

Proposition de sujet de thèse CEA-CRAN : Diagnostic de fonctionnement dynamique de systèmes non linéaires.

La connaissance de l'état d'un système, comprenant les paramètres opératoires, les indicateurs d'états et autres mesures de suivi disponibles, est essentielle pour sa conduite. En effet, si des aléas ou des modifications de fonctionnement surviennent, il faut pouvoir détecter leurs présences, leurs natures et éventuellement leurs amplitudes afin de maintenir le système au plus proche de l'état visé. Cependant, les incertitudes et les erreurs affectant les mesures collectées rendent difficile l'estimation de l'état du système. Un traitement des données mesurées, par exemple par réconciliation de données, est nécessaire pour déterminer un jeu de données cohérent (le plus proche du jeu des données mesurées et qui respecte les modèles de connaissance du système).

Récemment, la thèse de A. Duterme [1] a conduit à la définition et la mise en œuvre d'un outil permettant l'estimation d'état et le diagnostic de fonctionnement d'un système en régime statique, en utilisant des techniques de réconciliation de données. La thèse proposée concerne le développement de méthodes capables d'étendre les résultats précédents, afin de prendre en compte le régime dynamique d'un système et le fonctionnement non-linéaire de celui-ci dans son diagnostic. Deux aspects complémentaires sont à développer, le premier lié à la validation de mesures [1, 6], le second dédié à la détection et l'analyse de changements dans le fonctionnement d'un système [2, 3].

► Pour les deux points, un travail préliminaire est nécessaire pour la conception d'un simulateur d'un système complexe, ainsi que l'étude de la structure du modèle associé, à travers l'étude des sensibilités des paramètres et la conception d'une matrice de signature traduisant l'influence des variations des entrées et de certains paramètres sur les sorties du système.

► Ensuite, le premier objectif sera de réconcilier les jeux de mesures disponibles, en prenant en compte leurs incertitudes et le modèle développé préalablement. Bien que la réconciliation de données de systèmes dynamiques non linéaires ne soit pas une thématique nouvelle [4,5], peu de travaux ont été publiés et des développements méthodologiques seront attendus. L'extension des méthodes bien établies dans le cas statique au cas dynamique pourrait, par exemple, être fait par discrétisation du modèle continu et une approche sur fenêtre glissante temporelle. Cette étape devrait également permettre de générer des indicateurs de dysfonctionnement, c'est-à-dire des indicateurs permettant de détecter et identifier des capteurs biaisés, s'il y en a, et des indicateurs détectant la modification du comportement du procédé (par exemple : sortie du régime permanent du système vers un régime dynamique).

► Enfin, le second objectif concerne l'analyse de ces indicateurs pour déterminer les variations opératoires à l'origine de l'évolution constatée. L'utilisation du simulateur dynamique (prenant notamment en compte les changements de consigne ou encore les perturbations) devrait permettre de simuler les réponses des indicateurs d'état en fonction des variations opératoires. Il s'agit ensuite de mettre au point un algorithme, basé sur un modèle inverse pour remonter des symptômes aux causes, c'est-à-dire permettant de déterminer la ou les variations opératoires ayant causé la modification de comportement constatée.

► L'outil final serait un « jumeau numérique », innovant dans le domaine, capable de suivre le système à chaque instant, que cela soit pour un fonctionnement à l'équilibre, ou lors des régimes dynamiques transitoires attendus ou accidentels.

Cette thèse présente un double intérêt, le premier concernant la définition, la réalisation et le test d'un outil de type « jumeau numérique » d'un procédé complexe, domaine novateur et en forte expansion ces dernières années. Le candidat pourra ainsi acquérir des compétences en « data science

» actuellement fortement appréciées par les industriels développant des outils de suivi et de conduite avancée de procédés complexes. Le second intérêt est le développement et l'application de méthodes de détection de modifications de l'état d'un système. Associées aux outils de diagnostic, ces méthodes sont en pleine expansion car elles permettent d'apporter une information synthétique et consistante avec la connaissance du procédé matérialisé par le simulateur, ce qui est très utile pour la conduite de systèmes complexes. De plus, la personne recrutée bénéficiera d'un encadrement multiple, à la fois par l'équipe de recherche du CEA Marcoule pour son expertise en modélisation des procédés et par le Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN, laboratoire rattaché à l'Université de Lorraine et au CNRS), pour son expertise dans le domaine du diagnostic à base de modèle ou de données.

Références

- [1] Duterme A. Estimation de l'état d'un procédé basée sur la réconciliation de données couplée à un simulateur : application à l'aide à la conduite d'une unité de recyclage du combustible nucléaire usé. Thèse de doctorat en Génie des Procédés et de l'Environnement, INPT Toulouse, 2019.
- [2] Marx B., Ichalal D., Maquin D., Ragot J. Operating mode recognition. Application to a grinding mill process. Symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, Vienna, 2016.
- [3] Nagy Kiss, A.M. Analyse et synthèse de multimodèles pour le diagnostic : application à une station d'épuration. Thèse de doctorat en Automatique, traitement du signal et des images, génie informatique, Université de Lorraine, 2010.
- [4] Kallas M., Mourot G., Maquin D., Ragot J. Data driven approach for fault detection and isolation in nonlinear system. International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 32 (11), 1569-1590, 2018.
- [5] Bai S., Mclean D., Thibault J. Simultaneous Measurement Bias Correction and Dynamic Data Reconciliation. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 85, 2008.
- [6] D'Emilia G., Gaspari A. Data Validation Techniques for Measurements Systems Operating in a Industry 4.0 Scenario a Condition Monitoring Application. Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, Brescia, 112-116, 2018.

Mots clés : diagnostic, détection d'incohérence, changement de mode de fonctionnement, systèmes non linéaires, jumeau numérique, application à un procédé chimique.

Lieu : CRAN à Nancy et CEA à Marcoule

Rémunération : 1500 €/ mois net environ. La personne recrutée sera salariée par le CEA

Profil attendu : ingénieur ou master en automatique, notions de génie des procédés appréciées

Contacts pour les candidatures :

Amandine Duterme (CEA)

Amandine.DUTERME@cea.fr

Gilles Mourot (CRAN, UL)

gilles.mourot@univ-lorraine.fr

Benoît Marx (CRAN, UL)

benoit.marx@univ-lorraine.fr

José Ragot (CRAN, UL)

jose.ragot@univ-lorraine.fr