

## Labex INTERACTIFS (<https://labex-interactifs.pprime.fr/>)

### 2026 Projet Proposition d'un module de cours à destination des doctorants

#### I. Informations générales :

Etablissement d'accueil <i>Institution</i>	<input checked="" type="checkbox"/> UP <input type="checkbox"/> ENSMA
TITRE du cours en français <i>French title</i>	PRINCIPES DE BASE DE LA SIMULATION NUMERIQUE EN MECANIQUE DES FLUIDES ET DE LA METHODE DES VOLUMES FINIS.
TITRE du cours en anglais <i>English title</i>	BASIC PRINCIPLES OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS AND FINITE VOLUME METHOD
Adéquation avec les thèmes du Labex <i>Adequacy with Labex Research project topics</i>	<input type="checkbox"/> 1 - COUPLAGE ENTRE LES MATERIAUX ET DES CONDITIONS SPECIFIQUES D'ENVIRONNEMENT <input type="checkbox"/> 2 - FONCTIONNALISATION DES SURFACES <input checked="" type="checkbox"/> 3- FLUIDES ET PHENOMENES ELECTRIQUES AUX INTERFACES
Enseignant <i>Teacher</i>	Nom : TRAORE Prénom : Philippe  Tel : 05-49-49-69-30 Email : philippe.traore@univ-poitiers.fr

Jours	Horaire	salle
Mercredi 4 Mars 2025	14h00-17h00	SP2MI bât H2 : Salle de réunion
Mercredi 11 Mars 2025	14h00-17h00	SP2MI bât H2 : Salle de réunion
Mercredi 18 Mars 2025	14h00-17h00	SP2MI bât H2 : Salle de réunion
Mercredi 25 Mars 2025	14h00-17h00	SP2MI bât H2 : Salle de réunion

#### II. Brève description du cours proposé

La simulation numérique s'impose aujourd'hui comme la troisième voie d'investigation au côté de l'expérimentation et de l'approche théorique. Elle apporte une complémentarité dans certains domaines dans lesquels, l'expérimentation ou la théorie n'apportent pas ou peu de réponses.

Ce cours est une introduction aux principes de la simulation numérique en mécanique des fluides (**Computational Fluid Dynamic : CFD**). Il s'adresse aussi bien aux étudiants ayant déjà une expérience de la simulation numérique, qu'aux étudiants plutôt expérimentateurs désirant s'initier à cette technique. Que vous utilisiez un code de calcul industriel (**Ansys-Fluent, Star CCM+,...**), un code de calcul collaboratif open source (**Open Foam, Basilisk, Freefem+,...**) ou encore un code de calcul « maison », ce cours vous présentera, les principes, méthodes, algorithmes et schémas numériques utilisés dans ce contexte. Nous discuterons des différentes stratégies consistant à utiliser soit un code de calcul industriel, soit un code open source, ou encore un code « maison » déjà développé en interne. Certains conseils seront prodigués aux gens qui souhaitent développer leur propre code de calcul en fonction de leurs objectifs (choix du langage, techniques efficaces de programmation, choix de la méthode de discrétisation, utilisation de bibliothèques,...).

Le programme de ce cours s'établit de la façon suivante :

- Dans un premier temps, nous discuterons de l'essor et des enjeux de la simulation numérique à l'aurée du 21<sup>ème</sup> siècle. Les potentialités mais aussi les limitations de cette technique seront clairement précisées sans concessions. Entre autres nous discuterons du calcul parallèle et de la problématique induite par la modélisation de la turbulence.
- Nous présenterons les différentes approches numériques pour la résolution des équations de Navier-Stokes pour la simulation d'un écoulement. (**Méthode des différences finies, volumes finis, éléments finis, méthode spectrale, méthodes particulières**).
- Nous aborderons ensuite, les fondements théoriques de la méthode des **volumes finis** qui est aujourd'hui reconnue, à bien des égards, comme étant la méthode de choix pour la simulation numérique en mécanique des fluides. En effet, elle est intensivement utilisée dans la plupart des codes de calcul industriels (**Ansys-Fluent, Star CCM+,...**) ou dans les codes collaboratifs « *open source* » (**Open Foam, Saturne, Basilisk, Flubio...**) qui traitent les problèmes de mécanique des fluides, de transferts thermiques ou de transport d'espèces.
- Les notions de **maillages structurés, non-structurés, multi-blocs**, seront abordées pour la discrétisation du domaine de calcul.
- Ensuite, nous détaillerons la discrétisation (spatiale et temporelle) d'une **équation de transport générique**, tout d'abord dans une géométrie simple (maillage cartésien, orthogonal) puis ensuite dans le cadre de géométries complexes (maillages quelconques, non orthogonaux, non-structurés). Une attention particulière sera portée sur les notions fondamentales comme **l'ordre de précision, la stabilité** des schémas numériques et leur **convergence** qui impactent la qualité de la solution numérique.
- Les notions d'algorithme de couplage vitesse-pression pour les équations de Navier-Stokes incompressibles seront discutées (**SIMPLE, PISO, Chorin,...**)
- Les différents types de **conditions aux limites** et leur implémentation dans le processus de discrétisation seront détaillés.
- Nous traiterons de la résolution de problèmes physiques complexes, combinant les équations de **Navier-Stokes** avec des phénomènes tels que les **transferts de chaleur**, les **transferts de masse**, les écoulements de **fluides immiscibles** et les écoulements **électrohydrodynamiques** (EHD).
- Enfin nous terminerons par **les bonnes pratiques en CFD** afin de garantir une solution numérique optimales vis-à-vis de certains critères : qualité du maillage, test d'insensibilité, erreurs et incertitudes, stabilité, précision, convergence, vérification et validation de la solution.

## II Brief description of the course

Numerical simulation has now established itself as the third avenue of investigation, alongside experimentation and theoretical approaches. It provides complementary insights in certain fields where experimentation or theory offer little to no answers. This course serves as an introduction to the principles

of numerical simulation in fluid mechanics (Computational Fluid Dynamics: CFD). It is designed for both students who already have experience with numerical simulation and experimentalists who wish to familiarize themselves with this technique. Whether you are using an industrial simulation code (Ansys-Fluent, Star CCM+, etc.), an open-source collaborative code (OpenFOAM, Basilisk, FreeFEM+, etc.), or a custom-built code, this course will introduce you to the principles, methods, algorithms, and numerical schemes used in this context.

We will also discuss the different strategies for using industrial codes, open-source codes, or internally developed custom codes. Additionally, advice will be provided for those who wish to develop their own simulation code, tailored to their objectives (choice of programming language, efficient programming techniques, discretization methods, use of libraries, etc.).

The content of this course is organized as follows:

- First, we will discuss the rise and challenges of numerical simulation at the dawn of the 21<sup>st</sup> century. The potential and limitations of this technique will be clearly outlined without compromise. Among other topics, we will address parallel computing and the challenges posed by turbulence modeling.
- We will present the various numerical approaches for solving the Navier-Stokes equations for flow simulation (**finite difference method, finite volume method, finite element method, spectral method, and particle methods**).
- Next, we will delve into the theoretical foundations of the **finite volume method**, which is widely recognized as the method of choice for numerical simulation in fluid mechanics. It is extensively used in most industrial codes (**Ansys-Fluent, Star CCM+**, etc.) and open-source collaborative codes (**OpenFOAM, Saturne, Basilisk, Flubio**, etc.) that address problems in fluid mechanics, heat transfer, or species transport.
- The concepts of **structured, unstructured, and multi-block meshes** will be introduced for the discretization of the computational domain.
- We will then detail the spatial and temporal discretization of a **generic transport equation**, first in a simple geometry (Cartesian, orthogonal mesh) and later in the context of complex geometries (arbitrary, non-orthogonal, unstructured meshes). Particular attention will be given to fundamental concepts such as **order of accuracy, numerical scheme stability, and convergence**, which impact the quality of the numerical solution.
- The concepts of velocity-pressure coupling algorithms for incompressible Navier-Stokes equations (**SIMPLE, PISO, Chorin**, etc.) will be discussed.
- The different types of **boundary conditions** and their implementation in the discretization process will be explained.
- We will address the resolution of complex physical problems that couple the **Navier-Stokes equations** with **heat transfer, mass transfer, immiscible fluid flows** and **electrohydrodynamic (EHD) flows**.
- Finally, we will conclude with **best practices in CFD** to ensure an optimal numerical solution with respect to certain criteria: mesh quality, sensitivity testing, errors and uncertainties, stability, accuracy, convergence, solution verification and validation.

## Bibliographie :



