

Ph. D proposal

# Numerical simulation of geophysical flows using high-order and well-balanced Lagrange-Projection methods.

**Field** : Applied Mathematics and Numerical Analysis

**Key words** : Hyperbolic systems, finite volume methods, intensive computing, geophysical flows

**Skills** : Master 2 in analysis, modelling and simulation (or equivalent)

**Place** : Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), Laboratoire de Mathématiques de Versailles (LMV)

**PhD advisor** : Christophe Chalons (UVSQ, LMV, christophe.chalons@uvsq.fr)

**International collaboration** : M. Castro Díaz and T. Morales (EDANYA Research Group, University of Málaga, Spain)

**Domestic collaboration** : S. Kokh (CEA)

**Expected starting date** : september/october 2019

*English version.*

In this thesis, we consider the numerical simulation of geophysical flows by means of hydrodynamics models. We are especially interested in applications to sediment transport, turbidity currents, and to the prediction of emergency situations such as river floods, tsunamis or debris slides. Advanced hydrodynamic models based on the (one-layer or multi-layer) shallow-water equations will be used and analyzed to take into account these phenomena. In particular, the classic analysis PDE tools will be considered (conservativity, hyperbolicity, wave structure, definition of weak solutions and equilibria...) to understand and exhibit the main properties of these new models.

The main objective of the thesis is to design, analyze and implement high-order and well-balanced efficient numerical methods that are based on a Lagrange-Projection formalism. In a few words, the algorithms based on a Lagrange-Projection decomposition are splitted into two steps: the Lagrange step takes into account the compressibility effects of the flow while the Projection step is dedicated to the transport phenomena. Such a splitting is of particular interest in many geophysical flows since it provides a natural time scale decomposition leading to very efficient implicit-explicit schemes.

Besides the algorithm design, we are also interested in considering intensive computation in CPU and GPU clusters.

This thesis combines mathematical analysis of hyperbolic-type equations, numerical analysis of finite volume Godunov-type schemes, implementation and applications to realistic geophysical flows. It will be performed in strong collaboration with the EDANYA Research Group in Málaga and the PhD student will be given this opportunity to spend several months in Málaga. Domestic collaborations with S. Kokh at CEA (French Atomic Energy Commission) are also envisaged since the models under consideration share similar properties with the ones used to simulate compressible flows in the core of nuclear reactors for which Lagrange-Projection methods are of particular interest.

*Version française.*

Dans cette thèse, nous considérons la simulation numérique d'écoulements géophysiques à l'aide de modèles

hydrodynamiques. Nous sommes particulièrement intéressés par les applications au transport de sédiments, aux courants de turbidité et à la prédiction de situations d'urgence telles que les inondations, les tsunamis ou les glissements de débris. Des modèles hydrodynamiques avancés basés sur les équations en eaux peu profondes (à une couche ou multicouches) seront utilisés et analysés pour prendre en compte ces phénomènes. En particulier, les outils classiques d'analyse des EDP seront considérés (conservation, hyperbolicité, structure des ondes, définition des solutions faibles et des équilibres...) pour comprendre et montrer les propriétés principales de ces nouveaux modèles.

L'objectif principal de la thèse est de concevoir et analyser une stratégie numérique efficace et vérifiant des propriétés d'équilibre, en se basant sur un formalisme de type Lagrange-Projection. En quelques mots, les algorithmes basés sur une décomposition de type Lagrange-Projection se décomposent en deux étapes: l'étape de Lagrange prend en compte les effets de compressibilité tandis que l'étape de projection est dédiée aux phénomènes de transport. Une telle décomposition présente un intérêt particulier dans de nombreux écoulements géophysiques car elle fournit une décomposition naturelle des échelles de temps et conduit à des schémas implicites-explicites très efficaces.

Outre la conception de l'algorithme, nous nous intéresserons également au calcul intensif sur calculateurs CPU et GPU.

Cette thèse combine des outils d'analyse mathématique d'équations de type hyperbolique, d'analyse numérique des méthodes de volumes finis de type Godunov, de la programmation et des applications à des systèmes géophysiques réalistes. Elle se déroulera en collaboration étroite avec le groupe de recherche EDANYA à l'Université de Malaga et le doctorant aura la possibilité de passer quelques mois à Malaga durant la thèse. Des collaborations avec le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) sont également envisagées, car les modèles considérés partagent des propriétés similaires à celles des modèles utilisés pour simuler les écoulements compressibles des réacteurs nucléaires, pour lesquels les méthodes de type Lagrange-Projection sont particulièrement intéressantes.