

Utilisation de la méthode FDI pour la localisation de défauts de fonctionnement d'un processus non linéaire

Ahmed Hafaifa^(*), Ferhat Laaouad^(*) et Kouider Laroussi^(**)

^(*) Laboratoire d'Automatique Appliquée,
Université de BOUMERDES. Département
Automatisation et Electrification des
Procédés Industriels
E-mail : hafaifa@hotmail.com
E-mail : ferhatlaaouad@yahoo.fr

^(**) Département contrôle des systèmes et
Electrification
Université de DJELFA
E-mail : k_laro@hotmail.com

Résumé- Ce travail traite les problèmes liés à la localisation et l'identification des défauts dans les processus industriels complexes en prenant comme exemple un système non linéaire présenter par son modèle mathématique. On propose une méthode originale de détection, de localisation et d'identification de défauts, en vue de son application au diagnostic de biais de ce système et de déterminer la gravité d'un défaut détecté. L'idée repose sur l'analyse quantitative des résidus en présence de défauts afin d'établir des signatures de pannes non binaires.

Dans ce travail, on montre les possibilités d'application des nouvelles approches de diagnostic à la conduite du système complexes, et d'évaluer par voie de conséquences leur apport sur les plans théoriques et pratique. Car les systèmes industriels sont devenus de plus en plus complexes avec l'automatisation de boucles de contrôle, l'introduction des microprocesseurs à différents niveaux et, plus récemment, l'informatisation hiérarchisée et distribuée. De fait cette évolution a complexifié la tâche de diagnostic des installations industrielles. Les procédures de diagnostic de défauts dans les systèmes physiques s'avèrent devenir très complexes dès que les systèmes considérés ne sont plus élémentaires. Il est alors légitime pour les entreprises d'acquiescer un système efficace de surveillance afin d'améliorer la sécurité des personnels et d'assurer une fiabilité et une disponibilité accrues de leur outil de production. En effet, devant cette complexité du processus industriel non linéaire, nous avons choisi de faire recours à la méthode FDI (Fault Detection and Isolation) par l'analyse et le traitement du problème de sa conduite du fait que l'utilisation de cette techniques permettra de caractériser plus précisément la corrélation symptômes - défauts.

L'objectif de notre travail est de concevoir un système de diagnostic fiable permettant d'appréhender les systèmes dynamiques complexes spatialement distribués. En effet, un système supervisé peut être géographiquement distribué et de grande taille. Nous nous appuyons sur les techniques de diagnostic dites à base de modèle. Nous cherchons aussi par le biais de ce travail de mettre en place des algorithmes pour le diagnostic des systèmes complexes et dynamiques en étant le plus efficace possible. La complexité du problème vient en particulier du fait que les informations à traiter sont nombreuses (taille du système, nombre d'alarmes reçues, les algorithmes sur lesquels se basent les tests de détections peuvent être hétérogènes,...) et que

l'on cherche à établir une réponse exhaustive : quelles sont les explications possibles du comportement observé ? Quels dysfonctionnements le système subit-il ou a-t-il subi ?

La méthode FDI intervient efficacement dans la localisation et l'identification des défauts dans les processus industriels complexes. La méthode proposée reproduit bien les principales caractéristiques du modèle complexe caractérisé par des non linéarités assez prononcées, donnant lieu à une représentation plus prisé et facilement manipulable .

I. INTRODUCTION

L'objectif de ce travail est d'introduire les méthodes de diagnostic pour les processus industriels. Nous présenterons en détail les méthodes à base de modèle. Ce choix se justifie essentiellement par son application à un système non linéaire. Nous caractériserons ensuite la qualité de ces méthodes par des critères de robustesse. Nous poserons les problèmes liés à la détection et à la localisation de défauts. Enfin, nous étudierons l'apport de la méthode FDI à ces différentes techniques. Cela nous permettra de développer une méthode de diagnostic à base de la stratégie FDI pour la détection de pannes. Le choix de cette stratégie de diagnostic dépend du cahier des charges que l'on s'est fixé ainsi que de l'application considérée. Par exemple, le type d'information accessible sur le système ou le type de défauts à détecter conditionnent la mise en oeuvre d'une stratégie spécifique. Mais avant de développer une méthode de diagnostic, nous aborderons donc la conception de la stratégie de diagnostic selon les trois principes de base suivants :

1. Définition des objectifs : que veut-on surveiller ? Quels types de défauts doit-on détecter ?
2. Définition des critères : quelles sont les performances attendues ? Quels sont les critères pour juger de telles opérations ?
3. Définition des systèmes de surveillance : qu'est-ce que la redondance d'informations ? Quel est le principe d'un système de diagnostic ?

Bien d'autres critères doivent être pris en considération avant de développer un système de surveillance, tels que la rapidité des réponses, la sensibilité aux variations des mesures, la robustesse des algorithmes aux erreurs de modélisation, le taux de fausses alarmes ou de nondétection... mais aussi les contraintes d'ordre économique, ergonomique et mécanique, le temps de développement. La première question que l'on doit se poser lorsque l'on conçoit un système de diagnostic, est de savoir ce que l'on veut détecter. Cela revient à déterminer le type de dysfonctionnement que l'on veut diagnostiquer, i.e. définir le type de défauts susceptibles d'altérer le bon fonctionnement d'un système. Celui-ci peut être divisé en trois catégories distinctes : **les biais, les dérives et les valeurs aberrantes.**

Qu'il s'agisse de défauts inhérents aux organes de mesure (capteurs), aux organes de commande (actionneurs) ou aux composants du processus comme il est représenté sur la figure 1, ils se traduisent par une modification du signal associé.

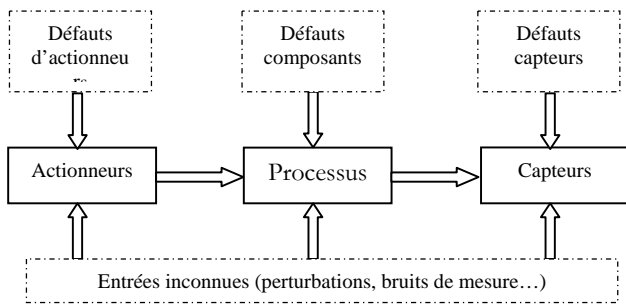


Fig. 1. Défauts d'un Processus Industriel

II. CRITERES DE PERFORMANCE D'UN SYSTEME DE DIAGNOSTIC

Comment s'assurer que le système de diagnostic développé soit le plus performant possible ? Pour répondre à une telle question, il convient tout d'abord de définir en vertu de quels critères le système peut être évalué. D'une manière générale, nous pouvons regrouper les différents critères de performance du système de détection de la manière suivante : **Défectabilité, Isolabilité, Sensibilité, Robustesse, Coût économique et Temps de développement.**

II.1. DIAGNOSTIC PAR REDONDANCE ANALYTIQUE

Un diagnostic est un état expliqué d'un système physique compatible avec les informations disponibles sur le comportement réel du système et avec le modèle de comportement de référence disponible. Habituellement, le diagnostic est exprimé par les états des composants [1, 12] ou les états des relations de description du comportement [2]. La figure 2 représente les anomalies suivant leur criticité. Il existe également une criticité croissante entre défaillance et panne.

De la non conformité (ou anomalie) dans le cas d'une défaillance, on passe à une inaptitude à accomplir une fonction dans le cas d'une panne.

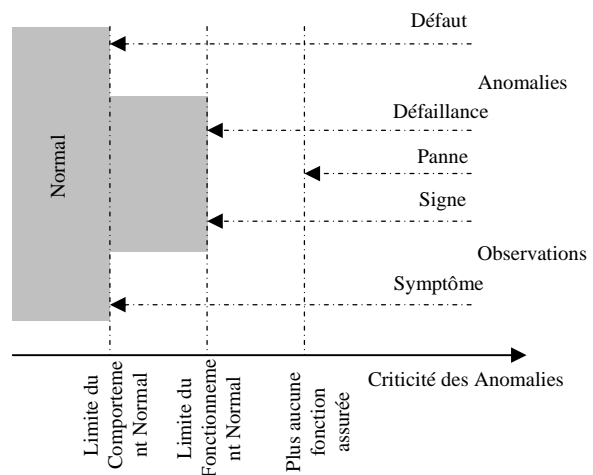


Fig. 2. Anomalies et Observations classées par criticité croissante d'après Adrot, 2000, [1]

III. APPLICATION DE LA METHODE FDI AU SYSTEME DES DEUX BACS

Le système des deux bacs en cascade, présenté par la figure 3, est constitué d'un ensemble de composants élémentaires, à savoir le bac du haut (BH), le bac du bas (BB), une vanne de gain K du haut (VKH) et une vanne de gain K du Bac (VKB), une restriction (R1) et (R2) au niveau du bac du haut et du bac du bas respectivement, différents capteurs qui nous permettent de mesurer la hauteur du produit dans le bac du haut (H1) et le bac du bas (H2) et le flux d'entrée du produit (q_{e1}) et (q_{e2}) dans le bac du haut et le bac du bas respectivement. Les flux d'entrée sont commandés directement (boucle ouverte) par un calculateur numérique. Le point intéressant pour le diagnostic des défauts est que l'information obtenue du procédé a un temps d'échantillonnage de 10s (le contrôleur utilise toute l'information) dans la simulation proposée.

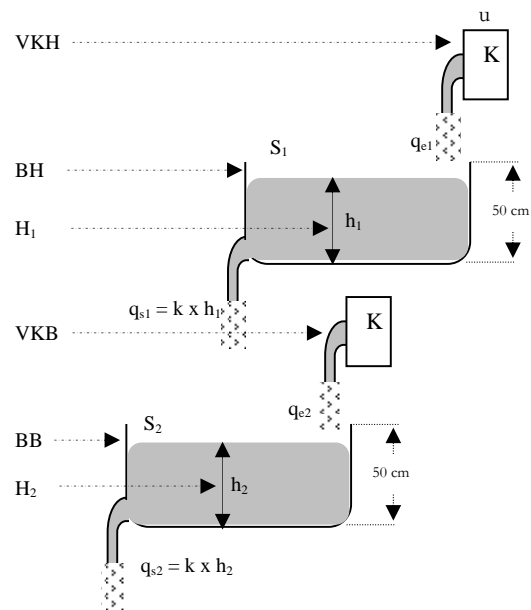


Fig. 3. Système des deux Bacs en Cascade

La connaissance physique du système a permis d'écrire les relations non linéaires présentées ci-dessous dans les équations (1). Chaque relation décrit le comportement d'un composant. Le modèle de chaque composant exprime les contraintes qu'il impose entre les variables qui lui sont liées sur la base des équations du modèle du procédé (MP), c'est-à-dire l'ensemble des relations définissant le comportement du système, et le modèle des informations (MI), c'est-à-dire l'ensemble des variables du système qui sont renseignées (observées). Ces dernières sont aussi des contraintes analytiques ; elles décrivent de surcroît le comportement des capteurs et actionneurs. On obtient le modèle du système, décrit par les relations suivantes:

$$\begin{cases} M(BH): S_1 \frac{dh_1}{dt} = q_{e1} - q_{s1} \\ M(RH): q_{s1} = k_1 h_1 \\ M(BB): S_2 \frac{dh_2}{dt} = q_{e2} + q_{s1} - q_{s2} \\ M(RB): q_{s2} = k_2 h_2 \end{cases} \quad (1)$$

On propose le modèle d'information sur ce système comme suite :

$$\begin{cases} M(VKH): \tilde{q}_{e1} = [q_{e1}] \\ M(VKB): \tilde{q}_{e2} = [q_{e2}] \\ M(H_1): \tilde{h}_1 = [h_1] \\ M(H_2): \tilde{h}_2 = [h_2] \end{cases} \quad (2)$$

Le diagnostic par redondance analytique suit une démarche qui peut se résumer comme suit : on dispose d'un modèle décrivant le fonctionnement normal du système et on surveille le fonctionnement réel en testant la cohérence entre ce modèle et les observations disponibles. Si celles-ci ne vérifient pas les équations du modèle, on en déduit que le fonctionnement réel n'est pas normal. On produit alors un symptôme (appelé aussi résidu). Cette phase est appelée la phase de génération de symptôme ou phase de détection. Dans une deuxième phase, l'analyse diagnostique se fait alors en comparant le résultat de génération des résidus aux vecteurs binaires des différents défauts dont on possède le modèle de mauvais fonctionnement. L'isolation du défaut sur le système se produit lorsque la signature des symptômes est la même que l'une des signatures de défaut. Cette phase est appelée phase de localisation des défauts.

Pour arriver à la phase de localisation, le diagnostic par redondance analytique a besoin de construire des tests de détection qui reposent sur des modèles testables, appelés relations de redondance analytique (RRA). Ces derniers sont des modèles ne faisant intervenir que des variables mesurées ou connues à l'avance. Ces modèles doivent permettre de calculer des résidus. Une RRA est constituée d'un ensemble de modèles de composants en éliminant les variables inconnues et son évaluation se fait à partir des observations (OBS). Une relation de redondance peut être utilisée pour tester les composants physiques qui constituent son support. Le but des relations de redondance analytique est de permettre de construire des tests de cohérence afin de générer des résidus

qui, par filtrage et seuillage, permettront de décider si le fonctionnement s'apparente ou non à un fonctionnement normal.

	f_1	f_2	f_3		f_1	f_2	f_3
r_1	1	1	1	r_1	1	1	1
r_2	1	1	1	r_2	1	0	1
r_3	1	0	0	r_3	1	1	0

Non localisante

Faiblement localisante

	f_1	f_2	f_3
r_1	1	1	0
r_2	1	0	1
r_3	0	1	1

Fortement localisante

IV. ANALYSE PAR TABLE DE SIGNATURES

Un autre concept défini dans l'approche FDI est celui des signatures des défauts. La signature théorique d'un défaut peut être envisagée comme la trace attendue du défaut sur les différents RRA qui modélisent le système [3, 4, 3 et 2]. Autrement dit la signature théorique d'un défaut peut être envisagée comme les résultats de détection lorsque tous les tests sensibles au défaut réagissent. Les tests de cohérence, en utilisant des techniques de détection pour les systèmes dynamiques (par exemple les observateurs d'état, les relations de parités, ou estimation paramétrique) effectués sur l'ensemble des relations de redondance analytique, fournissent un vecteur binaire. En effet, la plupart du temps, les valeurs des résidus sont, à chaque instant, comparées à des seuils. Les tests peuvent être réalisés en parallèle et chaque décision issue de ces tests conduit à une valeur booléenne (0 : la valeur du résidu est en dessous du seuil ; 1 : la valeur du résidu a dépassé le seuil fixé). L'ensemble de ces valeurs booléennes forme un vecteur binaire appelé *signature de défaut*.

Le vecteur binaire est comparé aux différentes signatures de panne ainsi qu'à la signature de fonctionnement normal (vecteur de composantes nulles). Cette comparaison conduit alors à une conclusion sur l'état du système : fonctionnement normal, défaillance identifiée ou finalement défaillance non identifiée. La localisation qui suit la détection peut être effectuée à l'aide de la table de signature. Les colonnes de cette table (figure 2.5) sont représentatives des différents défauts et les lignes des différents résidus. Les ensembles de diagnostics dans l'approche FDI sont donnés en termes de défauts présents dans la table de signature. La génération des ensembles de diagnostic est basée sur une interprétation des colonnes de la table de signature et consiste à comparer la signature des observations avec celle des défauts. Cette comparaison est considérée à nouveau comme un problème de décision.

Pour que tous les défauts puissent être détectés, aucune colonne de la matrice des signatures théoriques de défauts ne doit être nulle, et pour que tous les défauts puissent être localisés, toutes les signatures théoriques doivent être distinctes sans l'hypothèse d'exonération [7]. Gertler et al. distinguent trois types de matrices d'incidence [5] :

- Non localisante (une colonne est nulle ou au moins deux colonnes sont identiques).
- Faiblement localisante (les colonnes sont non nulles et distinctes deux à deux),
- Fortement localisante (en plus d'être faiblement localisante, aucune colonne ne peut être obtenue à partir d'une autre en remplaçant un '1' par un '0').

Une table non localisante ne permet pas de distinguer certains défauts entre eux. Une table faiblement localisante permet de localiser les défauts uniques sous hypothèse d'exonération. Une table fortement localisante garantit que les différentes sensibilités des résidus par rapport aux défauts ne conduisent pas à un diagnostic erroné. L'utilisation des tables de signatures établies pour des défauts simples pose des problèmes pour les situations de défauts multiples. Il faudrait en effet analyser toutes les combinaisons possibles des colonnes de la table.

Le modèle dynamique du système de bacs est non linéaire. Il peut être présenté sous forme d'équations d'état non linéaires $\dot{x} = f(x, u)$ données par le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_1 & 0 \\ k_2 & -k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{e1} \\ q_{e2} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \tilde{h}_1 \\ \tilde{h}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (3)$$

On peut en extraire trois représentations d'état linéaires. Ces représentations permettent de prendre en compte l'ensemble des informations disponibles puisqu'elles font intervenir les mesures de débit et de niveau d'eau ; elles sont données par :

$$M_1 = \begin{cases} \dot{\hat{x}} = A_0 \hat{x} + B_0 \begin{bmatrix} \tilde{q}_{e1} \\ \tilde{q}_{e2} \end{bmatrix} \\ \tilde{h}_2 = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} \tilde{q}_{e1} \\ \tilde{q}_{e2} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (4)$$

Avec :

$$A_0 = \begin{bmatrix} -k_1 & 0 \\ k_2 & -k_2 \end{bmatrix} \quad B_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad C_0 = [0 \quad 1] \quad (5)$$

$$M_2 = \begin{cases} \dot{\hat{h}} = -\frac{k_2}{S_2} \hat{h} + \begin{bmatrix} 1 & k_2 \\ S_2 & S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{q}_{e1} \\ \tilde{h}_1 \end{bmatrix} \\ \tilde{h}_2 = \hat{h}_2 \end{cases} \quad (6)$$

$$M_3 = \begin{cases} \dot{\hat{h}}_1 = -\frac{k_1}{S_1} \hat{h}_1 + \frac{1}{S_1} \tilde{q}_{e1} \\ \tilde{h}_1 = \hat{h}_1 \end{cases} \quad (7)$$

On en déduit les relations de redondance analytique suivantes à partir des observateurs de ces représentations d'état :

$$RRA_1 = \begin{cases} \dot{\hat{x}} = (A - K_1 C_1) \hat{x} + [B \quad K_1] \begin{bmatrix} \tilde{q}_{e1} \\ \tilde{q}_{e2} \\ \tilde{h}_2 \end{bmatrix} \\ r_1 = \tilde{h}_2 - [0 \quad 1] \hat{x} \end{cases} \quad (8)$$

$$RRA_2 = \begin{cases} \dot{\hat{h}}_2 = \left(-\frac{k_2}{S_2} - k_2 \right) \hat{h}_2 + \begin{bmatrix} 1 & k_2 \\ S_2 & S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{q}_{e2} \\ \tilde{h}_1 \\ \tilde{h}_2 \end{bmatrix} \\ r_2 = \tilde{h}_2 - \hat{h}_2 \end{cases} \quad (9)$$

$$RRA_3 = \begin{cases} \dot{\hat{h}}_1 = \left(-\frac{k_1}{S_1} - K_3 \right) \hat{h}_1 + \begin{bmatrix} 1 & K_3 \\ S_1 & S_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{q}_{e1} \\ \tilde{h}_1 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (10)$$

Où K_1 , K_2 et K_3 sont les gains des observateurs d'états. Tous les gains sont réglés de telle sorte que les pôles des matrices d'état des observateurs soient nuls.

Des tests de détection sont effectués sur ces RRAs en utilisant des observateurs d'état [8]. Nous essayons, en général, de rendre l'observateur indépendant des perturbations non mesurées (entrées inconnues) et dépendant de certains défauts [9]. C'est d'ailleurs le cas ici puisque certaines entrées ont été considérées comme inconnues.

La figure 4 représente les trois résidus générés par les trois observateurs d'état. Le résidu r_1 donne la liaison entre les entrées (q_{e1}) et (q_{e2}) et le capteur de hauteur de produit dans le bac du bas (h_2). Le résidu r_2 donne la liaison entre le flux d'entrée (q_{e1}), le capteur de hauteur du produit dans le bac du haut (h_1) et le capteur de hauteur du produit dans le bac du bas (h_2). Le résidu r_3 donne la liaison entre le flux d'entrée (q_{e1}) et le capteur de hauteur dans le bac du haut (h_1).

Soit l'ensemble des signatures théoriques des défauts sur les composants du système des deux bacs à savoir les actionneurs (q_{e1} , q_{e2}) et les capteurs qui nous permettent de mesurer la hauteur de produit dans les deux bacs (h_1 , h_2) respectivement ainsi que les restrictions (k_1 , k_2). Dans le tableau TABLE. 2, la valeur 1 apparaît dans la case (i, j) lorsque le test basé sur l'observateur i est sensible à un défaut de capteur ou d'actionneur j . Cette table de signatures est de type non localisante car au moins deux colonnes sont identiques : q_{e2} , h_2 et k_2 .

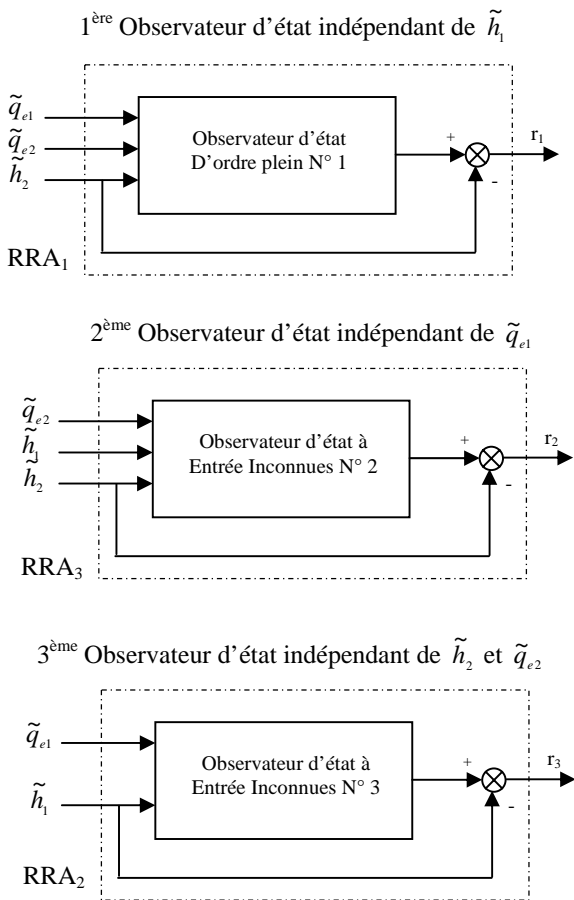


Fig. 4. Tests de détection avec observateur d'état

TABLE 2. Table de Signature

Tests	Actionneur q_{e1}	Actionneur q_{e2}	Capteur h_1	Capteur h_2	Restriction k_1	Restriction K_2
Test 1	1	1	0	1	1	1
Test 2	0	1	1	1	1	1
Test 3	1	0	1	0	1	0

A partir des résidus obtenus, les aptitudes à la détection et à la localisation des défaillances vont être étudiées à travers des cas de pannes sur le système de bac.

v. RESULTATS ET SIMULATIONS

La simulation du système de bacs permet d'étudier un certain nombre de cas de pannes. La simulation de défauts a été faite sur des bruits de mesures et de structure (comme la restriction bac haut). Avant de parler de défauts, il serait bon d'expliquer dans quelles conditions ont été réalisées les simulations : bruits de mesure et de structure. Un bruit additif de $\pm 0.5\text{cm}$ a été simulé sur $h1$ et $h2$.

$$\begin{cases} \tilde{h}_1 = k_1 + v_1 \\ \tilde{h}_2 = k_2 + v_2 \end{cases} \quad (11)$$

Où v_1 et v_2 sont des variables aléatoires réparties dans l'intervalle $[-0.5 \ 0.5]$. Une incertitude de modélisation a aussi été simulée sur les restrictions des deux bacs. Cette dernière est de type multiplicatif et correspond à une incertitude de $\pm 50\%$ de la valeur du paramètre de restriction :

$$\begin{cases} q_{s1} = (1 + \theta_1) k_1 h_1 \\ q_{s2} = (1 + \theta_2) k_2 h_2 \end{cases} \quad (12)$$

Où θ_1 et θ_2 sont des variables aléatoires réparties dans $[-0.5 \ 0.5]$.

La simulation du bon fonctionnement est donnée par la figure 5. Les courbes q_{e1} et q_{e2} représentent les débits d'entrées. Le débit q_{e1} bascule de 0 à 5 litres/h et inversement toutes les 500s tandis que le débit q_{e2} bascule de la même manière toutes les 250s. Les seuils d'alarmes ont été fixés à $\pm 15\%$ des valeurs maximales des résidus obtenus lors de simulations caractérisant le bon comportement.

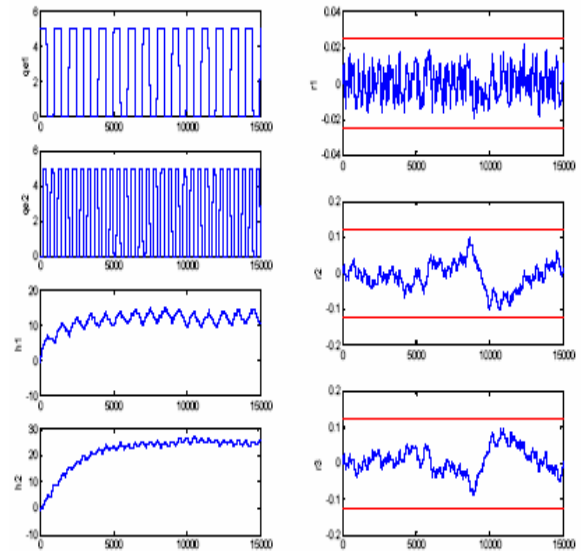


Fig. 5. Le bon fonctionnement

Il est possible de simuler des défauts sur tous les capteurs et actionneurs du système. En fonctionnement idéal, les résidus doivent être constamment nuls. Pour notre cas d'étude les résidus ne sont pas nuls du fait des bruits. Les figures 6 à 9 présentent l'évolution des trois résidus r_1 , r_2 et r_3 sur une durée de 15000s correspondant aux trois équations de redondance. Les défaillances sur les capteurs prendront la forme de biais.

Pour le premier cas présenté par la figure 6, un biais sur le capteur de hauteur de produit dans le bac h2 est simulé. En effet, sa valeur a été augmentée de 5cm. La plupart du temps, les valeurs des résidus sont, à chaque instant, comparées à des seuils. Les tests peuvent être réalisés en parallèle et chaque décision issue de ces tests conduit à une valeur booléenne (0 : la valeur du résidu est en dessous du seuil ; 1: la valeur du résidu a dépassé le seuil fixé).

Le résultat des tests de détection pour le premier cas est donné par le vecteur des signatures de défaut suivant $S_D = [1 \ 1 \ 0]^T$, où le 1 représente le fait que les résidus r_1 et r_2 ont dépassés les seuils d'alarmes. En revanche, 0 représente le fait que r_3 reste en dessous du seuil d'alarme. Dans le premier cas le test conclu à une détection et dans le deuxième cas le test conclut à une consistance (pas d'alarme).

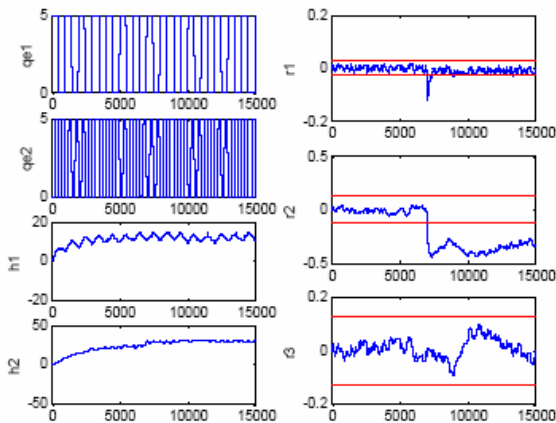


Fig. 6. 1^{ère} Cas, biais sur le capteur de h_2 ,
 $S_D = [1 \ 1 \ 0]^T$

La détection apparaît à l'instant $t = 7000s$ sur les résidus r_1 et r_2 et le symptôme reste présent jusqu'à la fin de la simulation $t = 15000s$, en revanche le résidu r_3 reste insensible au défaut et la valeur du test de détection égale à 0 car la valeur du résidu est en dessous du seuil fixé. La comparaison de la signature des observations, c'est-à-dire le vecteur signatures de défaut $S_D = [1 \ 1 \ 0]^T$, avec celle des défauts possibles dans la table de signature TABLE.2 met clairement en évidence le défaut sur le capteur h_2 . En revanche, plusieurs diagnostics sont possibles. En plus du défaut sur le capteur h_2 , un biais sur l'actionneur q_{e2} et un défaut au niveau de la restriction k_1 sont aussi possibles.

Le deuxième cas donné par la figure 7 illustre une autre limitation du raisonnement par table de signature. Considérons un biais anormal de (20%) sur la restriction du bac du haut. Les tests de détection conduisent à la signature de défaut suivante : $S_D = [0 \ 1 \ 1]^T$. Le test $t1$ ne détecte pas le défaut. Par contre, le test $t2$ et le test $t3$ détectent un défaut.

Après comparaison avec les signatures de défauts dans la table de signature de TABLE.2 un défaut sur le capteur h_1 est diagnostiqué. Or, le défaut n'était pas un biais de capteur mais une modification du modèle du système. La localisation correcte du composant défaillant était impossible dans ce cas car tous les défauts possibles sur notre système ne sont pas considérés dans la table de signatures. Avec cette approche une bonne localisation présuppose que tous les défauts doivent figurer dans la table de signature afin de pouvoir les

diagnostiquer. Or, dans le cas des systèmes complexes cette approche est difficile à envisager.

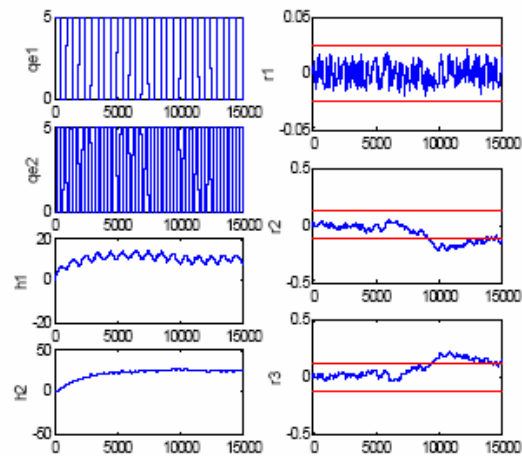


Fig.7. 2^{ème} Cas, biais sur la restriction de BH,

$$S_D = [0 \ 1 \ 1]^T$$

Le troisième cas présenté par la figure 8 correspond à un défaut double. Par conséquent nous essayons de montrer la limite de l'utilisation des tables de signatures établies pour des défauts simples. Un biais de capteur et un biais d'actionneur ont été simulés. Le premier est un biais de capteur de 2cm sur la valeur réelle de h_2 . Le second, est un biais d'actionneur de 0.2 litres/s sur le débit d'entrée du produit dans le bac du haut q_{e1} . Le vecteur de signature $S_D = [0 \ 1 \ 1]^T$ correspond à la signature d'un défaut sur le capteur h_2 dans la table de signatures TAB 2. Le fait d'avoir établi à l'avance une table des signatures des défauts simple pose des problèmes dans le cas de défauts multiples. Il faudrait en effet envisager toutes les combinaisons possibles des colonnes de la table.

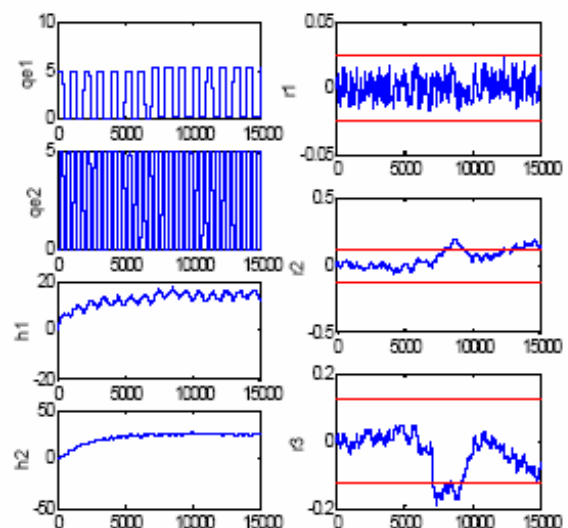


Figure 8. 3^{ème} Cas, Défaut Multiple, Biais sur h_2 et

$$\text{sur } q_{e1} \quad S_D = [0 \ 1 \ 1]^T$$

Voyons à présent, à travers le quatrième cas dans la figure 9, comment les tests de détection présentés ci-dessous ont permis la détection d'un défaut imaginaire, qui n'a jamais été simulé sur le système de bac. En effet, le vecteur de signature généré $S_d = [1 \ 0 \ 1]^T$, correspond à la signature théorique du défaut q_{e1} donnée par le TAB 1.

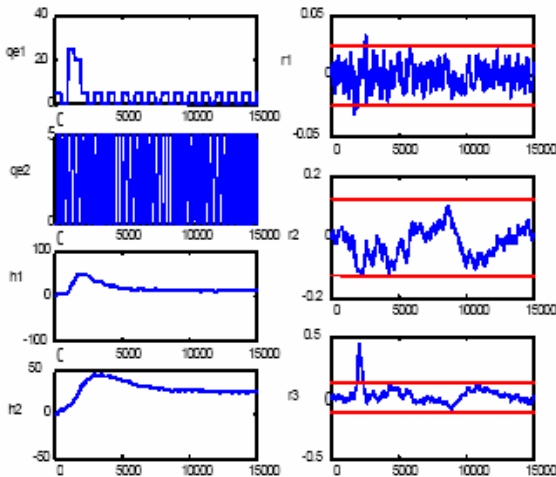


Fig. 9. 4^{ème} Cas, Aucun Défaut,

$$S_d = [1 \ 0 \ 1]^T$$

La validité des modèles qui interviennent dans la construction des relations de redondance n'est pas prise en compte. En pratique, les deux bacs ont une hauteur de 50cm, les capteurs de hauteur de produit dans les deux bacs doivent avoir des valeurs comprises dans l'intervalle $[0, 50\text{cm}]$ afin que le modèle utilisé soit valide. Or, le domaine de validité d'une relation de redondance analytique est important car le test de détection en hérite : un résultat n'est valide que si l'état du système étudié appartient au domaine de validité qu'il est crucial de formaliser.

VI. CONCLUSION

L'objectif de ce travail est la conception de procédures de décision pour la détection et la localisation des défaillances. Le principal intérêt est d'offrir des techniques sophistiquées afin de combiner les observations, telles que les observateurs et les filtres. Notre étude montre qu'une partie significative de la méthode FDI entre dans une structure qui permet une comparaison précise. Quand elle adopte les mêmes hypothèses par rapport à la manière dont se manifestent les fautes elles-mêmes, la méthode FDI donne une compilation des connaissances par modèles sous formes de RRA prenant en compte la position des capteurs avant que les observations ne soient faites, ce qui est le principal avantage de cette approche.

Cette méthode de diagnostic à base de table de signatures est fondée sur une identification a priori des défauts et/ou dysfonctionnements pouvant survenir dans le système à

diagnostiquer. Cette méthode présente des limitations importantes. Le recensement préalable des défauts ou des dysfonctionnements est difficilement exhaustif et il est par conséquent particulièrement mal approprié aux systèmes complexes.

Ces méthodes sont en particulier mal adaptées aux systèmes techniques de conception nouvelle sur lequel aucune expérience n'existe encore. Même si la détection ne produit jamais de fausses alarmes, l'analyse diagnostic peut néanmoins conduire à des erreurs de diagnostic car elle fait implicitement l'hypothèse qu'un défaut est détecté par tous les tests qui y sont sensibles et à tout moment. De plus, pour être complète, cette approche requiert la modélisation de tous les défauts possibles simples et multiples ; or, dans le cadre des systèmes complexes, ce recensement n'est guère envisageable. C'est dans ce cas, que on propose une combinaison avec la logique floue pour des futurs travaux, Ce choix se justifie essentiellement par des critères de robustesse. Et nous étudierons l'apport des techniques floues à ces différents systèmes de diagnostic. Cela nous permettra de développer une méthode de diagnostic flou pour la détection de pannes. Les connaissances sur lesquelles reposent ces méthodes sont dépendantes du système, si bien que toute modification ou évolution de ce système nécessite une réécriture plus au moins complète du système de diagnostic. Le pouvoir explicatif de la logique floue permet de donnée des associations entre défauts et symptômes. Enfin, elles traitent bien les défauts multiples dans les systèmes complexes.

REFERENCES

- [1] Adrot O., 'Diagnostic à base de modèles incertains utilisant l'analyse par intervalles : L'approche bornante' Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 2000.
- [2] Cordier, M.-O., P. Dague, M. Dumas, F. Lévy, J. Montmain, M. Staroswiecki, and L. Travé-massuyès. 'A comparative analysis of AI and control theory approaches to model-based diagnosis'. 14th European Conference on Artificial Intelligence, Berlin, Germany, 2000.
- [3] Frank, P. M., 'Analytical and qualitative model-based fault diagnosis – a survey and somme new results'. European Journal of Control, 2, 6-28, 1996.
- [4] Gertler J. 'Analytical redundancy methods in fault detection and isolation – survey and synthesis'. Proceeding of the IFAC Symposium on Fault Detection Supervision and Safety for. 1991.
- [5] Gertler J., Singer D., 'A new structural framework for parity equation-based failure detection and isolation'. Automatica, Vol. 26, No.2, pp.381-388. Technical Process, Baden Baden, Germany, pp. 9-22. 1990.
- [6] Hafaifa A., Laouad F. and Benani A. ' Selection of the Correct Transmitter in Compression Systems for Surge Detection and Isolation'. International Journal of Computational Intelligence, volume 1, number 1, 2004.
- [7] Hafaifa A., Laouad F. and Laroussi K. 'Detection and Isolation of Surge in Centrifugal Compressor with a Correct Safety System', the International Conference APPA Advances in Production and Processing of Aluminium , Kingdom of Bahrain 2005.
- [8] Luenberger D. G., 'An introduction to observer', IEEE transactions on Automatic control, 16(6), pp. 596-602, 1971.
- [9] Patton R., Chen J., 'Observer based fault detection and isolation: robustness and applications'. Control Engineering Practice, Vol. 5, No. 5, pp. 671-682, 1997.
- [10] Reiter R., 'A theory of diagnosis from first principles'. Artificial Intelligence, 32(1) : 57-96, 1987.