

THÈSE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : *Mathématiques et leurs Interactions*

Jean BUSSAC

**Modélisation et simulation d'écoulements multiphasiques avec
phases miscibles**

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 4 septembre 2023
Unité de recherche : Laboratoire de Mathématiques Jean Leray

Rapporteurs avant soutenance :

Marc MASSOT Professeur, École Polytechnique
Vincent PERRIER Chargé de Recherche, INRIA Bordeaux

Composition du Jury :

Président :	Christophe BERTHON	Professeur, Nantes Université (<i>à préciser après la soutenance</i>)
Examineurs :	Christophe CHALONS	Professeur, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines
	Frédérique LAURENT-NÈGRE	Chargée de recherche, CNRS
	Maria Giovanna RODIO	Ingénieur de recherche, CEA Paris-Saclay
Dir. de thèse :	Jean-Marc HÉRARD	Chercheur Senior, E.D.F. R.&D.
Co-dir. de thèse :	Hélène MATHIS	Professeure, Université de Montpellier

Titre : Modélisation et simulation d'écoulements multiphasiques avec miscibilité

Mot clés : équations aux dérivées partielles, mécanique des fluides, thermodynamique, méthodes volumes finis

Résumé : Cette thèse étudie les écoulements multiphasiques avec miscibilité, dont l'étude est fondamentale pour la sûreté des réacteurs nucléaires. Elle se scinde en deux types de travaux : la première, plus théorique, consiste en la modélisation de tels phénomènes par des systèmes d'équations aux dérivées partielles. La seconde, plus pratique, simule ces modèles à l'aide de schémas volumes finis et de méthodes à pas fractionnaires. Modéliser un fluide multiphasique nécessite de prendre en compte les échanges thermodynamiques entre les composants. Une partie importante de ce manuscrit est accordée à la définition

et à l'étude des objets mathématiques permettant de modéliser ces phénomènes. Deux types de modèles pour un mélange diphasique à trois composants sont étudiés et simulés. Ce mélange correspond à un écoulement constitué d'eau liquide, de vapeur et d'air. De nombreuses simulations numériques sont fournies et comparées, notamment en prenant compte des échanges thermodynamiques. Enfin, on propose une généralisation d'un modèle existant dans le cas où le fluide contient un nombre arbitraire de composants miscibles.

Title: Modelling and simulation of multiphase flow with miscible components

Keywords: partial derivative equations, fluid mechanics, thermodynamics, finite volume methods

Abstract: This thesis concerns the multiphase flows with miscible components, that are mandatory in the nuclear powerplant safety. Two types of works are presented : the first one is the modelling of such phenomena that involve systems of partial derivative equations. The second one concerns the simulation of these models thanks to numerical schemes. The modelling of a multiphase fluid requires to take into account for the thermodynamical exchanges between the components. An important part of this thesis is dedicated to the

definition and the study of the mathematical tools that allow to describe these phenomena. Two types of models for a two-phase flow with three components are studied. This mixture corresponds to a fluid composed of liquid water, vapour water and a gas. Numerous numerical simulations are given and compared, especially by taking into account of the thermodynamical exchanges. Finally, we propose a generalization of an existing model by considering a miscible hypothesis.