Conduite et supervision d'un réacteur échangeur de chaleur intensifié pour la synthèse de produits de chimie fine

Sara EL RHAZOUANI[1,2], Michel CABASSUD[1], Nathalie DI MICELI RAIMONDI[1], Boutaib DAHHOU[2], Rim RAMMAL[2]

[1] Laboratoire de Génie Chimique, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France.

[2] LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA, UPS, Toulouse, France.

I. Introduction

Aujourd'hui, nous assistons à de nouveaux développements qui vont au-delà de l'ingénierie traditionnelle grâce à l'apport de l'intensification des procédés, qui a pour but de transformer la conception des usines chimiques et de conduire à des procédés durables, compacts, sûrs, efficaces sur le plan énergétique et respectueux de l'environnement. L'objectif de ce travail porte sur les problématiques de la conduite et de la supervision d'un réacteur échangeur de chaleur intensifié qui a déjà été mis en œuvre au LGC (Laboratoire de Génie Chimique) (Théron, Anxionnaz-Minvielle, Cabassud, & Gourdon, 2014). Il part du constat qu'un composant minime du procédé industriel global peut entraîner un coût économique imprévu en raison d'un arrêt ou d'une défaillance qui nécessitera une maintenance qui n'a pas été planifiée par avance. Par conséquent, pour garantir la sécurité et la fiabilité du procédé intensifié, il est d'un grand intérêt de concevoir des techniques avancées de détection et de diagnostic des fautes (FDD) et des algorithmes de contrôle tolérants aux fautes (FTC) pour superviser le comportement des systèmes industriels et prévenir toute dégradation supplémentaire causée par des fautes inattendues.

II. Méthodes

Le réacteur étudié est une combinaison entre un échangeur de chaleur à plaques et un réacteur tubulaire à écoulement piston. Il est composé de trois plaques dites « procédé » intercalées entre quatre plaques dites « utilité ». Après rassemblement des plaques, on obtient une unité compacte. Un modèle 1D dynamique de ce réacteur prenant en compte l'hydrodynamique, les transferts de chaleur et la réaction a été développé. Afin de vérifier la stratégie de conduite qui sera mise en place ultérieurement, le choix d'une réaction chimique comme cas d'étude a été réalisé. Suite à une étude bibliographique menée selon différents critères, la réaction d'estérification de l'anhydride propionique par le 2-butanol a été retenue comme réaction à implémenter dans le réacteur échangeur de chaleur. Cette réaction est modérément exothermique, pouvant conduire à des problèmes en termes de sécurité, ayant un modèle cinétique disponible dans la littérature et ses conditions de mise en œuvre sont compatibles avec celles d'un réacteur continu de type piston.

III. Résultats

La cohérence du modèle mathématique du réacteur a été validée d'un point de vue thermique : dans le cas d'expériences de chauffage ou de refroidissement du milieu réactionnel (voir Figure 1). La Figure 2 montre ensuite la simulation de la dynamique du réacteur en présence de la réaction (ici, le temps de séjour dans le réacteur est de 40s pour un débit total de réactifs de 2,4 $L.h^{-1}$).

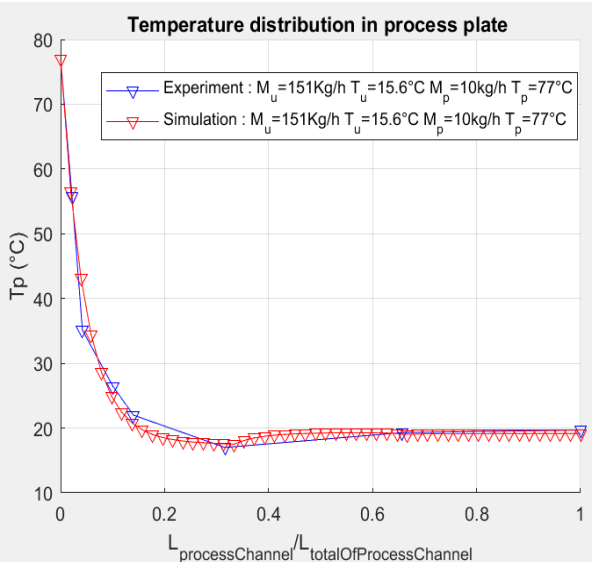

Figure 1: Simulation du profil de température du fluide procédé et comparaison avec le profil expérimental.

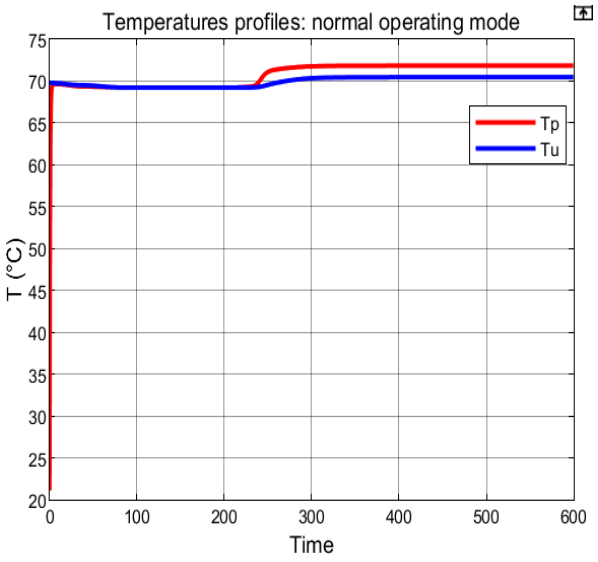

Figure 2: Simulation de la dynamique du réacteur échangeur de chaleur (la réaction est introduite à t=200 s).

En parallèle de la modélisation, une analyse de sécurité a été effectuée par la méthode HAZOP. Elle a permis d'identifier les différents défauts qui peuvent se produire au niveau de l'installation et de constituer une base de fautes qui peuvent impacter le fonctionnement normal du réacteur. Parmi ces défauts, on peut identifier : l'augmentation ou la diminution de la température du fluide utilité, du débit du fluide utilité ou de la concentration du catalyseur de la réaction. Ces différentes fautes ont été simulées pour observer leur impact sur la réaction (taux de conversion, profil de température le long du canal réactionnel et températures en sortie des fluides procédé et utilité).

IV. Perspectives

Ce travail constitue un premier développement nécessaire pour le développement et l'implantation d'outils de l'automatique en vue de garantir la sécurité de fonctionnement du réacteur échangeur. En effet, lors de son fonctionnement il est primordial d'assurer une température stable pour la réaction chimique, non seulement pour un meilleur contrôle de la productivité mais aussi pour la sécurité du procédé de production, même en présence d'un défaut. Par la suite, les modèles et l'analyse des situations de dysfonctionnement présentés ci-dessus permettront d'appliquer des méthodes d'identification de fautes (FDI) sur la base d'observateurs d'états non linéaires qui permettent de détecter et d'isoler les défauts (Fragkoulis, 2008). Ensuite, des méthodes de commande tolérante aux fautes (FTC) pourront être appliquées, ces méthodes permettent au système de tolérer les dysfonctionnements des composants tout en conservant les propriétés de stabilité et de performance souhaitables.

V. Références bibliographiques

Fragkoulis, D. (2008). *Détection et localisation des défauts provenant des actionneurs et des capteurs : application sur un système non linéaire.* Toulouse : Université de Toulouse III Paul Sabatier.

Théron, F. ; Anxionnaz-Minvielle, Z. ; Cabassud, M. ; & Gourdon, C. (2014). Characterization of the performances of an innovative heat-exchanger/reactor. *Chem. Eng. Process. Process. Intensif*. (82), 30-41.