

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique

Département d'Automatique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Automatique

Option : Automatique et Systèmes

Thème:

*Diagnostic de défauts à base d'observateurs à entrées
inconnues : Application au système hydraulique.*

Présenté par :

SI HALI Myriam

Mémoire soutenu publiquement le 05 décembre 2019 devant le jury composé de :

| | | | |
|---------------|-----------------|------------|-------|
| Président : | Said Guermah | Professeur | UMMTO |
| Examineur : | Ahemed Maidi | Professeur | UMMTO |
| Encadreur : | Ahcene Triki | MCB | UMMTO |
| Co-encadreur: | Hocine Oubabas, | MCB | UMMTO |

Promotion 2018/2019

Remerciements

Je remercie tout d'abord DIEU qui m'a donné le courage et la volonté de réaliser ce modeste travail.

Je remercie mes parents qui sont ma raison d'être.

Je remercie chaleureusement ma chère sœur Amina qui est ma source d'énergie et d'espoir et qui m'a soutenu dans mes moments de faiblesse.

Je remercie mon frère Massinissa et ma sœur Katia..

Je tiens à remercier mes deux promoteurs monsieur OUBABAS et monsieur TRIKI pour leur disponibilité et leurs conseils.

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je dédie ce travail à mes

chers parents qui m'ont tout donné ...

Sommaire

Introduction générale

Chapitre1 : généralités sur le diagnostic

| | | |
|--------|--|---|
| 1. | Introduction | 1 |
| 2. | Différentes notions utilisées en diagnostic..... | 1 |
| 2.1. | Défaut..... | 1 |
| 2.2. | Défaillance | 1 |
| 2.3. | Panne | 2 |
| 2.4. | Perturbation | 2 |
| 2.5. | Résidu | 2 |
| 2.6. | Dégradation..... | 2 |
| 3. | Types de défauts | 2 |
| 3.1. | Emplacement..... | 2 |
| 3.1.1 | Défauts actionneurs | 3 |
| 3.1.2. | Défauts capteurs..... | 3 |
| 3.1.3. | Défauts système | 3 |
| 3.2. | Modélisation | 3 |
| 3.3. | Caractéristique temporelle..... | 4 |
| 3.3.1. | Défaut brusque | 4 |
| 3.3.2. | Défaut intermittent | 4 |
| 3.3.3. | Défaut graduel | 4 |
| 4. | Modélisation de défauts..... | 4 |
| 4.1. | Modélisation en présence de perturbations | 5 |
| 5. | Principe de base de diagnostic | 6 |
| 5.1. | Détection | 6 |
| 5.2. | Localisation..... | 6 |
| 5.3. | Identification | 6 |
| 6. | Etapes de diagnostic de défauts | 6 |
| 6.1. | Acquisition des données..... | 8 |
| 6.2. | Étape d'élaboration d'indicateurs de défauts | 8 |
| 6.3. | Etape de détection | 8 |
| 6.4. | Etape de localisation | 8 |

| | |
|---|----|
| 6.5. Etape de prise décisions | 8 |
| 7. Méthodes de diagnostic de défauts : | 9 |
| 7.1. Méthode qualitative | 9 |
| 7.1.1. Diagnostic par reconnaissance de forme | 9 |
| 7.2. Méthode quantitative | 10 |
| 7.2.1. Méthodes d'estimation paramétrique | 10 |
| 7.2.2. Méthode par espace de parité | 10 |
| 7.2.3. Méthode basée sur les observateurs..... | 11 |
| 8. Principe de Génération de résidus | 12 |
| 9. Conclusion..... | 13 |

Chapitre 2 : Observateurs d'état

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 14 |
| 2. Observabilité des systèmes linéaires..... | 14 |
| 2.1 Définition de l'observabilité | 14 |
| 2.2 Critère d'observabilité | 14 |
| 3. Principe d'un observateur d'état | 15 |
| 4. Définition d'un observateur..... | 15 |
| 5. Classification des observateurs..... | 16 |
| 5.1.1 Observateur de Luenberger..... | 16 |
| 5.1.2. Observateur à entrée inconnue..... | 18 |
| 5.1.3 Observateur de Kalman-Bucy :..... | 22 |
| 5.2 Observateurs des systèmes non linéaire..... | 23 |
| 5.2.1 Observateur de luenberger étendu | 23 |
| 5.2.2 Filtre de Kalman étendu | 23 |
| 5.2.3 Observateur à grand gain | 23 |
| 6. Génération de résidus à base d'observateur | 24 |
| 7. Structures des résidus générés par observateurs | 26 |
| 7.1 Structure d'observateurs généralisés GOS..... | 26 |
| 7.2 Structure d'observateurs dédiés DOS | 27 |
| 8. Conclusion | 28 |

Chapitre 3 : application d'un observateur à entrée inconnue au diagnostic des défauts d'un système hydraulique.

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 29 |
| 2. Description du procédé | 29 |
| 3. Modèle mathématique du système | 30 |
| 4. Construction de l'observateur à entrée inconnue..... | 33 |
| 4.1. Construction de l'observateur à entrée inconnue en absence de défauts | 33 |
| 4.1.1. Simulation de l'observateur en absence de défauts..... | 35 |
| 5. Détection de défauts | 36 |
| 5.1 Construction de l'observateur à entrée inconnue en présence de défauts..... | 36 |
| 5.2 Résultat de simulation en présence de défauts :..... | 38 |
| 6. Localisation des défauts capteur par banc d'observateurs..... | 41 |
| 6.1 Construction du banc d'observateur | 41 |
| 6.2 Résultat de simulation..... | 42 |
| 7. Conclusion..... | 50 |

Conclusion générale

Références bibliographiques.

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 Différents types de défauts agissants sur un système..... | 3 |
| Figure 1.2 Les défauts selon leurs modélisations | 3 |
| Figure1.3 Répartition des défauts selon leur comportement temporel..... | 4 |
| Figure 1.4 étapes de diagnostic de défauts | 7 |
| Figure 1.5 méthodes de diagnostic..... | 9 |
| Figure1.6 Méthodes d'estimation paramétrique..... | 10 |
| Figure 1.7 diagnostic à base d'observateur..... | 11 |
| Figure 1.8 structure d'un générateur de résidus..... | 12 |
| Figure 2.1 : principe d'un observateur..... | 15 |
| Figure.2.2 :Structure générale observateur de Luenberger..... | 17 |
| Figure 2.3: Schéma fonctionnel observateur à entrée inconnue..... | 18 |
| Figure2.4 Principe de génération des résidus..... | 24 |
| Figure 2.6 Détection et localisation de défauts..... | 25 |
| Figure2.7 Structure d'observateurs généralisés GOS..... | 27 |
| Figure2.8 Structure d'observateurs dédiés DOS..... | 27 |
| Figure3.1 système à trois bacs..... | 30 |
| Figure3.2 Schéma de simulation du système sans défauts..... | 35 |
| Figure 3.2 les sorties du système et les sorties estimées..... | 35 |
| Figure 3.3 les résidus en absence de défauts..... | 35 |
| Figure 3.4 l'erreur d'estimation en absence de défauts..... | 36 |
| Figure 3.5 Schéma de simulation en présence des défauts capteur..... | 38 |
| Figure 3.6 Schéma de simulation en présence des défauts actionneur..... | 38 |
| Figure 3.7 Schéma de simulation en présence de tous les défauts..... | 38 |
| Figure3.8 Les résidus en présence de trois défauts capteur..... | 39 |
| Figure3.9 Les résidus en présence d'un défaut actionneur..... | 39 |
| Figure3.10 Les résidus en présence de tous les défauts..... | 40 |
| Figure3.11 Structure d'observateurs généralisée (GOS)..... | 41 |
| Figure 3.12 Les défauts capteur..... | 43 |
| Figure 3.13 Evolution des résidus en absence de défauts..... | 44 |
| Figure 3.14 Evolution des résidus en présence d'un défaut sur le premier capteur | 45 |
| Figure 3.15 Evolution des résidus en présence d'un défaut sur le deuxième capteur..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figure 3.16 Evolution des résidus en présence d'un défaut sur le troisième capteur..... | 47 |
| Figure 3.17 Défauts capteur simultanés. | 47 |
| Figure 3.18 Evolution des résidus en présence de deux défauts capteur..... | 48 |
| Figure 3.19 Evolution des résidus en présence de trois défauts capteur. | 49 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tab 3.1 paramètres du système de trois bacs..... | 30 |
| Tab 3.2 Table des signatures..... | 50 |

Introduction générale

Introduction générale

Afin de concevoir des méthodes de commande et des méthodes de diagnostic de défauts, il est essentiel d'avoir des informations sur le système étudié. Classiquement sur un système, on connaît les entrées qui correspondent aux variables de commandes et qui permettent de piloter le système et on connaît aussi directement, par la mesure, les sorties du système étudié.

Cependant, ces informations ne sont très souvent, pas suffisantes pour concevoir des méthodes de commande ou de diagnostic. En effet, il est parfois nécessaire de connaître des informations relatives aux variables internes du système. Afin d'obtenir ces informations sur les états on peut:

- Rajouter des capteurs : quand ceci est physiquement possible, on augmente alors les mesures, et les états mesurés correspondront à de nouvelles sorties. Rajouter des capteurs implique forcément un coût supplémentaire souvent non négligeable.
- Utiliser des observateurs : quand le système est observable, on pourra toujours estimer analytiquement les états internes du système. L'observation présente l'avantage de ne pas nécessiter de capteurs supplémentaires.

L'utilisation des observateurs a une grande importance dans le diagnostic des systèmes. Dans notre mémoire nous allons parler de certains qui sont utilisés pour le diagnostic des systèmes linéaires et non linéaires, en portant un intérêt aux observateurs à entrée inconnue.

En effet, les observateurs à entrée inconnue ont été à l'origine créés pour s'affranchir des perturbations non quantifiables pouvant affecter le système. Ce type d'observateurs est utilisé pour générer des signaux appelés résidus qui fournissent des informations sur l'occurrence des défauts et permettent la détection et la localisation de ces derniers.

L'objectif de notre travail est d'utiliser des observateurs à entrée inconnue pour détecter et localiser les défauts affectant un système hydraulique de trois bacs.

Pour atteindre notre objectif, nous avons scindé notre travail en trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à l'introduction des notions de bases de diagnostic de défauts ainsi que les types de défauts et leurs modélisations, ensuite le principe de base de diagnostic, ses étapes et ses différentes méthodes.

Dans le deuxième chapitre nous allons aborder le principe de base des observateurs d'états, leurs classes (linéaires et non linéaires), puis nous allons parler du principe de diagnostic à base des observateurs d'états qui inclut le principe de génération des résidus et leurs structurations.

Le troisième chapitre sera consacré à l'application de la méthode de diagnostic basée sur l'utilisation d'un banc d'observateurs à entrée inconnue. On présente les étapes à suivre pour faire la détection et localisation de défaut appliqué sur un système hydraulique de trois bacs.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre 1

Etat de l'art sur le diagnostic

1. Introduction

L'instabilité et la dégradation des performances d'un procédé industriel est causée par la présence de défaut, et ceci peut affecter la production industrielle ainsi l'homme et l'environnement. C'est pour cela qu'il est nécessaire de mettre en œuvre un système de diagnostic afin de détecter, localiser et identifier les défauts affectant le système.

Le rôle d'un système diagnostic est de détecter et de localiser un défaut avant celui-ci ne conduise à une défaillance grave du procédé.

Dans ce chapitre, on va introduire en premier lieu les notions de bases de diagnostic de défauts ainsi les types de défauts et leurs modélisations, ensuite nous citons le principe de base de diagnostic et, ses étapes et ses différentes méthodes.

2. Différentes notions utilisées en diagnostic

Afin de fixer une base commune sur le vocabulaire employé, il convient tout d'abord d'explicitier quelques définitions et concepts :

2.1. Défaut

Le concept de défaut est fondamental dans les opérations de la surveillance pour la conduite et la maintenance des procédés industriels. On appelle défaut tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique théorique cet écart est idéalement nul en l'absence de défaut. Les défauts peuvent apparaître au niveau des capteurs, des actionneurs ou au niveau du processus lui-même [1].

2.2. Défaillance

Une défaillance est une altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques. Une défaillance est un dysfonctionnement du système, le processeur présente alors un fonctionnement inacceptable du point de vue des performances. Il est clair qu'une défaillance implique l'apparition d'un défaut puisqu'il existe un écart entre la caractéristique mesurée et théorique. Par contre, un défaut n'implique pas nécessairement une défaillance puisque le dispositif peut très bien continuer à assurer sa fonction principale [1].

2.3. Panne

Une panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Elle résulte toujours d'une défaillance et donc d'un défaut :

Défaut →défaillance →panne

Dans le cadre de la maintenance préventive conditionnelle, il est clair que le diagnostic doit permettre de détecter et de localiser un défaut avant que celui-ci ne conduise à une défaillance ou à une panne qui entraînerait l'arrêt du système [1].

2.4. Perturbation

Une perturbation est une entrée inconnue et non commandée qui agit sur un système. Contrairement au défaut qui est interne la perturbation est une entrée exogène au système [2].

2.5. Résidu

Est un indicateur de défaut dans le cas d'absence de défaut cet indicateur doit être nul, et non nul dans le cas de présence de défaut.

2.6. Dégradation

Etat d'une entité ou d'un sous ensemble présentant une perte de performance d'une des fonctions assurées par cette entité [3].

3. Types de défauts

Les défauts sont classés selon leur emplacement, leur modélisation, et leurs caractéristiques temporelles :

3.1. Emplacement

La figure 1.1 nous montre les types de défauts selon leur emplacement :

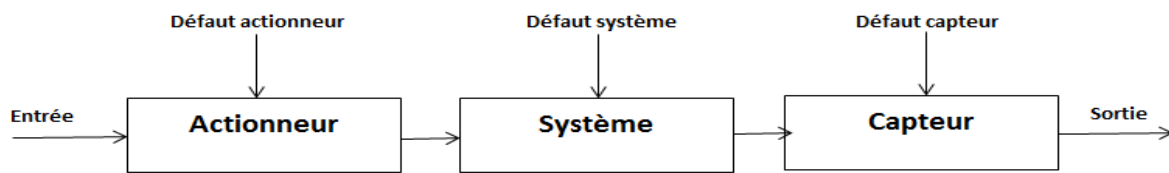


Figure 1.1 Différents types de défauts agissant sur un système

3.1.1 Défauts actionneurs

Les défauts actionneurs agissent au niveau de la partie opérative et détériorent le signal d'entrée du système ce qui introduit une défaillance totale ou partielle de l'actionneur qui agit sur le système.

3.1.2. Défauts capteurs

Ce type de défaut est la cause d'une mauvaise image de l'état physique du système. Un défaut capteur partiel produit un signal avec plus ou moins d'adéquation avec la valeur vraie de la variable à mesurer. Un défaut capteur total produit une valeur qui n'est pas en rapport avec la grandeur à mesurer.

3.1.3. Défauts système

Ce type de défaut provient du système lui-même. Néanmoins, un défaut composant résulte de la casse ou de l'altération d'un composant du système réduisant les capacités de celui-ci à effectuer une tâche.

3.2. Modélisation

Suivant la manière dont les défauts sont modélisés, ils sont classés en défauts additifs et en défauts multiplicatifs, comme le montre la figure 1.2 :

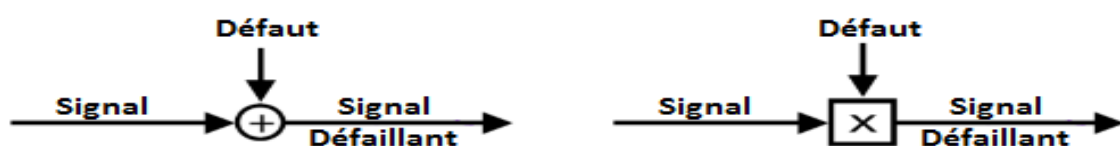


Figure 1.2 Les défauts selon leurs modélisations.

Un défaut est dit additif quand il est modélisé par l'ajout d'une variable, quant au défaut multiplicatif, il affecte un système à travers la multiplication de l'entrée E du système par un défaut.

3.3. Caractéristique temporelle

3.3.1. Défaut brusque

Il apparaît à un instant t_d (voir figure 1.3), il est d'une amplitude constante non nulle.

3.3.2. Défaut intermittent

Il apparaît à des instants imprévoyables, c'est un défaut difficile à détecter à cause de son caractère aléatoire.

3.3.3. Défaut graduel

Il apparaît à un instant t_d . Son amplitude n'est pas constante, elle augmente proportionnellement avec le temps.

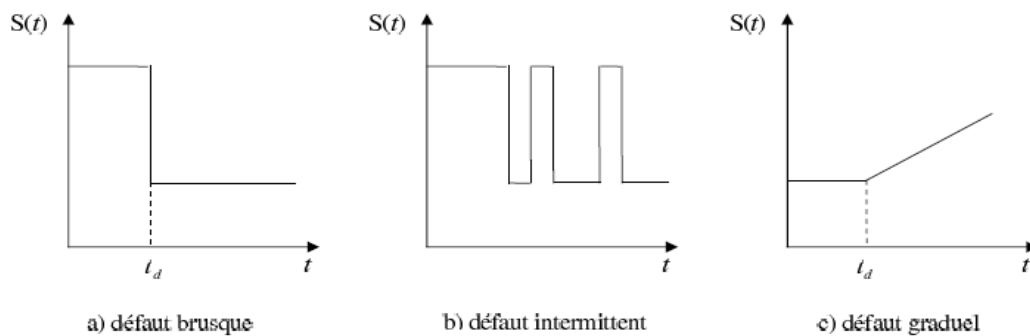


Figure 1.3 Répartition des défauts selon leur comportement temporel.

4. Modélisation de défauts

Considérant la représentation d'état du modèle linéaire d'un procédé est représentée comme suit [4] :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases} \quad (1.1)$$

Tels que $x(t) \in R^n$ est le vecteur d'état, $u(t) \in R^m$ est le vecteur de commande, $y(t) \in R^p$ est le vecteur de sortie système. A, B et C sont des matrices connues avec les dimensions : $n \times n, n \times m, n \times p$ respectivement.

Avec la présence de défauts la représentation d'état du système devient :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + B(u(t) + f_a(t)) + Hf_p(t) \\ y(t) = Cx(t) + f_c(t) \end{cases} \quad (1.2)$$

Tels que : $f_a(t), f_p(t), f_c(t)$ sont respectivement les défauts actionneur, défauts composant et défauts capteur. H est la matrice de distribution de $f_p(t)$.

4.1. Modélisation en présence de perturbations

Le système est soumis aux défauts, aux incertitudes de modélisation mais aussi aux perturbations et bruits qui sont la plupart du temps des entrées inconnues, donc le système avec défauts et perturbations se met sous la forme suivante [4] :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + B(u(t) + f_a(t)) + Hf_p(t) + Ed_a(t) \\ y(t) = Cx(t) + f_c(t) + d_c(t) \end{cases} \quad (1.3)$$

Où : $d_a(t) \in R^{d*1}$ et $d_c(t) \in R^{p*1}$, représentent respectivement les perturbations et les bruits affectant le système. E est la matrice de distribution de $d_a(t)$.

Pour des raisons de simplicité, il est préférable de mettre le système précédant sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + E_d d(t) + E_f f(t) \\ y(t) = Cx(t) + F_d d(t) + F_f f(t) \end{cases} \quad (1.4)$$

Où : $E_f = [B \quad H \quad 0_{n*p}]$; $E_d = [E \quad 0_{n*p}]$; $F_f = [0_{p*m} \quad 0_{p*c} \quad I_{p*p}]$; $F_d = [0_{p*d} \quad I_{p*p}]$; $d(t) = [d_a \quad d_c]^T \in R^q$ et $f(t) = [f_a \quad f_c \quad f_p]^T \in R^s$.

les matrices I_{p*p} et 0_{n*p} sont respectivement la matrice d'identité de dimension $p \times p$ et la matrice nulle de dimension $n \times p$.

Les matrices sont respectivement la matrice identité de dimension et la matrice nulle de dimension.

C'est cette dernière modélisation (1.4), qui est généralement prise en compte, dans les problèmes de détection et de localisation des défauts à base d'observateurs.

5. Principe de base de diagnostic

Le diagnostic consiste à détecter, localiser et identifier les défauts qui affectent un système.

5.1. Détection

C'est l'opération qui permet de décider si le système est en fonctionnement normal ou non, elle permet de détecter la présence de défauts dans le système, et cela en générant un signal appelé résidu.

5.2. Localisation

Consiste à déterminer le composant en défaut à partir des résidus générés

5.3. Identification

Cette étape est la dernière, elle consiste à analyser l'ampleur du défaut.

6. Etapes de diagnostic de défauts

Le diagnostic d'un système industriel a un certain nombre d'étapes résumées à la figure ci-dessous :

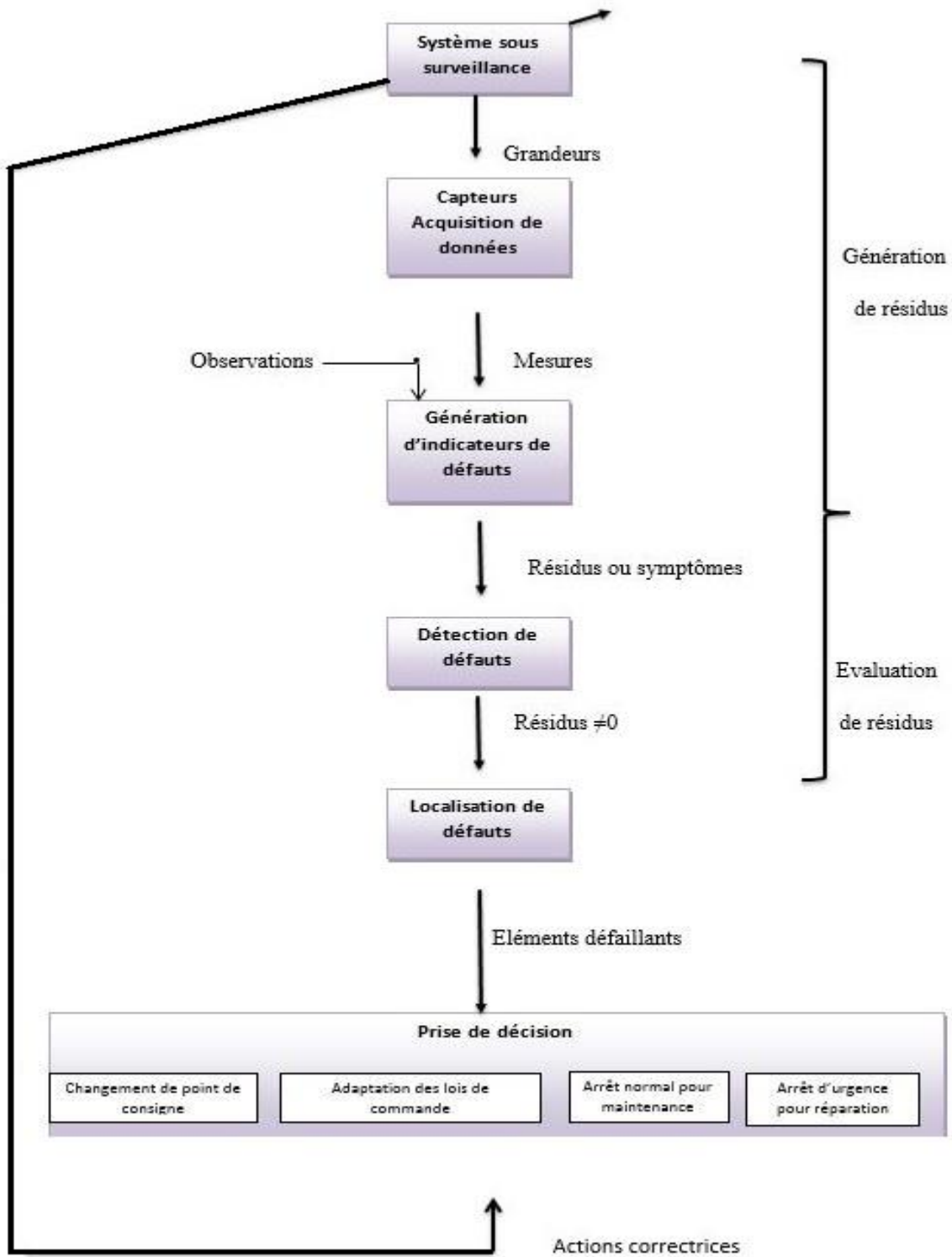


Figure 1.4 étapes de diagnostic de défauts[1].

6.1. Acquisition des données

Lors de la phase de l'acquisition de données on reçoit les informations concernant le système à surveiller, et cela en utilisant des capteurs qui mesurent les différentes variables du processus.

6.2. Étape d'élaboration d'indicateurs de défauts

Après les mesures réalisées et les observations des opérateurs en charge de l'installation, il convient de construire les indicateurs de défauts (résidus ou symptômes) permettant de renseigner sur la présence de défauts. Cette étape consiste à comparer le comportement réel du système à un comportement de référence, l'écart est nul en l'absence de défauts et non nul dans le cas contraire.

6.3. Etape de détection

Cette étape permet de décider si le système est dans l'état de fonctionnement normal. Tester la non nullité des résidus pour décider si le système est affecté par des défauts n'est pas suffisant car en pratique les grandeurs mesurées sont entachées par des bruits et les systèmes sont soumis à des perturbations parfois non mesurables, c'est pour cela que cette étapes fait appel aux tests statistiques, elle est réalisée à l'aide d'un seuillage.

6.4. Etape de localisation

Après l'étape de détection de défauts vient l'étape de localisation qui consiste à déterminer les éléments défaillants, à partir d'une table de signatures des défauts .en résumé cette étape consiste à évaluer les résidus quelle que soit la méthode employée.

6.5. Etape de prise décisions

Cette étape consiste à décider de la marche à suivre afin de retourner au fonctionnement normal de l'installation et de le maintenir, et ceci est réalisé par des opérateurs humains. Ces décisions peuvent être : l'adaptation paramétrique de la loi de commande, un changement de point de consigne, une procédure normale d'arrêt ou encore un arrêt d'urgence.

7. Méthodes de diagnostic de défauts :

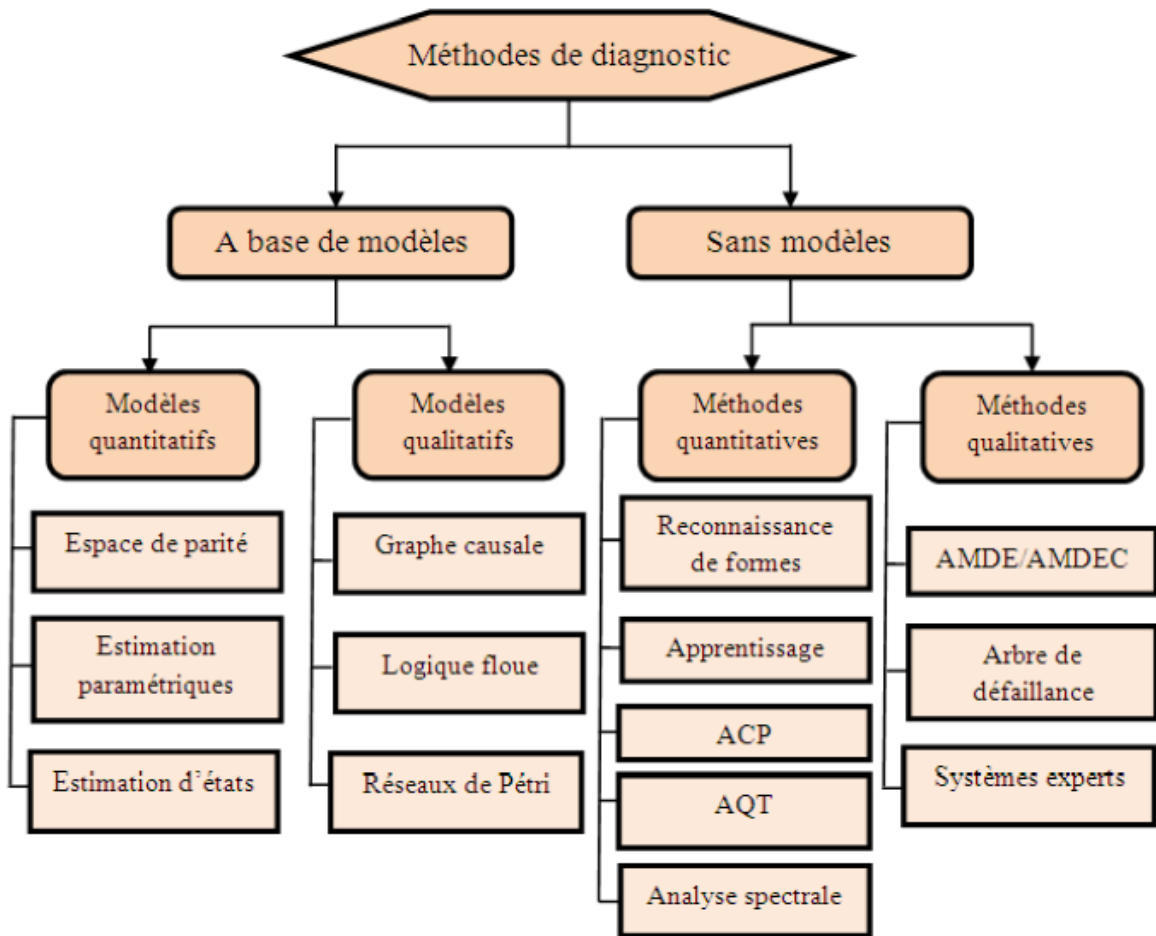


Figure 1.5 Méthodes de diagnostic [10]

7.1. Méthode qualitative

La complexité des phénomènes physique mis en jeu dans les installations à étudiées rend difficile l'obtention du modèle mathématique du système, dans ce cas on utilise les méthodes de diagnostic qualitatif pour le diagnostic de défauts.

Méthodes de diagnostic qualitatif reposent sur le savoir d'expert et sur un ensemble de données issues de l'installation a surveillée.

7.1.1. Diagnostic par reconnaissance de forme

Diagnostic par reconnaissance de forme repose sur trois techniques :

Le première est une technique basée sur les outils de la statistique .cette technique peut se montrer insuffisante car elle suppose une connaissance à priori de tous les états de fonctionnement et ne prend pas en compte l'évolution du système. Les deux autres reposent sur la théorie de l'intelligence artificielle : reconnaissance de formes par la logique floue et la reconnaissance de formes par réseaux de neurones.

7.2. Méthode quantitative

Contrairement aux méthodes de diagnostic qualitatif, les méthodes de diagnostic quantitatif reposent sur l'utilisation du modèle global.

7.2.1. Méthodes d'estimation paramétrique

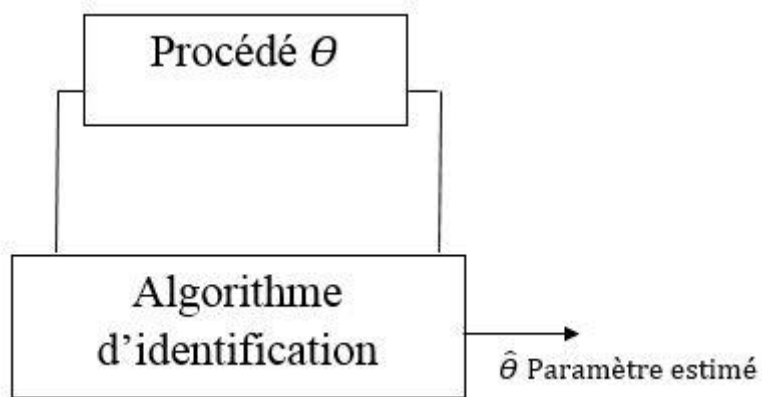


Figure 1.6 Méthodes d'estimation paramétrique

Quand un défaut apparaît dans un système,il entraine une modification de ses caractéristiques physiques d'où vient l'évolution de ses paramètres par rapport à leurs valeurs nominales. L'idée de base consiste à estimer les paramètres du système en temps réel et les comparer à leurs valeurs nominales.Pourdétecter les défauts avec cette méthode, on doit modéliser le système, décrire toutes les relations entre les constantes physiques et les paramètres du modèle,puis estimer les paramètres du modèle à partir des entrées sorties du système en absence de défaut, et estimer ceux du système en présence de défauts. Le vecteur de résidusest obtenu en comparant les grandeurs estimées par rapport aux valeurs nominales.

7.2.2. Méthode par espace de parité

La méthode consiste à vérifier la cohérence entre les relations mathématiques du système et les mesures. La différence entre la mesure et sa valeur calculée à l'aide du modèle est appelée résidu. Alors si le résidu est nul, les mesures sont cohérentes par rapport au modèle, donc le

Le système est déclaré sans défaut. Et dans le cas où le résidu est non nul, indique l'apparition d'un écart, qui veut dire un défaut.

7.2.3. Méthode basée sur les observateurs

Cette méthode consiste à estimer les états du système à partir des entrées et des sorties mesurées. L'erreur d'estimation de la sortie est utilisée comme résidu qui servira à la détection de défaut. Le vecteur de résidus est alors l'écart entre la sortie estimée et la sortie mesurée.

L'observateur d'état est un système dynamique ayant comme entrées les entrées/sorties du processus réel et dont la sortie est un vecteur de résidus, son principe général est présenté sur la figure suivante :

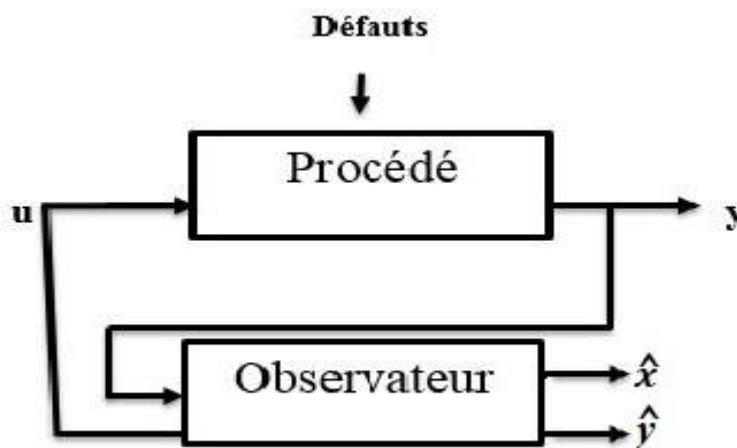


Figure 1.7 diagnostic à base d'observateur.

8. Principe de Génération de résidus

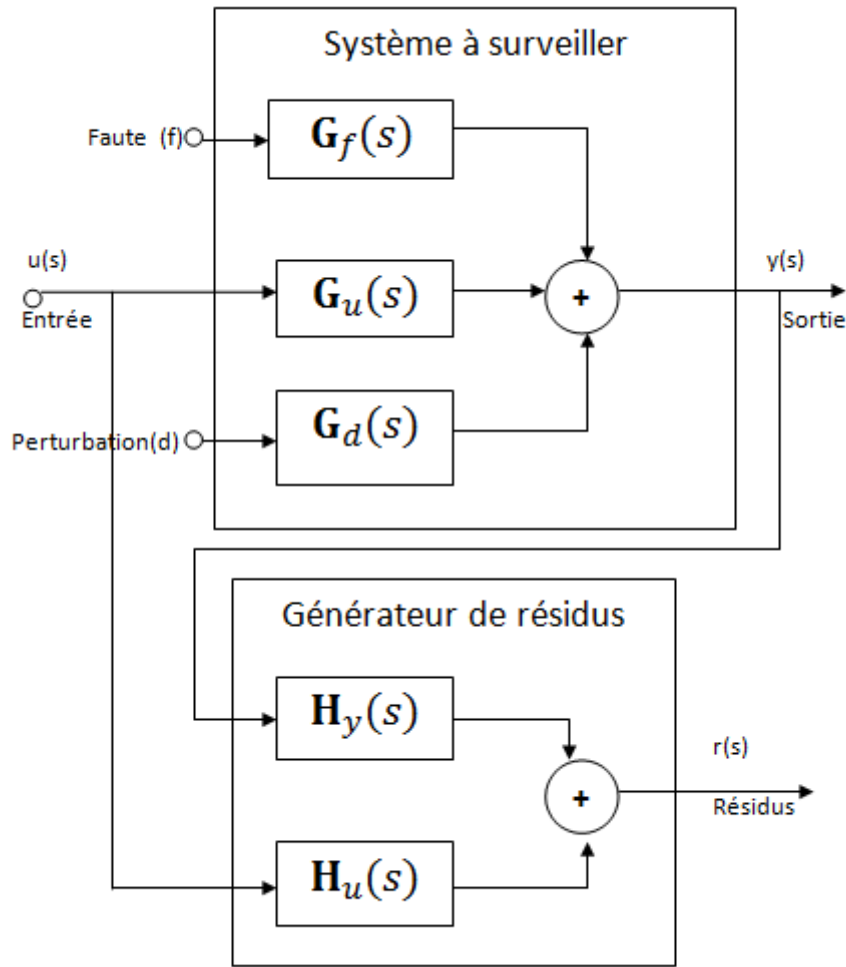


Figure 1.8 Structure d'un générateur de résidus.

Le rôle d'un générateur de résidus est de générer des signaux (résidus) qui ne sont sensibles qu'aux fautes.

Tant qu'il n'y a pas de défauts

$$r(s) = 0$$

et dès qu'il y a un défaut on aura un signal généré sur le résidus.

Tel que :

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad (1.6)$$

$$y(s) = G_u(s)u(s) + G_f(s)f(s) + G_d(s)d(s) \quad (1.7)$$

On remplace (1.6) dans (1.7) on aura

$$r(s) = H_u(s).u(s) + H_y(s). (G_u(s).u(s) + G_f(s).f(s) + G_d(s) d(s)) \quad (1.8)$$

H_u et H_y doivent satisfaire les deux relations suivantes :

$$\begin{cases} H_y(s).G_d(s) = 0 \\ H_y(s).G_u(s) + H_u(s) = 0 \end{cases} \quad (1.9)$$

Si les deux relations sont vérifiées alors :

$$r(s) = H_y(s).G_f(s).f(s) \quad (1.10)$$

$$T(s) = H_y(s).G_f(s) \quad (1.11)$$

Donc :

$$r(s) = T(s).f(s)$$

$T(s)$ est la matrice de transfert de défaut aux résidus, cette matrice de transfert est localisante car elle permet non seulement de détecter les défauts mais aussi de nous renseigner sur leur localisation, en nous fournissant une table logique de signatures.

9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une manière globale l'ensemble du diagnostic, telle que les différents types de défauts, leur modélisation et leur forme et les différentes méthodes de diagnostic. Nous avons présenté aussi le principe de génération de résidus pour le diagnostic.

Chapitre 2

Observateurs d'état

1. Introduction

La bonne maîtrise d'un procédé passe en général par la disponibilité d'informations sur ce dernier, et les procédés sont généralement exposés aux perturbations et à des défauts alors la connaissance de l'état global d'un système à chaque instant est nécessaire pour le diagnostiquer et détecter ses défauts. D'où la nécessité de la construction des observateurs d'état en vue de reconstruire les états du système à chaque instant.

Dans ce chapitre nous allons aborder le principe de base des observateurs d'états, leurs classes (linéaires et non linéaires), et on va parler du principe de diagnostic à base des observateurs d'états qui inclut le principe de génération des résidus et leurs structurations.

2. Observabilité des systèmes linéaires

2.1 Définition de l'observabilité

Avant la conception d'un observateur pour un système dynamique, il est nécessaire de savoir si on peut estimer ses états à partir des informations sur l'entrée et la sortie.

L'observabilité d'un système exprime la possibilité de reconstruire les états du système à partir de la seule connaissance des sorties et des entrées pendant un intervalle de temps suffisamment long.

2.2 Critère d'observabilité

Considérons le système suivant :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases} \quad (2.1)$$

Tels que $x(t) \in R^n$ est le vecteur d'état, $u(t) \in R^m$ est le vecteur de commande, $y(t) \in R^p$ est le vecteur de sortie système. A, B, C et D sont des matrices connues avec des dimensions appropriées.

Avec O c'est la matrice d'observabilité :

$$O = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Si le rang de la matrice d'observabilité (2.2) est égale à n , le système (2.1) est dit observable où la paire (C, A) est observable.

$$\text{rang}(O) = n \quad (2.3)$$

3. Principe d'un observateur d'état

Dans les procédés physiques complexes avec de grandes dimensions l'accès complet à l'état du système n'est souvent pas possible, la complexité de la réalisabilité technique ainsi que des coûts prohibitifs pour l'implantation de plusieurs capteurs peuvent réduire considérablement le nombre d'états mesurés. Alors pour la majorité des systèmes la dimension du vecteur d'entrée est supérieure à celle du vecteur de sortie. Cela signifie que pour tout instant « t » le vecteur d'état $x(t)$ ne peut être mesuré ou déduit des sortie .d'où l'intérêt de l'utilisation d'un observateur pour la reconstruction des états.

4. Définition d'un observateur

Un observateur est un système dynamique auxiliaire qui permet de reconstruire l'estimé $\hat{x}(t)$ du vecteur d'état réel $x(t)$ du procédé physique à partir des informations connues qui sont les entrées et les mesures de sorties. Cet état estimé sera utilisé à des fins de commande du système ou de détection et localisation des défauts [4].



Figure 2.1 : principe d'un observateur

Considérons le système à surveiller :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (2.4)$$

Le rôle de l'observateur est d'estimer les états du système $x(t)$ à partir des grandeurs supposées connues l'entrée $u(t)$ et la sortie $y(t)$.

Et l'observateur :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \end{cases} \quad (2.5)$$

Tel que : $\hat{x}(t)$ et $\hat{y}(t)$ sont respectivement les estimés de $x(t)$ et de $y(t)$ et la matrice L est le gain de l'observateur.

Erreur d'estimation et l'erreur de sortie sont respectivement :

$$\begin{cases} ex = x(t) - \hat{x}(t) \\ ey = y(t) - \hat{y}(t) \end{cases} \quad (2.6)$$

L'objectif dans la conception d'un observateur est de déterminer le gain L qui assure la convergence de l'erreur d'estimation d'état vers zéro quand $t \rightarrow \infty$.

5. Classification des observateurs

5.1. Observateurs pour systèmes linéaires

5.1.1 Observateur de Luenberger

L'observateur de Luenberger est l'un des observateurs connus dans les commandes par retour d'état. Il permet de reconstruire l'état du système observable lorsque tout ou une partie du vecteur d'état ne peut être mesurée, comme il peut estimer les paramètres variables ou inconnus d'un système. Une représentation de l'observateur de Luenberger peut s'exprimer par la figure 2.2.

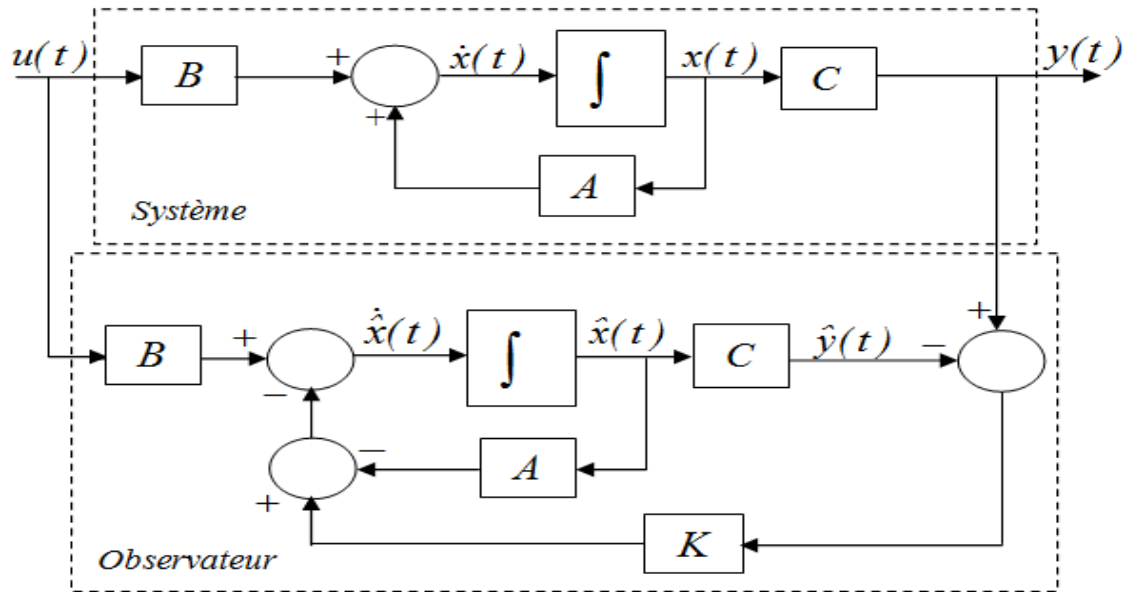


Figure 2.2 :structure générale de l'observateur de Luenberger.

Comme on est dans le domaine déterministe alors les bruits sont nuls donc notre système sera sous cette forme :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (2.7)$$

Et l'observateur :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + K(y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \end{cases} \quad (2.8)$$

La dynamique de l'erreur est :

$$e_x = x(t) - \hat{x}(t) \quad (2.9)$$

$$e_{\dot{x}} = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) \quad (2.10)$$

$$e_{\dot{x}} = Ax(t) + Bu(t) - (A\hat{x}(t) + Bu(t) + K(y(t) - \hat{y}(t))) \quad (2.11)$$

on a : $y(t) = Cx(t)$

et : $\hat{y}(t) = C\hat{x}(t)$

On remplace dans 2.11 on aura :

$$e_{\dot{x}} = (A - KC) e_x \quad (2.12)$$

La construction d'un observateur de Luenberger revient donc à déterminer la matrice de gain K telle que les valeurs propres de $A - KC$ soient strictement négatives c'est-à-dire stable.

5.1.2. Observateur à entrée inconnue

Les processus physiques sont souvent soumis à des perturbations, ces perturbations ont des effets néfastes sur le comportement normal du processus, elles sont appelées entrées inconnues lorsqu'elles affectent l'entrée du système et leur présence peut rendre difficile l'estimation de l'état du système [5]. Le principe de construction d'un observateur à entrées inconnues consiste à rendre l'erreur d'estimation indépendante des perturbations non mesurables [1].

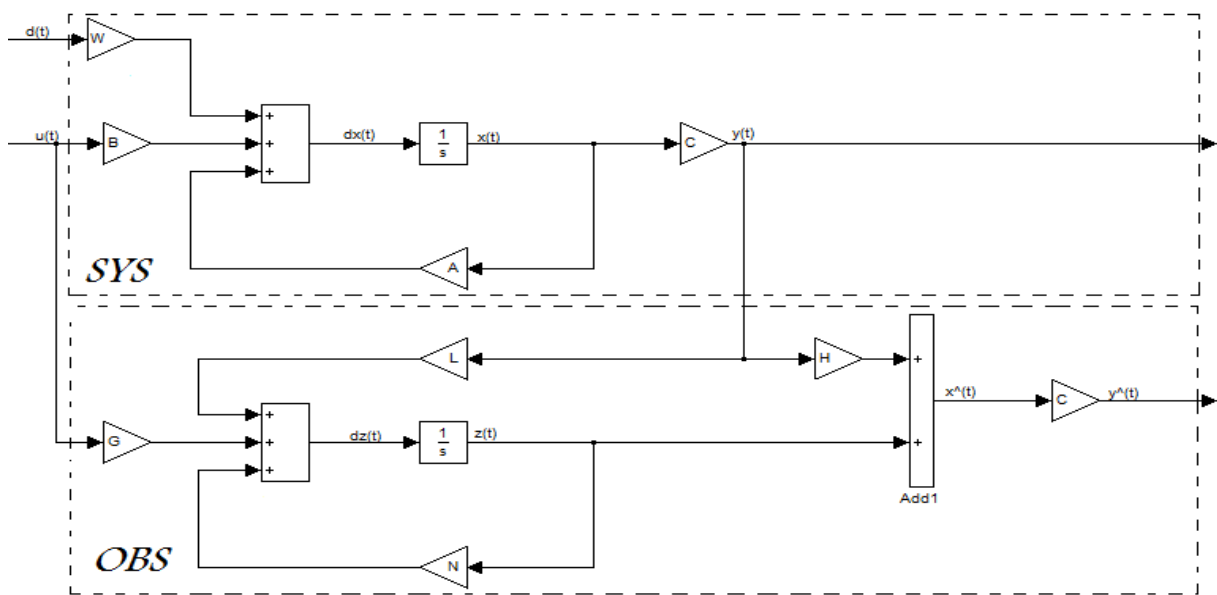


Figure 2.3: Schéma fonctionnel observateur à entrée inconnue

Considérons le système :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + W d(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (2.13)$$

Où $x(t)$ est le vecteur d'état de dimension n , $u(t)$ est l'entrée de commande, $d(t)$ est la perturbation considérée comme entrée inconnue, $y(t)$ est la sortie.

Le modèle d'état de l'observateur à entrée inconnue est représenté par l'équation (2.14).

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Nx(t) + Gu(t) + Ly(t) \\ \hat{x}(t) = z(t) + Hy(t) \\ \hat{y}(t) = C \hat{x}(t) \end{cases} \quad (2.14)$$

Où $\hat{x}(t)$ est l'estimation du vecteur d'état $x(t)$, N , G , L et H sont des matrices à déterminer pour que l'erreur d'estimation (2.15) converge vers zéro.

La dynamique de l'erreur d'estimation :

$$\dot{e}(t) = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) \quad (2.15)$$

$$\dot{e}(t) = Ne(t) + (PA - NP - LC)x(t) + (PB + G)u(t) + PWd(t) \quad (2.16)$$

$$\text{Où : } P = I + HC \quad (2.17)$$

Pour construire l'observateur (2.14) il faut que les conditions suivantes soient satisfaites :

N : matrice de Hurwitz

$$PA - NP - LC = 0 \quad (2.18)$$

$$PB - G = 0 \quad (2.19)$$

$$PW = 0 \quad (2.20)$$

Alors, si conditions (2.18), (2.19) et (2.20) sont satisfaites on aura :

$$\dot{e}(t) = Ne(t) \quad (2.21)$$

Calcul des matrices de l'observateur :

$$\text{Si : } \text{Rang}(CW) = \text{Rang}(W) \quad (2.22)$$

Alors W possède une pseudo inverse

Donc :

$$(CW)^+ = [(CW)^T (CW)]^{-1} (CW)$$

Alors :

$$H = -W(CW)^+ \quad (2.23)$$

Calcul de $P = I + HC$, pour déterminer G à partir de (2.19).

tel que : $G = PB$

De (2.17) et 2.18)

$$N = PA - (L + NH)C \quad (2.24)$$

On pose $\tilde{A}=PA$ et $\tilde{L}=L+NH$

Alors

$$N = \tilde{A} - \tilde{L}C \quad (2.25)$$

Si le couple (\tilde{A}, C) est observable alors on passe à la détermination de \tilde{L} qui se fait avec la technique de placement de pôles tel que les valeurs propres de $\tilde{A} - \tilde{L}C$ soient égales à des valeurs propres choisies stables.

Puis on déduit N et L .

Exemple :

on a :

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} U(t) + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} d(t)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t)$$

Calcul de H :

- On calcule CW :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rang}(W) = \text{rang}(CW) = 1$$

Puisque la condition est vérifiée alors on calcule l'pseudo inverse.

$$(CW)^+ = [(CW)^T (CW)]^{-1} (CW)^T$$

$$(CW)^+ = [-1 \ 0]$$

On a :

$$H = W((CW)^+) = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [-1 \ 0] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Calcul de P :

$$P = I - HC$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Calcul de G :

$$G = PB$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

Calcul de N et L :

Vérification de la Condition d'observabilité du couple (\tilde{A}, C)

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

On calcule la matrice d'observabilité O , tel que :

$$O = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix}$$

Donc :

$$O = \begin{pmatrix} C \\ C\tilde{A} \\ C\tilde{A}^2 \end{pmatrix}$$

Donc :

$$O = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Le rang $(O) = 3$.

$n = 3$

Alors le couple (\tilde{A}, C) est observable.

On choisit les pôles désirés $[-4 ; 5 ; -6]$

On trouve $\tilde{L} = [-4 \ 0 ; -1 \ -30 ; 0 \ 0]$

Donc $N = [-4 \ 0 \ 0 ; 0 \ 0 \ 30 ; 0 \ -1 \ -4]$

Et $L = [0 \ 0 ; -1 \ -30 ; 0 \ 0]$.

5.1.3 Observateur de Kalman-Bucy :

On l'appelle aussi filtre de Kalman-Bucy. Ce dernier est l'outil utilisé pour résoudre le problème d'estimation de l'état des systèmes linéaires stochastiques à temps invariant qui sont caractérisés par des bruits blancs gaussiens de moyenne nulle et de matrice de covariance Q et R . Le filtre de Kalman-Bucy est un observateur optimal qui repose sur la résolution de l'équation de Riccati. Kalman propose cette structure pour son observateur [7] :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = Ax(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \end{cases} \quad (2.26)$$

Pour minimiser la variance de l'erreur d'estimation $E(e^T(t), e(t))$ on doit déterminer le gain L pour qu'il soit optimal. Pour cela, on utilise la méthode d'optimisation de Lagrange et on obtient:

$$L = PC^T R^{-1} \quad (2.27)$$

Où

$$e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$$

P la matrice symétrique définie positive solution de l'équation de Riccati.

$$AP + PA^T - PC^T R^{-1} CP + Q = 0 \quad (2.28)$$

5.2 Observateurs des systèmes non linéaire

5.2.1 Observateur de luenberger étendu

L'observateur de Luenberger étendu intervient, soit au niveau du système original avec un gain constant, soit par le biais d'un changement de coordonnées avec un gain dépendant de l'état à estimer.

Dans le premier cas, un modèle linéarisé est nécessaire, et le gain de l'observateur est calculé par placement de pôles. Ce type d'observateur ne peut être utilisé que lorsque on est sûr que l'état restera au voisinage de l'état d'équilibre.

Pour cette raison, l'utilisation de cet observateur peut être compromise par les instabilités qui peuvent se révéler si l'on s'éloigne du point de fonctionnement.

Dans le deuxième cas, les méthodes de changement de coordonnées ne concernent qu'une classe restreinte de systèmes non linéaires.

En effet, beaucoup d'approches utilisant les changements de coordonnées nécessitent l'intégration d'un ensemble d'équations aux dérivées partielles non linéaires, ce qui est souvent très délicat à réaliser. De ce fait, l'utilisation de solutions approchées est envisageable [8].

5.2.2 Filtre de Kalman étendu

Le filtre de Kalman étendu est l'une des techniques d'estimation les plus populaires et largement étudiées dans le domaine d'estimation d'état des systèmes dynamiques non linéaires. Ce filtre étendu consiste à utiliser les équations du filtre de Kalman standard au modèle non linéaire linéarisé par la formule de Taylor au premier ordre [9].

5.2.3 Observateur à grand gain

Les observateurs dits à grand gain, ont été proposés pour les systèmes non linéaires pouvant se mettre sous la forme canonique uniformément observable. Leurs avantages par rapport aux autres observateurs cités ci-dessus, est qu'ils prennent en compte les non linéarités et les non stationnarités des systèmes.. Les observateurs à grand gain garantissent une bonne estimation des états.

6. Génération de résidus à base d'observateur

La détection des défauts est la première étape de diagnostic, elle se fait grâce au principe de génération des résidus.

La génération des résidus à base d'observateur consiste à générer un signal montrant l'écart entre les sorties réelles et les sorties estimées par ce dernier. Le signal résidu nous renseigne sur l'instant d'apparition du défaut et aussi sa provenance.

Le résidu doit être nul en absence de défaut et non nul en sa présence, mais la plupart des systèmes physiques engendrent des fausses alarmes car ils sont soumis à des perturbations et à des entrées inconnues, alors pour y remédier on définit un seuil de détection. En effet, le seuil de détection devra être choisi de telle sorte que l'on puisse détecter même les défauts les plus faibles tout en évitant de confondre les perturbations et les bruits de mesure avec des défauts à détecter. Ou alors utiliser des observateurs à entrées inconnues qui prennent en considération les entrées inconnues.

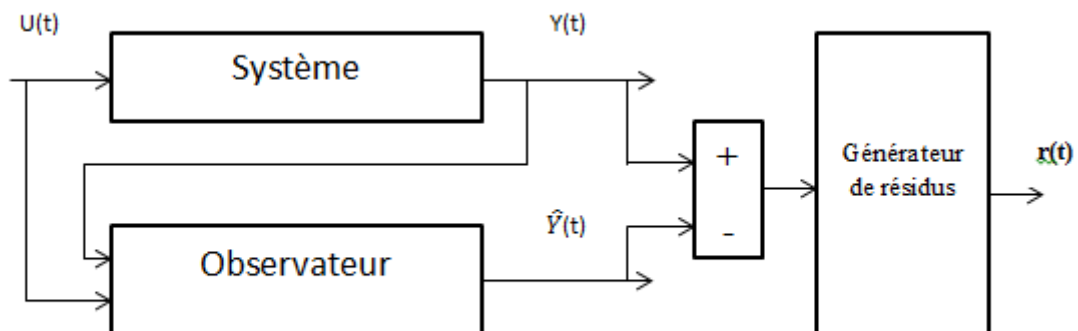


Figure 2.4 Principe de génération des résidus par observateurs.

Pour l'interprétation des résultats on utilise des tables logiques des signatures (voir figure 2.5) tel que la valeur 1 représente la valeur du résidu $r(t)$ supérieur au seuil choisit, et 0 représente la valeur de $r(t)$ inférieur au seuil.

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

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

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

Non localisante
faiblement localisant
fortement localisante

Figure 2.5 Tables des signatures.

Comme on le constate sur la figure 2.5, il existe trois types de table de signature [10] :

- Non localisante : si aux moins deux signatures de défauts sont identiques
- Faiblement localisante : si toutes les signatures de défauts sont différentes, mais si on modifie une signature en changeant un 1 par 0, on trouve autre signature déjà existante.
- Fortement localisante : si toutes les signatures de défauts sont différentes et ne peuvent être déduite d'une autre en modifiant un 1 par 0.

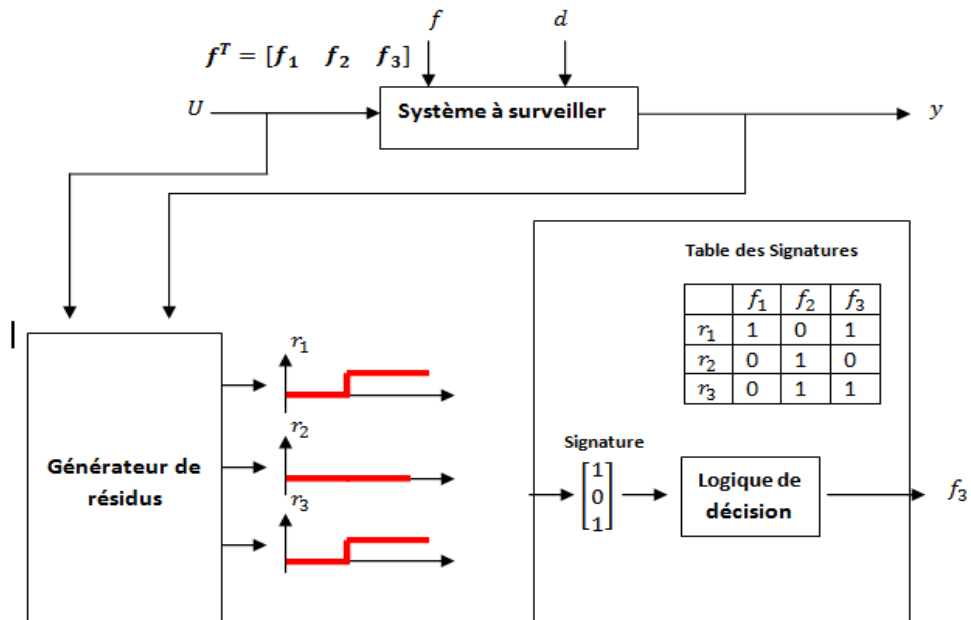


Figure 2.6 Principe de détection et localisation de défauts.

La figure 2.6 résume les étapes du diagnostic .Le générateur de résidus permet de générer les signaux résidus sensible aux défauts ce qui nous fournit une signature ensuite comparer cette dernière à la table signature qui permet la localisation des défauts.

7. Structures des résidus générés par observateurs

L'utilisation d'un seul observateur nous permet de détecter les défauts mais pas les localiser. Alors pour les localiser on utilise plusieurs observateurs (banc d'observateurs).La technique consiste à mettre en œuvre plusieurs observateurs excités par une combinaison judicieusement choisie des entrées et des sorties du système, générant chacun des résidus destinés à révéler un ou plusieurs défauts spécifiques du système. Cette technique a été introduite par Clark 1975 [11].

Il existe deux types de structure d'observateur [12]:

7.1 Structure d'observateurs généralisés GOS

La figure 2.7(a) montre le principe de détection de défauts actionneurs par observateur généralisé.C'est une structure où le $i^{ème}$ observateur est piloté par toutes les sorties et toutes les entrées sauf la $i^{ème}$ entrée, la sortie de cet observateur est donc sensible aux défauts de toutes les entrées sauf ceux de la $i^{ème}$ entrée.

La figure 2.7(b)montre le principe de détection de défauts capteur par observateur généralisé.C'est une structure où le $i^{ème}$ observateur est piloté par toutes les sorties et toutes les entrées sauf la $i^{ème}$ sortie, la sortie de cet observateur est donc sensible aux défauts de toutes les sorties sauf ceux de la $i^{ème}$ sortie.

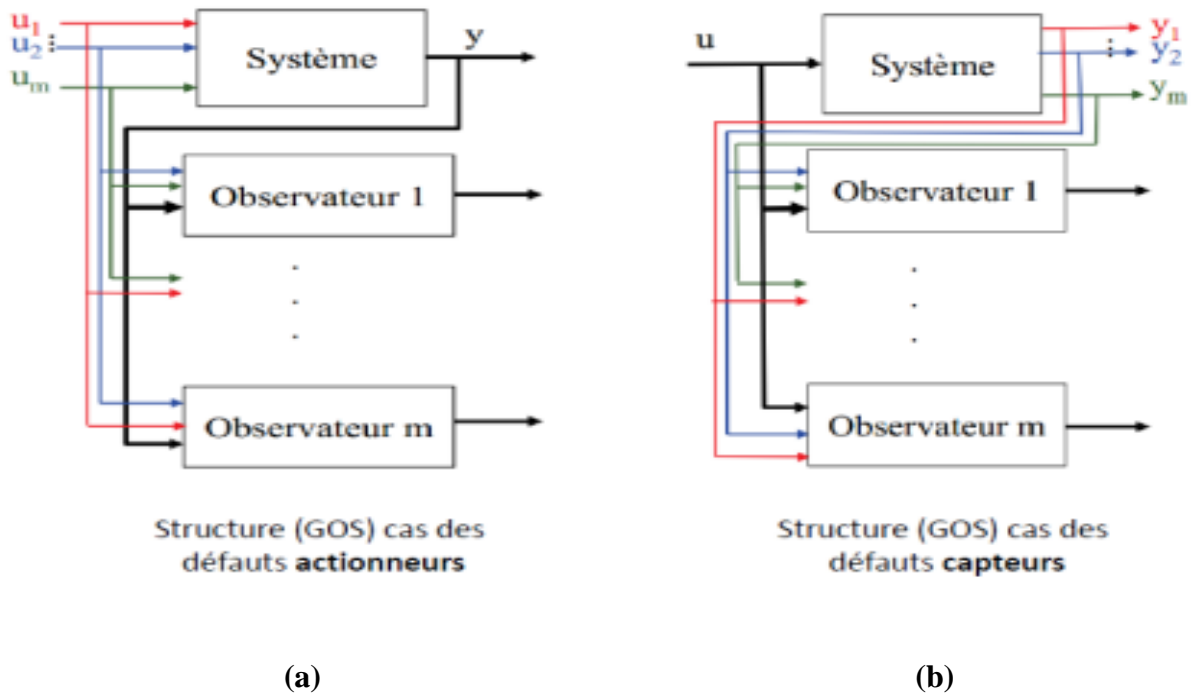


Figure 2.7 Structure d'observateurs généralisés GOS [10].

7.2 Structure d'observateurs dédiés DOS

La figure 2.8 (a) montre le principe de détection de défauts par observateur dédié. Le $i^{\text{ème}}$ observateur est piloté par la $i^{\text{ème}}$ entrée et toutes les sorties, les entrées restantes sont considérées comme entrées inconnues et la sortie de cet $i^{\text{ème}}$ observateur est insensible aux défauts des entrées non utilisées.

La figure 2.8 (b) montre le principe de détection de défauts par observateur dédié. Le $i^{\text{ème}}$ observateur est piloté par la $i^{\text{ème}}$ sortie et toutes les entrées. La sortie de cet $i^{\text{ème}}$ observateur est insensible aux défauts des sorties non utilisées.

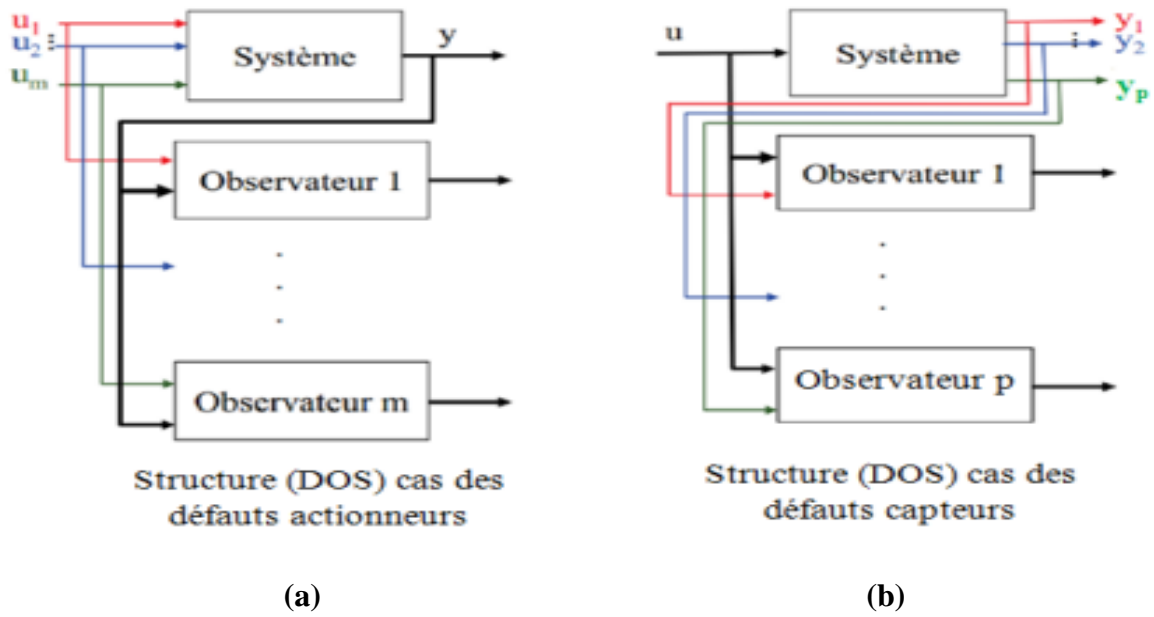


Figure 2.8 Structure d'observateurs dédiés DOS [10].

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les observateurs, et leur application au diagnostic. Nous avons en premier lieu parler du principe de base d'un observateur et la notion d'observabilité, nous avons aussi présenté quelques classes d'observateurs (linéaire, non linéaire) nous avons conclu avec la présentation du principe de génération de résidus par observateurs.

Chapitre 3

Application de l'observateur à
entrée inconnue pour le
diagnostic des défauts d'un
système hydraulique de trois
bacs.

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons détecter les défauts d'un système hydraulique en appliquant un observateur à entrée inconnue, puis nous allons utiliser un banc d'observateurs à entrée inconnue pour la localisation des défauts.

2. Description du procédé

Le système à étudier est un système hydraulique constitué de trois bacs communiquant de sections identiques S comme le montre schéma de la figure 3.1.

Le premier bac est alimenté par un débit d'entrée $Q_e(t)$ contrôlée par une pompe d'alimentation P .

Les trois bacs communiquent entre eux à travers des orifices de diamètre d_i de section φ_i et de coefficient de débit α_d .

Une sortie d'évacuation est en bas de diamètre d_{si} et de section φ_{si} est réalisée.

On note aussi $x_i(t)$ la hauteur du liquide dans chaque bac i , on a naturellement :

$$x_1(t) > x_2(t) > x_3(t) .$$

On note $x_{max}(t)$ la hauteur maximale des trois bacs, $q_{e0}(t)$ le débit d'équilibre et $q_{max}(t)$ de débit maximal.

Les grandeurs qui décrivent le système sont l'entrée $Q_e(t)$, et le vecteur de sortie

$$y(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} .$$

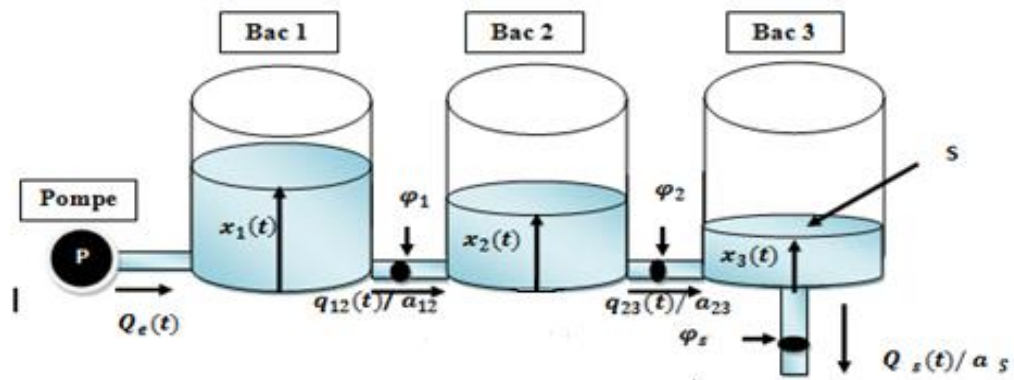


Figure 3.1 système à trois bacs

Les paramètres physiques du système à trois bacs sont disposés dans le tableau suivant :

| Variable | symbole | valeur |
|--|----------------|---|
| Coefficient de débit | α_d | 0.72 |
| Débit d'entrée | $Q_e(t)$ | 100 L/h |
| Section des bacs | S | $1.3 \times 10^{-3} m^2$ |
| Sections des orifices | φ_i | $\varphi_1 = \varphi_2 = 4.08 \times 10^{-5} m^2$ |
| Section de l'orifice de la sortie d'évacuation | φ_{si} | $4.08 \times 10^{-5} m^2$ |

Tab 3.1 paramètres du système de trois bacs

3. Modèle mathématique du système

Pour obtenir le modèle mathématique, on établit le bilan des débits entrants et sortants pour chacun des bacs.

On aboutit alors au modèle d'état non linéaire décrit par les équations d'état suivantes :

$$S \frac{dx_1(t)}{dt} = Q_e(t) - q_{12}(t) \quad (3.1)$$

$$S \frac{dx_2(t)}{dt} = q_{12}(t) - q_{23}(t) \quad (3.2)$$

$$S \frac{d x_2(t)}{dt} = q_{23}(t) - q_s(t) \quad (3.3)$$

La relation de Bernoulli permet d'exprimer le débit sortant d'un bac vers un autre en fonction des différences des hauteurs d'eau.

$$q_{ij} = a_{ij} \sqrt{\Delta x} \quad (3.4)$$

Où les coefficients a_{ij} sont donnés en fonction des coefficients du débit moyen α_d et des sections φ_i par la relation suivante :

$$a_{ij} = \alpha_d \varphi_i \sqrt{2g} \quad (3.5)$$

En tenant compte des relations précédentes, en définissant le vecteur d'état

$x(t) = [x_1(t) \quad x_2(t) \quad x_3(t)]^T$, l'entrée de commande $u(t) = Q_e(t)$ et le vecteur de sortie $y(t)$.

Le système s'écrit alors :

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \quad (3.6)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (3.7)$$

Avec :

$$f(x(t), u(t)) = \begin{bmatrix} \frac{1}{S} (u(t) - a_{12} \sqrt{x_1 - x_2}) \\ \frac{1}{S} (a_{12} \sqrt{x_1 - x_2} - a_{23} \sqrt{x_2 - x_3}) \\ \frac{1}{S} (a_{23} \sqrt{x_2 - x_3} - a_{3S} \sqrt{x_3}) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\text{Et } C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Le modèle linéaire autour d'un point d'équilibre (x_{01}, x_{02}, x_{03}) est donné dans (3.9) et (3.10)

$$\frac{d\delta x(t)}{dt} = A\delta x(t) + B\delta u(t) \quad (3.9)$$

$$\delta y(t) = C\delta x(t) \quad (3.10)$$

Où :

- $\delta u(t) = u(t) - u_0$, $\delta x(t) = x(t) - x_0$, $\delta y(t) = y(t) - y_0$, représentent de petites variations de l'entrée, des variables d'état et de la sortie autour des valeurs d'équilibre.
- u_0 , x_0 , et y_0 sont les valeurs de l'entrée, l'état et de la sortie à l'équilibre.

Les matrices A ,B sont données par :

$$A = \frac{\partial f}{\partial x} \text{ pour } x = x_0$$

$$B = \frac{\partial f}{\partial u} \text{ pour } u = u_0$$

Ce qui donne :

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-a_{12}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_1 - x_2}} & \frac{a_{12}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_1 - x_2}} & 0 \\ \frac{a_{12}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_1 - x_2}} & \frac{-a_{12}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_1 - x_2}} - \frac{a_{23}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_2 - x_3}} & \frac{a_{23}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_2 - x_3}} \\ 0 & \frac{a_{23}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_2 - x_3}} & \frac{-a_{23}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_2 - x_3}} - \frac{a_{3S}}{S} \frac{1}{2\sqrt{x_3}} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{S} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pour $x_{01} = 0.2948m$, $x_{02} = 0.2814m$, $x_{03} = 0.2392m$, $U(t) = U_0 = 1.5 \times 10^{-5} m^3/s$, on aura :

$$A = \begin{bmatrix} -0.4319 & 0.4319 & 0 \\ 0.4319 & -0.4319 & 0.2435 \\ 0 & 0.2435 & -0.3456 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 769.2308 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ainsi :

Le modèle linéaire du système hydraulique est donné par les deux équations :

$$\frac{d\delta x(t)}{dt} = \begin{bmatrix} -0.4319 & 0.4319 & 0 \\ 0.4319 & -0.4319 & 0.2435 \\ 0 & 0.2435 & -0.3456 \end{bmatrix} \delta x(t) + \begin{bmatrix} 769.2308 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta u(t) \quad (3.9)$$

$$\delta y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \delta x(t) \quad (3.10)$$

4. Construction de l'observateur à entrée inconnue

4.1. Construction de l'observateur à entrée inconnue en absence de défauts

Pour construire l'observateur il est important de s'assurer de ces deux conditions :

1. L'observabilité du système ,
2. Le nombre d'entrées inconnues doit être inférieur ou égale au nombre de sorties du système.

- Vérification de l'observabilité du système

$$O = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.4319 & 0.4319 & 0 \\ 0.4319 & -0.4319 & 0.2435 \\ 0 & 0.2435 & -0.3456 \\ 0.3731 & -0.4782 & 0.1052 \\ -0.4782 & 0.7019 & -0.2486 \\ 0.1052 & -0.2486 & 0.1787 \end{bmatrix}$$

$\det(O) \neq 0$ donc $\text{Rang}(O) = 3$ et le système est observable.

- On suppose que le nombre d'entrée inconnues du système hydraulique est 1

Comme les deux conditions précédentes sont vérifiées alors on peut construire l'observateur à entrée inconnue.

On suppose que le modèle du système hydraulique avec entrée inconnue est :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + W d(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (3.11)$$

Posons W la matrice de distribution de l'entrée inconnue comme suit

$$W = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

En utilisant les résultat du chapitre 2, le modèle de l'observateur à entrée inconnue du système hydraulique est donné par :

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Nz(t) + Gu(t) + Ly(t) \\ \hat{x}(t) = z(t) + Hy(t) \\ \hat{y}(t) = C \hat{x}(t) \end{cases} \quad (3.12)$$

Avec :

$$H = \begin{bmatrix} 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.6667 & -0.3333 & -0.3333 \\ -0.3333 & 0.6667 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & 0.6667 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 512.6205 \\ -256.4103 \\ -256.4103 \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} -3 & 0 & 0 \\ 0 & -1.5 & 0 \\ 0 & 0 & -0.06 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} 0.9014 & -0.2348 & -0.6326 \\ 0.1819 & -0.1753 & 0.0275 \\ -0.0200 & 0.2235 & 0.3333 \end{bmatrix}$$

Alors (3.12) devient :

$$\dot{z}(t) = \begin{bmatrix} -3 & 0 & 0 \\ 0 & -1.5 & 0 \\ 0 & 0 & -0.09 \end{bmatrix} z(t) + \begin{bmatrix} 512.6205 \\ -256.4103 \\ -256.4103 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0.9014 & -0.2348 & -0.6326 \\ 0.1819 & -0.1753 & 0.0275 \\ -0.0200 & 0.2235 & 0.3333 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{x}(t) = z(t) + \begin{bmatrix} 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix} y(t)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \hat{x}(t)$$

Il est à noter que N est choisi comme une matrice de Hurwitz avec les valeurs propres :

$$p_1 = -3, p_2 = -1.5, p_3 = -0.06$$

4.1.1. Simulation de l'observateur en absence de défauts

Après la simulation du système sur MATLAB/Simulink (figure 3.2) nous avons obtenu les résultats présentés dans les figures 3.3 et 3.4 ci-dessous :

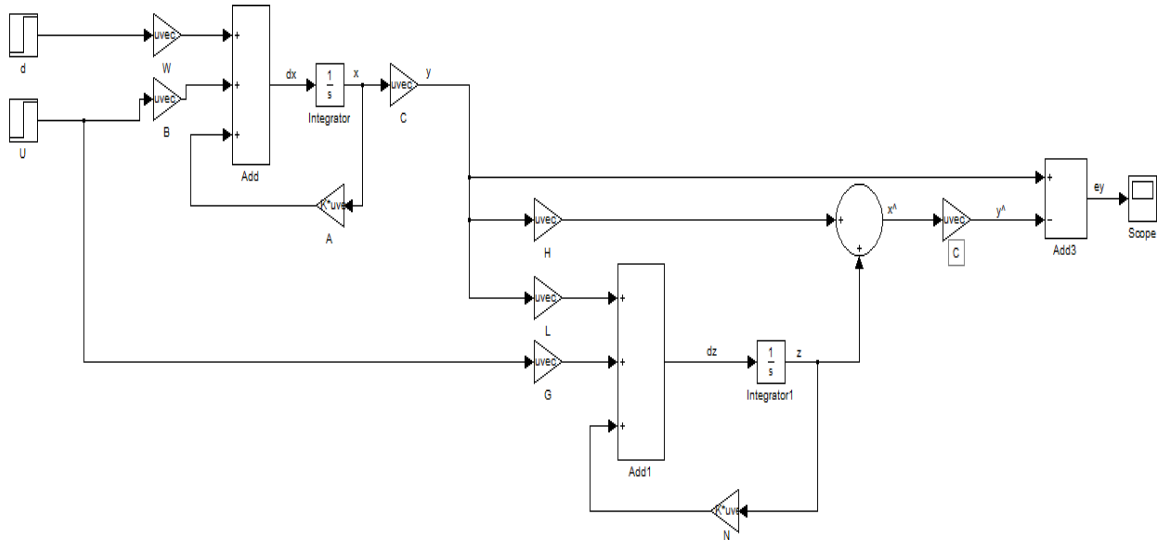


Figure 3.2 Schéma de simulation du système sans défauts.

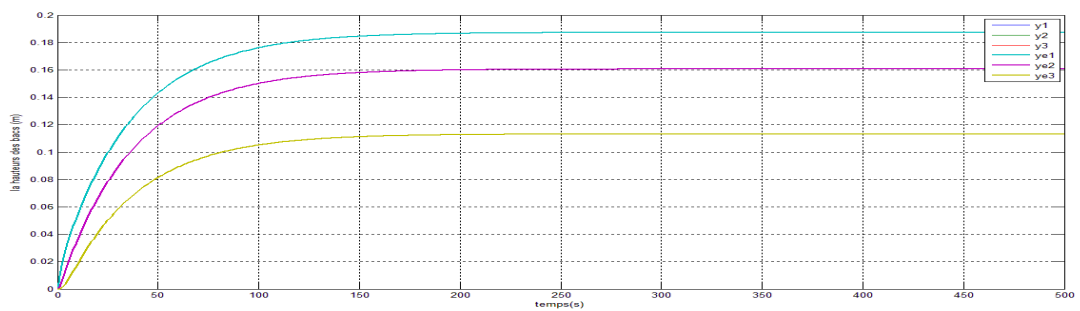


Figure 3.3 Les sorties du système et les sorties estimées

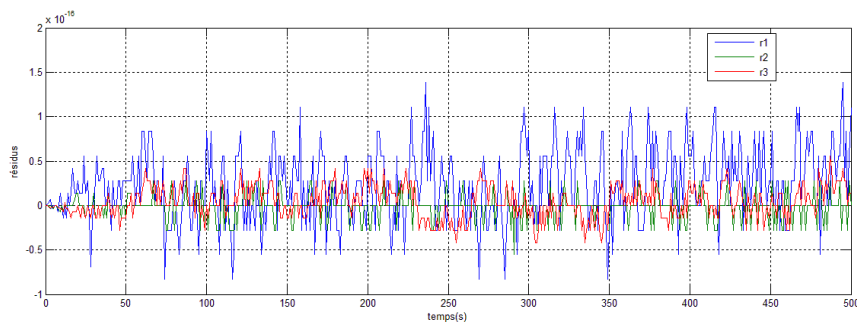


Figure 3.3 Les résidus.

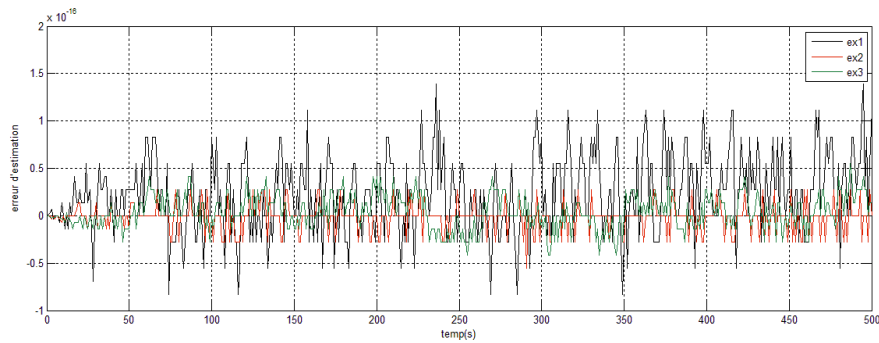


Figure 3.4 L'erreur d'estimation.

Les figures précédentes représentent les résultats de simulation, en absence de défauts. On constate que l'observateur a bien estimé les états du système, l'erreur d'estimation converge vers zéro, les résidus sont nuls. Cela dit que il est insensible aux entrées inconnues.

5. Détection de défauts

Cette étape permet de décider si le système se trouve ou non dans l'état de fonctionnement normal cela en détectant la présence des défauts

5.1 Construction de l'observateur à entrée inconnue en présence de défauts

On suppose que le modèle du système hydraulique avec défauts est défini par :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + W d(t) + F_x f(t) \\ y(t) = Cx(t) + F_y f(t) \end{cases} \quad (3.13)$$

Posons les matrices de distribution des défauts capteur et défauts actionneur respectivement F_y, F_x et la matrice de distribution de l'entrée inconnue W .

$$F_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, F_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Pour construire l'observateur il est important de s'assurer de ces deux conditions :

1. L'observabilité du système
2. Le nombre d'entrées inconnues doit être inférieur ou égal au nombre de sorties du système.

Comme ces conditions sont vérifiées alors on peut construire l'observateur.

Et le modèle de l'observateur

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Nz(t) + Gu(t) + Ly(t) \\ \hat{x}(t) = z(t) + Hy(t) \\ \hat{y}(t) = C \hat{x}(t) \end{cases} \quad (3.14)$$

La dynamique de l'erreur

$$\dot{e}(t) = \dot{\hat{x}}(t) - \dot{\hat{x}}(t)$$

$$e_y = C e_x + F_y f(t)$$

L'objectif est de rendre l'erreur d'estimation indépendante de l'état, de l'entrée de commande et de l'entrée inconnue et sensible uniquement aux défauts

Alors il convient de calculer les matrices de l'observateur qui satisfont les conditions suivantes :

N : matrice de Hurwitz

$$PA - NP - LC = 0$$

$$PB - G = 0$$

$$P = I - HC$$

$$PW = 0$$

On remarque qu'on a les mêmes équations que celles en absence de défauts

D'où les valeurs des matrices restent les mêmes et le modèle de l'observateur est :

$$\dot{z}(t) = \begin{bmatrix} -3 & 0 & 0 \\ 0 & -1.5 & 0 \\ 0 & 0 & -0.09 \end{bmatrix} z(t) + \begin{bmatrix} 512.6205 \\ -256.4103 \\ -256.4103 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0.9014 & -0.2348 & -0.6326 \\ 0.1819 & -0.1753 & 0.0275 \\ -0.0200 & 0.2235 & 0.3333 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{x}(t) = z(t) + \begin{bmatrix} 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{y}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \hat{x}(t)$$

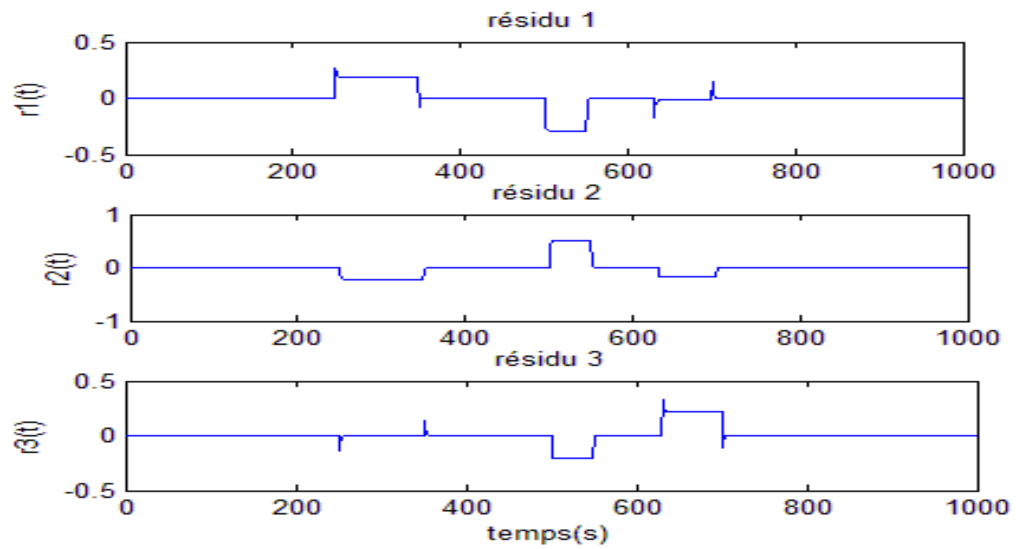


Figure 3.8 Les résidus en présence de trois défauts capteur.

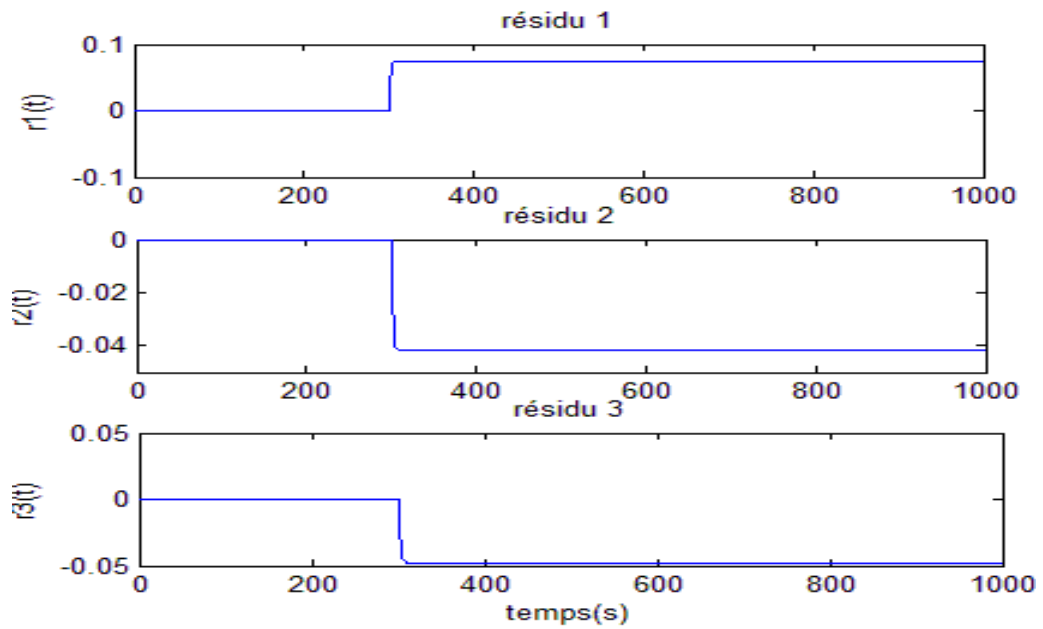


Figure 3.9 Les résidus en présence d'un défaut actionneur.

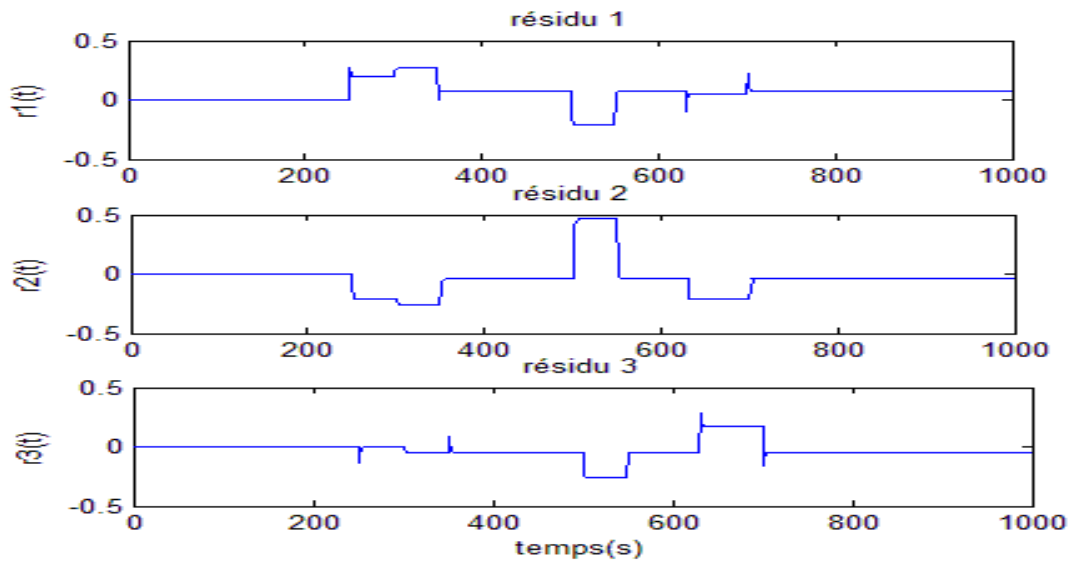


Figure 3.10 Les résidus en présence de tous les défauts.

Les figures précédentes représentent les résidus obtenus après la simulation, en présence des défauts.

La figure 3.8 représente les résidus en cas de présence de trois défauts capteur on remarque que les résidus sont différents de zéro aux moments d'apparition des défauts alors les défauts sont bien détectés.

La figure 3.9 représente les résidus en cas de présence d'un défaut actionneur on remarque que les résidus sont différents de zéro aux moments d'apparition du défaut alors le défaut est détecté.

La figure 3.10 représente les résidus en cas de présence des trois défauts capteur et un défaut actionneur, on remarque les résidus sont différents de zéro aux moments d'apparition des défauts alors les défauts sont bien détectés.

D'après les résultats obtenus ci-dessus on remarque que la détection des défauts est assurée contrairement à leurs localisations. Alors pour y remédier on propose de construire un banc d'observateurs de structure généralisée.

6. Localisation des défauts capteur par banc d'observateurs

Pour localiser les défauts capteur et remédier au problème posé ci-dessus, on utilise un banc d'observateurs à entrée inconnue de structure généralisée comme le montre la figure ci-dessous :

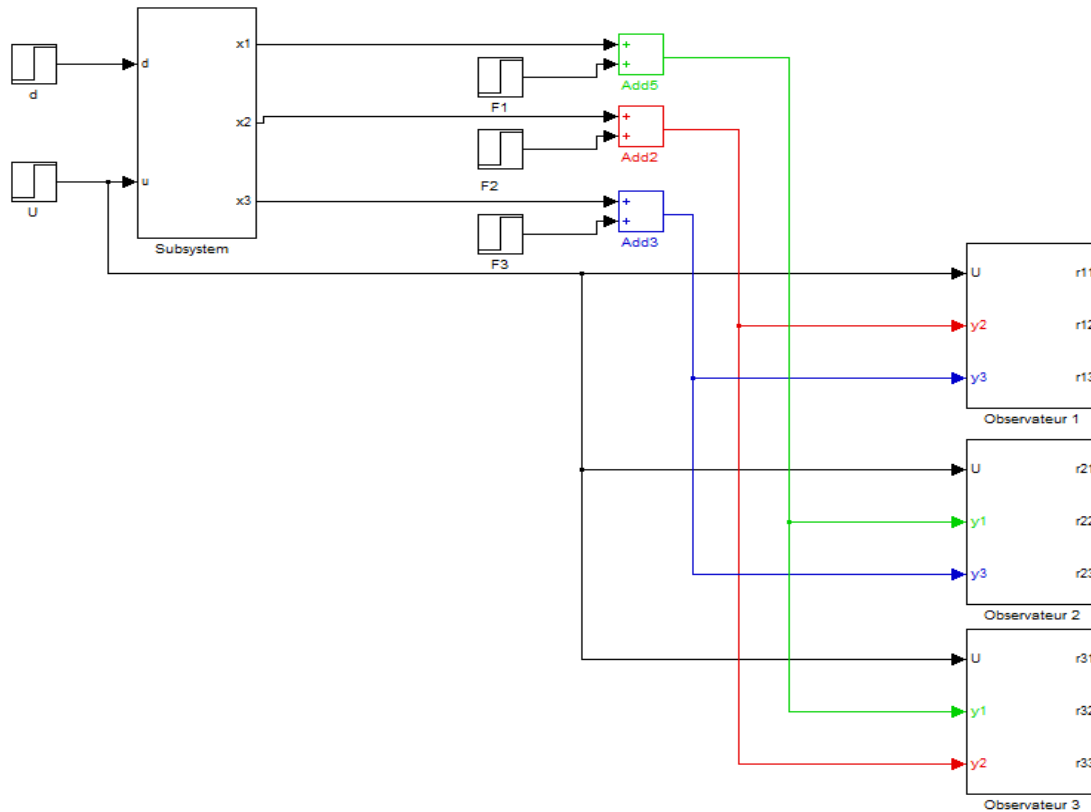


Figure 3.11 Structure d'observateurs généralisée (GOS).

6.1 Construction du banc d'observateur

Après la vérification des deux conditions de construction d'un observateur à entrée inconnue pour chaque observateur on peut alors les construire.

Nous avons trois sorties alors nous allons construire trois observateurs et chaque observateur sera insensible à un seul défaut et sensible aux autres.

Les calculs sont fait avec un programme MATLAB nous avons obtenu les résultats suivant :
 $(p = [-3 \quad -1.5 \quad -0.09])$ pour les trois observateurs)

- Modèle du premier observateur

$$\dot{z}(t) = \begin{bmatrix} -0.6479 & 1.0818 & -1.1450 \\ 0.2160 & -1.7773 & -1.0553 \\ -0.2160 & -0.9624 & -2.1649 \end{bmatrix} z(t) + \begin{bmatrix} 769.2308 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 & -0.0785 & 1.5515 \\ 0 & 2.6262 & 2.6582 \\ 0 & 3.0934 & 3.5419 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{x}(t) = z(t) + \begin{bmatrix} 0 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & -0.5 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{y}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \hat{x}(t)$$

- Modèle du deuxième observateur

$$\dot{z}(t) = \begin{bmatrix} -1.8193 & 0.0942 & -1.1262 \\ 1.8704 & -0.0130 & -1.8175 \\ -1.0821 & -0.0942 & -1.9677 \end{bmatrix} z(t) + \begin{bmatrix} 384.6154 \\ -384.6154 \\ -384.6154 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 3.0290 & 0 & 2.7246 \\ -0.7425 & 0 & 2.7138 \\ 2.8701 & 0 & 3.3669 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{x}(t) = z(t) + \begin{bmatrix} -0.5 & 0 & -0.5 \\ -0.5 & 0 & -0.5 \\ -0.5 & 0 & -0.5 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{y}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \hat{x}(t)$$

- Modèle du troisième observateur

$$\dot{z}(t) = \begin{bmatrix} -2.6803 & -0.5797 & -0.1218 \\ -0.6969 & -1.6524 & 0.1218 \\ -1.0280 & 0.6120 & -0.674 \end{bmatrix} z(t) + \begin{bmatrix} 384.6154 \\ -384.6154 \\ -384.6154 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 3.9393 & 2.8242 & 0 \\ 2.2426 & 2.2125 & 0 \\ 1.4696 & 0.1949 & 0 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{x}(t) = z(t) + \begin{bmatrix} -0.5 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & -0.5 & 0 \end{bmatrix} y(t)$$

$$\hat{y}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \hat{x}(t)$$

6.2 Résultat de simulation

Dans les simulations suivantes nous avons injecté les défauts capteur représentés dans la figure suivante :

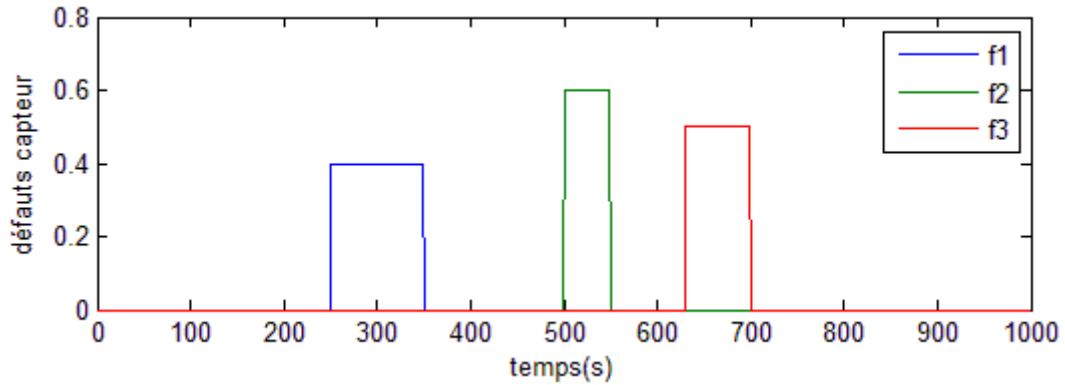


Figure 3.12 Les défauts capteur

La figure 3.12 représente les différents défauts capteur injectés à différents instants

- f1 est injecté de l'instant 250 s jusqu'à 350 s
- f2 est injecté de l'instant 500 s jusqu'à 550 s
- f3 est injecté de l'instant 630 s jusqu'à 700 s

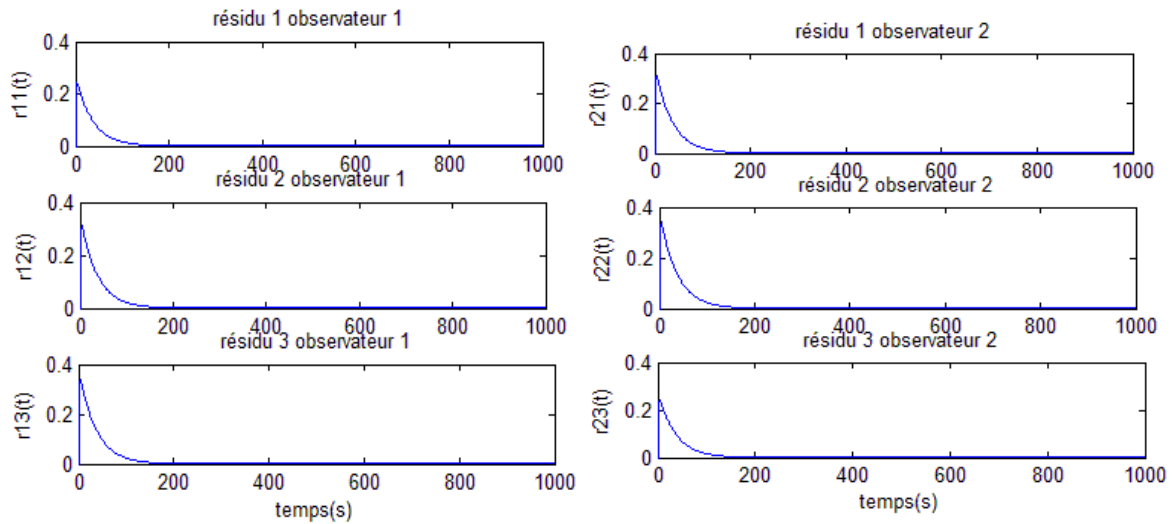
La simulation est réalisée sous MATLAB/Simulink. Nous avons obtenu des résultats présentés par les figures 3.13, 3.14, 3.15 ,3.16 ,3.17 et 3.18.

La figure 3.13 représente les résidus en absence de défaut injecté.

Les résidus sont représentés par la figure 3.14 à l'injection du 1er défaut capteur qui affecte le système de $t=250s$ à $t=350s$, la figure 3.15 à l'injection du 2ème défaut qui apparait de $t=500s$ à $t=550s$ et la figure 3.16 à l'injection du 3ème défaut qui affecte le système de $t=630s$ à $t=700s$.

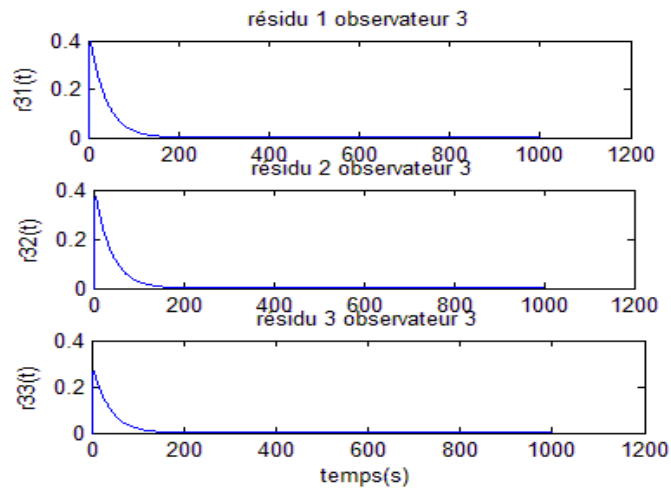
La figure 3.17 représente les résidus à l'injection de deux défauts capteur.

La figure 3.19 représente les résidus à l'injection des trois défauts capteur.



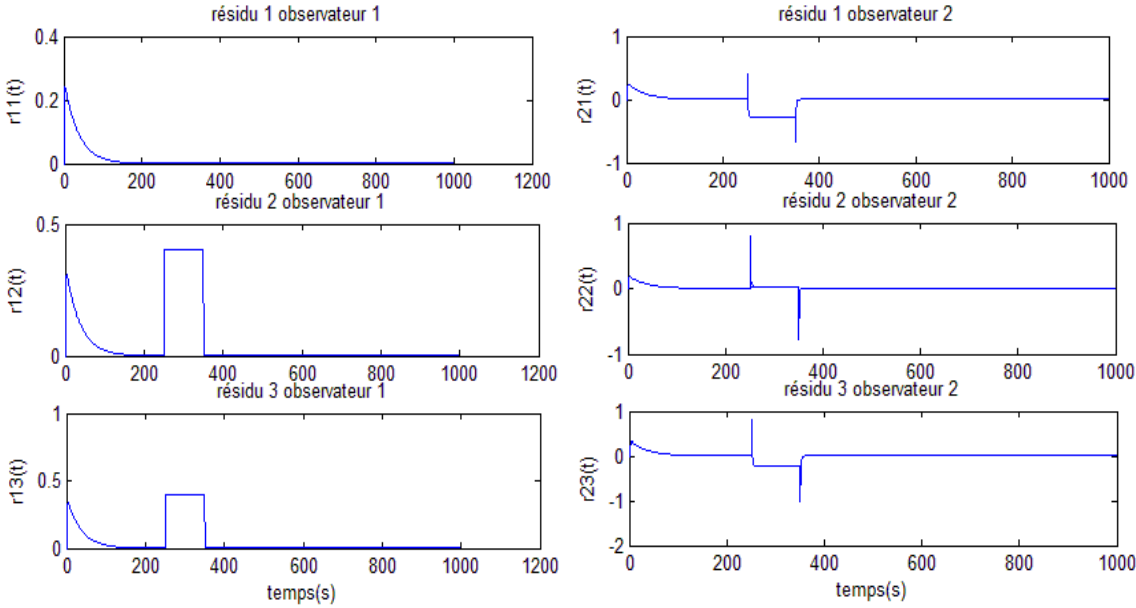
Résidus premier observateur

Résidus deuxième observateur



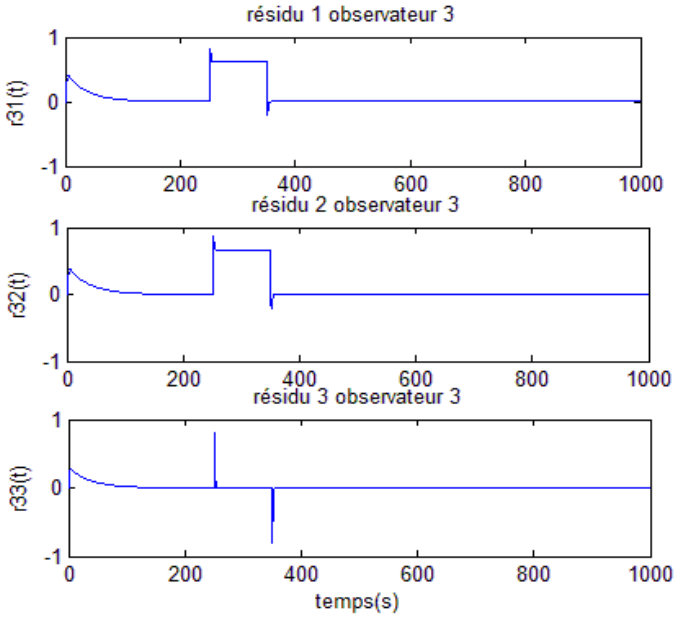
Résidus troisième observateur

Figure 3.13 Evolution des résidus en absence de défauts.



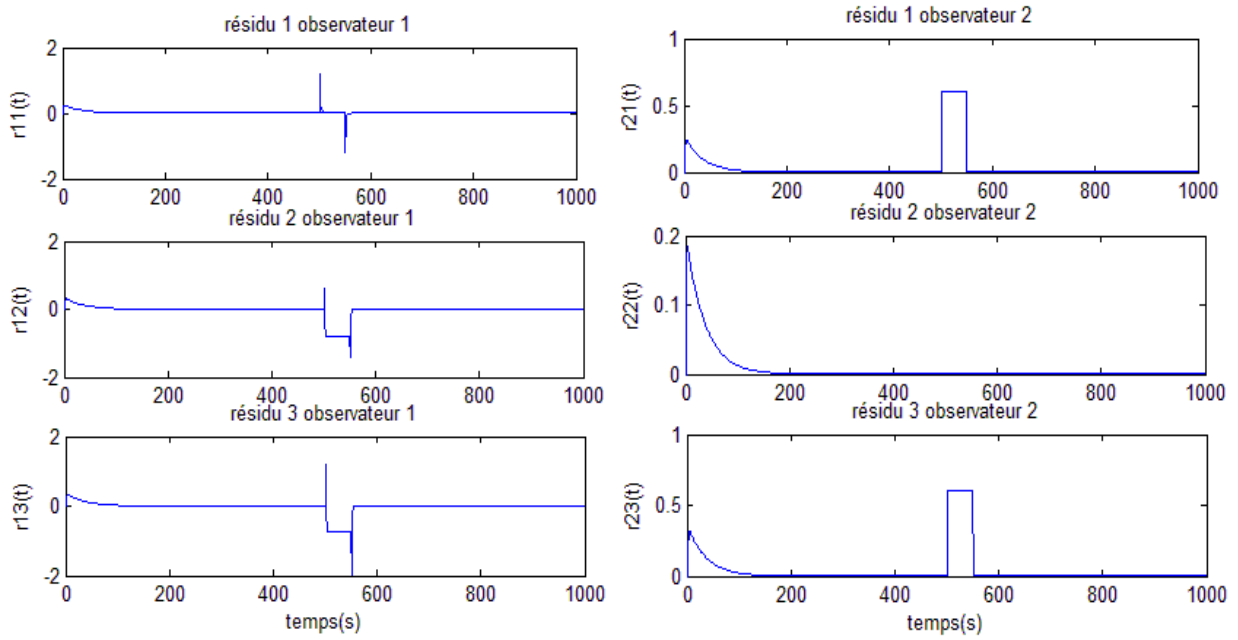
Résidus premier observateur

Résidus deuxième observateur



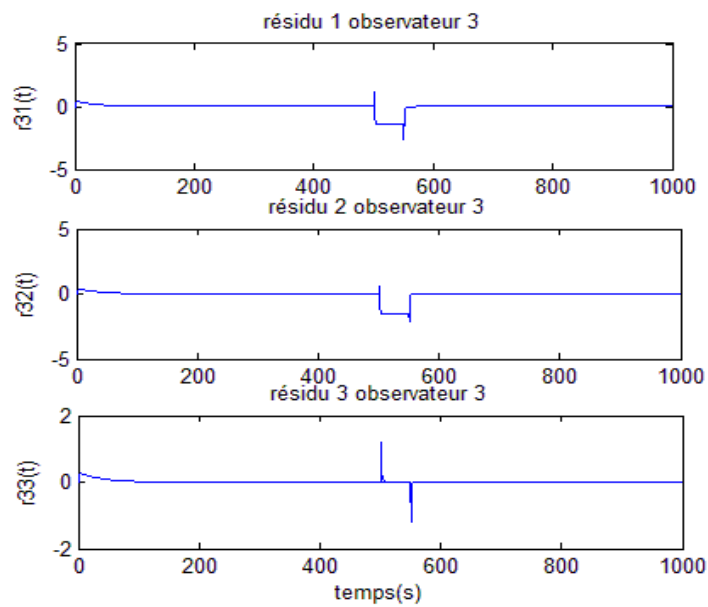
Résidus troisième observateur

Figure 3.14 Evolution des résidus en présence d'un défaut sur le premier capteur.



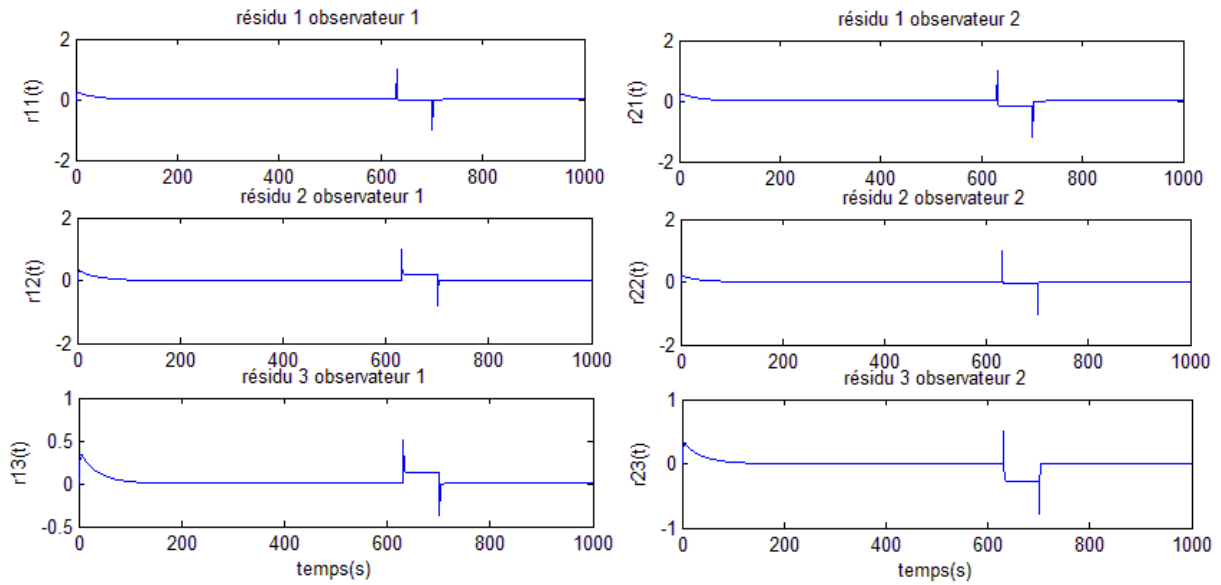
Résidus premier observateur

Résidus deuxième observateur



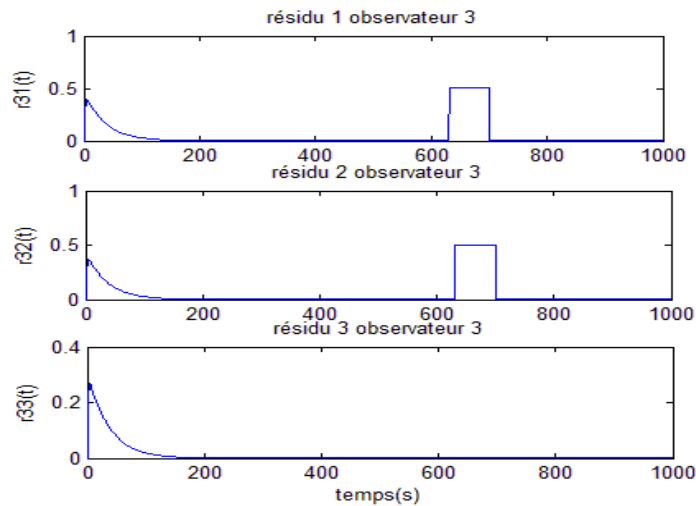
Résidus troisième observateur

Figure 3.15 Evolution des résidus en présence d'un défaut sur le deuxième capteur.



Résidus premier observateur

Résidus deuxième observateur



Résidus troisième observateur

Figure 3.16 Evolution des résidus en présence d'un défaut sur le troisième capteur.

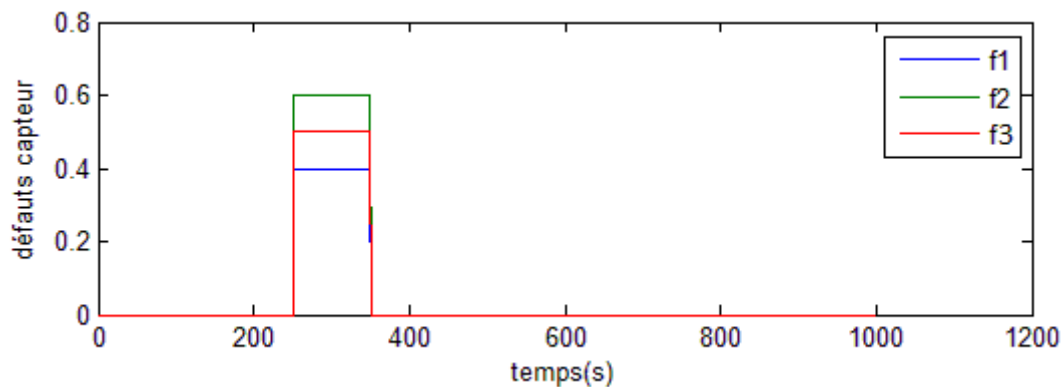
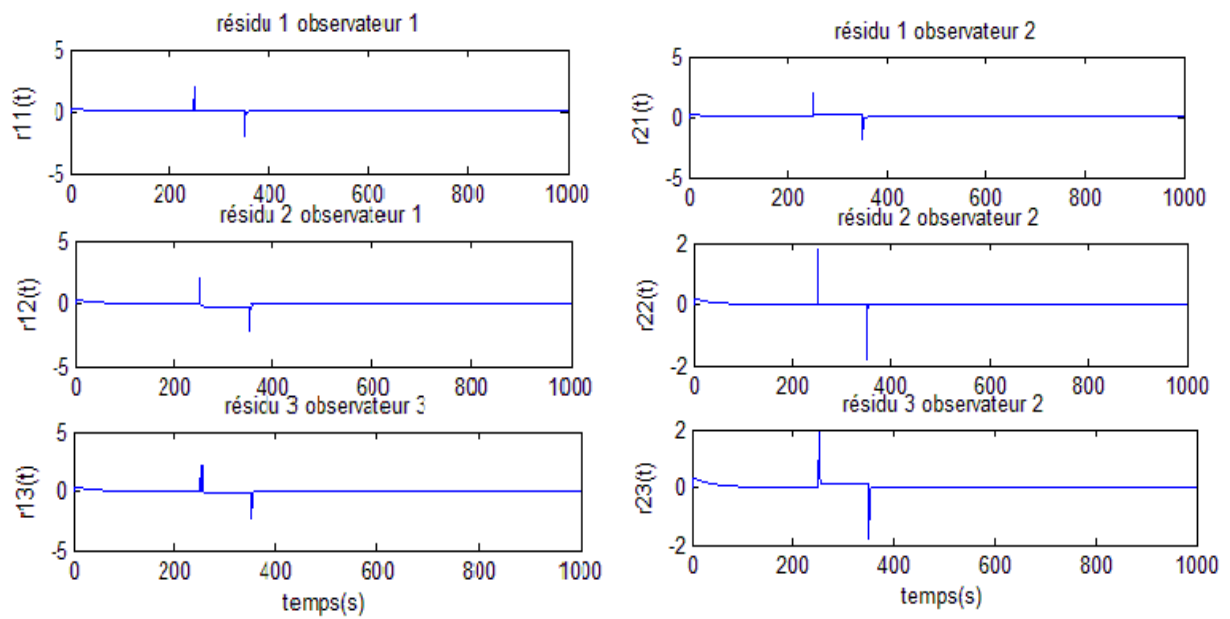


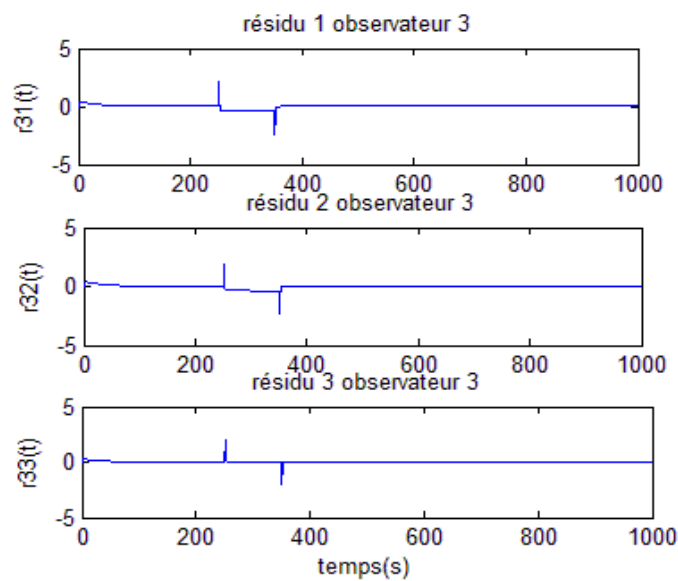
Figure 3.17 Défauts capteur simultanés.

La figure 3.17 représente les différents défauts capteur injectés simultanément.



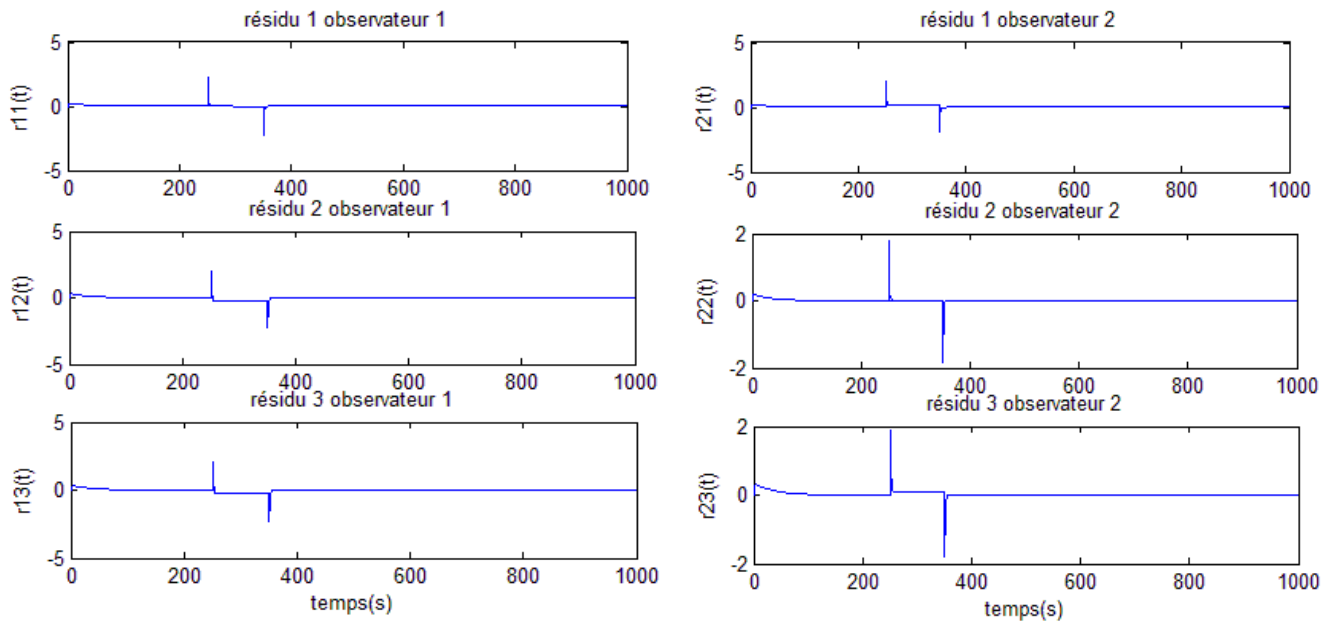
Résidus premier observateur

Résidus deuxième observateur



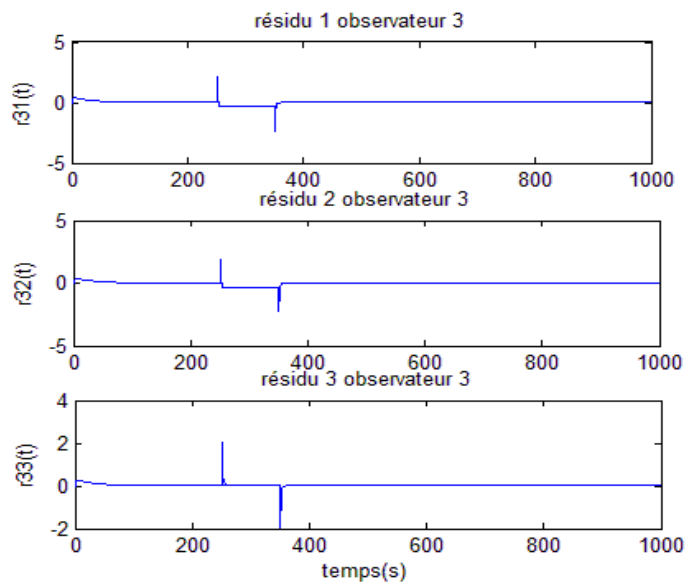
Résidus troisième observateur

Figure 3.18 Evolution des résidus en présence de deux défauts capteur.



Résidus premier observateur

Résidus deuxième observateur



Résidus troisième observateur

Figure 3.19 Evolution des résidus en présence de trois défauts capteur.

Pour effectuer l'étape de localisation, on construit une table la table de signature pour les différents résidus. On considère le résidu $r_{ij} = 1$ quand le signal du résidu est différent de zéro et $r_{ij} = 0$ dans le cas contraire ce qui nous permet de dresser la table 3.2.

| | Sans défauts | f_1 | f_2 | f_3 | f_1, f_2 | f_1, f_2, f_3 |
|----------|--------------|-------|-------|-------|------------|-----------------|
| r_{11} | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| r_{12} | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| r_{13} | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| r_{21} | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| r_{22} | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| r_{23} | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| r_{31} | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| r_{32} | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| r_{33} | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |

Tab 3.2 Table des signatures.

Après l'analyse de la table 3.2 on constate que la localisation des défauts est possible dans le cas où l'injection des défauts capteur est non simultanée. Mais la localisation n'est pas possible dans le cas de simultanéité des défauts.

7. Conclusion

Après avoir présenté le modèle système hydraulique trois bacs, nous avons estimé les états du système considéré en utilisant un observateur à entrées inconnues en absence de défauts. Nous avons montré que l'observateur à entrée inconnue converge asymptotiquement et que les sorties estimées sont pratiquement confondues avec les sorties réelles.

Puis, nous avons considéré la présence des défauts capteurs puis du défaut actionneur puis tous les défauts au même temps les défauts ont bien été détectés mais ne peuvent pas être localisés, car chaque défaut possède sa propre signature et un seul observateur ne peut donner qu'une seule signature.

Afin d'y remédier, nous avons proposé l'utilisation d'un banc d'observateurs à entrées inconnues de structure généralisée c'est-à-dire pour chaque défaut on calcule son propre observateur (le nombre d'observateur est égale au nombre de défauts). La table de signature établie montre bien que la localisation est assurée quand l'injection de défaut n'est pas simultanée.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons étudié la détection, la localisation des défauts à base d'observateurs à entrée inconnue appliqués au système hydraulique de trois bacs.

Dans le premier chapitre nous avons présenté les notions de bases de diagnostic ses étapes et ses différentes méthodes.

Dans le deuxième chapitre nous avons étudié quelques observateurs dédiés au diagnostic de défauts pour les systèmes linéaires et non linéaires. Nous avons focalisé notre étude sur les observateurs à entrée inconnue.

Dans le troisième chapitre, nous avons appliqué l'observateur à entrée inconnue pour le diagnostic de défauts du système hydraulique de trois bacs. Dans un premier temps nous avons synthétisé un observateur à entrée inconnue sans présence de défauts et avec présence d'une perturbation inconnue. la convergence de l'observateur est montré par simulation sur le modèle du système à trois bacs. En injectant des défauts capteur sur la sortie du système, on remarque que l'observateur reconstruit bien les états du système en présence de défauts. L'observateur à entrée inconnue synthétisé détecte avec succès les défauts capteurs. Pour l'étape de localisation un banc de trois observateurs à entrée inconnue est conçu. Dans notre cas on s'est intéressé aux défauts capteur, la structure choisie est la structure GOS. Après simulation on remarque que la structure GOS ne permet la localisation que dans le cas de défauts non simultanés.

Comme perspectives on peut voir :

- Une étude comparatives de la structure DOS et GOS la génération des résidus.
- Etude des différents cas de défauts actionneurs, capteurs et système...

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] R. TOSCANO, « Commande et diagnostic des systèmes dynamiques ». Ellipses 2011, France.
- [2] N. Djeghali, « Observation, diagnostic et commande de la machine asynchrone ». Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2013.
- [3] S. Djennoune, « Cours diagnostic ». Promotion Automatique et Systèmes, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2018/2019
- [4] T.M. Laleg, « Contribution aux Méthodes de Diagnostic à Base d'Observateurs et à la Commande Tolérante aux Défauts : Application à la machine Asynchrone et au Robot SCARA ». Thèse d'Ingénieur, ENP d'Alger 2004.
- [5] S. Methnani, « Diagnostic, reconstruction et identification des défauts capteurs et actionneurs : Application aux stations d'épurations des eaux usées ». Thèse doctorat, Université de Toulon, 2012.
- [6] A. Akhenak, « Conception d'observateurs non linéaire par approche multimodèle, application au diagnostic ». Thèse doctorat IAEM de lorraine, 2004.
- [7] A. Ammour, Z. Graichi, « Synthèse d'un observateur fractionnaire à mode glissant pour l'estimation de défauts ». Mémoire de fin d'études. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2017.
- [8] B. Nait Slimani, « Synthèse d'observateurs non linéaires: Application au diagnostic de défauts ». Thèse magistère université de Tizi-Ouzou, 2011.
- [9] A. Mohamed, « Observation et diagnostic de processus industriels à modèle non linéaire : Application aux machines électriques ». Thèse doctorat Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2010.
- [10] H. Oubabas, « contribution au diagnostic et à la commande tolérante aux défauts par l'approche ensembliste ». Thèse doctorat université de Tizi-Ouzou, 2019.

[11] R. N. Clark ,«Detection instrument malfunction in control systems». IEEE Transaction Aerospace and Electronic Systems,1975.

[12] D. Maquin, J. Ragot,«Diagnostic des systèmes linéaires ». Hermes Science Europe,2000.