

Application des réseaux de neurones

à la tomographie d'impédance électrique pour la mesure d'écoulement diphasique

Contexte

La détection de vide dans les écoulements peut être importante dans la démonstration de sûreté ou pour la sûreté de fonctionnement d'une installation industrielle. Le CEA travaille particulièrement sur des instrumentations permettant la détection rapide d'un éventuel accident de type perte de réfrigérant (Loss-Of-Coolant Accident) dans un réacteurs nucléaire.

L'estimation du taux de vide et de la distribution des phases dans un écoulement est aussi essentielle pour comprendre les transferts de chaleurs et maîtriser le risque de crise d'ébullition dans les échangeurs de chaleurs. Pour la qualification des modèles et codes de simulation développés au CEA (TRIO-U voire NEPTUNE), il est très important de disposer d'une mesure précise et complètement non intrusive permettant l'accès à ces paramètres.

Pour répondre à ces problèmes, la tomographie d'impédance électrique (Electrical Impedance Tomography EIT) est une instrumentation prometteuse car elle est non intrusive, a une haute résolution temporelle et facile à mettre en place.

Elle utilise simplement des électrodes placées en un ou plusieurs anneaux autour la conduite dans laquelle s'effectue l'écoulement. Une reconstruction d'image du champ d'admittance dans la conduite permet de distinguer les zones conductrices (eau) et isolantes (gaz). Cette reconstruction peut être faite jusqu'à une fréquence de plusieurs dizaines de kHz.

En plus de l'intérêt concernant les réacteurs nucléaires, le développement et la qualification de cette instrumentation a un intérêt industriel, et le CEA souhaite pouvoir breveter les nouveaux développements, dans un soucis d'innovation et de valorisation, pour une extension du procédé à de nombreuses autres applications.

Des expérimentations et des méthodes de reconstruction d'image, basés sur des algorithmes itératifs ou non itératifs ont déjà été étudiés au CEA lors de la réalisation de 3 thèses successives sur ce sujet sous la direction de G. Ricciardi.

Antoine DUPRE (thésard en 2014-2017) a mis en place le premier prototype au CEA avec une expérimentation simple. Il a montré que le traitement des données obtenues avec tous les appariements possible d'électrodes ("full-scan"), permet d'obtenir des corrections vis-à-vis des impédances parasites du système expérimental. Il a ainsi obtenu une image reconstruite avec une bonne localisation d'une zone isolante en 2D.

Mathieu DARNAJOU (en 2017-2020) a montré qu'il est possible de réaliser des mesures sur toutes les électrodes simultanément en utilisant une excitation électrique et un modèle basés sur le multiplexage fréquentiel. Il a ainsi obtenu des images du champ d'impédance à une fréquence de plusieurs kHz. Les résultats ont été validés expérimentalement sur une géométrie simple, mais aussi sur la boucle Thermohydraulique intégrale PKL, utilisée pour la recherche sur les accidents de perte de réfrigérant et située sur le centre de recherche de Framatome à Erlangen (Allemagne). Une reconstruction de l'impédance à 32 kHz a aussi été obtenu en laboratoire.

Chunhui Dang (en 2017-2020) a comparé les performances de nombreuses méthodes de sollicitation et de reconstruction d'image, basées sur la minimisation de la fonction de coût, la linéarisation, ou des méthodes d'inversion non linéaire (dont MUSIC). Il a pour cela principalement utilisé un montage expérimental à 16 électrode réalisé au STCP/LTHC. Toutes les méthodes classiques sont limitées à l'obtention d'images floues avec un bruit important et une mauvaise localisation spatiale des interfaces, insuffisantes pour avoir une estimation correcte du taux de vide dans une conduite. Il a montré qu'une meilleure estimation du taux de vide peut être faite en utilisant les valeurs propres de la matrice des mesures d'impédance.

Sujet

Pour l'instant, les modèles utilisés ont permis de reproduire grossièrement la forme d'un vide important dans le tube instrumenté. Dans cette thèse, nous voulons améliorer l'identification et la quantification des paramètres des écoulements diphasiques : identification du type d'écoulement, distribution du vide et estimation correcte du taux de vide.

La résolution du problème inverse passe en général par une résolution d'une équation matricielle mal conditionnée et donc les incertitudes de mesures dégradent fortement le résultat. Une petite partie de la thèse sera donc d'améliorer le dispositif expérimental pour réduire au mieux tous les biais et bruits de mesures.

Une autre voie d'étude, sera d'améliorer les méthodes de résolution du problème inverse et leur paramétrisation.

Pour améliorer à la fois la précision de la rapidité de la mesure, une solution peut être d'utiliser des connaissances déjà acquises pour constituer une base d'apprentissage. Il est ainsi possible de créer une intelligence artificielle (IA) permettant de fournir les informations voulues. La création de cette IA constituera la plus grande part de la partie numérique de la thèse.

Pour alimenter l'IA, il faudra construire une base importante de cas, qui pourront être obtenus par des expérimentations et par des simulations.

Il sera peut-être nécessaire d'utiliser, en plus de la simulation des courants électriques dans un mélange, une simulation de l'écoulement par un code de mécanique des fluides. Les modèles et l'expertise du DM2S pourra alors être utilisée. En effet, les modèles d'écoulement, puisqu'ils renseignent sur les distributions possibles des vides (bulles) dans l'écoulement pourront être utilisés pour améliorer la détermination du taux de vide.

L' IA ainsi créée devra faire partie intégrante d'un nouveau système de reconstruction d'image plus performant.

Pour la validation de la méthode, des dispositifs expérimentaux et essais multiples sont prévues et devront être pris en charge par le thésard, avec l'aide des laboratoires concernés. Le thésard sera particulièrement chargé de mettre en place les mesures nécessaires à la validation de l'EIT et de réaliser les acquisitions.

En plus des dispositifs d'essais déjà utilisés au STCP/LTHC il est prévu de réaliser des essais sur les boucles en eau du STCP/LISM : IKHAR, FLOWDYN et/ou CARMINEAU. Ainsi que sur des boucles de validation des codes de thermohydraulique diphasique du DM2S, sur section ronde, et/ou carrée.

Pour la partie instrumentation, le matériel du LTHC pourra être utilisé ou dupliqué. En effet, le système (anneau contenant les électrodes, réalisé en PMMA à Cadarache et en céramique en Allemagne) est transportable.

Il pourra être aussi utile d'ajouter des expériences analytiques (simples et sans écoulement).

Déroulement de la thèse

- Etape 1 : biblio, incluant les 3 thèses précédentes ainsi que les intelligences artificielles, notamment utilisées pour la reconstruction d'images.
- Etape 2 : Début des expérimentations et simulations numériques pour bâtir une base d'apprentissage et reconstruction d'image avec IA (conditionnement des signaux puis traitement) sur un cas simulé et/ou sur une première expérimentation.
- Etape 3 : qualification pour diverses conditions expérimentales.

Informations

Le thésard sera basé au STCP/LISM Cadarache

Les personnes qui contribueront à la direction et l'encadrement de la thèse sont :

DM2S/STRF : Benjamin CARITEAU du Projet SIMEXP/Lot SITHY sur expérimentation en support à la qualification des modèles (codes diphasiques moyennés : TRIO, NEPTUNE).

DTN/STCP/LTHC : Guillaume RICCIARDI

DTN/STCP/LISM : Kévin PAUMEL, Frédéric MICHEL, François BAQUE

La thèse pourra faire l'objet d'un accord avec partenaire industriel, par exemple Framatome en Allemagne (Erlangen)

Bibliographie :

DUPRE, Antoine. Electrical impedance tomography for void fraction measurements of harsh two-phase flows: prototype development and reconstruction techniques. 2017. Thèse de doctorat. Ecole centrale de Marseille.

DARNAJOU, Mathieu, DUPRÉ, Antoine, DANG, Chunhui, et al. High Speed EIT with Multifrequency Excitation using FPGA and Response Analysis using FDM. IEEE Sensors Journal, 2020.

DANG, Chunhui, DARNAJOU, Mathieu, RICCIARDI, Guillaume, et al. Performance analysis of an electrical impedance tomography sensor with two sets of electrodes of different sizes. Proc. WC IPT-9 (Bath, UK,), 2018.