

Thèse (2023-2026):

MODELISATION CFD DES ECOULEMENTS DIPHASIQUES ET DES VIBRATIONS INDUITES AU SEIN D'UN FAISCEAU TUBULAIRE SOUS ECOULEMENT TRANSVERSE

Service :

Service de maitrise des incidents et accidents (SEMIA).

Context de la these :

Le faisceau tubulaire d'un **générateur de vapeur (GV) de centrale nucléaire à eau pressurisée est soumis à des phénomènes vibratoires**, engendrés par l'**écoulement secondaire diphasique eau-vapeur**. Ces phénomènes vibratoires sont observés surtout dans la partie haute du faisceau tubulaire, le chignon, où l'écoulement est transverse et à fort taux de vide. Pour des vitesses excessives, des tubes du faisceau peuvent entrer dans l'instabilité fluide-élastique, qui se caractérise par des amplitudes vibratoires très élevées, pouvant entraîner la dégradation rapide des tubes concernés et un **accident de rupture de tube GV (RTGV)**.

Des accidents de RTGV se sont déjà produits sur le parc nucléaire français, où l'exploitant a dû procéder à quatre replis de réacteurs entre 2004 et 2008, ayant pour cause initiale une vibration excessive [1]. A l'international, un exemple très connu est représenté par la centrale américaine de San Onofre, où une RTGV a eu lieu en 2012 et l'usure précoce d'un grand nombre de tubes a été détectée : cette usure a été imputée au développement de vibrations excessives, liées à l'inefficacité des barres anti-vibratoires [2].

Ces évènements ont montré la complexité de prédire l'instabilité fluide-élastique des tubes de GV, notamment lorsqu'il s'agit de prendre en compte des conditions particulières de fonctionnement du composant. Dans ce cadre, l'**Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire a initié un programme de recherche sur les interactions fluide-structure**. Ce programme vise tout d'abord à **développer les outils de simulation numérique à l'échelle CFD, pour les domaines de la thermohydraulique diphasique GV, et des vibrations de tubes couplées sous écoulement diphasique transverse**. Il s'agit ensuite d'évaluer la représentativité de ces outils, en comparant leurs résultats aux constats expérimentaux qui seront établis dans plusieurs configurations sur une maquette simplifiée.

Dans le cadre de ce programme, **une première thèse a permis de concevoir et exploiter une maquette d'un faisceau tubulaire soumis à un écoulement transverse diphasique eau-air [3][4]** : des résultats expérimentaux ont été obtenus en termes de caractérisation de l'écoulement diphasique (mesures locales et visualisations des tailles caractéristiques des interfaces diphasiques, vitesses, taux de vide) et de mesure de la réponse vibratoire des tubes. L'objectif principal de ces tests expérimentaux était l'étude de **l'impact d'un régime diphasique spécifique (à bulles, churn, intermittent, à gouttes, ...) sur la réponse vibratoire des tubes** : cet aspect n'est pas maîtrisé, car les campagnes expérimentales disponibles réalisées dans le passé se focalisent exclusivement sur la mesure des vibrations, sans s'intéresser à la caractérisation de l'écoulement diphasique.

Objectives de la these :

L'état de l'art actuel de la simulation de la thermohydraulique eau-vapeur des GV a recours à une approche diphasique homogène à milieux poreux [5]. A cette échelle dite « composant », les résultats de la modélisation ne peuvent prendre en compte la configuration locale de l'écoulement diphasique et, donc, son impact sur la force fluide exercée sur les tubes. Une approche de simulation à l'échelle CFD est par conséquent plus adaptée pour prédire et décrire la structure de l'écoulement lorsque l'on s'intéresse à la vibration.

L'objectif de cette thèse est l'utilisation, l'analyse et l'amélioration de méthodes CFD diphasiques dites « multi-régime », pour des



31, Avenue de la Division
Leclerc, 92260 Fontenay-
aux-Roses

www.irsn.fr



INFORMATIONS:

Où: IRSN, Cadarache
(France)

Quand: 2023-2026

Début: Sept.-Nov. 2023

Ecole doctorale: *Institut de
mécanique des fluides de
Toulouse - IMFT*

CONTACT:

IRSN/PSN-
RES/SEMIA/LSMA

PhD supervisor: Daniele
Vivaldi

Tel.: 04.42.19.93.93

Email: daniele.vivaldi@irsn.fr

configurations de type écoulement diphasique transverse au sein d'un faisceau tubulaire. Ces méthodes permettent de traiter les petites structure (bulles, gouttes) suivant une approche dite « dispersée » (la dynamique des deux phases est traitée de façon moyennée, via un taux de présence moyen et des lois de comportement permettant de décrire l'interaction entre les phases gaz et liquide), et de résoudre explicitement (de façon similaire aux approches dites « Volume Of Fluid » – VOF) les « grosses » structures diphasique (dont l'interface gaz-liquide a une taille suffisamment grande pour être reconnue et décrite par le maillage utilisé). Malgré les potentialités de ces approches, un certain nombre de difficultés et défis de modélisation ont été identifiés lors de l'application à une configuration d'écoulement diphasique transverse à un faisceau tubulaire.

Le doctorant utilisera le **code multiphasique CFD *neptune-cfd***, au sein duquel des approches multi-régime sont disponibles. Il/Elle devra **analyser la cohérence des modèles existants, les optimiser et, quand nécessaire, développer des nouveaux modèles de description des phénomènes physique en jeu (évolution des tailles de la phase dispersée, transition entre l'approche de résolution dispersée et interface résolue, modélisation de la tension de surface, impact de la présence du faisceau tubulaire sur la coalescence et le break-up, ...)** et les implémenter dans ***neptune-cfd***. Les résultats expérimentaux obtenus pendant la précédente thèse constitueront pour le thésard la base de données expérimentale de référence pour analyser la pertinence des résultats numériques.

Une fois validée l'approche de modélisation de l'écoulement, l'interaction fluide-structure (IFS) sera considérée : **simulations couplées d'IFS** seront réalisées et les résultats comparés aux résultats expérimentaux. L'approche une fois validée permettra alors de réaliser des études de sensibilité afin de mieux comprendre l'**impact du mélange diphasique** (conditions eau-vapeur par rapport au mélange eau-air) sur le régime d'écoulement, sur l'amortissement diphasique et sur la réponse vibratoire.

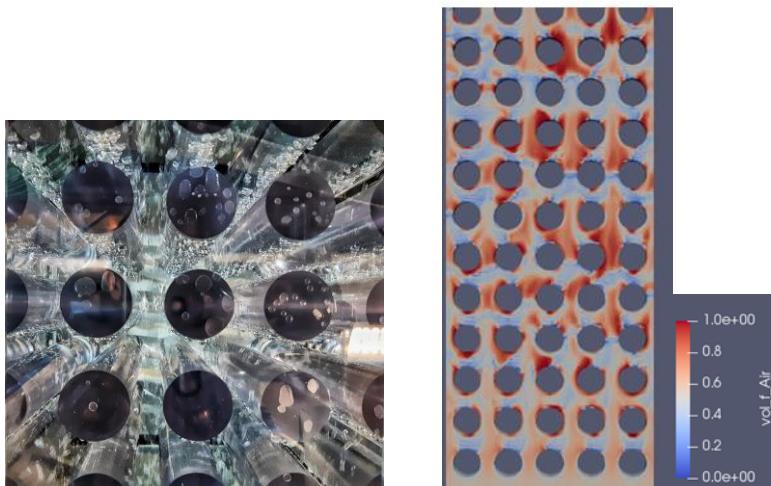


Figure 1: Ecoulement diphasique transverse à un faisceau tubulaire (écoulement vertical vers le haut): exemple d'une visualisation expérimentale eau-air au sein de la maquette disponible à l'IRSN (gauche) et du taux de vide calculé par une approche de simulation CFD multi-régime(droite) [3].

Compétences requises :

MSc in Nuclear/Energy/Mechanical engineering. Background in fluid-mechanics, numerical simulation, CFD.

References:

- [1] REP - Fatigue vibratoire des tubes de générateurs de vapeur - Avis IRSN N°2012-00539.
- [2] San Onofre Nuclear Generating Station, Units 2 & 3 – REPLACEMENT STEAM GENERATORS – Supplemental Technical Evaluation Report. Mitsubishi Heavy Industry Document No. L5-04GA588 – Non-proprietary Version.
- [3] G. Spina et al., Tube bundles subjected to two-phase flow: a new experimental apparatus design for flow regimes and vibration study. *NURETH-19* (2022).
- [4] G. Spina et al., A new experimental facility for two phase flow characterization in a tube bundle and vibration study. *Fluid-induced vibration conference* (2022).
- [5] F. David, Three dimensional thermal-hydraulic simulation in steam generators with THYC Exchangers code, *NURETH-9* (1999).

