drifting buoys) allows a characterization of sea ice brittle behavior, and highlights spectacular evolutions of mechanical properties: acceleration of drift and deformation, as well as a mechanical weakening in recent decades as revealed from an increased sensitivity of the ice cover to the Coriolis effect. These mechanisms likely reinforce the classical albedo feedback through an increasing sea ice export out of the Arctic basin and a shortening of the residence time. On the margins of the ice pack, in the so-called marginal ice zone, a thinner, weaker sea ice cover becomes more vulnerable to the breaking from oceanic waves and swell, inducing another positive feedback. All of this call for an improvement of the representation of sea ice mechanics and dynamics (i) in local and regional sea ice models based on a representation of an assemblage of ice floes and (ii) in large scale climate models, while the formers are also used to improve the parameterization of the followings. Part II of this presentation will mainly focus on point (i).

### **Part II. Modelling and simulation**

In order to understand and forecast the sea ice retroactions on climate evolution, we need to simulate its dynamics. We present here the modeling process and discretization strategy developed to build a simulation tool: FloeDyn. This computation code describes in fine details the dynamics of sea ice at the scale of an assembly of floes. The goal was to build a tool enable to simulate sea ice at the elementary scale (the floe scale) and to be able to link these simulations to large scale simulations via an averaging process. This, in order to obtain large scale rheological parameters but also to take into account local details in a large scale framework.

In this part, first we will explain the modeling choices and mathematical bottlenecks. After, we will present the discretization process based upon non-regular mechanics to manage contacts, and a variational approach to take into account the fracturing of the floes. Finally, we will detail the strategies developed to optimize computation performances in order to enable the largest number of floes in simulation, and will give some simulation examples.

## **Anne Mangeney : Numerical modelling of landslides generated tsunamis for building hazard maps in Mayotte**

Avec Poulain P., Le Friant A., Pedreros R., Mangeney A., Filippini A. G., Grandjean G., Lemoine A., Fernandez-Nieto E., Castro Diaz, M, Peruzzetto, M.

Since May 2018, Mayotte Island has experienced a seismo-volcanic activity that could trigger submarine landslides and, in turn, tsunamis. To address these hazards, we use HYSEA numerical model to simulate the granular flow dynamics and the Boussinesq FUNWAVE-TVD numerical model to simulate the wave propagation and subsequent inundations. We investigate 8 landslide scenarios of ten to hundreds of cubic meters. The scenario that represents the greatest threat involves destabilization of the eastern side of Mayotte's lagoon at shallow depth and can generate a sea surface elevation up to 2m. We show that the barrier reef surrounding Mayotte has a prominent role in controlling water wave propagation and in protecting the island. The tsunami travel time to the coast is very short (few minutes) and the tsunami is not necessarily preceded by a sea withdrawal. Our simulation results are key elements to establish hazard maps, evacuation plans and to improve early-warning.

## **Hélène Mathis : Dérivation d'un modèle d'écoulement compressible à bulles**

On s'intéresse à la modélisation d'un écoulement à bulles compressibles par une méthode d'homogénéisation. A l'échelle microscopique, le fluide est décrit par le système de Navier-Stokes compressible, le comportement des bulles étant décrit individuellement. L'originalité du modèle réside dans la prise en compte de la tension de surface aux interfaces. Considérant que le nombre de bulles diverge, on propose une construction des quantités macroscopiques. On présente le système d'équations macroscopiques associé qui contient non seulement une équation d'évolution de la fraction de volume mais également une équation cinétique sur la fonction de répartition des bulles. Il s'agit d'un travail en collaboration avec M. Hillairet et N. Seguin.

## **Jeremy Rohmer : Modélisation des événements extrêmes pour l'évaluation des aléas côtiers: mise en œuvre opérationnelle et questions ouvertes**