

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA

Faculté des Nouvelles Technologies de l'information et de la communication

Département d'électronique et de télécommunication



Domaine : Electronique

Spécialité : Automatique

MEMOIRE MASTER ACADEMIQUE

Présenté par :

HARKET Fifi Inchirah et KHELFAOUI Amel

Thème:

**Diagnostic de Défauts du Système
Hydraulique Cinq Cuves**

Soutenu publiquement

Le : 25/05/2017

Devant le jury :

Mr Mancer Abdelghani	M. MAA	Président	UKM Ouargla
Mr Djeddi Abdelghani	M. MAA	Encadreur	UKM Ouargla
Mr Chakour Chouaib	M.MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire :

2016/2017

Liste des figures

Figure I.1	Principe général du diagnostic	4
Figure I.2	Principe du diagnostic des systèmes commandés	4
Figure I.3	Schéma représentant la redondance matérielle	5
Figure I.4	Les trois types de défauts distingués sur un procédé	6
Figure I.5	Evolution temporelle des différents types de défauts a) abrupt, b) graduel et c) intermittent.	7
Figure I.6	Procédure de détection et isolation des défauts	8
Figure I.7	Une classification générale des méthodes de diagnostic	9
Figure I.8	Principe de diagnostic avec modèle	12
Figure II.1	Schéma général d'un système dynamique	14
Figure II.2	Décomposition d'une fonction de transfert	19
Figure II.3	Principe d'estimation d'état	22
Figure II.4	Schéma bloc de la représentation d'état	26
Figure II.5	Schéma structurel de l'observateur de Leunberger	30
Figure II.6	La réponse du système pour trois valeurs différentes du gain d'observateur L	34
Figure III.1	Système hydraulique cinq cuves	36
Figure III.2	Entrées du système cinq cuves	46
Figure III.3	Estimation des sorties du système avec erreurs d'estimation	46
Figure IV.1	Schéma de principe de la génération de résidus à base d'observateur.	48
Figure IV.2	Structure d'observateur simple	49
Figure IV.3	Détection par observateurs dédiés	51
Figure IV.4	Détection par observateurs généralisés	53
Figure IV.5	Observateur DOS pour la détection de défauts d'actionneur	55
Figure IV.6	Observateur GOS pour la détection de défauts d'actionneur	55
Figure IV.7	Observateur DOS pour la détection de défauts de capteurs	56
Figure IV.8	Observateur GOS pour la détection de défauts de capteurs.	56
Figure IV.9	Entrées $u_1(t)$ et $u_2(t)$	58
Figure IV.10	Entrées $u_1(t)$, défaut et bruits considérés	58
Figure IV.11	Sorties du système avec fixation des seuils de détection	59
Figure IV.12	Sorties et leurs estimées banc attaqué par $u_1(t)$	60
Figure IV.13	Sorties et leurs estimées banc attaqué par $u_2(t)$	60
Figure IV.14	Signal de défaut considéré	61
Figure IV.15	Fixation des seuils de détection de défauts capteurs	62
Figure IV.16	Sorties et leurs estimées avec résidus des 5 éléments du banc d'observateurs	63



Abréviations et Symboles

Abréviations

ACP	L'analyse en composantes principales
FDI	Fault Detection and Isolation
GOS	Generalised Observer Scheme
DOS	Dedicated Observer Scheme
DSP	Digital signal processeur
SLI	Système Linéaire Invariant

Symboles

A	Matrice de transition
B	Matrice de commande
D	Matrice de transmission directe
$d(k)$	Vecteur de défaut
$e(t)$	erreur d'estimation d'état
$e(k)$	Vecteur des bruits des mesures
$\dot{e}(t)$	Dynamique de l'erreur d'estimation d'état
E	Matrice qui traduit la direction des défauts
$f(t)$	Vecteur de défaut
f_a	Défaut d'actionneur
f_s	Défaut de capteur
L	Matrice du gain de l'observateur de Luenberger
M	Matrice hurwitz
Q	Matrice de variance-covariance de bruit d'état
$r(t)$	un vecteur de résidus
R(s)	Résidu du système
t	temps
$u(t)$	Commande du système
$v(t)$	Vecteur des bruits d'état de mesure

$w(t)$	Vecteur des bruits d'état
$x(k)$	Vecteur des variables a mesures
$\dot{x}(t)$	Dérivée de vecteur d'état
$\hat{x}(t)$	Estimation optimale de vecteur d'état
$\dot{\hat{x}}(t)$	Dérivée d'estimation d'état
$y(k)$	Vecteur des mesures
$\hat{y}(t)$	Sortie estimée
$z(t)$	Vecteur d'état de l'observateur
∂	Notion de dérivée
ϕ et ψ	Fonctions non-linéaires correspondant respectivement à l'équation Dynamique de l'état

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Tous nos infinis remerciements à notre encadreur Dr.DJEDDI Abdelghani pour son aide, ses conseils et ses remarques qui nous ont permis de présenter notre travail dans sa meilleure forme
Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseignés et qui par leurs compétences nous ont soutenues dans la poursuite de nos études.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont

Porté à notre mémoire en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de

Ce modeste travail, trouvant ici l'expression de notre profonde gratitude et profonds respects.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi

Mon père.

A la mémoire de ma mère.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à mes frères, et mon fiancé.

A toute ma famille, et mes amis, A mon binôme Amel. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

fifi

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi

Mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères et mes sœurs, à mon fiancé Houssam.

A toute ma famille, et mes amis, A mon binôme Fifi. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Amel

Sommaire

Titre	Page
Sommaire	I
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	VI
Liste des symboles	V
Introduction générale	1
Chapitre I: Généralités sur le diagnostic	
I.1 Introduction	2
I.2 Définitions et concepts	2
I.3 Qu'est-ce que le diagnostic ?	3
I.4 Principe de diagnostic de défaut	5
I.4.1 Redondances matérielle	5
I.4.2 Redondance analytique	5
I.5 Modèles des défauts	6
I.6 Différentes origines de défaut	6
I.6.1 Défaut sur le capteur	6
I.6.2 Défaut sur l'actionneur	6
I.6.3 Défaut sur le système ou composants	6
I.7 Type de défauts	7
I.8 Procédure de détection et d'isolation des défauts	7
1.8.1 La détection	7
1.8.2 La localisation	8
1.8.3 L'identification	8
I.9 Classification des méthodes de diagnostic	8
I.10 Méthodes sans modèle mathématique	9
I.11 Méthodes de diagnostic à base de modèle	11
I.11.1 Espace de parité	12
I.11.2 Méthodes d'estimation paramétrique	12
I.11.3 Méthodes à base d'estimation d'état	13
I.12 Conclusion	13
Chapitre II : Estimation d'état des systèmes linéaire	
II.1 Introduction	14
II.2 Systèmes dynamiques	14
II.2.1. Système non linéaire	14

II.3 Linéarisation du système non linéaire	15
II.4 Linéarisation autour d'un point de fonctionnement	16
II.4.1 Exemple 1	17
II.5 Obtention des équations d'état à partir d'une fonction de transfert	18
II.6 Estimateurs d'état	20
II.7 Principe d'estimation d'état	21
II.8 Caractéristiques d'un système linéaire	22
II.8.1 Fonction de transfert	22
II.8.2 Stabilité	23
II.8.3 Variables d'état	23
II.8.4 Représentation des systèmes linéaires	24
II.9 Observabilité	25
II.9.1 Observabilité des systèmes linéaires	26
II.10 Observateurs des systèmes linéaires	27
II.10.1 Observateur de Luenberger	27
II.11 Exemple 2	31
II.12 Observateur à entrées inconnues	33
II.13 Conclusion	35

Chapitre III : Modélisation du système non linéaire Cinq cuves

III.1 Introduction	36
III.2 Modélisation du système hydraulique Cinq cuves	36
III.2.1 Description du système	36
III.2.2 Modèle mathématique du système	37
III.2.2.1 Le sous-système s/s1	37
III.2.2.2 Le Sous-système s/s2	38
III.2.2.3 Le Sous-système s/s3	39
III.3 Construction d'observateur a entrée inconnue	41
III.3.1 la synthèse de l'algorithme de l'observateur	42
III.4 Simulation sans défauts	45
III.5 Conclusion	47

Chapitre IV : Diagnostic de défauts du système hydraulique Cinq cuves

IV.1 Introduction	48
IV.2 Diagnostic à base d'observateur	48
IV.3 Détection par observateur simplifié	49

IV.4 Détection de défaut par observateur	49
IV.4.1 Calcul des résidus	49
IV.4.2 Fixation du seuil de détection	50
IV.5 Détection par observateur généraliser et dédiée	50
IV.5.1 Approche par observateur dédiée (Dedicated Observer Scheme (DOS))	50
IV.5.2 Approche par observateur généralisé (Generalised Observer Scheme (GOS))	52
IV.6 Diagnostic de défauts actionneurs	53
IV.7 Diagnostic de défauts capteurs	55
IV.8 Diagnostic de défauts du système hydraulique 5 cuves	57
IV.8.1 Diagnostic de défaut actionneurs	58
IV.8.2 Diagnostic de défaut capteur	61
IV.8 Conclusion	64
Conclusion générale	65
Bibliographie	VII



Introduction Générale

Le diagnostic est un système d'aide à la décision qui permet de détecter et localiser les composants ou les organes défectueux d'un système et éventuellement de déterminer ses causes.

De manière générale, le diagnostic est le raisonnement menant à l'isolation et l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, à partir des caractères ou symptômes relevés par des observations, des contrôles ou des tests.

L'objectif du diagnostic consiste à détecter, localiser et éventuellement identifier le (ou les) défaut(s) affectant le système étudié. Plusieurs méthodes utilisées pour faire le diagnostic du système, on distingue des méthodes à base de modèle et d'autres méthodes sans modèle.

La nécessité du diagnostic de défauts pour les systèmes industriels a conduit au développement de nouvelles techniques. Parmi ces nouvelles techniques développées, l'automatique industrielle introduit les notions d'observation des systèmes.

L'objectif de ce travail consiste on l'utilisation des observateurs pour faire le diagnostic de défauts affectant les capteurs et/ou les actionneurs d'un système hydraulique à cinq cuves.

Pour concrétiser l'objectif cherché, notre mémoire est composé de quatre chapitres organisés de la façon suivante :

Chapitre 1 : Présente des concepts généraux sur le diagnostic. Il sera notamment consacré aux concepts fondamentaux du diagnostic des systèmes à bases de modèles.

Chapitre 2 : Dans ce chapitre on présente un rappelle sur la représentation d'état, la reconstruction de l'estimateur d'état (Observateur) d'un système et les deux type d'observateurs (Luenberger et à entrées inconnues) pour les systèmes linéaires.

Chapitre 3 : Ce chapitre présente la description du système hydraulique à cinq cuves, le modèle non linéaire du système considéré, la linéarisation du modèle non linéaire, et l'estimation des états du système linéarisés.

Chapitre 4 : Ce chapitre sera consacré à l'application de la méthode de diagnostic basée sur l'utilisation des bancs d'observateurs. On présente les étapes à suivre pour faire la détection et localisation de défaut appliqué sur un système hydraulique cinq cuves.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives.

I.1 Introduction :

Selon, le contexte et le domaine d'application, le mot diagnostic peut avoir plusieurs interprétations. Le diagnostic des procédés industriels a pour objet de trouver la cause d'une défaillance ou d'un défaut, il est défini par les instances internationales de normalisation comme étant un processus d'identification de la cause probable des défaillances à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. De manière générale, lorsqu'on parle de diagnostic des défauts, on se réfère à la procédure de détection et d'isolation de ces derniers, que l'on retrouve souvent sous le nom: FDI (Fault Détection and Isolation). Cette procédure nous permet d'avoir des informations sur l'apparition d'un défaut et sur sa provenance le plus rapidement possible. Les méthodes de détection et de localisation des défauts ont connu un essor considérable depuis le début des années 70 [1,2].

En effet, de nombreux chercheurs ont investi dans ce domaine proposant alors diverses approches et techniques répondant à la diversité des applications. Nous proposons dans ce chapitre de faire un bref rappel sur le diagnostic des défauts dans les systèmes physiques. L'intérêt se portera essentiellement sur le problème de détection et d'isolation des défauts. Il est question, dans un premier temps, de donner les différents concepts et notions rencontrés dans la littérature concernant le diagnostic des défauts, car un bon diagnostic nécessite une bonne compréhension de ces notions. Le principe de base du diagnostic sera alors présenté ainsi que les différentes méthodes proposées dans ce domaine. D'autre part, nous allons présenter la procédure générale de détection et d'isolation des défauts par les méthodes à base de modèle mathématique. Cette dernière passe par deux étapes essentielles : la génération et l'évaluation du vecteur résidu. Mais auparavant, nous allons introduire la manière avec laquelle aborder un problème FDI [3].

I.2 Définitions et concepts :

Le diagnostic de défauts est une procédure qui consiste à détecter, localiser et identifier un composant ou un élément défectueux dans un système dynamique. Pour pouvoir évoquer les événements pouvant survenir dans un système nous allons définir les termes suivants [4] :
Une panne : Etat d'un système incapable d'assurer le service spécifié à la suite d'une défaillance [4].

Un défaut : L'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir ses fonctions requises avec des performances définies dans les spécifications techniques [4].

Une défaillance : Perte partielle ou totale des fonctionnalités du système qui le rend incapable de délivrer le service pour lequel il a été conçu [4].

Une anomalie : est une particularité non conforme à la loi naturelle ou logique [5].

Une perturbation : entrée du système physique qui n'est pas une commande. Autrement dit, c'est une entrée non commandée [6].

Un résidu : Un indicateur de défauts basé sur la différence entre les mesures et les calculs [7].

Un symptôme: est un caractère distinctif d'un état fonctionnel ou comportemental anormal [7].

Le diagnostic : Le diagnostic consiste à détecter, localiser et éventuellement identifier les défauts qui affectent un système [8].

La surveillance : est une tâche continue, réalisée en temps réel, qui permet de déterminer l'état d'un système physique, elle consiste en l'enregistrement des informations ainsi qu'en la reconnaissance et l'indication des anomalies du comportement [3].

La sensibilité : représente la capacité d'un système de diagnostic à générer des résidus sensibles aux défauts à détecter. Ces défauts sont généralement caractérisés par une certaine amplitude [3].

La supervision : est la surveillance d'un système physique et la prise de décisions appropriées en vue de maintenir son opération lors de l'apparition de défauts [3].

I.3 Qu'est-ce que le diagnostic ?

Le diagnostic est une procédure qui consiste à détecter et localiser un composant ou un élément défectueux dans un système dynamique. On désigne par détection la capacité à mettre en évidence l'apparition d'un ou plusieurs défauts. On parle de localisation quand on est, de plus, capable de préciser la nature du ou des défauts occurrents. La structure générale d'une procédure de diagnostic est représentée sur la figure I.1 où le module de diagnostic est alimenté par toute la connaissance disponible (observation et modèle) sur le système. Cette connaissance inclut les mesures des variables et toute autre information pouvant être utile pour le diagnostic comme, par exemple, la structure du système. Le module de diagnostic traite les observations et produit un "diagnostic" qui est une liste de défauts possibles pouvant affecter le système au cours du temps [9].

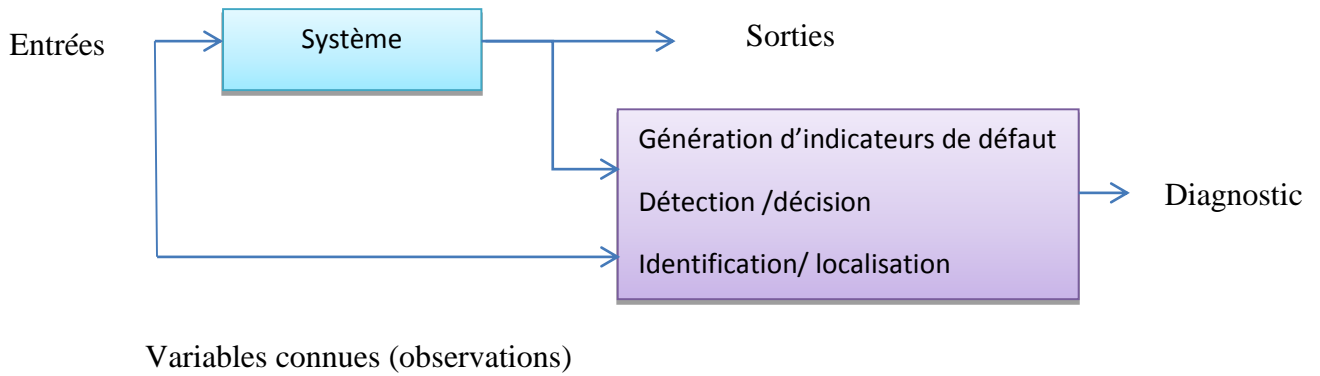


Figure I.1 : Principe général du diagnostic

Souvent, le système est régulé par un contrôleur dans le but d'améliorer ses performances. Dans ce cas, les variables connues sont les sorties du contrôleur et les mesures de sorties fournies par les capteurs. Ce cas est illustré par la figure I.2 qui illustre une complication fondamentale pour la synthèse du module de diagnostic due à la présence non seulement des défauts mais aussi de perturbations. Ces deux types d'entrées non contrôlées et généralement non mesurables affectent l'évolution du système et dégradent ses performances. Les perturbations appelées aussi entrées inconnues, ne sont pas considérées comme des défauts mais influencent également l'évolution du système [9].

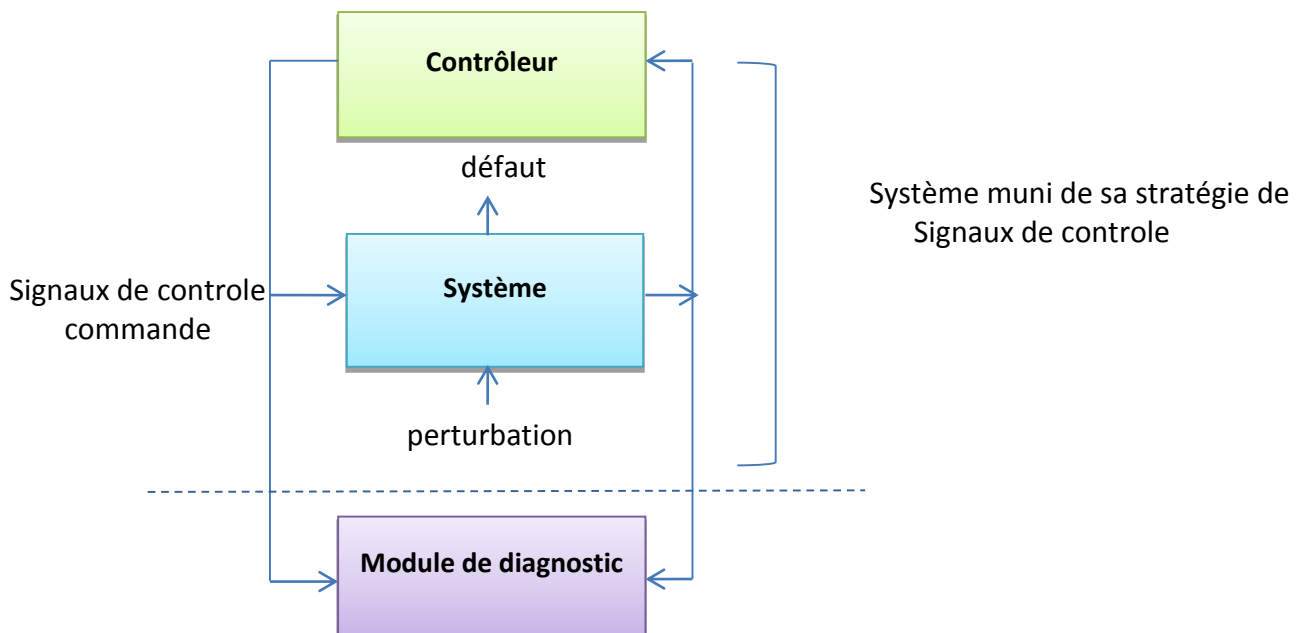


Figure. I.2 : Principe du diagnostic des systèmes commandés

Le module de diagnostic doit distinguer de ce fait l'influence provoquée par ces entrées inconnues et celle causée par les défauts [9].

I.4 Principe de diagnostic de défaut :

I.4.1 Redondances matérielle :

Le principe de base du diagnostic des défauts repose sur la notion de redondance, qui fournit au système plusieurs informations différentes sur une même variable. Des tests vont alors permettre de vérifier la cohérence de ces informations. Cependant, il existe deux approches: La première dite traditionnelle consiste à ajouter des capteurs afin d'obtenir des informations supplémentaires sur l'état du système. C'est la redondance matérielle [10].

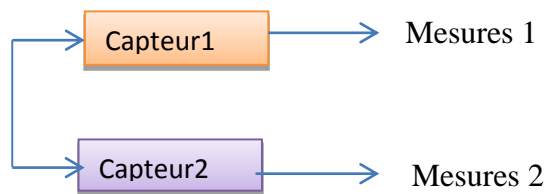


Figure I.3: Schéma représentant la redondance matérielle

L'inconvénient majeur de cette approche est le coût additionnel en équipement. La deuxième approche est dite redondance analytique. Elle consiste à développer des algorithmes de détection et de localisation des défauts en utilisant les mesures disponibles sur le système. Une équation de redondance analytique est une équation dans laquelle toutes les variables sont connues. Pour éviter les fausses alarmes ou les manques de détection, ces algorithmes doivent tenir compte des bruits de mesure, des perturbations ainsi que des erreurs de modélisation. Les méthodes basées sur cette approche sont plus simples, plus flexibles, moins coûteuses et plus écologiques que l'approche traditionnelle [3, 10].

I.4.2 Redondance analytique :

Un complément à la redondance physique consiste à exploiter les contraintes liant les différentes variables du système. Ces contraintes peuvent souvent s'exprimer sous la forme de relations analytiques liant les variables connues (relations d'entrée/sortie ou de sortie/sortie). Ces relations sont appelées relations de redondances analytiques. Le principe de la surveillance consiste à vérifier la fermeture algébrique de ces relations en utilisant les mesures prélevées en ligne sur le système. Le concept de redondance analytique repose sur l'utilisation d'un modèle mathématique du système à surveiller [11]. Pour cette raison, les méthodes utilisant la redondance analytique pour la surveillance sont appelées méthodes à

base de modèle. Le principe de la surveillance utilisant un modèle peut être séparé en deux étapes : la génération de résidus et la prise de décision [12].

I.5 Modèles des défauts :

Un modèle de défaut est une représentation formelle de la connaissance des défauts et de leurs façons d'influencer le système. En général, l'utilisation de modèles de défauts assure une meilleure performance du diagnostic. Plus précisément, des défauts de faibles amplitudes peuvent être détectés et différents types de défauts peuvent être localisés. Dans la suite, nous allons décrire les concepts fondamentaux de la détection de défauts et leur diagnostic en utilisant la redondance analytique [9].

I.6 Différentes origines de défaut :

On observe plusieurs origines de pannes possibles pouvant modifier les relations de causes à effets d'un processus. Les défauts sont des événements qui apparaissent à différents endroits du système. Dans la littérature, les défauts sont classés en fonction de leur localisation, définissant alors trois types de défauts. Sur un procédé, on distingue trois types de défauts [13] :

I.6.1 Défaut sur le capteur : se traduit par le fait que la mesure fournie par le capteur ne correspond pas à la réalité car elle est entachée d'une erreur [13].

I.6.2 Défaut sur l'actionneur : se traduit, quand à elle, par le fait que l'actionneur ne réagit pas correctement à la commande qui lui est imposée [13].

I.6.3 Défaut sur le système ou composants : correspond à une modification permanente et suffisante de ses caractéristiques physiques [13].

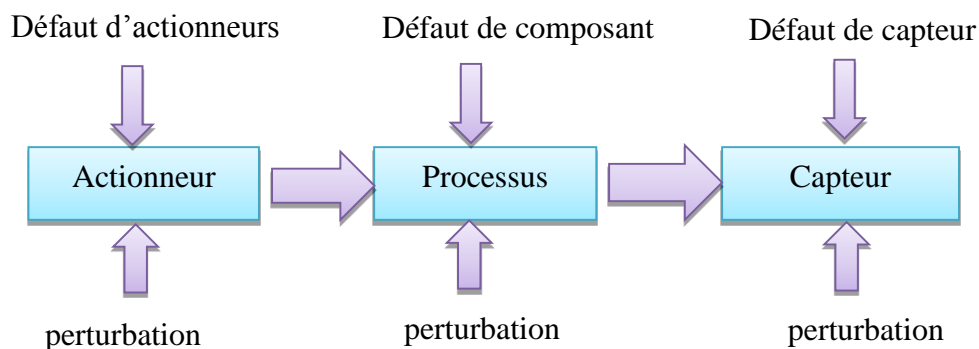


Figure I.4: Les trois types de défauts distingués sur un procédé

I.7 Type de défauts :

Les défauts peuvent être différenciés selon leur forme et leur comportement dans le temps. En générale on distingue trois types:

- **Défaut abrupt** : il est caractérisé par une discontinuité de l'évolution temporelle de la variable [14].

Il est caractéristique d'une panne brutale : arrêt total ou partiel de connexion [3].

- **Défaut intermittent** : Ce défaut est un cas particulier de défaut abrupt avec la propriété particulière que le signal revient de façon aléatoire à sa valeur normale. Ce type de défauts caractérise les faux contacts [3].

- **Défaut graduel**: c'est un défaut caractéristique d'une usure d'une pièce ou d'un encrassement. Il est très difficile à être détecté à cause de son évolution temporelle qui peut être confondue à une modification paramétrique lente représentant le non stationnarité du procédé [15].

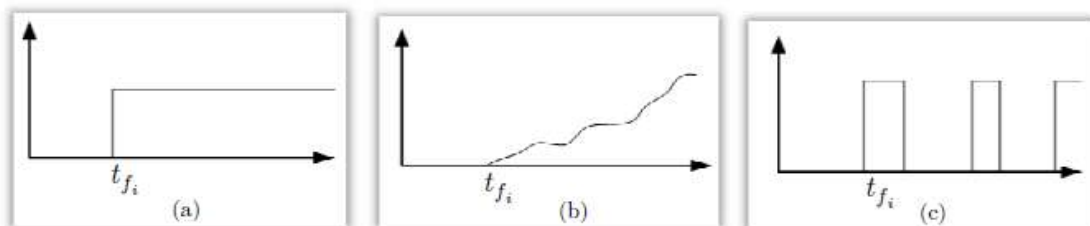


Figure I.5 : Evolution temporelle des différents types de défauts

a) abrupt, b) graduel et c) intermittent.

I.8 Procédure de détection et d'isolation des défauts :

Comme elle est représentée par la figure I.3, La procédure de détection passe par trois étapes à savoir la localisation, la localisation et l'identification des défauts [3]:

1.8.1 La détection : C'est l'étape qui décide si le système est soumis à un défaut ou pas. Elle consiste dans la plus part des cas à générer le vecteur résidu, qui est nul en fonctionnement normal et est comparé en ligne aux signatures de pannes.

La détection de pannes est souvent suivie d'une procédure d'isolation de pannes, qui sert à distinguer (isoler) une panne particulière. Un seul résidu peut suffire pour détecter les pannes, cependant plusieurs résidus (ou un vecteur de résidus) sont souvent requis pour l'isolation de panne.

1.8.2 La localisation : Consiste à remonter vers l'origine de défaut (capteur, actionneur ou composant du système).

1.8.3 L'identification : L'ampleur et le type des défauts sont estimés dans cette phase.

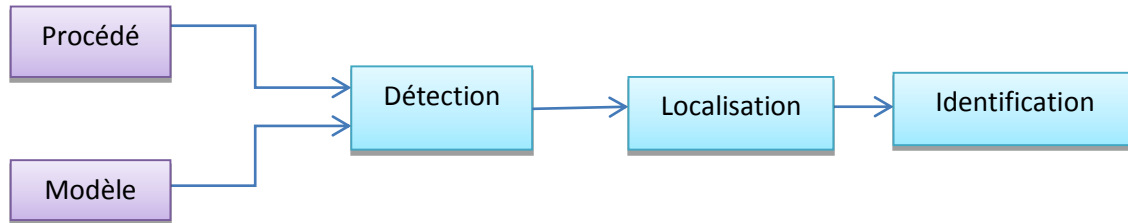


Figure I.6: Procédure de détection et d'isolation des défauts.

I.9 Classification des méthodes de diagnostic :

Les méthodes de diagnostic se distinguent selon différents critères: la dynamique de procédé (discret, continu ou hybride), sa complexité, l'implémentation de diagnostic en ligne et/ou hors ligne, la nature d'information (qualitative et/ou quantitative), sa profondeur (structurelle, fonctionnelle et/ou temporelle), sa distribution (centralisée, décentralisée ou distribuée)...etc. Dans ce contexte, plusieurs classifications sont proposées dans la littérature [16][17][18][19]. Ces classifications sont influencées par les terminologies et les contextes particuliers de chaque communauté et ne pas toujours homogènes. Nous présentons une classification non exhaustive des méthodes de diagnostic en deux grandes familles (figure (I.7)):

- Les méthodes sans modèle mathématique qui ne nécessitent pas de connaissances accrues du système physique, mais des connaissances superficielles,
- Les méthodes à base de modèles qui nécessitent une connaissance approfondie du système physique.

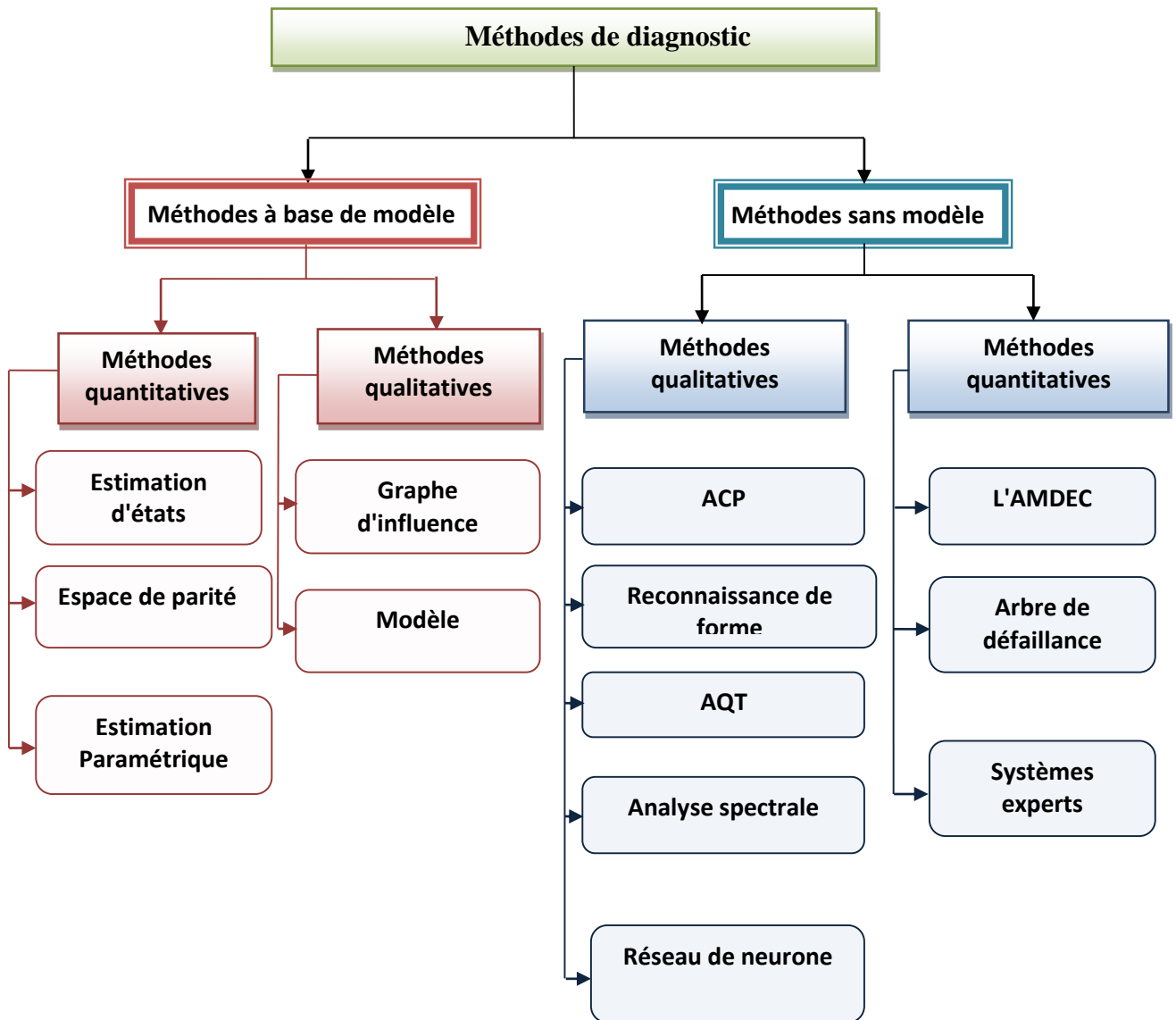


Figure I.7 : Une classification générale des méthodes de diagnostic.

I.10 Méthodes sans modèle mathématique :

Tout d'abord, les méthodes n'utilisant pas de modélisations mathématiques sont passées en Revue. Gertler, dans[23], donne une classification de ces différentes méthodes.

a. Les méthodes dites mono-signal :

- **Vérification de seuils atteint :**

Les mesures sont comparées à des seuils critiques définis par avance. Le fait de dépasser Cette limite présente des dangers quant à l'utilisation du processus ; le système est mis en Défaut. Dans beaucoup de systèmes, deux niveaux limites sont définis : les services du

Premier niveau conduisent seulement à l'avertissement préalable de l'existence d'un défaut, Tandis que le deuxième niveau déclenche des mesures d'urgence [8].

- **Mise en place de capteurs dédiés :**

Ces capteurs peuvent être soit des détecteurs vérifiant de manière simple si les valeurs critiques sont atteintes ou non (par exemple, température limite ou pression) ou soit des capteurs mesurant des variables spécifiques (par exemple : bruit, vibration, élongation) [8].

- **Le traitement statistique :**

Le traitement statistique du signal consiste à calculer les paramètres statistiques de certaines variables significatives du processus tels que les moments statistiques (moyenne, variance,...), la somme cumulée, ... Chacune des valeurs statistiques est testée afin de détecter un défaut présent sur le signal [8].

- **L'analyse spectrale :**

Certaines mesures ont un spectre typique de fréquence sous des conditions normales de fonctionnement ; toute déviation de celui-ci est une indication d'anomalie. Certains types de défaut peuvent même avoir une signature caractéristique dans le spectre qui peut être utilisé pour l'isolation des défauts [24].

- b. Les méthodes dites multi-signal :**

- **La redondance matérielle :**

La redondance matérielle consiste en la mise en place d'une série de capteurs mesurant la même grandeur physique sur un même organe du système. Les comparaisons par différence des mesures des capteurs deux à deux forment alors les résidus. Si un des capteurs est défaillant, il est alors détecté et isolé facilement, car il affecte tous les résidus où il intervient. De nombreuses applications industrielles appliquent cette méthode de diagnostic [25] [26].

Cette méthode est pour les systèmes présentant des hauts risques, comme les centrales nucléaires, l'aéronautique. il s'agit de systèmes sur lesquels la sécurité prime sur le coût et la maintenance des capteurs.

- **Les systèmes experts :**

L'approche par systèmes experts est différente des méthodes précédentes, dans le sens où elle vise à évaluer les symptômes obtenus par la détection matérielle ou logicielle. Le système expert se compose habituellement d'une combinaison de règles logiques du genre :

SI [état du système i] *ET* (fait observable)

ALORS [état du système j],

Où chaque conclusion peut, alternativement, servir d'état dans une prochaine règle jusqu'à ce que la conclusion finale soit atteinte. Le système expert peut soit fonctionner grâce à l'information qui lui est présentée par la détection matérielle ou logicielle ou soit interagir avec un opérateur humain, s'enquérant auprès de lui des symptômes particuliers et le guidant au travers des processus entièrement logiques [27].

▪ **Méthodes qualitatives :**

Les méthodes qualitatives ont pour cadre l'approche logique provenant de la communauté Intelligence Artificielle. Ces méthodes reposent sur la quantification des signaux d'entrées et de sorties. Dès lors, tous les signaux sont partitionnés en valeurs discrètes tout en s'assurant que le modèle fournit les informations nécessaires afin de distinguer le cas sans défaut du cas avec défaut. L'identification du modèle qualitatif peut être faite grâce à un automate où chaque région est représentée par un mode. Le passage d'un mode à l'autre se fait par le franchissement de valeurs frontières et cela avec une probabilité donnée. Le diagnostic consiste à regarder la concordance entre les régions des sorties vis-à-vis des régions des entrées et cela pour un certain nombre de défauts définis [8].

▪ **L'analyse en composantes principales – ACP :**

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique descriptive permettant d'étudier les relations qui existent entre les variables, sans tenir compte, a priori, d'un quelconque modèle [8, 28].

I.11 Méthodes de diagnostic à base de modèle :

Le principe de ces méthodes consiste à comparer le comportement du système avec le comportement du modèle qualitatif et/ou quantitatif établi. Tout écart est alors synonyme d'une défaillance, comme indiqué dans le schéma de la figure I.8. Il est nécessaire donc d'avoir des connaissances approfondies sur le procédé à diagnostiquer sous la forme d'un modèle représentatif, qui fournit des grandeurs caractéristiques du procédé qui seront constamment comparées aux grandeurs issues du procédé réel. Selon le type du modèle (qualitatif et/ou quantitatif), on peut distinguer deux branches de méthodes : les méthodes quantitatives issues de la communauté FDI (Fault Detection and Isolation) et les méthodes qualitatives issues des communautés intelligence artificielle. La dissociation entre les

méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives n'implique pas que ces deux aspects sont disjoints. En réalité, ces deux types d'approche peuvent coexister au sein d'une même méthode de diagnostic [3].

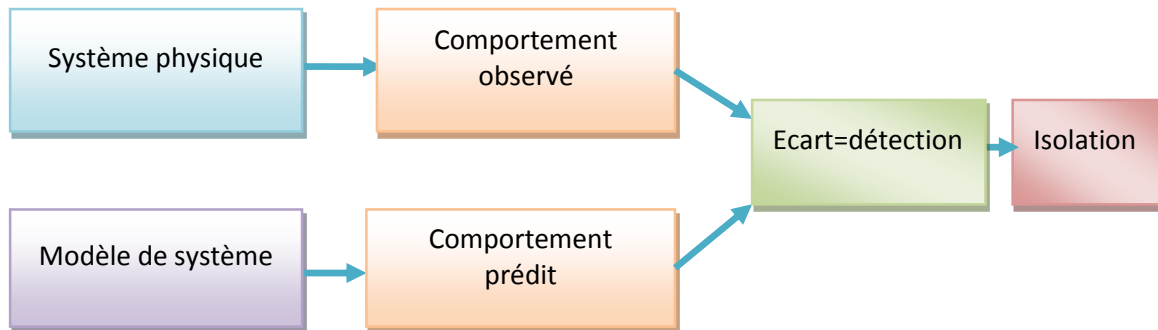


Figure I.8: Principe de diagnostic avec modèle

I.11.1 Espace de parité :

Cette méthode est utilisable à la fois dans le cas des systèmes déterministes et dans le cas des systèmes stochastiques. Elle s'appuie sur l'élaboration de signaux permettant de tester la cohérence des mesures par rapport à leurs valeurs calculées à l'aide d'un modèle (on parle aussi de consistance des mesures, de leur parité). D'un point de vue général, la méthode consiste à vérifier les relations algébriques entrées/sorties du modèle en utilisant les mesures réelles. Pour cela, les signaux recueillis sur le système sont injectés dans les relations entrées/sorties et les signaux ainsi créés sont utilisés comme résidus. La méthode a été développée au début pour le cas statique, puis elle a été généralisée plus tard pour cas des systèmes dynamiques. Cette généralisation utilise la redondance temporelle, c'est à-dire des relations faisant intervenir les valeurs des sorties des capteurs et les entrées des actionneurs à différents instants. Enfin, la redondance fréquentielle est également utilisée [3].

I.11.2 Méthodes d'estimation paramétrique :

Quand la structure du modèle est connue la détection et la localisation des défauts peuvent être effectuées en utilisant des techniques d'identification. L'idée de base consiste à estimer les paramètres du système en temps réel et de les comparer aux paramètres non affectés par les défauts [20]. Pour cela on doit établir un modèle mathématique du système à diagnostiquer et décrire toutes les relations qui existe entre les constantes physiques et les paramètres du modèle, puis estimer les paramètres du système ainsi que ceux du modèle à

partir des entrées et sorties du système. Le vecteur de résidus est obtenu en faisant la différence entre les grandeurs estimées et les valeurs nominales [3].

I.11.3 Méthodes à base d'estimation d'état :

Cette approche s'appuie sur une bonne connaissance du modèle et de ses paramètres, et nécessite l'intégration des diverses relations qui, contrairement aux relations de parité, sont différentielles. Le diagnostic de défaut à base d'observateurs est basé sur le principe de génération de résidus en comparant les grandeurs disponibles du système réel aux grandeurs estimées (issues de l'observateur). L'état du système est reconstruit en se recalant à l'aide de certaines mesures [22], le gain de l'estimateur dépendant des objectifs et des performances désirées. Dans le cas des systèmes linéaires, la structure de base des reconstitueurs est toujours la même, un modèle parallèle corrigé à l'aide de l'erreur d'estimation multipliée par un gain adéquat, mais dans le cas non linéaires le problème s'avère difficile. En diagnostic, la construction d'observateur est beaucoup plus complexe que ce que il en est dans le cas de commande dans la mesure où les paramètres d'observateurs jouent un rôle aussi sur la manière dont les défauts vont affecter les résidus. En plus d'assurer la stabilité, ces paramètres doivent permettre de structurer les résidus afin de localiser les défauts. Cependant, pour ce type de stratégie, si une anomalie apparaît, elle affecte en général toutes les composantes des vecteurs résidus ; de ce fait, le problème de localisation est plus complexe que ce qu'il en est dans le cadre de l'espace de parité. Pour résoudre ce problème, une solution consiste à construire des bancs d'observateurs où chacun d'entre eux surveille un défaut [21].

I.12 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté, un bref rappel sur le concept et la terminologie propre au diagnostic de défauts. Les méthodes de diagnostic sans modèle et les méthodes à base de modèle ainsi que les différentes natures de défauts ont été déployées.

II.1 Introduction:

En automatique et en théorie de l'information, un observateur d'état est une extension d'un modèle représenté sous forme de représentation d'état. Lorsque l'état d'un système n'est pas mesurable, on conçoit un observateur qui permet de reconstruire l'état à partir d'un modèle du système dynamique et des mesures d'autres grandeurs [29].

L'estimation d'état d'un système joue un rôle important dans le diagnostic des systèmes, car elle permet de générer des symptômes de défaillance du système à partir d'une comparaison entre les variables mesurées et celles estimées.

Dans ce chapitre, nous allons présenter un rappel sur les systèmes dynamique, par la suite, nous allons examiner la construction des estimateurs d'état, qui vont servir pour le calcul des résidus.

II.2 Systèmes dynamiques :

Un système est dit dynamique si son comportement évolue au cours du temps. Il peut être représenté du point de vue conceptuel par le schéma suivant [30] :

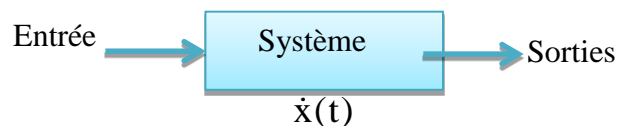


Figure. II.1 : Schéma général d'un système dynamique

II.2.1 Systèmes non linéaires:

La plupart des systèmes qui nous entourent se modélisent par des systèmes non linéaires. En raison des différents types de non linéarités pouvant intervenir dans la modélisation, il est très difficile d'établir des méthodes génériques comme dans le cas des Systèmes linéaires [30].

La représentation d'état d'un système dynamique non linéaire supposé définis dans les conditions nominales est donnée par les équations:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \phi(x, u, t) \\ y(t) &= \psi(x, u, t)\end{aligned}\tag{II.1}$$

Où la variable t représente le temps, $x \in \mathfrak{R}^n$ le vecteur d'état, $u \in \mathfrak{R}^m$ le vecteur de commande ou entrée, $y \in \mathfrak{R}^p$ le vecteur de mesure ou de sortie ϕ et ψ , sont les fonctions non-linéaires correspondant respectivement à l'équation dynamique de l'état et à l'équation de mesure [31].

Nous allons considérer le système autour d'un équilibre, qui peut être constant ou pas. Dans le premier cas il s'agira d'un point de fonctionnement et dans le deuxième, nous envisagerons une trajectoire. Mais ce qui est important, c'est que nous allons considérer des variations autour de cet équilibre. Le modèle linéaire obtenu ne sera donc pas entre les variables initiales mais entre les écarts de ces variables.

II.3 Linéarisation du système non linéaire:

Malgré les différents travaux réalisés dans le cadre de diagnostic des systèmes non linéaires, mais lors de leur mise en place pratique, ces méthodes ont un coût assez prohibitif. Souvent les méthodes linéaires ou linéarisés sont préférées. La linéarisation du système non-linéaire passe par l'écriture du développement limiter d'ordre 1 du système. Ainsi l'écriture d'un système non-linéaire sous une forme linéarisée va être définie par le système (II.2) en définissant les matrices $A(t)$ $B(t)$ $C(t)$ $D(t)$ de la façon suivante [32] :

$$\begin{aligned}A(t) &= \left. \frac{\partial \phi(x, u, t)}{\partial x(t)} \right|_{x_0, u_0, t_0} & B(t) &= \left. \frac{\partial \phi(x, u, t)}{\partial u(t)} \right|_{x_0, u_0, t_0} \\ C(t) &= \left. \frac{\partial \psi(x, u, t)}{\partial x(t)} \right|_{x_0, u_0, t_0} & D(t) &= \left. \frac{\partial \psi(x, u, t)}{\partial u(t)} \right|_{x_0, u_0, t_0}\end{aligned}\tag{II.2}$$

Où le symbole ∂ désigne la notion de à dérivée partielle, x_0, u_0 et, t_0 respectivement l'état, la Commande et l'instant où la linéarisation est appliquée.

Il existe plusieurs méthodes de linéarisation, parmi lesquelles on cite:

- ❖ Linéarisation, autour d'un point de fonctionnement.
- ❖ linéarisation, autour de plusieurs points de fonctionnements.
- ❖ linéarisation tangente.
- ❖ Approchemultimodales.

Chacune de ces méthodes de linéarisation à des avantages et des inconvénients, et le choix de L'une d'entre elle est liée au cahier de charge du système à linéariser ainsi qu'à son application on va se limiter dans ce chapitre de présenter la méthode de linéarisation autour d'un point de fonctionnement.

II.4 Linéarisation autour d'un point de fonctionnement:

Considérons un point d'équilibre constant du système (II.1) que l'on note $E = (y_e, x_e, u_e) = 0$, ce point d'équilibre est défini par [30]:

$$\begin{aligned} \varphi(0, x_e, u_e) &= 0 \\ \psi(y_e, x_e, u_e) &= 0 \end{aligned} \tag{II.3}$$

On a introduit les variables d'écart :

$$\begin{aligned} \delta x &= x - x_e \\ \delta y &= y - y_e \\ \delta z &= z - z_e \end{aligned} \tag{II.4}$$

et en effectuant un développement limite au premier ordre des équations non linéaires(II.1) on obtient [30] :

$$\underbrace{\varphi(\dot{x}(t), x(t), u(t))}_0 = \underbrace{\varphi(0, x_e, u_e)}_0 + \left[\frac{\partial \varphi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \alpha} \right]_E \delta \dot{x}(t) + \left[\frac{\partial \varphi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \beta} \right]_E \delta x(t) + \left[\frac{\partial \varphi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \gamma} \right]_E \delta u(t) \tag{II.5}$$

$$\underbrace{\psi(y(t), x(t), u(t))}_0 = \underbrace{\psi(y_e, x_e, u_e)}_0 + \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \alpha} \right]_E \delta y(t) + \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \beta} \right]_E \delta x(t) + \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \gamma} \right]_E \delta u(t) \tag{II.6}$$

Ce qui nous donne :

$$0 = \left[\frac{\partial \varphi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \alpha} \right]_E \delta \dot{x}(t) + \left[\frac{\partial \varphi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \beta} \right]_E \delta x(t) + \left[\frac{\partial \varphi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \gamma} \right]_E \delta u(t) \quad (\text{II.7})$$

$$0 = \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \alpha} \right]_E \delta y(t) + \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \beta} \right]_E \delta x(t) + \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \gamma} \right]_E \delta u(t)$$

Ainsi lorsque les matrices $\left[\frac{\partial \varphi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \beta} \right]_E$ et $\left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \alpha} \right]_E$ sont non singulières, on obtient

le système d'état suivant linéarisée autour de E [33].

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= AX(t) + BU(t) \\ Y(t) &= CX(t) + DU(t) \end{aligned} \quad (\text{II.9})$$

$X(t) = \delta x(t)$, $U(t) = \delta u(t)$, $Y(t) = \delta y(t)$ **et :**

$$\begin{aligned} A &= - \left[\frac{\partial \Phi(\alpha, \beta, \delta)}{\partial \alpha} \right]_E^{-1} \left[\frac{\partial \Phi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \beta} \right]_E, & B &= - \left[\frac{\partial \Phi(\alpha, \beta, \delta)}{\partial \alpha} \right]_E^{-1} \left[\frac{\partial \Phi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \gamma} \right]_E \\ C &= - \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \alpha} \right]_E^{-1} \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \beta} \right]_E, & D &= - \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \alpha} \right]_E^{-1} \left[\frac{\partial \psi(\alpha, \beta, \gamma)}{\partial \gamma} \right]_E \end{aligned} \quad (\text{II.10})$$

II.4.1 Exemple 1:

Considérons le système de Lotka-volterra [33] :

$$s = \begin{cases} \dot{x} = (1 - Z)x \\ Z = (1 - x)Z \end{cases} \quad (\text{II.11})$$

Rappelons que $\begin{pmatrix} x_e \\ z_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ est un point d'équilibre autour de ce dernier. En utilisant l'équation (II.11) on obtient [37]:

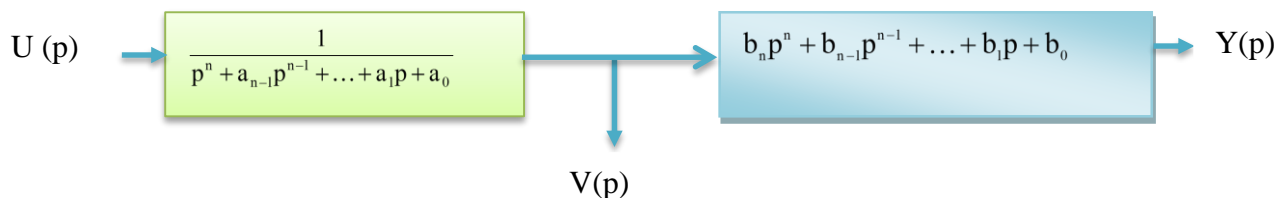
$$\begin{aligned}
 y &= f(x_e, z_e) + \left[\frac{\partial f(x, z)}{\partial x} \right]_{x_e, z_e} (x - x_e) + \left[\frac{\partial f(x, z)}{\partial z} \right]_{x_e, z_e} (z - z_e) \\
 &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 - z_e & -x_e \\ z_e & -1 + x_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_e \\ z - z_e \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - 1 \\ z - 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -z + 1 \\ x - 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{II.12}$$

II.5 Obtention des équations d'état à partir d'une fonction de transfert:

Pour simplifier les calculs, nous ne considérerons que le cas mono-entrée, mono-sortie. Considérons donc la fonction de transfert d'un système mono-entrée, mono-sortie [34].

$$H(p) = \frac{y(p)}{u(p)} = \frac{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0}{p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}
 \tag{II.13}$$

Pour ce système, nous introduisons une variables auxiliaire (état partiel) $v(p)$ tel que $H(p)$ se décompose la façon suivante [34]:



FigureII.2: Décomposition d'une fonction de transfert

$$\frac{V(p)}{U(p)} = \frac{1}{p^n + a_{n-1}p^{n-1} + \dots + a_1p + a_0} \quad (\text{II.14})$$

$$\frac{Y(p)}{V(p)} = b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0 \quad (\text{II.15})$$

De (II.15), on tire que :

$$y(t) = b_n v^n(t) + b_{n-1} v^{n-1}(t) + \dots + b_1 \dot{v}(t) + b_0 v(t) \quad (\text{II.16})$$

De même, de(II.14) on a :

$$u(t) = v^n(t) + a_{n-1} v^{n-1}(t) + \dots + a_0 v(t) \quad (\text{II.17})$$

Soit,

$$v^n(t) = a_{n-1} v^{n-1}(t) + \dots - a_0 v(t) - u(t) \quad (\text{II.18})$$

En posant :

$$\begin{cases} x_1 = v \\ x_2 = \dot{v} \\ \vdots \\ x_n = v^{n-1} \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

On obtient,

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \vdots \\ \dot{x}_n = v^n = -a_0 x_1 - a_1 x_2 - \dots - a_{n-1} x_n + u \end{cases} \quad (\text{II.20})$$

En outre, de (2.14) et (2.15), la sortie $y(t)$ prend la forme :

$$y(t) = (b_0 - b_n a_0) x_1 + (b_1 - b_n a_1) x_2 + \dots + (b_{n-1} - b_n a_{n-1}) x_n + b_n u \quad (\text{II.21})$$

Soit, sous forme vectorielle.

$$y(t) = (b_0 - b_n a_0 \quad b_1 - b_n a_1 \quad \dots \quad b_{n-1} - b_n a_{n-1}) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} + b_n u \quad (\text{II.22})$$

II.6 Estimateurs d'état:

Un estimateur est défini comme un système dynamique dans lequel ses grandeurs d'état sont des estimations des variables d'état d'un autre système, par exemple, une machine électrique. Principalement, il y a deux façons de réaliser un estimateur : en boucle ouverte ou en boucle fermée. La différence entre ces deux méthodes est basée sur l'existence, ou non, d'un terme de correction, lié à l'erreur d'estimation, utilisé pour affiner la réponse de l'estimateur. Un estimateur en boucle fermée est connu sous le nom d'observateur.

Les estimateurs, de par leur principe, sont sensibles aux variations paramétriques. L'utilisation d'un observateur améliore la robustesse des estimations vis-à-vis des variations paramétriques et des bruits de mesure. La performance d'un observateur est liée souvent à une augmentation de sa complexité. Il faudra donc trouver un compromis afin de satisfaire une bonne précision des estimations sans trop pénaliser le temps de calcul. Sous l'hypothèse de linéarité du modèle du processus, la structure de base de l'estimateur est toujours la même, mais sa réalisation dépendra du contexte choisi : continu ou discret, déterministe ou stochastique [35].

II.7 Principe d'estimation d'état:

Un observateur est un système dynamique qui permet la reconstruction (asymptotique ou exponentielle) de l'état d'un système, à partir de ses entrées, de ses sorties, et de la connaissance de son modèle dynamique, qui sont les seules informations disponibles. Ce principe est illustré par la figure (II.3) [8].

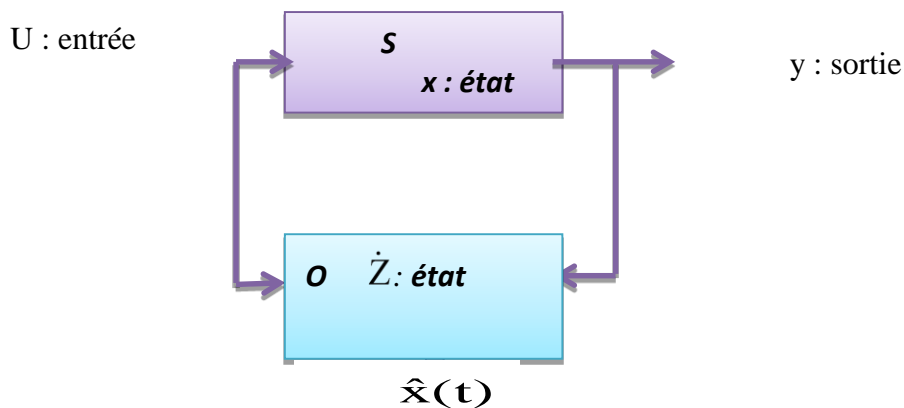


Figure II.3: Principe d'estimation d'état

Le problème de la conception d'un observateur pour un système donné est posé comme suit :

Soit le système (II.23) [8] :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f(x(t), u(t)) \\ y(t) &= h(x(t), u(t)) \end{aligned} \tag{II.23}$$

$x^{n-1} \in \mathfrak{R}^n$: est le vecteur d'état, $u \in \mathfrak{R}^m$ est le vecteur d'entrée, $y \in \mathfrak{R}^p$ est le vecteur de sortie, et les conditions initiales sont données par : $x_0 = x(0)$ [8].

II.8 Caractéristiques d'un système linéaire :

II.8.1 Fonction de transfert :

Définition:

Considérons un système linéaire quelconque possédant une entrée $e(t)$ et une sortie $s(t)$.

On suppose qu'il est régi par une équation différentielle de degré n [36]:

$$a_n \frac{d^n s}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{ds}{dt} + a_0 s(t) = b_m \frac{d^m e}{dt^m} + \dots + b_1 \frac{de}{dt} + b_0 e(t) \quad (\text{II.24})$$

Si nous appliquons la transformation de Laplace aux deux membres de cette équation, tout en supposant nulles les différentes conditions initiales, il vient :

Soit :

$$a_n p^n S(p) + \dots + a_1 p S(p) + a_0 S(p) = b_m p^m E(p) + \dots + b_1 p E(p) + b_0 E(p) \quad (\text{II.25})$$

$$[a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0] S(p) = [b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0] E(p) \quad (\text{II.26})$$

$$\text{D'où :} \quad \frac{b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0} = \frac{S(p)}{E(p)} \quad (\text{II.27})$$

Cette fraction rationnelle de deux polynômes de la variable complexe p est appelée fonction de transfert du système et communément notée [36] :

$$G(p) = \frac{S(p)}{E(p)} \quad (\text{II.28})$$

Comme cette fonction est une fraction rationnelle de deux polynômes en p , il est possible de factoriser ces deux polynômes dans le corps des complexes. On obtient [36] :

$$G(p) = \frac{b_m (p - z_m)(p - z_{m-1}) \dots (p - z_1)}{a_n (p - p_n)(p - p_{n-1}) \dots (p - p_1)} \quad (\text{II.29})$$

Les racines z_i qui annulent le numérateur sont appelés les zéros de la fonction de transfert. Les racines p_i qui annulent son dénominateur sont les pôles de la fonction de transfert. Ces paramètres peuvent être complexes ou réels. Nous verrons plus loin que l'étude, le signe ou l'appartenance à l'ensemble des réels de ces pôles ou zéros, jouent des rôles très importants dans l'étude des systèmes [36].

II.8.2 Stabilité:

Dans le cas des systèmes linéaires représentés par une fonction de transfert, l'analyse des pôles permet de conclure sur la stabilité du système. On rappelle que les pôles d'une fonction de transfert sont les complexes p_0, p_1, \dots qui annulent le dénominateur.

- Dans le cas d'une fonction de transfert continue, utilisant la transformée de Laplace, tous les pôles doivent être à partie réelle strictement négative pour que le système soit stable.
- Dans le cas d'une fonction de transfert discrète, utilisant la transformée en Z , tous les pôles doivent avoir un module inférieur à 1 afin que le système soit stable.

En automatique, le terme stabilité doit être défini précisément car il existe une dizaine de sortes de stabilités différentes. En général, on fait référence à une stabilité asymptotique. Dans le cas des systèmes non linéaires, la stabilité est généralement étudiée à l'aide de la théorie de Lyapunov [13].

II.8.3 Variables d'état:

Un système peut être entièrement décrit à l'aide d'un ensemble de variables minimal. Les variables d'état sont des grandeurs physiques continues du système (elles doivent être dérivables) et doivent être indépendantes les unes des autres. Elles sont généralement rassemblées dans un vecteur x . La connaissance de toutes les variables d'état à un instant t doit permettre de connaître toutes les valeurs du système à un instant $t + dt$. Cette représentation n'est pas unique, un même système peut être décrit avec des variables d'état différentes mais leur nombre est toujours le même. Ce nombre, désigné par la lettre n ,

représente l'ordre du système [13].

II.8.4 Représentation d'état des systèmes linéaires :

En automatique, une représentation d'état permet de modéliser un système dynamique sous forme matricielle en utilisant des variables d'état. Cette représentation, qui peut être linéaire ou non, continue ou discrète, permet de déterminer l'état du système à n'importe quel instant futur si l'on connaît l'état à l'instant initial et le comportement des variables exogènes qui influent sur le système [37].

La représentation d'état la plus générale pour les systèmes linéaires est la suivante en continue[40] :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t)\end{aligned}\tag{II.30}$$

Avec :

- $x \in \mathfrak{R}^n$: vecteur qui représente les n variables d'état.
- $y \in \mathfrak{R}^q$: vecteur qui représente les q mesures.
- $u \in \mathfrak{R}^y$: vecteur qui représente les n variables d'état.
- $A \in \mathfrak{R}^{n \times n}$: matrice dynamique.
- $B \in \mathfrak{R}^{n \times p}$: matrice d'observation
- $C \in \mathfrak{R}^{q \times n}$: matrice de commande.
- $D \in \mathfrak{R}^{q \times v}$: matrice de commande.

Définir une loi de commande $u(t)$ nécessite la connaissance de l'état $x(t)$; lors de la mesure, nous pouvons avoir de mauvais signaux entachés de bruit de mesure. Ces bruits constituent des perturbations affectant les performances d'une chaîne de régulation. Dans ce

cas, il existe une théorie permettant de palier au problème en essayant de considérer la partie fiable de la mesure et de reconstruire la partie manquante par un capteur soft (observateur, estimateur, reconstituteur d'état, filtre). Ce capteur exploite la connaissance des entrées appliquées au système et ses mesures afin de délivrer un état estimé noter $\hat{x}(t)$ [37].

Le but est de modéliser et d'analyser la stabilité des systèmes linéaires dans le cadre d'un objectif de commande ou d'estimation d'état [37].

Ceci est le cas le plus général .Les matrices A, B, C, D sont souvent invariantes selon le temps ; elles deviennent alors des matrices constantes et on parle de représentation d'état continue indépendante du temps.

Cette représentation d'état est représentée sous forme de schéma bloc figure suivante [37]:

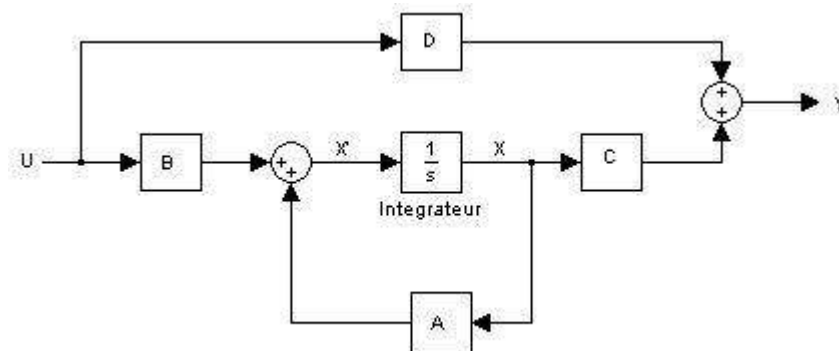


Figure II.4: Schéma bloc de la représentation d'état

Les valeurs propres de la matrice d'état A représentent les pôles du système si ces valeurs propres ne représentent pas des modes cachés du système c'est-à-dire si les valeurs propres sont observables et commandables. Si ces pôles sont à partie réelle négative, alors le système est asymptotiquement stable [37].

II.9 Observabilité :

Avant d'entamer une procédure de conception d'observateur pour un système dynamique, il est important et nécessaire de s'assurer que l'état de ce dernier peut être estimé à

partir des informations sur l'entrée et la sortie. L'observabilité d'un système est la propriété qui permet de dire si l'état peut être déterminé uniquement à partir de la connaissance des signaux d'entrée et de sortie. Dans le cas des systèmes non linéaires, la notion d'observabilité est liée aux entrées et aux conditions initiales [8].

Définition II.9 : Le système (II.1) est dit observable en x^0 si x^0 est Distinguable de tout $x \in \mathcal{R}^n$. En outre, le système (2.1) est observable si $\forall x^0 \in \mathcal{R}^n$, x^0 est distinguable.

II.9.1 Observabilité des systèmes linéaires:

Les critères d'observabilité d'un système linéaire sont décrits dans de nombreuses références [38], [39], [40], etc. Considérons le système dynamique linéaire :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\tag{II.31}$$

Où $x(t) \in \mathcal{R}^n$, $u(t) \in \mathcal{R}^m$ et $y(t) \in \mathcal{R}^p$. Les matrices A , B et C ont des dimensions appropriées. La matrice d'observabilité du système (2.31) est définie [48] par :

$$O = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix}\tag{II.32}$$

L'observabilité du système (2.2) est garantie si le rang de la matrice d'observabilité O est égal à n [39]. [40] a présenté un deuxième critère ; le système (2.31) est complètement observable si :

$$\text{rang} \begin{pmatrix} sI - A \\ C \end{pmatrix} = n\tag{II.33}$$

pour tout s complexe. Si un système linéaire est complètement observable, il est globalement observable, c'est-à-dire que toutes les composantes du vecteur d'état du système sont observables, et donc peuvent être reconstruites par un observateur. Si le système est non linéaire, nous devons distinguer l'observabilité globale de l'observabilité locale [8].

II.10 Observateurs des systèmes linéaires :

Une solution simple et optimale au problème de l'estimation de l'état des systèmes linéaires a été proposée par Luenberger dans le cadre déterministe [41], on considère le modèle dynamique d'un système linéaire défini comme suit :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\tag{II.34}$$

Où $t \geq 0$, $x(t) \in \mathcal{R}^n$, $u(t) \in \mathcal{R}^m$, $y(t) \in \mathcal{R}^p$. sont respectivement le vecteur d'état, d'entrée et de sortie.

Les matrices A , B , C , sont connues de dimension appropriée. Pour le système (II.34) parfaitement connu, et puisqu'on suppose que l'entrée $u(t)$ est connue, on peut donc remmener l'étude de l'observabilité à l'étude de la paire (A, C) . On dira donc indifféremment que « la paire (A, C) est complètement observable », ou que « le système est complètement observable » [30].

II.10.1 Observateur de Luenberger :

Ce type d'observateur a été proposé par David G. Luenberger en 1966, dans le cas général, le cas d'une seule sortie, ayant été publié dès 1964 [13].

Cette méthode suppose connaître avec une très bonne précision les coefficients du système, car les valeurs propres sont très sensibles aux variations des coefficients du

polynôme caractéristique [13]. On cherche à estimer l'état d'un système déterministe défini par :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\tag{II.35}$$

Où $u(t)$, $y(t)$ et $x(t)$ sont des vecteurs de dimension m , p et n , et représentent respectivement la commande, la sortie (mesurée) et l'état du système. Les matrices A , B et C sont des matrices respectivement d'état constant, de contrôle et de mesure de dimension convenable. Comme l'état n'est pas en général accessible, l'objectif d'un observateur consiste, en vue de réaliser une commande par retour d'état, estimer cet état par une variable que nous noterons $\hat{x}(t)$ [42]. Cette estimation est réalisée par un système dynamique dont la sortie sera précisément $\hat{x}(t)$ et l'entrée sera constituée de l'ensemble des informations disponibles, c'est-à-dire $u(t)$ et $y(t)$ [13]. Le principe de reconstruction d'un observateur consiste à estimer l'état tout en tenant compte de la correction de l'estimation suite aux perturbations (utilisation du gain L) [42]. La théorie de l'observation de Luenberger repose essentiellement sur des techniques de placement de pôles. On se place dans le cas déterministe, les bruits w et v et v sont nuls, et Luenberger propose l'observateur suivant pour le système [43] :

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}}(t) &= A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) \\ y(t) &= C\hat{x}(t)\end{aligned}\tag{II.36}$$

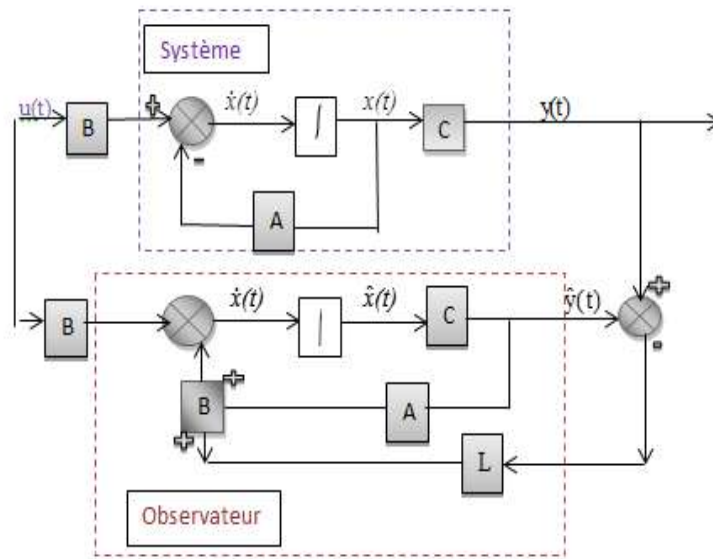


Figure II.5 : Schéma structurel de l'observateur de Leunberger

Ou apparait clairement le terme correctif en fonction de l'erreur de reconstruction de la sortie $y(t) - \hat{y}(t)$, et le gain de correction L appelé gain de l'observateur de dimension (n, m) qui est calculé en fonction de la condition de stabilité de l'observateur [13].

Posant $\bar{A} = A - LC$, alors devient :

$$\hat{\dot{x}}(t) = \bar{A} \hat{x}(t) + Bu(t) - L(y(t)) \tag{II.37}$$

L'observateur est dit asymptotiquement stable si l'erreur d'observation $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$

Converge vers le zéro quand $t \rightarrow \infty$. La stabilité de l'observateur est conditionnée (convergence de l'erreur d'estimation) par le choix approprié de la matrice de gain L [13].

Il faudra choisir L tel que toutes les valeurs propres de la matrice \bar{A} soient à partie réelle strictement négative : $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) - \hat{x}(t)$

Ceci rend l'observateur très sensible aux perturbations. Il faut trouver un bon compromis entre stabilité et précision. Dans un système linéaire, l'observabilité se détermine classiquement par une condition de Rang. Cette condition a pour but de fixer arbitrairement les valeurs propres de \bar{A} tel que la paire (A, C) soit observable [42].

La dynamique de l'erreur d'estimation :

$$e(t) = x(t) - \hat{x}(t) \quad (\text{II.38})$$

$$\dot{e}(t) = Ax(t) + Bu(t) - A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) \quad (\text{II.39})$$

Il y'a $Cx(t)$ et $\hat{y}(t) = C\hat{x}(t)$

Donc :

$$\dot{e}(t) = (Ax(t) + Bu(t)) - A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(Cx(t) - C\hat{x}(t)) \quad (\text{II.40})$$

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

$$\dot{e}(t) = (A - LC) e(t)$$

En utilisant une technique de placement de pôles, il suffit alors de choisir le gain K de l'observateur de telle sorte que les valeurs propres de la matrice $A - KC$ soient dans le demi-plan complexe gauche. Pour une meilleure estimation de l'état, la dynamique de l'observateur est choisie plus rapide que celle du système. Pour cela, on fixe les valeurs propres de l'observateur dans le demi-plan gauche du plan complexe de sorte que leurs parties réelles soient plus grandes en valeur absolue que celles de la matrice d'état A . En général, les pôles seront 5 à 6 fois plus rapides, mais ils doivent rester lents par rapport aux bruits de mesures [8].

On remarque que cette dynamique ne dépend pas de l'entrée, et qu'elle peut être réglée arbitrairement par le théorème de placement des pôles et qu'elle utilise le fait que la matrice d'observation soit de rang plein. Cette hypothèse n'est pas restrictive car il suffit alors d'éliminer les composantes de la sortie redondante, Un système est dit observable si une application entrée-sortie sur ce système est inversible [42].

$$\det = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix} \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \text{rang} = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix} = n$$

(II.41)

L'observateur de Luenberger converge $\rightarrow (A-LC)$ est stable [13].

Or, il n'est pas suffisant d'avoir un processus qui converge, il faut que celui-ci le fasse assez vite, pour pouvoir disposer à temps d'une évaluation correcte de l'état, mais pas trop, de manière à avoir un résultat peu sensible au bruit. Le choix des valeurs est donc le résultat d'un compromis délicat, qui devient très aléatoire si les valeurs des coefficients sont trop incertaines [13].

On peut, si l'on dispose de r sorties indépendantes, construire un observateur d'ordre n -seulement. En effet, tel que nous l'avons décrit, l'observateur recalcule la valeur de la sortie. Ceci n'est pas nécessairement un inconvénient, car la valeur recalculée peut être meilleure que celle d'origine, bruitée [13].

II.11 Exemple 2:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= \begin{bmatrix} 1.8097 & 0.8187 \\ 0.1810 & 0.1810 \end{bmatrix} \hat{x}(t) + \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \\ y(t) &= [0 \quad 0.5] \hat{x}(t) \end{aligned}$$

la réponse du système (état et état estimé) dans les conditions suivantes :

$$x(0) = \begin{bmatrix} -I \\ I \end{bmatrix} x(t); \quad \hat{x}(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} x(t) \quad \text{pour } u(t) = 0.1$$

- **Résultats de simulation :**

Le gain est donné comme suit :

$$l = \begin{bmatrix} -83.1877 \\ -86.5556 \end{bmatrix}$$

La réponse du système pour trois valeurs différentes du gain d'observateur L:

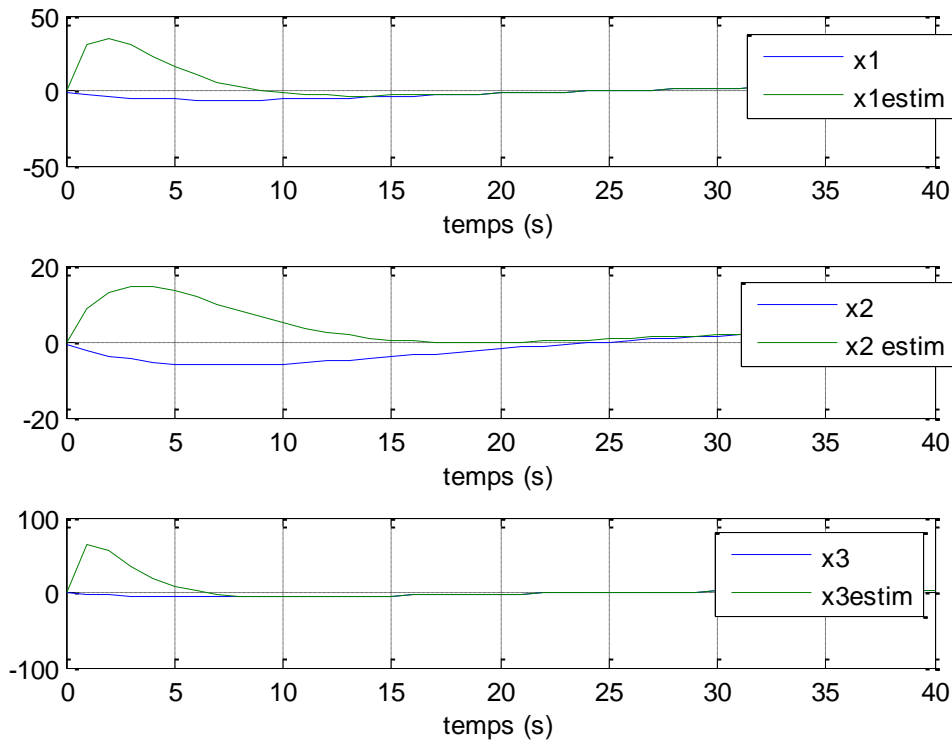


Figure II.6 : La réponse du système pour trois valeurs différentes du gain d'observateur L

On constate que l'observateur construit estime bien les états du système, sauf à l'origine, cela est à cause du choix des valeurs initiales.

Bien que l'observateur de Luenberger est plus simple, et facile pour la mise en œuvre, mais il ne donne pas des résultats satisfaisante dans le cas d'un système dynamique bruité. Pour estimer l'état d'un système en présence de bruit. Il faut choisir L telle que les valeurs propres de la matrice (A-LC) sont tous dans le cercle unitaire pour que l'erreur d'estimation t'envers à 0.

II.12 Observateur à entrées inconnues:

Un processus physique est souvent soumis à des perturbations qui ont comme origine des bruits dus à l'environnement du processus, des incertitudes de mesures, des défauts de capteurs ou d'actionneurs ; ces perturbations ont des effets néfastes sur le comportement normal du processus et leur estimation peut servir à concevoir un système de commande capable d'en minimiser les effets. Les perturbations sont appelées entrées inconnues lorsqu'elles affectent l'entrée du processus et leur présence peut rendre difficile l'estimation de l'état du système [10].

Il est fréquent, lors de la modélisation d'un système de faire intervenir des entrées qui ne sont pas mesurables on utilise alors le vocable d'entrées inconnues pour les désigner et la reconstruction d'état de tels système ne peut se faire que sous certaines conditions et cette reconstruction à un grand critère dans la pratique, cette approche s'applique aussi en cas de systèmes à entrée toutes connues mais pour lesquels on voudrait reconstruire l'état avec seulement une partie des entrées cela permet notamment de découpler l'influence des entrées sur la reconstruction et construire le principe de base de la génération de bancs d'observateur pour la localisation de défaut.

Les incertitudes de modèle peuvent être modélisées par des entrées inconnues au même titre que les perturbations, si la façon dont elles agissent sur le système est connue. La conception d'un observateur à entrées inconnues permettra de s'affranchir de ces incertitudes sous réserve de l'observabilité du système [32].

Considérons le système dynamique linéaire soumis à l'influence d'entrée inconnue décrit par les équations suivantes :

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{E}d(t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t)\end{aligned}\tag{II.42}$$

Où $d(t) \in \mathcal{R}^q$ est une entrée inconnue et E est une matrice de rang plein de dimension appropriée.

Pour le système :

$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{x}(t) - \hat{\mathbf{x}}(t) \\ \tilde{\mathbf{y}}(t) &= \mathbf{y}(t) - \hat{\mathbf{y}}(t)\end{aligned}\tag{II.43}$$

On dit qu'un observateur est à entrées inconnu si l'erreur d'estimation tend vers zéros en présence d'entrées inconnus. Sa structure est donnée par [3] :

$$\begin{aligned}\dot{Z}(t) &= F z(t) + TB u(t) + Ky(t) \\ \dot{\hat{x}}(t) &= z(t) + Hy(t)\end{aligned}\tag{II.44}$$

Où $z(t) \in \mathfrak{R}^n$ est le vecteur d'état de l'observateur et $\hat{x}(t) \in \mathfrak{R}^n$ est le vecteur d'état estimé du système, les matrices F, T, K et H qui seront déterminées pour stabiliser l'observateur et découpler les entrées inconnus. En posant $K = K_1 + K_2$, la dérivée de l'erreur d'estimation par rapport au temps sera donnée par :

$$\begin{aligned}\dot{e}(t) &= \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}} \\ &= (A - HCA - K_1C)e - [F - (A - HCA - K_1C)]z(t) \\ &\quad - [T - (I - HC)]Bu(t) - (I - HC)Ed(t) \\ &\quad - [K_2 - (A - HCA - K_1C)H]y(t)\end{aligned}\tag{II.45}$$

Ainsi les conditions permettant le découplage de l'entrée inconnue sont :

$$\begin{cases} (HC - I)E = 0 \\ T = I - HC \\ F = A - HCA - K_1C \\ K_2 = FH \\ K = K_1 + K_2 \end{cases}\tag{II.46}$$

Si ces conditions sont satisfaites alors l'erreur dynamique sera : $\dot{e}(t) = Fe(t)$

Afin que l'erreur d'estimation tend asymptotiquement vers zéros, les valeurs propres de F doivent être à partie réelle négative. Les conditions nécessaires et suffisantes pour l'existence

d'un tel observateur pour un système décrit par l'équation $\begin{matrix} \tilde{x}(t) = x(t) - \hat{x}(t) \\ \tilde{y}(t) = y(t) - \hat{y}(t) \end{matrix}$ sont :

- $rang(CE) = rang(E)$
- (C, A_l) est $A_l = A - E[(CE)^T CE]^{-1}(CE)^T CA$

La première condition signifie que le nombre de lignes linéairement indépendantes de la matrice C ne doit pas être inférieur au nombre de colonnes linéairement indépendant de la matrice E , c'est-à-dire, le nombre de mesures indépendantes doit être supérieur ou égale au nombre d'entrées à découpler [3].

II.13 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentées l'estimation d'état des systèmes linéaire. Tout d'abord nous avons présenté la linéarisation du système dynamique non linéaire autour d'un point de fonctionnement. Puis, nous avons présenté la méthode d'obtention des équations d'état à partir de la fonction de transfert du système linéaire. Ensuite, nous avons présenté la méthode de construction de l'observateur de Luenberger, et pour estimer les états en présence des entrées inconnues (bruit, incertitudes de modélisation) nous avons présenté l'observateur à entrées inconnues qui va être utilisé dans les parties qui viennent.

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter la description physique du système hydraulique à cinq cuves, et le modèle non linéaire qui gouverne son fonctionnement. Après linéarisation du modèle mathématique, nous allons construire un observateur à entrées inconnues.

III.2 Modélisation du système hydraulique Cinq cuves :

Dans cette partie, nous allons présenter les équations dynamiques du système hydraulique à cinq cuves.

III.2.1 Description du système :

Nous considérons le réseau de distribution de l'eau montré dans la figure III.1.

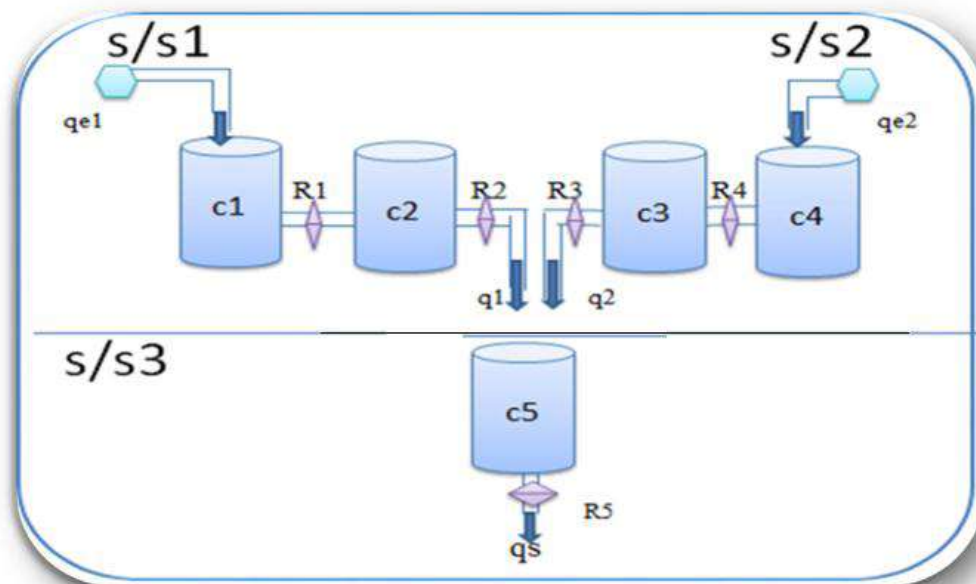


Figure III.1 : Système hydraulique 5 cuves

Le réseau se compose de différentes cuves à la section à la terre s_i , où i indique le nombre des cuves (de 1 à 5) connecté à la section des tuyaux. Le réseau est alimenté par deux flux de volume q_{e1} et q_{e2} se montant à les cuves 1 et 4 respectivement.

Ces deux flux sont contrôlés par des pompes d'alimentation. On négligeant les pertes accumulées dans les tuyaux.

Le système peut être modélisé Le système peut être modélisé par les étapes suivantes. Alors nous étudions le système hydraulique de la figure (1) Comme la cuve 5 est alimentée par deux sources, un des deux cuves 1 et 2, et l'autre de la cuve 3 et 4. Où l'ensemble du système à deux quantités d'entrée q_{e1} et q_{e2} , et Une variable de sortie q_s .

Pour simplifier la modélisation de système Il a été classé décomposé en trois sous-systèmes s/s_1 (Cuves 1 et 2), s/s_2 (cuves 3 et 4), s/s_3 (cuve 5).

Nous avons d'abord produit en modélisant chaque sous-système considérant Le flux laminaire de fluide. Cela se fait en utilisant l'équation pour la résistance et la capacité.

III.2.2 Modèle mathématique du système :

Les équations de résistance et capacité :

$$R_h = \Delta h/q \text{ (s/m}^2\text{)} \quad (\text{III.1})$$

$$q_e(t) - q_s(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d(Ah)}{dt} = A \frac{dh}{dt} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

Δh : Le débit ; q : le flux de volume

$$C_1 = 2; C_2 = 2; C_3 = 2; C_4 = 2; C_5 = 8$$

$$R_1 = 3; R_2 = 3; R_3 = 3; R_4 = 3; R_5 = 6$$

III.2.2.1 Sous-système s/s_1 :

On a noté que il y'a une connexion rigide à travers la vanne R1 entre les deux cuves 1 et 2.

Alors On peut écrire :

$$q_{e1} - q_e = C_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (\text{III.3})$$

$$R_1 = \frac{h_1 - h_2}{q} \quad (\text{III.4})$$

Pour la cuve 3 on a :

$$q_{e1} - q_1 = c_1 \frac{dh_1}{dt} \quad (\text{III.5})$$

$$R_2 = \frac{h_2}{q_1} \quad (\text{III.6})$$

en combinant les deux équations (III.3) (III.4) avec (III.5) et (III.6) on obtient les équations différentielles suivantes :

$$q_{e1} - q_1 = R_1 C_1 \frac{dq}{dt} + R_2 C_2 \frac{dq_1}{dt} \quad (\text{III.7})$$

$$q_{e1} - q_1 = R_1 C_1 \frac{dq_1}{dt} \quad (\text{III.8})$$

On éliminant q de les équations (III.7) et(III.8) on obtient l'équation de sous-système1, tel que :

$$R_2 R_1 C_2 C_1 \frac{d^2}{dt^2} q_1 + (R_1 C_1 + R_2 C_1 + R_2 C_2) \frac{d}{dt} q_1 + q_1 = q_{e1} \quad (\text{III.9})$$

L'équation (III.9) représente l'équation différentielle de la description de sous-système s/s2.

III .2.2.2 Le Sous-système s/s2 :

On écrit pour la cuve 4 :

$$q_{e2} - q_1 = C_4 \frac{dh_4}{dt} \quad (\text{III.10})$$

$$R_4 = \frac{h_4 - h_3}{q} \quad (\text{III.11})$$

Pour la cuve 3, on a :

$$q - q_2 = C_4 \frac{dh_3}{dt} \quad (\text{III.12})$$

$$R_3 = \frac{h_3}{q_2} \quad (\text{III.13})$$

En combinant les deux équations (III.10) et (III.11) avec (III.12) et (III.13), on obtient les équations différentielles suivantes :

$$q_{e2} - q = R_4 C_4 \frac{dq}{dt} + R_3 C_4 \frac{dq_2}{dt} \quad (\text{III.14})$$

$$q - q_2 = R_3 C_3 \frac{dq_2}{dt} \quad (\text{III.15})$$

On éliminant q de les équations (III.14) et(III.15) on obtient l'équation de sous système2, tel que :

$$R_3 R_4 C_3 C_4 \frac{d^2}{dt^2} q_2 + (R_4 C_4 + R_3 C_4 + R_3 C_3) \frac{d}{dt} q_2 + q_2 = q_{e2} \quad (\text{III.16})$$

III .2.2.3 Le Sous-système s/s3 :

On écrit pour la cuve 5 :

$$(q_1 - q_2) - q_s = C_5 \frac{d}{dt} h_5 \quad (\text{III.17})$$

$$R_5 = \frac{h_5}{q_s} \quad (\text{III.18})$$

En combinant les deux équations (III.17) et (III.18) on obtient les équations différentielles pour ce sous-système :

$$R_5 C_5 \frac{d}{dt} q_s + q_s = q_1 + q_2 \quad (\text{III.19})$$

Le modèle mathématique de système est la combinaison des modèles décrit par les équations(III.9), (III.16) et (III.19), comme suit :

$$\begin{aligned} R_2 R_1 C_2 C_1 \frac{d^2}{dt^2} q_1 + (R_1 C_1 + R_2 C_1 + R_2 C_2) \frac{d}{dt} q_1 + q_1 &= q_{e1} \\ R_3 R_4 C_3 C_4 \frac{d^2}{dt^2} q_2 + (R_4 C_4 + R_3 C_4 + R_3 C_3) \frac{d}{dt} q_2 + q_2 &= q_{e2} \\ R_5 C_5 \frac{dq_s}{dt} + q_s &= q_1 + q_2 \end{aligned} \quad (\text{III.20})$$

Lorsque le système à deux entrés q_{e1} et q_{e2} , et une sortie q_s , on a l'avantages pour écrire deux équations différentielles.

On mettre :

$$a_1 = R_1 R_2 C_1 C_2$$

$$a_1 = R_2 R_1 C_2 C_1$$

$$b_1 = R_1 C_1 + R_2 C_1 + R_2 C_2$$

$$b_2 = R_4 C_4 + R_3 C_4 + R_3 C_3$$

$$f = R_5 C_5$$

On peut représenter le système par des équations on utilise la transformé de la place. On obtenir :

$$a_1 p^2 Q_1(p) + b_1 Q_1(p) + Q_1(p) = Q_{e1}(p) \quad (\text{III.21})$$

$$a_2 p^2 Q_2(p) + b_2 Q_2(p) + Q_2(p) = Q_{e2}(p) \quad (\text{III.22})$$

$$f p Q_s(p) + Q_s(p) = Q_1(p) + Q_2(p) \quad (\text{III.23})$$

On choisir les variables des états :

$$x_1(t) = q_1(t), x_2(t) = \frac{d}{dt} q_1(t), x_3(t) = q_2(t), x_4(t) = \frac{d}{dt} q_2(t), x_5(t) = q_s(t)$$

On a :

$$q_{e1}(t) = a_2 \frac{d^2}{dt^2} q_1(t) + b_2 \frac{d}{dt} q_1(t) + q_1(t)$$

$$q_{e2}(t) = a_1 \frac{d^2}{dt^2} q_2(t) + b_1 \frac{d}{dt} q_2(t) + q_2(t)$$

$$q_s(t) = -f \frac{d}{dt} q_s(t) + b_2 \frac{d}{dt} q_1(t) + q_2(t)$$

La représentation d'état obtenu :

$$N = EB = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.0278 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0.0278 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{III.24})$$

III. 3 Construction d'observateur à entrée inconnue :

On suppose que le système être surveillé :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + F_x f(t) + D_x d(t) \\ y(t) &= Cx(t) + F_y f(t) + D_y d(t) \end{aligned} \quad (III.25)$$

Dans le cas de vecteur de l'entrée inconnue affecté sur le vecteur de sortie, c'est possible avec la transformation bilinéaire, avoir une structure de l'observateur

$$\begin{aligned} \dot{z}(t) &= Mz(t) + Nu(t) + Py(t) \\ \hat{x}(t) &= z(t) + L_y y(t) \end{aligned} \quad (III.26)$$

Où M, N, P, L_y sont des matrices inconnues de dimensions appropriées.

La reconstruction de l'erreur d'état :

$$\begin{aligned} e_x(t) &= \hat{x}(t) - x(t) \\ e_x(t) &= z(t) - L_y y(t) - x(t) \\ &= z(t) - L_y (Cx(t) + F_y f(t)) - x(t) \\ &= z(t) - Ex(t)(I + L_y C)x(t) - L_y F_y f(t) \\ e_x(t) &= z(t) - Ex(t)(I + L_y C)x(t) - L_y F_y f(t) \\ z(t) &= e_x(t) + Ex(t)(I + L_y C)x(t) - L_y F_y f(t) \end{aligned} \quad (III.27)$$

L'erreur dynamique dans l'estimation d'état est :

$$\begin{aligned} \dot{e}_x(t) &= \dot{z}(t) - E \dot{x}(t) - L_y F_y f(t) \\ \dot{e}_x(t) &= Me_x(t) + (ME + PC - EA)x(t) + (N - EA)u(t) \\ &\quad - (ML_y F_y - EF_x) f(t) - L_y F_y f(t) - ED_x d(t) \end{aligned} \quad (III.28)$$

Si les conditions suivantes sont rencontrées :

M c'est Matrice Hurwitz (stable)

$$ME + PC = EA$$

$$N = EB$$

$$ED_x = 0$$

$$ML_Y F_Y + PF_Y + EF_Y \neq 0$$

$$L_Y F_Y \neq 0$$

La solution de l'ensemble des équations principalement à condition de s'assurer le découplage d'entrée inconnue.

$$ED_x = 0$$

$$(I + L_Y C)D_x = 0 \rightarrow (LC)D_x = -D_x$$

Alors, on trouve L_Y si $(L_Y C)D_x = -D_x$ l'égalité est satisfaite si l'inverse est généralisé de CD_x ; $(CD_x)^+$ existe L_Y peut être calculé on utilise :

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

La matrice L_Y existe seulement si la matrice $(CD_x)^T CD_x$ est inversible.

L'invertibilité est vérifier, si la cuve $CD_x = nd$, avec nd est le nombre des entrées inconnues et leur dimensions.

III. 3.1 la synthèse de l'algorithme de l'observateur :

$\text{rank}(CD_x) = nd$ Puis on calcule :

$$L_Y = -D_x [(CD_x)^T (CD_x)]^{-1} (CD_x)^T$$

-De L_Y calculer $E = I + L_Y C$

-De E calculer EB

-Imposer M est matrice de Hurwitz, nous pouvons choisir pour ce objectif une matrice diagonale pour M montrant les valeurs propres désiré pour l'observateur.

Calculer la matrice tel que :

$$PC = EA - ME$$

On calcule la matrice de transfert reions la sortie de l'erreur d'estimation de défaut.

$$F = mL_Y F_Y + PF_Y - EF_x$$

$$F' = -L_Y F_Y$$

Les matrices de représentation d'état sont représentées :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0278 & 0 & -0.0278 & 2.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0.0278 & 0 & 0 & -0.0278 & -1.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.0278 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0.0278 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, D_x = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, D_y = 0$$

$$F_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, v_i(t) = \begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \\ v_3(t) \\ v_4(t) \\ v_5(t) \end{bmatrix}, F_y = 0$$

On note ce rang de la matrice $(CD_x) = 1$, Qui est égal au nombre d'entrées.

Il est possible de construire un générateur résiduel sensible à la faute et Insensible à la disturbance. Dans cette partie les conditions de l'observateur a entrée inconnue(III.26)L'existence du système ((III.24) est vérifiée.

Nous avons obtenu :

$$L_Y = -F[(CF)^T (CF)]^{-1} (CF)^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$E = I + L_Y C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$N = EB = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.0278 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0.0278 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Il faut que M est la matrice de Hurwitz en choisissant M diagonale, de sorte que les valeurs propres sont données comme suit :

$$\lambda_1 = -2; \lambda_2 = -3; \lambda_3 = -2; \lambda_4 = -2; \lambda_5 = -1.$$

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

Calcul de la matrice p cette $PC = EA - ME$, comme C est unitaire, et après les calculs nous trouvons la matrice suivante:

$$p = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0278 & 2.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -0.0278 & -1.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

On note les matrices C , D_x sont respectivement la ligne et la colonne du rang complet, le produit CD_x , est le rang complet de la colonne et le nombre des mesures strictement supérieur que le nombre des entrées inconnue. Les conditions d'existence d'un observateur d'entrée inconnue sont vérifiées.

Nous obtenons un observateur avec une entrée inconnue ayant la structure suivante:

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \\ \dot{z}_4 \\ \dot{z}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0278 & 0 & -0.0278 & 2.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0.0278 & 0 & 0 & -0.0278 & -1.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_{y1} \\ e_{y2} \\ e_{y3} \\ e_{y4} \\ e_{y5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} - C \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 + y_3 \\ z_4 + y_4 \\ z_5 + y_5 \end{bmatrix}$$

III. 4 La Simulation:

Les figures (III.2) montrent les sorties $y(t)$ du système et leurs estimations par l'observateur unique. L'évolution des résidus, en l'absence de défauts, apparait sur les figures (III.3).

En régime permanent, ces figures mettent en évidence, d'une part, le caractère aléatoire des résidus et, d'autre part, le fait qu'en l'absence de défauts les résidus sont statistiquement nuls.

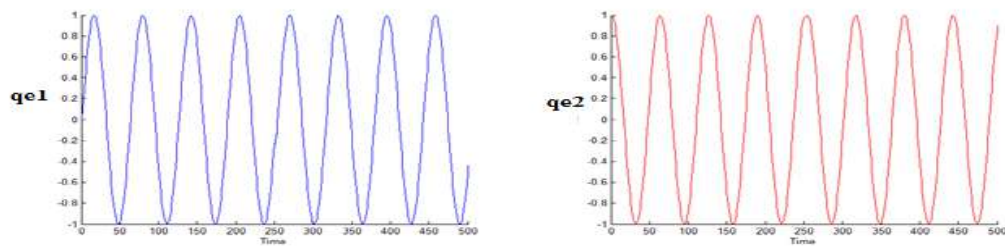
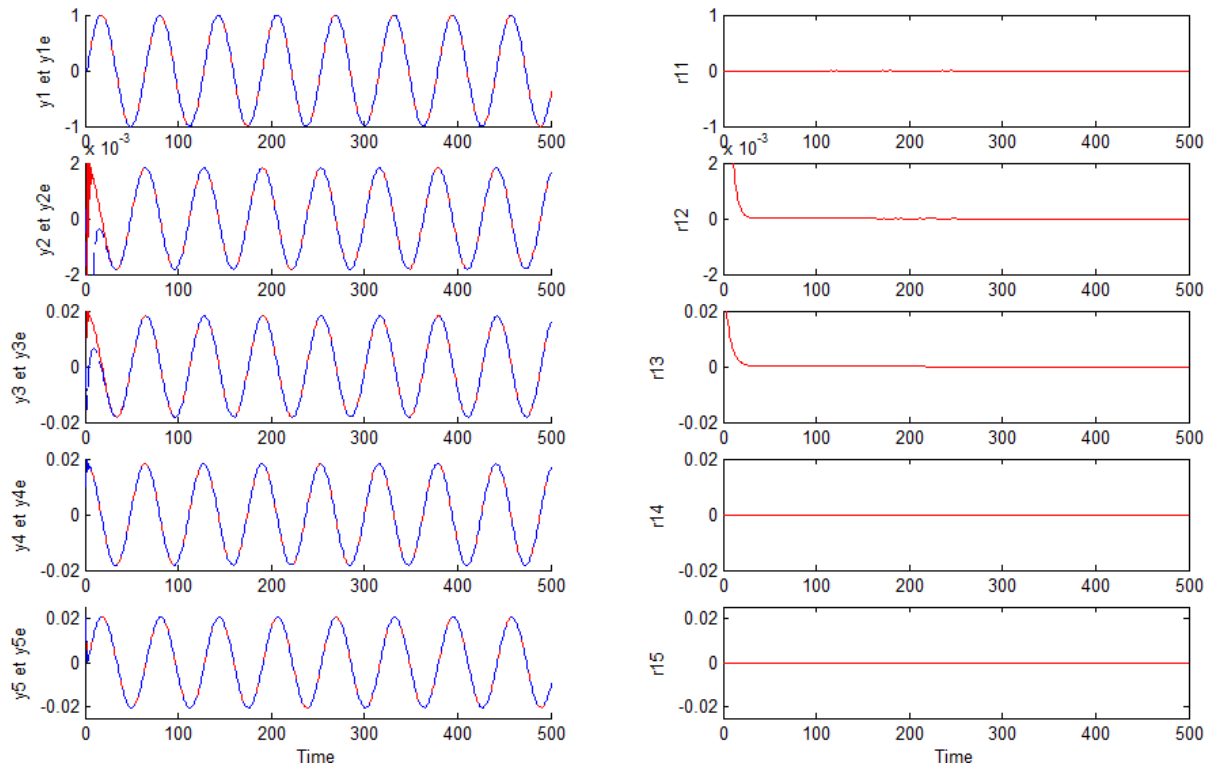


Figure III.2 : Entrées du système 5 cuves



a) Sorties et leurs estimées

b) erreur d'estimation des sorties

Figure III.3 : Estimation des sorties du système avec erreurs d'estimation

On peut constater que, les sorties de l'observateur tend vers les sorties du système considéré après un certain temps. La dégradation au départ de l'estimation des états est due au choix des valeurs initiales.

III. 5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation du système hydraulique cinq cuves, après linéarisation du modèle mathématique obtenu, nous avons estimé les états du système considéré en utilisant un observateur à entrées inconnues.

IV.1 Introduction :

Le principe du diagnostic de défauts basé sur les observateurs est de reconstruire une partie ou l'ensemble des sorties du système à partir des grandeurs accessibles du système. Les résidus sont généralement générés en formant les différences entre les sorties estimées et les sorties réelles. Dans ce chapitre, nous présentons la méthode de diagnostic à base d'observateur à entrées inconnues, qui vont servir pour la construction des bancs d'observateurs pour la détection et la localisation de défauts des actionneurs et des capteurs.

IV.2 Diagnostic à base d'observateur :

Le diagnostic à base d'observateurs est une technique ayant fait l'objet de très nombreux développements. Celle-ci consiste, sur la base d'un modèle de bon fonctionnement d'un système, à effectuer une estimation d'état à partir de la connaissance des entrées et des sorties du système et à utiliser l'erreur d'estimation de la sortie comme résidu. En fonctionnement normal, ce résidu doit être sensiblement nul (robuste aux erreurs de modélisation et aux erreurs de mesures) et s'écarter significativement de zéro lors de l'occurrence d'un défaut (défauts de capteurs ou d'actionneurs) sur le système. La détection de l'occurrence des défauts est en général assez aisée, en revanche, sa localisation (la détermination de la grandeur d'entrée ou de sortie sur laquelle il est intervenu) est plus délicate [44].

Alors que la détection d'un défaut nécessite un seul observateur pour générer le résidu, pour sa localisation, il est nécessaire de disposer d'un banc d'observateurs plutôt que d'un seul.

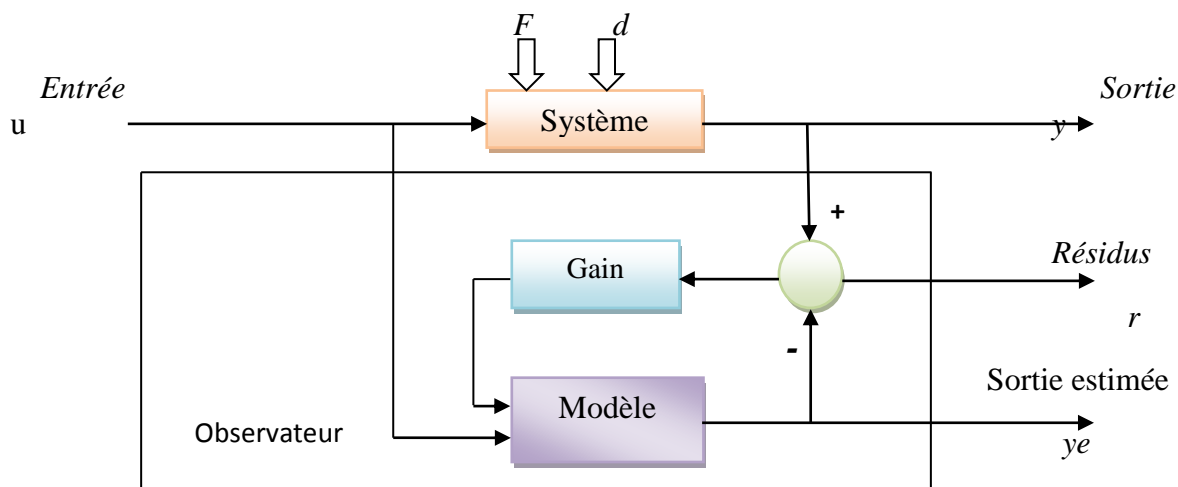


Figure IV.1 : Schéma de principe de la génération de résidus à base d'observateur

IV.3 Détection par observateur simplifié :

Dans cette approche de détection, le banc est constitué d'un seul observateur. Il est synthétisé de façon à n'être sensible qu'à un groupe de défauts.

Dans le cas où un des défauts auquel il est sensible apparaît alors les estimations seront faussées.

Dans le cas contraire, elles seront exactes. La détection consiste à estimer complètement le vecteur de sortie $y(t)$ à l'aide d'un seul observateur piloté par une seule mesure, voir figure (IV. 2) [10].

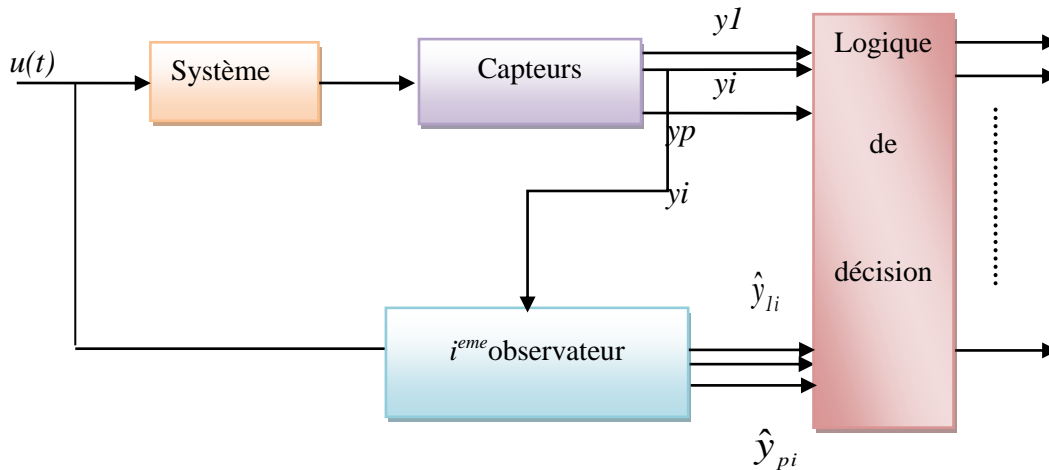


Figure IV.2 : Structure d'observateur simple.

IV.4 Détection de défaut par observateur:

Pour résoudre le problème de localisation de défauts, on peut 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. Généralement, deux approches sont retenues :

IV.4.1 Calcul des résidus :

Le vecteur des résidus peut être calculé de la manière suivante :

$$r(t) = y(t) - \hat{y}(t)$$

IV.4.2 Fixation du seuil de détection :

Dans le cas de présence de bruit $d(t)$, on doit fixer un seuil λ pour la détection de défaut. Les équations précédentes s'écrivent comme suit :

- $r(t) < \lambda$ quand $f(t) = 0$.
- $r(t) \geq \lambda$ quand $f(t) = d(t)$, c'est-à-dire l'apparition de défaut.

IV.5.1 Détection par observateur généraliser et dédiée :

IV.5.1.1 Approche par observateur dédiée (Dedicated Observer Scheme (DOS)):

Il est possible de concevoir des observateurs dont chacun est sensible à un seul défaut et de considérer les autres défauts comme des entrées inconnues (c.à.d. comme des perturbations).

Dans ce cas, chaque résidu est influencé par un seul défaut [45].

On considère le système suivant :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + E f(t) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (\text{IV-1})$$

Où $y(t)$ est le vecteur des mesures, $x(t)$ le vecteur des variables à mesurer, $f(t)$ le vecteur de défaut, C est une matrice caractérisant le système de mesure et E est la matrice qui traduit la direction des défauts.

$$f(t) = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ f_m \end{pmatrix}$$

De façon plus générale, on cherche toujours à calculer un vecteur de résidus $r(t)$ ayant propriétés suivantes :

- $r(t) = 0$ quand $f(t) = 0$. (IV-2)
- $r(t) \neq 0$ quand $f(t) = d(t)$, c'est-à-dire l'apparition de défaut.

A partir de l'équation (IV.1) et (IV.2) on obtient le tableau suivant :

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

Tableau IV.1 : Signature des défauts sur les résidus obtenus par l'approche DOS.

Dans cette structure, il est question de construire autant d'observateur que de défaut à détecter, chacun d'entre eux génère un résidu insensible à tous les défauts sauf un. Ainsi, l'observateur recevant une mesure défaillante fournit une mauvaise estimation des variables estimées, tandis que les estimations des autres observateurs convergent vers les mesures des sorties correspondantes sauf sur la sortie erronée. Le schéma suivante reste valable même dans le cas de plusieurs défauts simultanés. Mais, si cette structure donne parfois des bons résultats sa conception reste très limitée car elle ne permet pas de s'affranchir des entrées inconnues et des bruits.

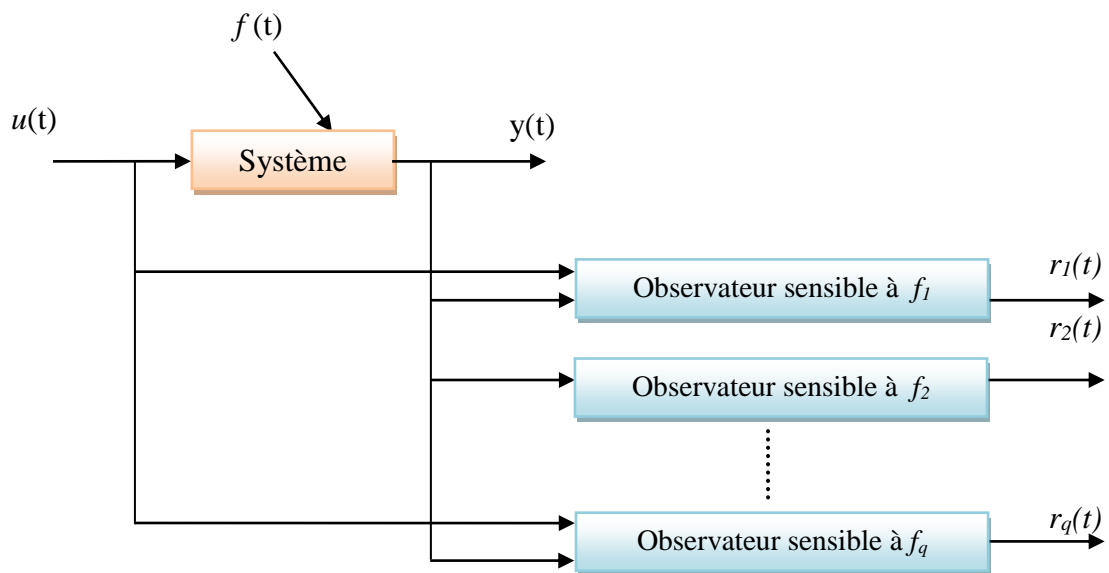


Figure IV.3 : Détection par observateurs dédiés.

IV.5.2.2 Approche par observateur généralisé (Generalised Observer Scheme (GOS):

Le principe d'observateurs généralisé, plus connu sous l'anglicisme est de synthétiser un certain nombre d'observateurs de manière à ce qu'ils soient insensibles à un seul défaut. La structure d'observateur GOS est en quelque sorte l'opposée de la structure DOS [46].

En cas général, L'approche par observateur dédié est séduisante par sa simplicité et permet l'isolation des défauts multiples et simultanés, mais les conditions d'existence de l'observateur à entrées inconnues deviennent plus contraignantes du fait d'un grand nombre d'entrées inconnues. Si cette approche n'est pas réalisable, on construit des observateurs sensibles à tous les défauts sauf un, qui est considéré comme une entrée inconnue. Dans ce cas, chaque résidu est influencé par tous les défauts excepté un seul [45].

A partir de l'équation (IV-1) et (IV-2) on obtient le tableau suivant :

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

Tableau IV. 2: Signature des défauts sur les résidus obtenus par l'approche GOS.

Dans cette approche, Le nombre d'observateurs utilisés est égal au nombre de combinaisons possibles de mesures. Chaque observateur d'état peut être pilote par différentes sorties, ce qui augmente le nombre de degrés de liberté de la détection de défauts[10].

Dans un souci de clarté, nous proposons un exemple ayant deux sorties y_1 et y_2 , le nombre de combinaisons égal à $2^2 - 1 = 3$

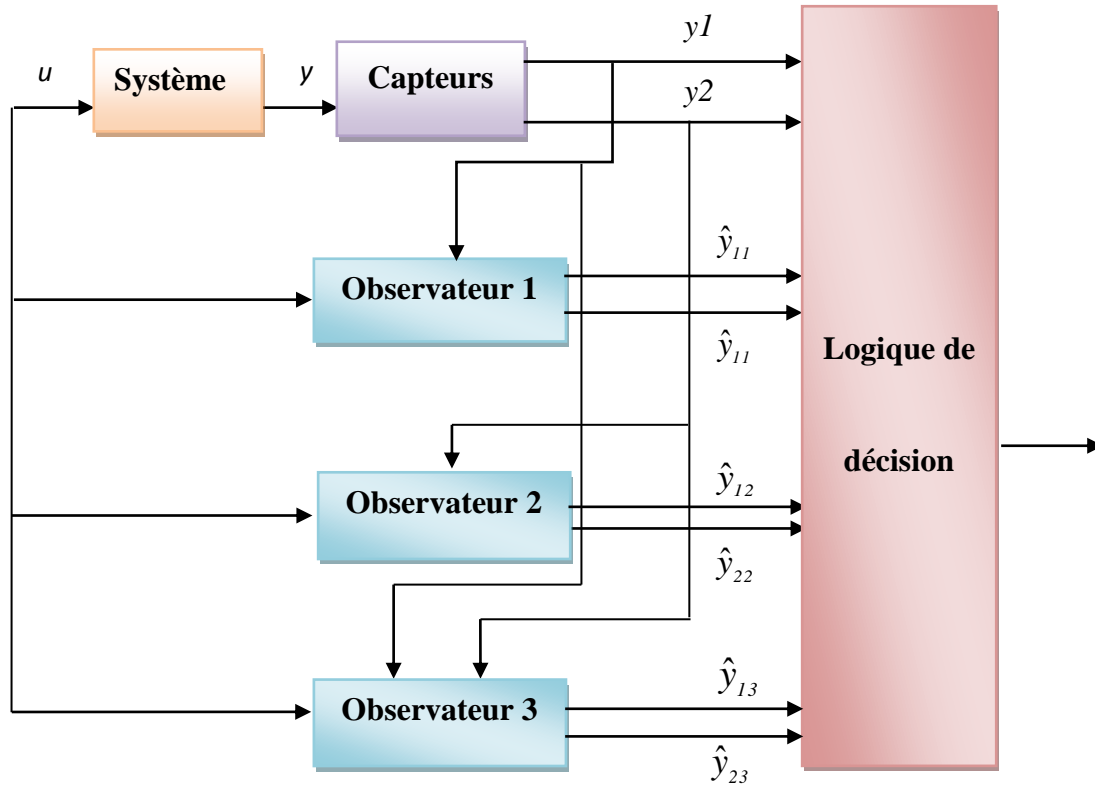


Figure IV.4 : Détection par observateurs généralisés.

IV.6 Diagnostic de défauts actionneurs:

Les défauts d'actionneurs se traduisent par une incohérence entre la commande des actionneurs et la réponse obtenue en sortie. Un actionneur est la partie opérative qui agit sur le système. Or, cet actionneur peut être en perte totale (défaillance) ou en perte partielle. Dans ce cas, le signal d'entrée (ou signal de commande) du système est totalement ou partiellement détérioré. La perte totale se caractérise par une incapacité fonctionnelle de l'actionneur à commander le système : par exemple une vanne qui reste bloquée dans sa position initiale.

La perte partielle se caractérise par un fonctionnement dégradé de l'actionneur; autrement dit, l'actionneur fonctionne d'une manière similaire au régime nominal mais son action est seulement partielle. On rencontre ce phénomène lorsque le système comporte des pertes d'énergie : perte de puissance moteur, fuite d'un vérin, etc [46].

Les défauts d'actionneurs peuvent être vus et donc représentés de deux manières différentes. La première manière de représenter le défaut d'actionneur est la suivante [46] :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + (B + \Delta B)u(t) \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\tag{IV-3}$$

Où le défaut est considéré de nature multiplicative. La seconde manière de représenter le défaut d'actionneur est de considérer le défaut comme un vecteur d'entrée inconnue. Pour cela, on considère l'entrée de commande globale de la manière suivante :

$$U_f(t) = \Gamma U(t) + U_{f0}(t)\tag{IV-4}$$

Où U et U_f sont respectivement l'entrée de commande globale appliquée au système et l'entrée de commande nominale pour le système défaillant.

$$U_f(t) = U_f(t) - U_0\tag{IV-5}$$

L'équation d'état est affectée par un défaut d'actionneur de la manière suivante :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + (B + \Delta B)u(t) \\ &= Ax(t) + B(U_f(t) - U_0(t)) \\ &= Ax(t) + B(\Gamma U(t) + U_{f0}(t) - U_0(t)) \\ &= Ax(t) + Bu(t) + B(\Gamma U(t) + U_{f0} - U_0(t) - u(t)) \\ &= Ax(t) + Bu(t) + B((\Gamma - 1)U(t) + U_{f0}(t))\end{aligned}\tag{IV-6}$$

On considérant l'équation (IV-6), le défaut d'actionneur est représenté par un vecteur d'entrées inconnues f_a , ce qui donne le système suivant :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + E_a f_a \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\tag{IV-7}$$

La figure(IV.5) illustre le principe de la détection de défauts d'actionneur par observateur dédiés (*Dedicated Observer Scheme* ou DOS). Le i^{ieme} observateur est piloté par la i^{ieme} entrée et toutes les sorties ; les $(m-1)$ autres entrées sont considérées comme inconnues et la sortie de ce i^{ieme} observateur est insensible aux défauts des entrées non utilisées. Les sorties reconstruites par ces différents observateurs peuvent être comparées entre elles et aussi avec les sortie mesurées. Une logique de décision, basée sur cette comparaison, permet de localiser l'actionneur en défaut [47].

La figure (IV.6) représente une structure où le i^{ieme} observateur est piloté par toutes

les entrées, sauf la i^{ieme} , et toutes les sorties (*Generalized Observer Scheme* ou GOS). La sortie de cet observateur est donc sensible aux défauts de toutes les entrées sauf ceux de la i^{ieme} [47].

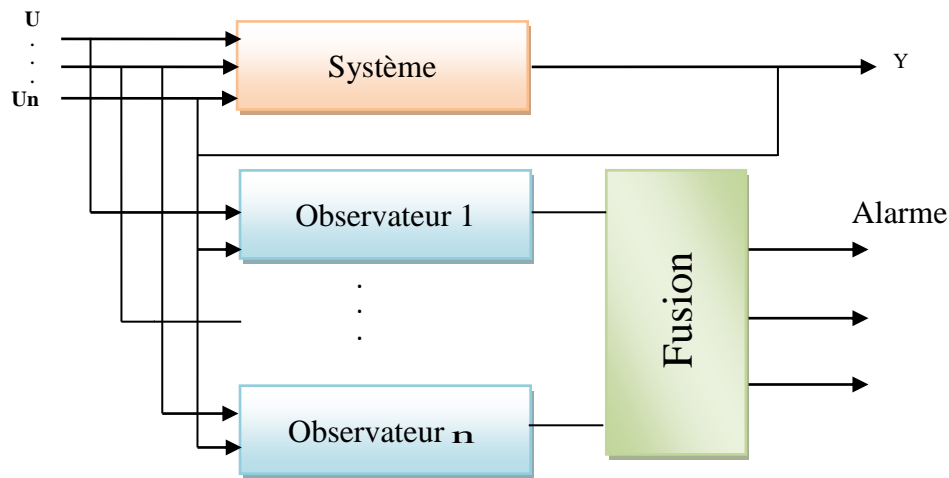


Figure IV.5 : Observateur DOS pour la détection de défauts d’actionneur.

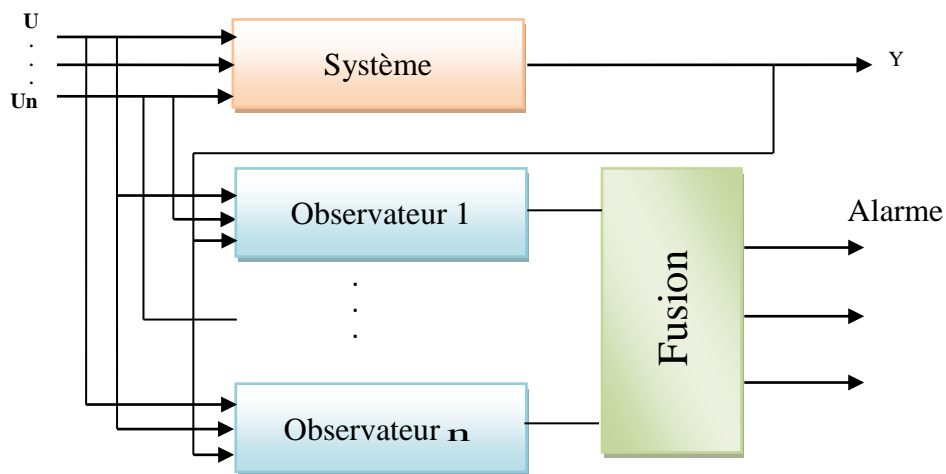


Figure IV.6 : Observateur GOS pour la détection de défauts d’actionneur.

IV.7 Diagnostic de défauts capteurs :

Les capteurs sont des instruments qui transforment une grandeur physique en une grandeur traitable par les calculateurs. Les capteurs sont essentiellement les interfaces de sortie d’un système avec l’environnement extérieur. Ils permettent de communiquer les informations concernant l’état et le comportement interne du processus. Ainsi, un défaut capteur caractérise une mauvaise image de la grandeur physique à mesurer. Pour les systèmes en boucle fermée, les mesures issues de ces capteurs sont utilisées pour la génération du signal de commande. Par conséquent, la présence d’un défaut capteur donne un signal de commande inexacte et inefficace [15].

Tout comme les défauts actionneurs, on peut représenter les défauts de capteurs par un vecteur d'entrées inconnues, mais cette fois-ci, affectant les sorties [46] :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + E_c f_c(t) \end{aligned} \tag{IV- 8}$$

Un défaut de capteur peut également être de nature multiplicative, ce qui se traduit par :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= (C + \Delta C)x(t) \end{aligned} \tag{IV-9}$$

La caractérisation d'un défaut de capteur sous la forme additive ou multiplicative dépend avant tout de la nature physique du défaut et du modèle. La plupart des défauts de capteurs peuvent être modélisés sous forme de défauts additifs.

La figure (IV.6) et (IV.7) obéissent aux mêmes principes que la détection de défaut actionneur mais vis-à-vis des sorties, c'est-à-dire les capteurs.

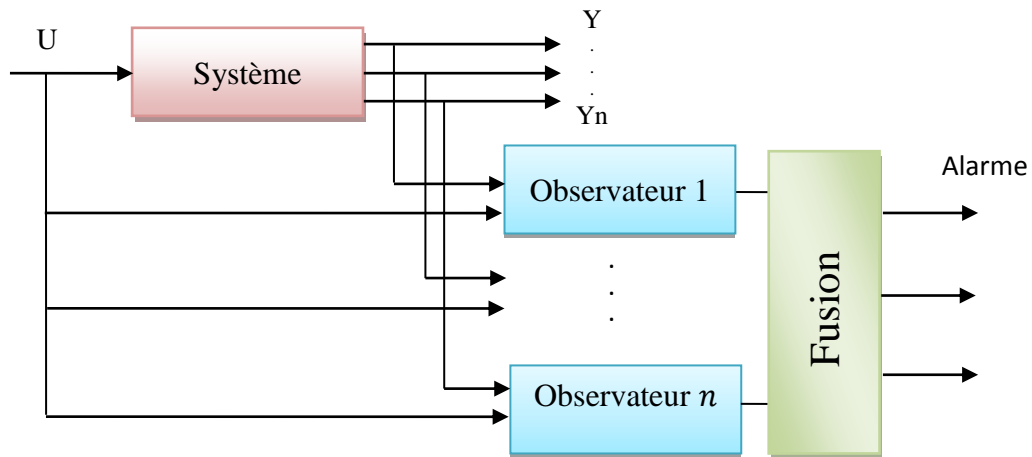


Figure IV.7 : Observateur DOS pour la détection de défauts de capteurs.

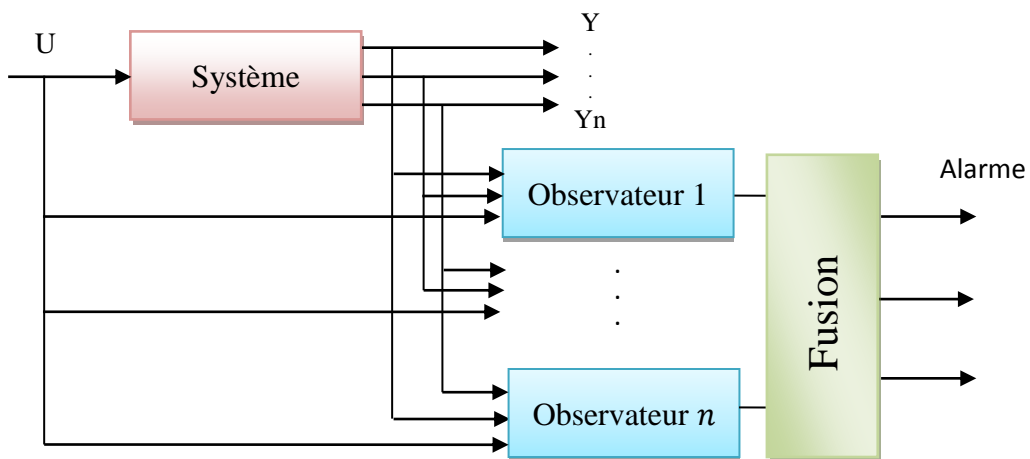


Figure IV.8 : Observateur GOS pour la détection de défauts de capteurs.

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le résidu est sensible à } f_i \\ 0 & \text{si le résidu n'est pas sensible à } f_i \end{cases}$$

La table des signatures associée à ce générateur avec des résidus est établie dans le tableau suivant :

	f_{acl1}	f_{acl2}
r_1	1	0
r_2	0	1

Tableaux IV.3: Les signatures requises de l'observateur

Dans le tableau des signatures précédent signifie certain fautes f_{acl1} affecte le r_{ij} résidu 0 Traduit l'insensibilité du résidu de la faute. Dans notre application le tableau de signature élaboré à partir du raisonnement suivant: L'observateur UIO à estimer les deux fautes f_{acl1} et f_{acl2} en même temps. Nous savions que si un défaut survient lors de la première ou de la seconde sortie ou des deux cas, la défaillance est estimée. Avec cet observateur que nous détectons et localisons les actionneurs même s'ils apparaissent simultanément sur les deux sorties. On note que les résidus sont insensible par rapport les perturbations $d(t)$. Nous avons une structure permettant une localisation complète des pannes. Maintenant, nous vérifions par simulation les résultats théoriques obtenus pour les calculs des résidus, et les sensibilités des perturbations $d(t)$.

On note qu'avec l'observateur à entrée inconnue UIO. On à détecter et localisé la faute d'actionneur même s'ils apparaissent simultanément sur les deux sorties.

IV.8 Diagnostic de défauts du système hydraulique 5 cuves :

Dans cette partie, nous allons présenter le diagnostic de défauts du système hydraulique cinq cuves :

IV.8.1 Diagnostic de défaut actionneurs :

Pour le diagnostic de défauts actionneurs, nous présentons dans la figure IV.9 le signal de défaut, la première entrée et le bruit considéré de moyenne nulle.

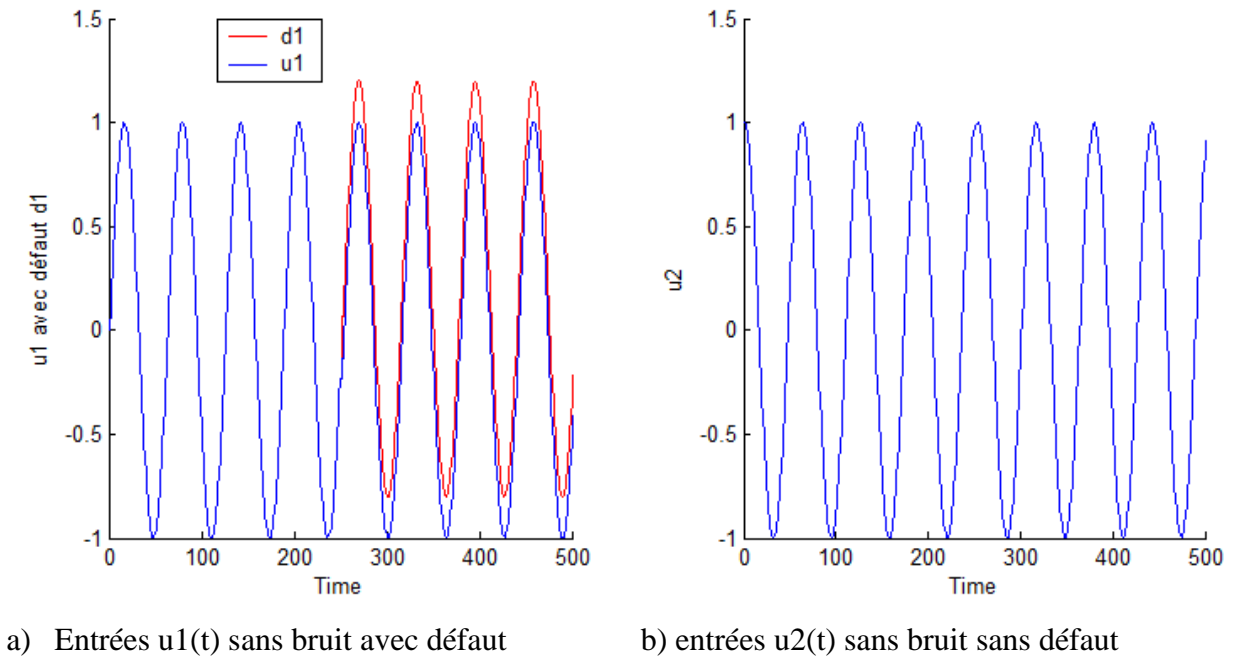


Figure IV.9 : Entrées $u_1(t)$ et $u_2(t)$

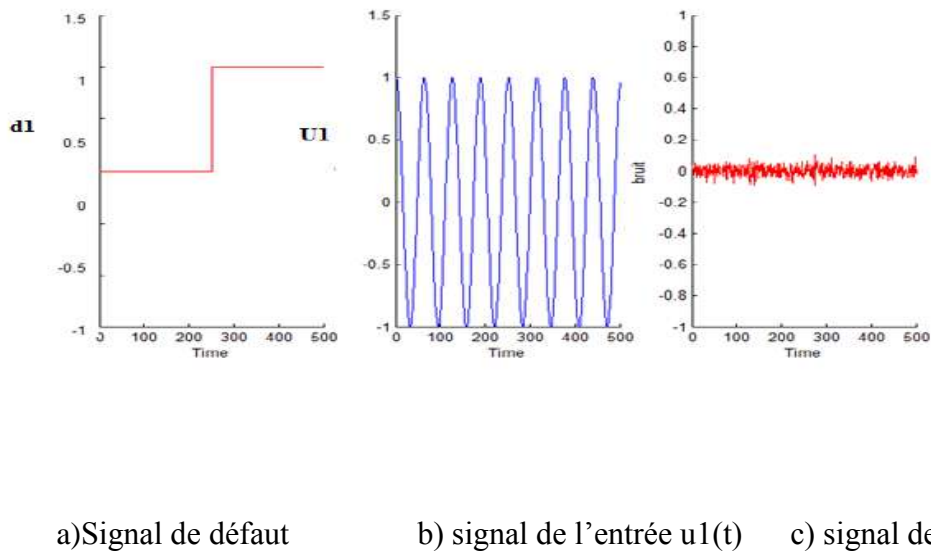


Figure IV.10 : Entrées $u_1(t)$, défaut et bruits considérés

a. Construction du banc d'observateurs :

Nous avons 02 entrées, alors le nombre des éléments du banc d'observateur de la structure (DOS) est calculé comme suit : $n = 2^2 - 1 = 3$.

Le premier élément est attaqué par les deux entrées, il donne l'information dur la détection de la présence de défaut. Les deux autres éléments vont être utilisés pour localiser le défaut détecté.

b. Fixation du seuil :

Le seuil est fixé à 98% de la valeur maximale du signal de résidus dans le cas sain (figureIV.11).

c. Détection de défauts actionneur du système 5 Cuves :

La simulation de défaut donne les résultats affichés sur les figures IV.12 et IV.13, nous constatons le dépassement des seuils pour l'ensemble des sorties de l'élément du banc d'observateur attaqué par l'entrée $u_1(t)$ (figure IV.12).

Pour le deuxième élément, nous ne constatons aucun dépassement du seuil (figure IV.13).

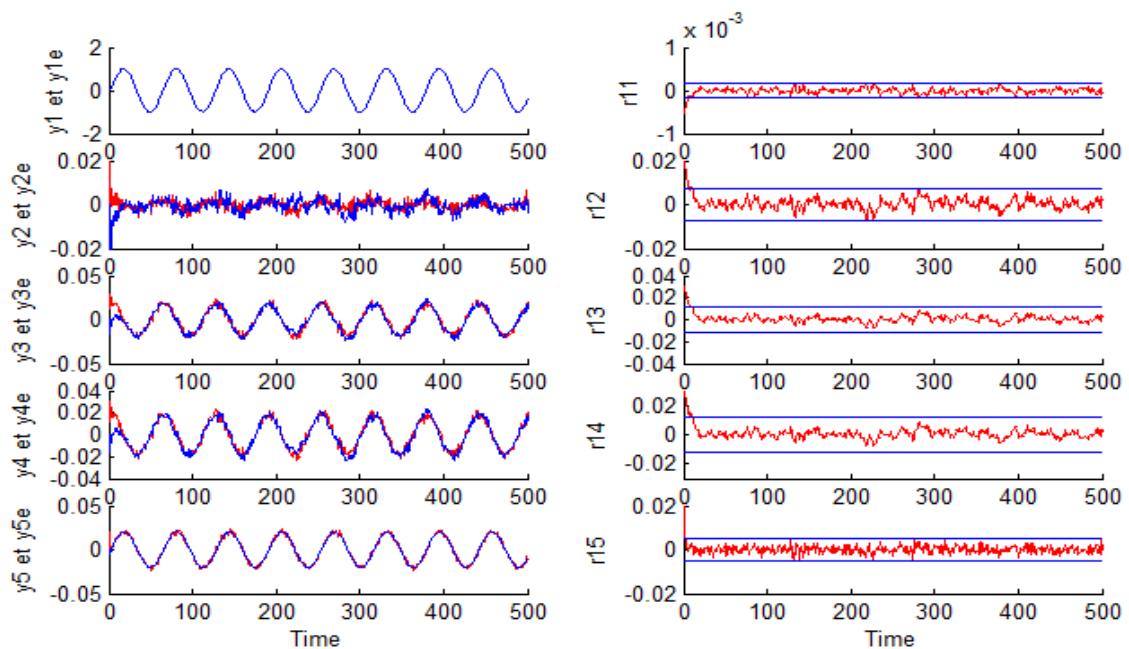


Figure IV.11 : Sorties du système avec fixation des seuils de détection

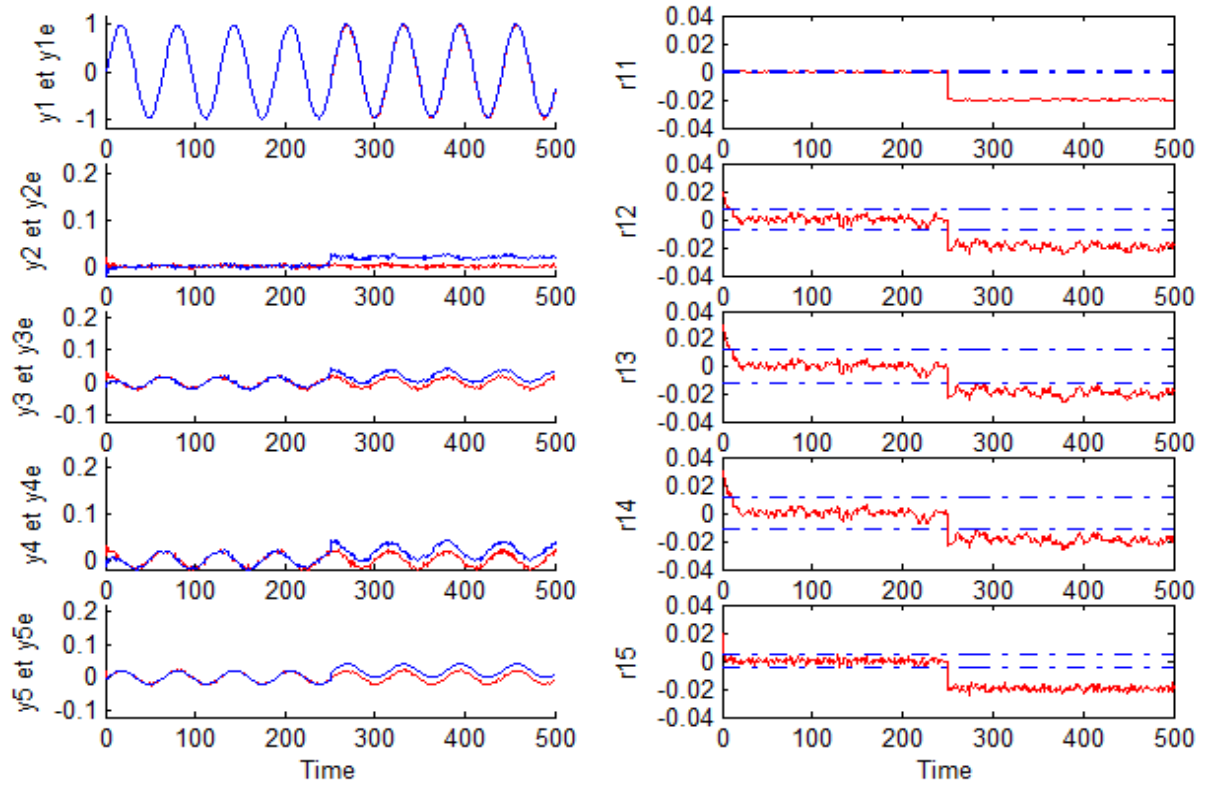


Figure IV.12 : Sorties et leurs estimées banc attaqué par $u_1(t)$

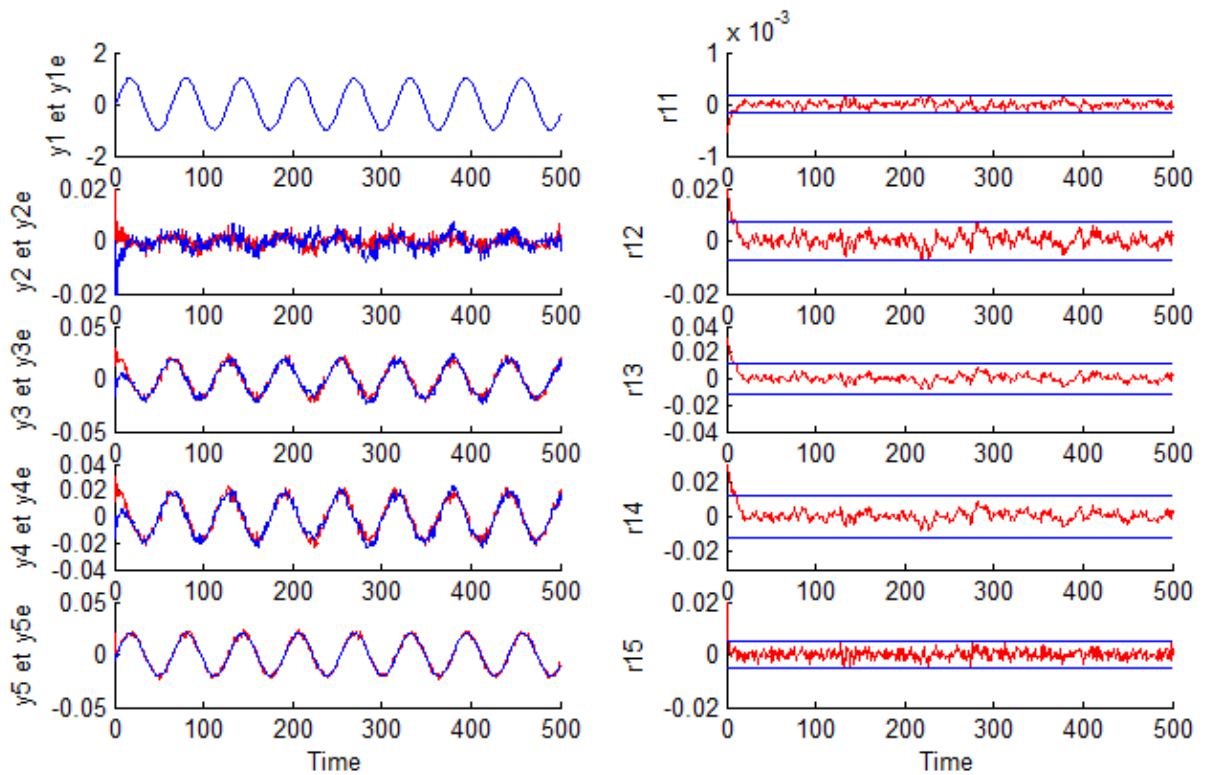


Figure IV.13 : Sorties et leurs estimées banc attaqué par $u_2(t)$

d. Matrice des signatures instrumentales

	<i>défaut</i>
r_1	1
r_2	0

Tableaux IV.4: Signatures instrumentales

L'analyse des deux figure IV.13 et IV.13 nous permet d'avoir cette matrice. La comparaison de cette dernière avec la matrice des signatures théoriques indique que le premier actionneur est en défaut.

IV.7.2 Diagnostic de défaut capteur :

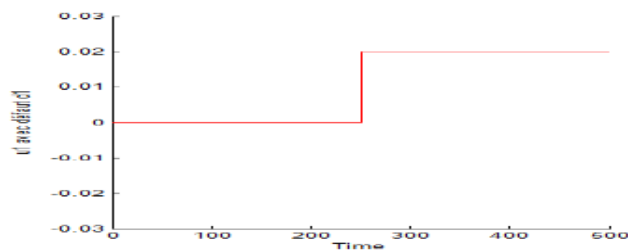


Figure IV.14 : Signal de défaut considéré

Le défaut sera simulé sur la 3^{ème} sortie (3^{ème} capteur)

a. Construction du banc d'observateurs :

Nous avons 05 sorties, alors on va choisir un nombre d'éléments du banc d'observateur de la structure (DOS) égal à 5, ce qui permet de détecter un défaut à la fois.

Chaque élément est attaqué par toutes les entrées et une seule sortie du système 5 cuves.

b. Fixation du seuil :

Le seuil est fixé à 98% de la valeur maximale du signal de résidus dans le cas sain (figure IV.15).

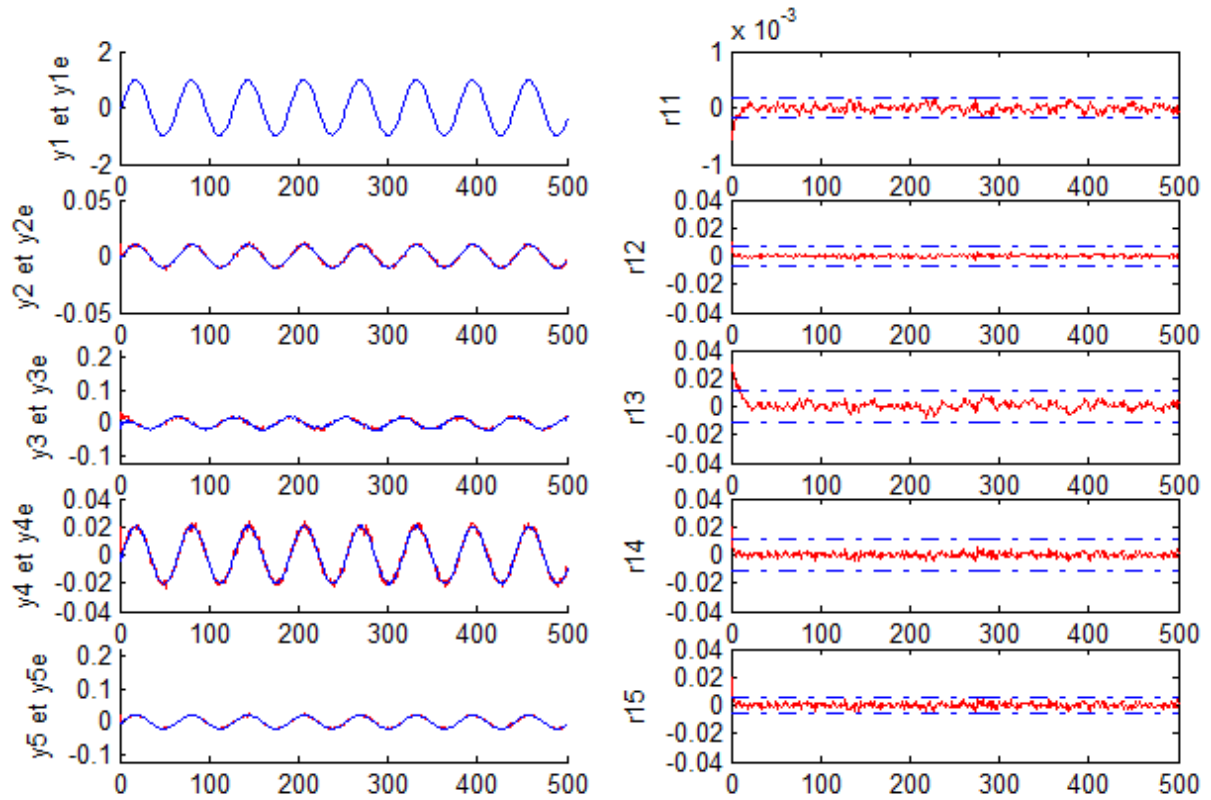


Figure IV.15 : Fixation des seuils de détection de défauts capteurs

c. Détection de défauts capteurs du système 5 Cuves :

La simulation de défaut donne les résultats affichés sur la figure IV.16, nous constatons le dépassement de seuil pour la 3^{ème} sorties de l'élément du banc d'observateur attaqué par l'entrée $y_3(t)$

Pour les autres éléments, nous ne constatons aucun dépassement du seuil.

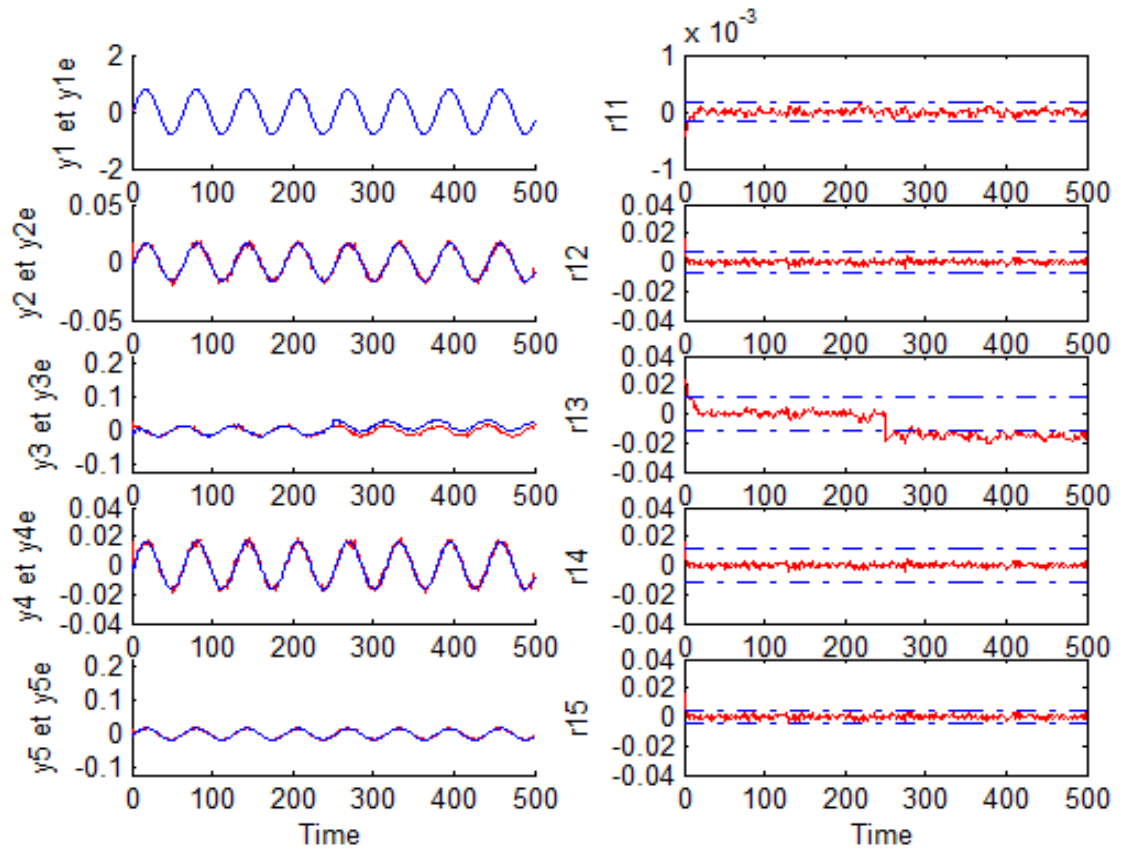


Figure IV.16 : Sorties et leurs estimées avec résidus des (5) cinq éléments du banc d'observateurs

d. Matrice des signatures instrumentales

	<i>défaut</i>
r_1	0
r_2	0
r_3	1
r_4	0
r_5	0

Tableaux III.1: Signatures instrumentales

L'analyse de la figure IV.16 qui montre les cinq les cinq sorties des cinq éléments du banc d'observateurs nous permet d'avoir cette matrice. La comparaison de cette dernière avec la matrice des signatures théoriques indique que le deuxième capteur est en défaut.

IV.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthode de diagnostic de défauts actionneurs et capteurs en utilisant les structures DOS et GOS des observateurs à entrées inconnues. L'approche présentée a été appliquée pour le diagnostic de défauts affectant les actionneurs et les capteurs d'un système hydraulique à cinq cuves.



Conclusion Générale

Nous avons présenté dans ce mémoire le diagnostic de défauts affectant les capteurs et les actionneurs.

Dans un premier temps, nous avons donné un bref rappel sur les concepts et la terminologie propre au diagnostic, ainsi que les méthodes de diagnostic de défaut sans modèle et avec modèle mathématique. Par la suite, nous avons présenté la linéarisation des systèmes non linéaires, pour passer à l'estimation d'état en utilisant un observateur de Luenberger, et pour estimer les états en présence de perturbations, nous avons présenté l'observateur à entrées inconnues, dont nous avons estimé les états du système hydraulique cinq cuves en utilisant ce dernier type d'observateur.

Pour le diagnostic de défaut, nous avons présenté l'approche basée sur l'utilisation des bancs d'observateurs à entrées inconnues pour les deux structures DOS et GOS.

La structure DOS a été choisie pour le diagnostic de défaut capteur et actionneur du système hydraulique 5 cuves.

Comme perspectives, nous proposons d'élargir l'étude au système non linéaire directement, sans passé par la linéarisation afin de se rapprocher au mode de fonctionnement réel du système considéré.

Bibliographie

- [1] A.S. WILLSKEY. A Survey of design methods for failure detection in dynamic Systems, automatic, 1976.
- [2] G. Zwingelstrein. Diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels, Edition Hermès, 1995.
- [3] N.S.Boukhalfa.Synthèse d'observateurs non linéaires , Application au diagnostic de défauts. Thèse magister, Université Mouloud Mammeri ,Tizi- Ouzou.
- [4] M. R. Zemouri .Contribution à la surveillance des systèmes de production, thèse doctorat, Université de Franche-Comté, 2003.
- [5] L. Zetao. Contrebutions à l'élaboration d'algorithme d'isolation et d'identification de défaut dans un système non linéaires. Thèse, Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2006.
- [6] S.Touf, diagnostic logique des systèmes complexes dynamiques dans un contexte multiagent, Doctorat de l'université Joseph Fourier, Grenoble, 2005.
- [7] R. Isermann and P. Ballé, Terminology in the eld of supervision, fault detection and diagnosis, Technical Committee of Safeprocess 1997.
- [8] K.Merahi. Estimation d'état et diagnostic de fonctionnement des systèmes non linéaire, université badji Mokhtar Annaba, Département d'électronique pour l'Ingénieur 2010.
- [9] H.Baikeche.Diagnostic des systèmes linéaires en boucle fermée, Thèse doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, spécialité automatique et traitement de signal.
- [10] A.Akhenak. Conception d'observateurs non linaires par approche multi modèle, application au diagnostic, Thèse de Doctorat, Ecole doctorale IAEM de Lorraine, 2004
- [11] R.J.Pattan. Fault Detection and Diagnosis in Aerospace Systems using AnalyticalRedundancy, Computing and Control Engineering, Vol.2, pp127-136, 1991.
- [12] M.L.Leuschen, I.D. WALKER et J.R. Cavallaro. Nonlinear Analytical Redundancy for Fault Detection, IEEE Transactions on Automatic control,2002
- [13] Y.Derdour. Comparaison des Outils de Diagnostic par l'Analyse Structurelle et laThéorie des Observateurs thèse magister, Université D'ORAN 2009/2010
- [14] Nelly OLIVIER-MAGET, Surveillance des systèmes dynamiques hybrides, Application aux procédés, Université de Toulouse, Institut Nationale des Sciences Appliquées de Toulouse, 12 décembre 2007
- [15] S. METHNANI. Diagnostic. reconstruction et identification des défauts capteur et actionneurs, application aux stations d'épurations des eaux usées, Université de Sfax, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 17 décembre 2012.
- [16] P.M Frank and B Köppen-Seliger. New developments using AI in fault diagnosis, Engineering.Applic. Artif. Intell. vol. 10(1), pages: 3-14, 1997.
- [17] S .Dash, Venkatasubramanian, V. Challenges in the industrial applications of fault diagnostic systems. Proceedings of the conference on Process Systems Engineering Comput. &Chem, 2000.
- [18] R.Isermann, Fault-diagnosis systems: an introduction form fault detection to faul tolerance. Springer, 2006.
- [19] V .Venkatasubramanian, R.Rengaswamy, Yin, K., Kavuri, S. N. A review of process fault

- detection and diagnosis, Computers & Chemical Engineering vol. 27, pp. 293-346, 2003
- [20] S. BACHIR. Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique. Thèse, Université de Poitiers, 2002
 - [21] F.Lootsma. Observer-based Fault Detection and Isolation for Nonlinear systems These, Department of Control Engineering, University Aalborg, Denmark, 2001.
 - [22] H.Y.CHOU. Fault Diagnosis of the Heat Exchanger system using Unknown Input observer.
 - [23] Gertler, Survey of model-based failure detection and isolation in complex plants, IEEE .Control Systems Magazine 8(6) (1988), 3-11.
 - [24] M. Basseville, Distance measures for signal processing and pattern recognition, Signal processing 18(4) (1989), 349-369.
 - [25] F. Kratz, Utilisation des techniques de redondances matérielles et analytiques à la Institut National Polytechnique de Lorraine, Centre de Recherche en Automatique de Nancy, 1991.
 - [26] J.E. Potter and M.C. Suman, Thresholdless redundancy managements with arrays of skewed instruments. Integrity in electronic flight control systems, AGARDOGRAPH-22415 (1977), 1_25.
 - [27] B. Hakami and J. Newborn, Expert Systems in Heavy Industry, An Application of ICLX in a British Steel Corporation Works, ICL Technical Journal (1983), 347_359
 - [28] I. T. Jolliffe, Principal component analysis, Springer-Verlag, New York, 1986.
 - [29] Site web, https://fr.wikipedia.org/wiki/Observateur_d%27%C3%A9tat le 27/02/2017 à 7:46
 - [30] B.Larroque, Observateurs des systèmes linéaires Application à la détection et localisation de fautes, Université de Toulouse, 2008.
 - [31] N. BARKAT, Méthodes analytiques de détection des défauts dans les systèmes bouclés, Application à un Système. Électrotechnique université de Banta, faculté de science de l'ingénieur.
 - [32] G. GRATON, Diagnostic des systèmes à l'aide d'observateurs à mémoire finie, Application au Common Rail, Université D'Orléans, 14 décembre 2005
 - [33] Luc Jaulin. Contrôleurs et observateurs ENSI2, ENSTA-Bretagne, 19 mai 2011.
 - [34] Notes de cours Commandes des processus représentation d'état, Université Paris-Sud XI - ENS de Cachan.
 - [35] M.Reguig, Diagnostic des Systèmes Linéaires, Centre Régional Agréé de Nancy. Avril 2001.
 - [36] Systèmes linéaires, non linéaires, à temps continu, à temps discret, représentation d'état Cours et exercices corrigés Yves Granjon Professeur à l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) et directeur de l'ENSEM à Nancy 2 emme édition
 - [37] Site web, https://fr.wikipedia.org/wiki/Repr%C3%A9sentation_d%27%C3%A9tat le 8/03/2017 à 22.30
 - [38] O. Föllinger, Regelungstechnik ,Einführung in die methoden und ihre anwendungen, Dr. Alfred Huthig Verlag, Heidelberg, 1985.
 - [39] J. O'Reilly, Observer for linear system, Richard Bellman, Mathematics in Science and Engineering Vol. 140, Academic Press, New York, 1983.
 - [40] R. E. Kalman et J. E. Betram, Control system analysis and design via the second method of Lyapunov –I , Continuous-time system, ASME journal of Basic Engineering Vol. 82, pp. 371-393, 1960.

- [41] LUENBERGER,D.G . An introduction to observers , IEEE Transactions on Automatic Control Vol. 16,no.6,pp. 596-602,1971.
- [42] F. SALLEM , détection et isolation de défauts actionneur basées sur un modèle de l'organe de commande , Université DE TOULOUSE III PAUL SABATIER Doctorat Automatique 13 septembre 2013.
- [43] Automatic Control 1 State estimation and linear observers Prof. Alberto Bemporad University of Trento Academic year 2010-2011
- [44] D. ICHALAL. Estimation et diagnostic de systèmes non linéaires décrits par un modèle deTakagi-Sugeno, Ecole doctorale IAEM Lorrain : DFD Automatique et Production Automatisée, 24 /11/2009.
- [45] H.KHEBBACHE. Tolérance aux défauts via la méthode backstepping des systèmes non linéaires, Application : Système UAV de type Quadrirotor, UNIVERSITE FERHAT ABBAS DE SETIF : Département d'Electrotechnique, 06/06/2012.
- [46] Clément LETELLIER. Diagnostic robuste des systèmes incertains : Applications à un système mécatronique pour l'automobile, Université de Rouen : Ecole doctorale Sciences Physiques, Mathématiques et de l'Information pour l'Ingénieur, 19/10/2012.
- [47] Bernard Dubuisson. Automatique et statistique pour le diagnostic, Paris, Hermès Science Publications, 2001.

Résumé

Dans ce travail, nous avons présenté une méthode de diagnostic qui peut être appliquée sur les systèmes représentés par équations d'état, basée sur un observateur à entrée inconnue et la structuration des résidus pour la conception d'un banc d'observateurs. Cette méthode a été vulgarisée et appliquée sur un système industriel, qui est le système hydraulique cinq cuves. Nous avons simulé deux défauts le premier affectant un actionneur et le deuxième affectant un capteur, dont nous avons pu détecter et localiser ces deux défauts.

Mots clés : Système hydraulique cinq cuves, diagnostic de défaut, observateurs à entrées inconnues.

المخلص

في هذا العمل قمنا بمعالجة طريقة لتشخيص الأعطاب يمكن تطبيقها على الأنظمة الممثلة بمعادلات الحالة، و قد استخدمنا الملاحظات ذات المداخل المجهولة، مع بناء إشارة الخطأ المكتشف، و ذلك لبناء بنك من الملاحظات يمكننا من كشف و فصل المنفذات و الملتقطات التي أصابها الخطأ. الطريقة التي تم عرضها تم تطبيقها على نظام هيدروليكي لخمسة خزانات حيث تم كشف و فصل الأعطاب بنجاح.

الكلمات المفتاحية:

نظام غير خطي، ملاحظان ذات مداخل مجهولة، كشف الأعطاب، نظام هيدروليكي لخمسة خزانات.

Abstract

In this work we have studied a method of diagnosis can be applied to systems represented by equations of state, Based on an unknown input observer and the construction of residuals and the design of a set of observers.

This method has been applied on a widely used industrial system, which is the five hydraulic tanks system. We simulated two faults on two sensors and we were able to detect and isolate these two faults.

Keywords: System with five tank hydraulic system, fault diagnosis, unknown input observer