



## **Avis de Soutenance**

**Madame Justine MARIE**

Spécialité : Mécanique des fluides

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

**« Simulation transitoire d'un condenseur par une approche CFD-milieu équivalent couplée à des techniques de réduction de modèle »**

dirigés par Monsieur CYRILLE ALLERY et Madame Claudine BEGHEIN-WEHLRI

Soutenance prévue le **mardi 16 décembre 2025** à 9h30

Lieu : La Rochelle Université

**Salle : C24**

Bâtiment Orbigny (Pôle Sciences et technologie),  
Avenue Michel Crépeau 17000 La Rochelle

### **Composition du jury proposé**

M. Cyrille ALLERY	La Rochelle Université	Directeur de thèse
M. Daniel BOUGEARD	Institut Mines Télécom, CERI Energie Environnement	Rapporteur
Mme Marianne BÉRINGHIER	ENSAM	Rapporteuse
M. Jean-Marc CADOU	IRDL Institut de Recherche Dupuy de Lôme, Université de Bretagne Sud	Examineur
M. Patrick BOT	IRENAV	Examineur
Mme Claudine BEGHEIN	La Rochelle Université	Co-encadrante de thèse
M. Vincent MELOT	Naval Group	Co-encadrant de thèse
Mme Marion BALIN	Naval Group	Invitée

### **Résumé :**

Naval Group mène depuis une dizaine d'années des développements pour la modélisation et la simulation des échangeurs de chaleur. Cette démarche R&D a abouti au code de calcul thermohydraulique SIMEC CFD qui repose sur l'analogie entre le faisceau de tubes et un milieu équivalent. L'écoulement extérieur-tube de l'échangeur de chaleur est modélisé en 3D ou en 2D et il est résolu par Ansys Fluent®, un solveur CFD (Computational Fluid Dynamics). L'intérieur-tube et le tube sont simulés par un modèle 0D ou 1D. SIMEC CFD est utilisé pour déterminer, en régime permanent, les performances thermohydrauliques des échangeurs de chaleur monophasiques, des condenseurs et des générateurs de vapeurs. Bien qu'il soit essentiel de connaître le fonctionnement de « croisière » (régime permanent) de ces composants, il est aussi important de prédire leurs réponses pour des variations transitoires, qu'elles soient volontaires ou incidentelles. La première étape mise en place durant ces travaux de thèse a donc été de développer SIMEC CFD en régime transitoire. Cela a nécessité de modifier d'une part les équations extérieur-tube, intérieur-tube et tube pour prendre en compte les phénomènes transitoires et d'autre part l'algorithme de couplage des échanges thermohydrauliques entre ces différents domaines. Après validation de la modélisation de SIMEC CFD en régime transitoire sur un échangeur monophasique de principe et sur un petit condenseur, cette méthode a été appliquée avec succès sur un condenseur industriel de plusieurs milliers de tubes permettant d'en obtenir les performances thermohydrauliques pour une variation transitoire. Cependant, cette approche reste coûteuse puisqu'un calcul SIMEC CFD nécessite plusieurs heures de calculs. Pour réduire le temps de calcul, plusieurs techniques de réduction de modèles, basées sur la POD (Proper Orthogonal Decomposition) et sur des données d'apprentissage issues de SIMEC CFD, sont considérées dans ces travaux. La première, dite par « base globale », consiste à construire une base spatiale globale par POD construite à partir d'échantillons issus de différentes valeurs du paramètre gouvernant le problème puis à interpoler les coefficients temporels et paramétriques pour de nouvelles valeurs du paramètre. La seconde approche se nomme Bi-CITSGM (Bi-Calibrated Interpolation on Tangent Subspace of Grassmann Manifold), elle se base cette fois-ci sur la création de bases spatiales locales, c'est-à-dire pour chaque paramètre. Ensuite, les espaces engendrés d'une part par la base spatiale et, d'autre part par la base des coefficients temporels et paramétriques sont interpolés simultanément en utilisant des techniques d'interpolation spécifiques basées sur la variété de Grassmann. La dernière méthode, que nous avons proposée lors de ces travaux de thèse, est la construction de modèles réduits par identification. Elle consiste à postuler la forme du système d'équations différentielles formant le modèle d'ordre réduit, puis à identifier les termes de cette forme en utilisant les coefficients temporels et paramétriques issus de la base POD. Une fois le modèle réduit construit, il est ensuite utilisé pour déterminer la dynamique du problème pour de nouveaux paramètres. Ces méthodes de réduction de modèles ont été appliquées sur l'échangeur monophasique de principe, sur le petit condenseur et sur le condenseur industriel. Elles permettent de simuler l'écoulement en quelques secondes.