

République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABOU BEKR BELKAID – Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Filière : Automatique

Projet de Fin d'Etudes

Master : 2

Option : Automatisation et supervision

Intitulé : Diagnostic d'un système dynamique à base d'un observateur à entrées inconnues avec découplage parfait

Présenté par :

BERIKSI REGUIG MOHAMED KARIM .

LAISSOUF MOHAMMED EL WALID .

Soutenu le : 25/06/2014, devant le jury composés de :

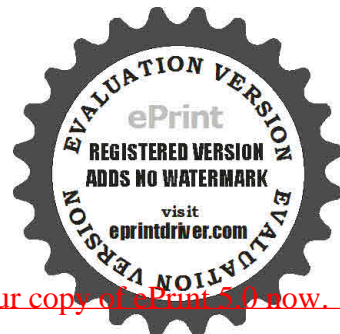
Président : Dr KHEDIM A maria

Examineur : Dr BORSALI S alima

Examineur : Dr HOUBAD Yamina

Encadreur : Dr MEGHABER Abdelmadjid

Année Universitaire : 2013-2014



REMERCIEMENTS

Nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné durant toutes ces années, la santé, le courage et la foi en nous même pour pouvoir avancer et mener nos études à leurs termes.

Nous ne saurions, réellement, trouver les expressions éloquentes que mérite notre encadreur Monsieur MEGHABER Abdelmadjid enseignant à l'université Abou BEKR-BELKAID pour nous avoir proposé le sujet et offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité.

Que Madame KHEDIM enseignant à l'université Abou BEKR BELKAID, veuille croire à nos profondes reconnaissances et nos sincères gratitude d'avoir accepté de présider le jury.

Nous adressons nos remerciements aux membres du jury Madame BORSALI enseignant à l'université Abou BEKR BELKAID, et Mme HOUBAD enseignant à l'université Abou BEKR BELKAID, qui nous ont fait l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre modeste travail.

Enfin, nous exprimons nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Merci



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements et sans qui je ne serais pas là aujourd'hui. Ce travail soit pour eux, un faible témoignage de ma profonde affection de tendresse.

A mon frère Zaki Faredheb.

A mes sœurs.

A mes 2cousin Issam et Yassine.

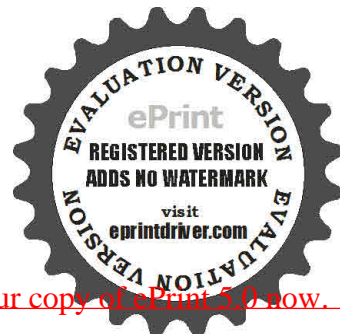
A tous ma famille

A celle qui m'aime.

A Tous mes amis (es)

A tous ceux qui m'aime et j'estime.

BERIKSI REGUIG med karim.



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements et sans qui je ne serais pas là aujourd'hui. Ce travail soit pour eux, un faible témoignage de ma profonde affection de tendresse.

A mon frère Brahim.

A mes sœurs.

A tous ma famille.

A Tous mes amis (es) .Brahim, Abderrahim kroos, Youcef keita

Amina murat ,Houda milano ,Souad

A tous mes enseignants

A tous ceux qui m'aime.

LAISSOUF MOHAMMED EL WALID.



Table de matière :

Introduction générale 1

Chapitre1 : **Diagnostic des systèmes dynamiques (état de l'art)**

1. **Etat de l'art** 2

2. Définition de concept 2

3. Procédure de **détection et d'isolation des défauts** 4

4. Diagnostic par redondance 5

4.1 Redondances matérielle..... 5

4.2 Redondance analytique 6

5. Modèles dynamiques et génération de résidus 7

5.1 Espace de parité..... 8

5.2 Diagnostic par observateurs 8

5.3 Estimation paramétrique..... 9

6. **Principe de génération de résidus à base d'observateurs**..... 9

7. **Structuration et évaluation des résidus générés à base d'observateur**..... 10

7.1 Structure d'observateurs simplifiés 10

7.2 Structure d'observateurs dédiés (DOS)..... 11

7.3 Structure d'observateurs généralisés (GOS)..... 11

8. Evaluation des résidus..... 12

9. Performance d'une procédure de diagnostic 13

9.1 Robustesse du diagnostic 13

10. Modélisation des systèmes en présence de **défauts**..... 13

11. Conclusion..... 14

Chapitre2 : **Diagnostic a base d'un O.E.I :**

1.introduction :..... 15

2.Diagnostic **d'observateur à entrée inconnue**..... 15

soit à base de 17

base de bancs d'observateurs..... 18

..... 20

..... 23

3.Structuration des résidus..... 23

3.1 23

3.2 25

4.Conclusion..... 35

Chapitre3 :Espace de parité

1.Introduction..... 36

2.approche par espace de parité :..... 36

3.Espace de parité **statique**..... 36

3.....

3.....

.....



.....	44
4.conclusion :.....	47

Chapitre 4 : **Application d un système hydraulique** ☐

1.Introduction :.....	48
2.Etude d'un système a plusieurs réservoirs	48
3.conclusion	63

Annexe A : inverse généralisées

Référence et bibliographie



Liste des figures :

I.1 Procédure de détection et d'isolation des défauts	4
I.2 Modèle de redondance matérielle	5
I.3 Modèle de redondance analytique	6
I.4 Génération de résidus	7
I.5 Schéma de principe du diagnostic des défauts à base d'observateurs	10
I.6 Structure d'observateur simple	10
I.7 Structure d'observateurs dédiés	11
I.8 Structure d'observateurs généralisés	12
I.9 Différents Types de défauts existants sur le système	14
I.10 Evolution temporelle des différents types de défauts	14
II.1 Schéma d'observateur dédié (DOS) pour la localisation des défauts actionneur	20
II.2 Schéma d'observateur dédié (DOS) pour la localisation des défauts actionneur	22
II.3 Schéma d'observateur dédié (DOS) pour la localisation des défauts capteur	23
II.4 simulink	30
II.5 :bruit (perturbation)	31
II.6 :résidu1 en présence de perturbation	31
II.7 :résidu2 en présence de perturbation	32
II.8 :résidu1 en présence de défaut actionneur	32
II.9 :résidu2 en présence de défaut actionneur	33
II.10 :résidu1 en présence de défaut capteur1	33
II.11 :résidu2 en présence de défaut capteur1	34
II.12 :résidu1 en présence de défaut capteur2	34
II.13 :résidu2 en présence de défaut capteur2	35
IV.1 système hydraulique	49
IV.2 :Simulink obtenue	57
IV.3 :résidu r ₁ en présence de perturbation	57
IV.4 :résidu r ₂ en présence de perturbation	58
IV.5 :résidu r ₃ en présence de perturbation	58
IV.6 :résidu r ₁ en présence de défaut actionneur	59
IV.7 :résidu r ₂ en présence de défaut actionneur	59
IV.8 :résidu r ₃ en présence de défaut actionneur	60
IV.9 :résidu r ₁ en présence de défaut capteur1	60
IV.10 :résidu r ₂ en présence de défaut capteur1	61
IV.11 :résidu r ₃ en présence de défaut capteur1	61
IV.12 :résidu r ₁ en présence de défaut capteur2	62
IV.13 :résidu r ₂ en présence de défaut capteur2	62
IV.14 :résidu r ₃ en présence de défaut capteur2	63



Notion utilisée :

Liste des abréviations :

Abréviations	Signification
<i>FDI</i>	faute de détection and isolation
<i>DLF</i>	Détection et localisation de fautes
<i>OEI</i>	Observateur à entrée inconnue
<i>SOS</i>	observateur simplifié
<i>GOS</i>	observateur généralisé
<i>DOS</i>	observateur dédié
<i>SYS</i>	Système
<i>OBS</i>	Observateur

Variables :

- R* Résidu
- O* Un opérateur mathématique (dérivé, norme moyenne, etc.)
- x* Vecteur d'état de dimensions n
- y* Vecteur de sortie de dimension p
- z* Vecteur d'état de l'observateur
- u* Vecteur de commande de dimension m
- f* Ensemble des défauts à détecter
- d* Ensemble des perturbations
- w* Vecteur des entrées inconnues
- A* Matrice d'évolution de dimension $n \times n$
- B* Matrice d'application de la commande de dimension $n \times m$
- C* Matrice d'observation de dimension $p \times n$
- D* Matrice d'observation et le terme direct entre la commande et les mesures de dimension $p \times m$
- M* Variable d'entrées
- J* Variable de sorties



$\text{Re}(p)$	Partie réelle
I_n	Matrice identité de dimension $n \times n$
F	Matrice de transfert
p	Opérateur de dérivation
λ	Valeur propre
$\overline{(\cdot)}$	Changement de base
$\dot{(\cdot)}$	Dérivation première
$(\cdot)^{-1}$	Matrice Inverse
M	Matrice de Hurwitz
ε	Erreur d'estimation
Robuste	Terme employé en présence d'entrées inconnues
Insensible	Terme employé en l'absence d'entrées inconnues



Introduction générale :

Au cours des deux dernières décennies, les performances des équipements industriels ont considérablement été augmentées. Le gain en productivité et en qualité de production sont naturellement accompagnés d'un accroissement de la complexité des installations. L'intégration de calculateurs très performants dans les systèmes automatisés, a permis de développer des algorithmes sophistiqués tant au niveau de la commande qu'au niveau du traitement des données.

Cependant ces algorithmes deviennent complètement inefficaces si les informations qui leur sont fournies sont erronées. Dans ce dernier cas, les performances du système s'en trouvent dégradées, mais pire encore, les conséquences au niveau des installations, de l'environnement et de la sécurité des personnes peuvent être dramatiques. C'est pourquoi, au-dessus de la couche logicielle d'automatisation au sens classique (commande du système), il convient d'intégrer un système permettant de surveiller le bon fonctionnement de l'ensemble.

Un tel système de surveillance doit permettre de valider les données utilisées par le système de contrôle/commande mais aussi de fournir des informations sur le fonctionnement à un niveau accessible aux opérateurs qui l'exploitent. Il doit être capable de provoquer dans les cas graves un arrêt de l'unité ou de permettre au système de production de continuer à fonctionner en mode dégradé en cas de problèmes ne nécessitant pas un arrêt immédiat. Les tâches de détection et de localisation des défaillances trouvent ainsi tout naturellement leur place dans un tel système de surveillance.

L'automatisation a donc évolué depuis la régulation et l'optimisation vers la garantie de la sécurité, fondée sur la surveillance, le diagnostic en ligne et l'entretien préventif.

Les travaux demandés dans ce projet de fin d'études portent sur des contributions théoriques et pratiques (simulations) pour la généralisation d'algorithmes robustes de diagnostic de défauts sur des modèles dynamiques.

Deux méthodes sont proposées : le diagnostic de défauts à l'aide d'observateurs à entrées inconnues et le diagnostic utilisant l'espace de parité.

Ainsi le premier chapitre est dédié à un état de l'art non exhaustif et une bibliographie du diagnostic (FDI) à base de modèles dynamiques.

Le second chapitre porte sur la présentation et l'étude théorique du diagnostic à base d'observateurs à entrées inconnues (OEI) validé par des exemples d'application sur des modèles dynamiques.

Idem pour le troisième chapitre, la méthode différentielle porte sur le diagnostic utilisant l'espace de parité.

Enfin, le chapitre quatre est réservé et consacré à une application sur un modèle hydraulique didactique. Il s'agit de tester les deux méthodes proposées au préalable pour générer des algorithmes de diagnostic capable de détecter et d'isoler des défauts (capteurs, actionneurs, fuites, etc...).

Signalons aussi que les travaux seront proposés comme travaux pratiques pour les étudiants en master dans le module de diagnostic.



Chapitre 1 : Diagnostic des systèmes dynamiques (état de l'art) :

1. Etat de Part:

Le diagnostic est utilisé à l'origine dans le domaine médical. Ce terme signifie le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème ou d'une maladie à partir des caractères ou symptômes relevés par des observations, des contrôles ou des tests (il s'agit donc d'acquérir des connaissances à travers les signes observables).

Selon, le contexte et le domaine d'application, le mot de 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 industrielles de manière autonome et est 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 (FAUT 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 ces domaines en proposant diverses approches et techniques répondant à la diversité des applications.

Nous proposons dans ce chapitre de faire un état de l'art 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 des 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 abstraitement présenté ainsi que les différentes méthodes proposées dans ce domaine.

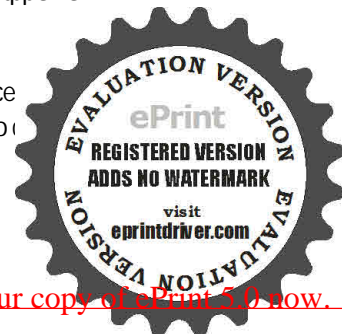
D'autre part, nous allons présenter la procédure générale de détection et d'isolation des défauts par les méthodes à base de modèle mathématique. Cette dernière passe par deux étapes essentielles : la génération et l'évaluation du vecteur résidu. Mais auparavant, nous allons introduire la manière avec laquelle aborder un problème FDI. Nous insisterons sur la phase de modélisation du système et des différents défauts et en très inconnues. Nous aborderons également les critères de performance d'un système FDI et nous nous intéresserons, plus particulièrement, au problème de robustesse.

2. Définition et concept:

Panne: est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. une panne résulte toujours une défaillance.

Défaillance: est une anomalie altérant ou empêchant l'aptitude d'une unité fonctionnelle à accomplir la fonction souhaitée. une défaillance correspond à un passage d'un état à un autre, par opposition à une panne qui est un état. par abus de langage, cet état de panne on pourra l'appeler mode de défaillance.

Un défaut: est une anomalie de comportement au sein du système. Ce concept important dans les opérations de surveillance pour la conduite et la maintenance des pro



industriels. Tout écart entre la caractéristique observée et la caractéristique de référence est considéré comme étant un défaut. Il est donc clair qu'une défaillance conduit à un défaut. Mais un défaut n'induit pas nécessairement une défaillance. En effet, le dispositif peut conserver son aptitude à accomplir sa tâche principale si les défauts n'ont pas d'impacts sur cette tâche. L'art du diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à un état de défaillance donc de panne.

Le diagnostic: consiste à déterminer le type, la taille, le lieu et l'instant d'occurrence d'un défaut, il suit la détection de défauts et inclut l'isolement et l'identification.

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.

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.

La supervision: est la surveillance d'un système physique et la prise de décisions appropriées en vue de maintenir son opération hors de l'appareil en cas de défauts.

La détectabilité: est une propriété structurelle du système considéré, qui décrit la manière dont le comportement du système est affecté par les défauts. Elle est indépendante du type et de l'amplitude du défaut considéré. Un défaut sera dit détectable lorsque son apparition, indépendamment de son amplitude et de son type, causerait un changement sur le comportement nominal de l'entrée et/ou de la sortie du système. Plus précisément, considérons un système modélisé par l'équation entrée-sortie suivante :

$$y = f(u, f) \tag{1.1}$$

avec u, y respectivement l'entrée et la sortie du système considéré et f représentant un défaut. On dira que le défaut f_i est structurellement détectable lorsque

$$\frac{\partial y}{\partial f_i} \neq 0 \tag{1.2}$$

et/ou

$$\frac{\partial u}{\partial f_i} \neq 0 \tag{1.3}$$

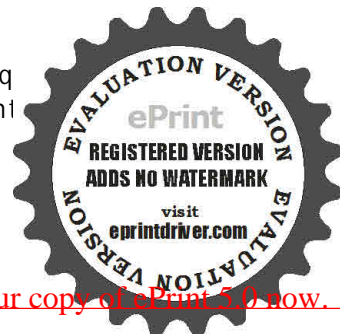
L'isolabilité : deux défauts détectables et distincts f_i et f_j sont isolables lorsque leurs influences sur les variables mesurées du système sont distinguables ou encore lorsque toute apparition simultanée de ces deux défauts engendre une déviation d'au moins une variable mesurée du système. Ceci peut se traduire mathématiquement, en considérant le système (1.1) par :

$$f(u(f_i), f_i) \neq f(u(f_j), f_j) \tag{1.4}$$

et/ou

$$u(d_i) \neq u(d_j)$$

L'identifiabilité: elle est comprise comme la caractérisation de la structure du système essentiellement pour la reconstruction du défaut à partir de l'entrée et de la sortie. D'un point



mathématique, l'indéfinissabilité est caractérisée par l'inversibilité à gauche du transfert du défaut considéré vers l'entrée et de la sortie du système. Cette notion d'indéfinissabilité est ici équivalente à celle de l'inversibilité du modèle.

Les méthodes de diagnostic des systèmes automatiques étudiées dans la littérature sont très variées et peuvent être classées en deux groupes majeurs : celles qui n'utilisent pas de modèles mathématiques du processus (méthodes internes) et celles qui en utilisent (méthodes externes). Parmi les approches à base de modèle, on peut distinguer celles dont la mise en application est conditionnée par l'existence d'un modèle explicite du système et celles qui s'affranchissent de cette condition.

Notion de résidus et prise de décision

Les résidus: la détection de défaut passe par la génération d'un indicateur de défaut construit à partir d'un modèle dans notre cas, couramment appelé résidu. Cet indicateur est défini par une relation de consistance. Il est conçu afin d'être nul dans un cas de bon fonctionnement. Ses dispersions autour de zéro sont des restes, des résidus, liés aux bruits. En revanche, dans un cas avec défaut, le résidu s'éloigne de sa valeur moyenne nulle et permet d'indiquer la présence d'un défaut. Résumé : un résidu = signal conçu comme indicateur d'anomalies comportementales (défauts) ou fonctionnelles (défaillances). Un résidu est donc un signal porteur de signification sémantique.

3. Procédure de détection et d'isolation des défauts :

Comme elle est représentée par la Fig. 1.1, La procédure de détection et d'isolation des défauts passe par trois étapes essentielles :

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 est réalisée en vérifiant le dépassement d'un seuil par les résidus.

L'isolation: Cette étape permet de localiser le défaut et donc de déterminer que la partie du système est affectée par l'anomalie. La détection de pannes est souvent suivie d'une procédure d'isolation de pannes, qui sert à distinguer (soleur) un panne par articulation. Une seule résidu est utilisé pour détecter les pannes, cependant plusieurs résidus (ou un vecteur de résidus) sont souvent requis pour l'isolation de pannes.

L'identification: L'ampleur et le type des défauts sont estimés dans cette phase. Détermination de l'ampleur du défaut. L'identification (si utile) peut ne pas justifier l'effort supplémentaire qu'elle requiert.

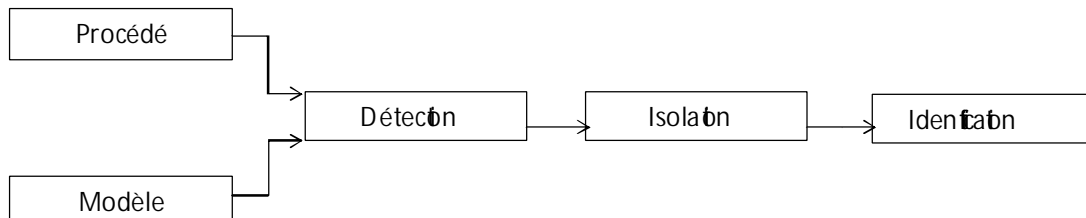


Fig. 1.1 Procédure de détection et d'isolation des défauts.



Le détecteur calcule trois résidus: r_1, r_2, r_3

$$r_1 = m_1 - m_2, r_2 = m_1 - m_3, r_3 = m_2 - m_3$$

- Afin de pouvoir isoler le défaut, la redondance matérielle doit être d'ordre impair.
- Utilisée dans les systèmes où la sécurité des personnes est primordiale.
- Analyse des résidus :

Mesure en défaut	Résidu 1	Résidu 2	Résidu 3
1	1	1	0
2	1	0	1
3	0	1	1

I.1 Table de signature

- L'approche redondance matérielle est très efficace bien qu'elle ne couvre pas les pannes de mode commun : panne d'alimentation électrique, panne de masse etc.
- Le coût de l'encombrement ainsi qu'un champ d'application strictement limité aux pannes de capteurs constituent les inconvénients majeurs de cette méthode.

4-2 La redondance analytique: consiste à utiliser des informations supplémentaires issues de modèles générant des grandeurs homogènes à celles provenant de capteurs.

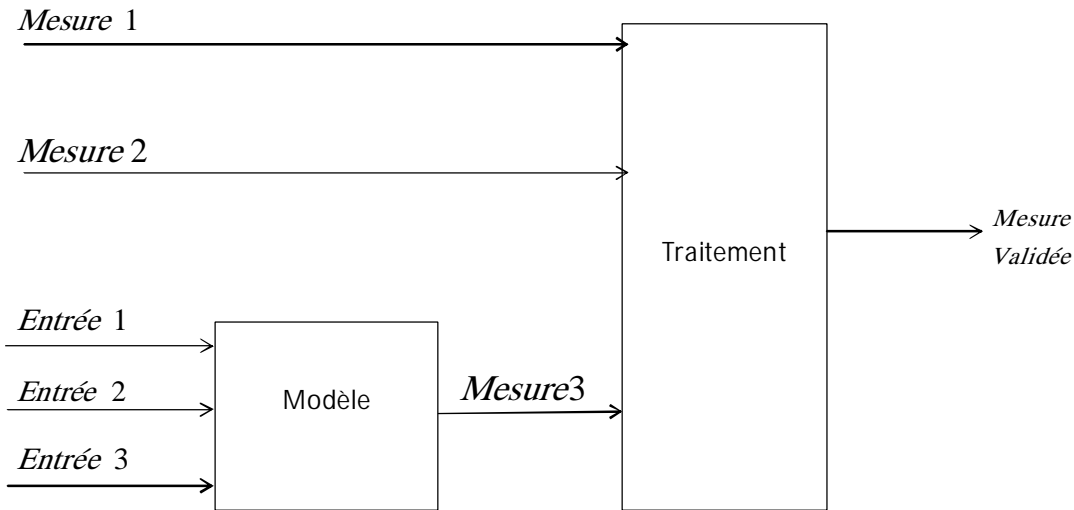
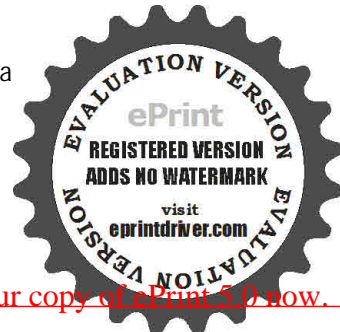


Fig. I.3 Modèle de redondance analytique

- Le champ d'application de la redondance analytique ne se limite pas aux pannes de capteurs mais s'étend aux pannes des actionneurs ou à celles du procédé lui-même.



➤ L'approche utilisant la redondance analytique se décompose généralement en deux phases distinctes :

- La première concerne la génération de résidus caractéristique de la panne.
- La seconde étape concerne la prise de décision qui a trait à la détection et éventuellement à la localisation d'un élément défaillant. Elle met en œuvre des techniques de détection de ruptures et de tests d'hypothèses.

5. Modèles dynamiques et génération de résidus :

La redondance analytique peut s'appuyer sur des modèles de différentes natures et en particulier sur des modèles dynamiques du système étudié. En particulier, les modèles classiquement en Automatique (transferts, représentations d'état linéaires ou non linéaires, modèles hybrides, etc....) peuvent servir de support à la synthèse d'indicateurs de défauts encore appelés résidus. Les résidus sont des grandeurs numériques généralement comparés à des seuils afin de détecter la présence de défauts. Le modèle permettant de calculer ces résidus s'appelle un générateur de résidus.

À titre d'illustration la Fig. 1.4 représente un générateur de résidus rudimentaire basé sur le calcul d'une erreur de sortie. Le diagnostic utilise alors la connaissance du processus physique représenté par un modèle de bon fonctionnement en temps réel comparé aux données issues de plusieurs capteurs des sorties en fonction des paramètres dynamiques dépendantes des entrées connues *u*, des entrées inconnues de type perturbation *d* et des entrées inconnues de type défaut *f*. Plus précisément, *d* représente des signaux exogènes non maîtrisables sans pour autant être considérés comme des défauts, *f* représente les phénomènes considérés comme anormaux et susceptibles d'entraîner une dégradation inacceptable de la performance du système (défaut).

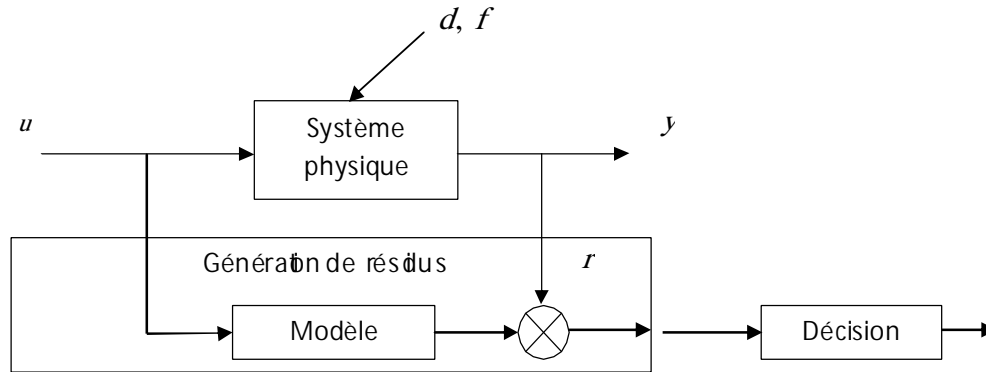


Fig. 1.4 Génération de résidus

Pour un générateur de résidu, on peut distinguer la « forme de calcul » et la « forme d'évaluation »

- La forme de calcul du générateur de résidu a comme entrées les observations (entrées connues *u* et mesures *y*) et comme sortie le résidu *r*. L'existence d'une forme de calcul pour un générateur de résidu est indispensable afin que ce dernier puisse être implémenté en ligne.
- La forme d'évaluation du générateur de résidu s'obtient en substituant aux mesures le modèle du système initial. On obtient ainsi un expression du générateur de résidu



comme entrées u (entrées connues), d (perturbations), f (défauts modélisés) et toujours comme sortie le résidu r . La forme d'évaluation permet de caractériser et donc d'étudier la sensibilité du résidu aux différentes entrées connues et inconnues. En particulier, la forme d'évaluation permet d'évaluer la sensibilité du résidu aux perturbations pour fixer des seuils, par exemple, et, une fois les seuils fixés, d'évaluer la sensibilité du test ainsi obtenu aux différentes défauts modélisés.

Dans le cas de la Fig. 1.4 (résidu du type erreur de sortie), le résidu r est sensible non seulement aux défauts f mais aussi aux perturbations d . De nombreux travaux ont consisté à étudier des générateurs de résidus permettant de rendre r le plus sensible possible aux défauts f tout en étant le moins sensible possible (voire « parfaitement » découplé) des perturbations d .

Ainsi, un résidu parfaitement découplé des perturbations est idéalement nul en l'absence de défaut :

$$f=0 \Rightarrow r=0 \tag{1.6}$$

Remarque : il est important de noter que (1.6) est une implication et non une équivalence dans le cas général.

Afin d'assurer le meilleur compromis possible entre sensibilité aux défauts et robustesse vis-à-vis des perturbations, plusieurs techniques de génération de résidus sont été développées. Parmi les méthodes de génération de résidus basées sur l'utilisation des modèles dynamiques usuels en automatique (continu et échantillonné) on distingue également

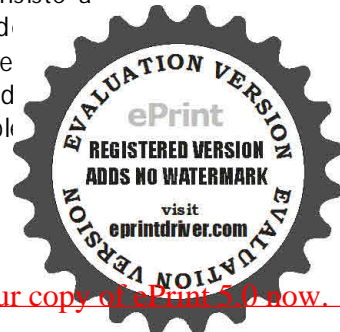
5-1 Espace de parité:

Les méthodes du type espace de parité reposent sur la vérification d'une relation statique ou dynamique qui relie les mesures sur une certaine fenêtre temporelle. L'espace de parité peut être vu comme l'espace des résidus possibles. Il est souvent défini comme l'orthogonal de la matrice d'observabilité, ce qui revient à éliminer l'influence de l'état sur le résidu. Dans le cas d'un découplage « parfait », une projection orthogonale aux directions d'influence des perturbations permet de découpler ces dernières. Dans le cas d'un découplage approximatif, la direction de projection permet en même temps de sélectionner les défauts à éliminer et de sélectionner les défauts (robustesse) est recherchée au travers de l'optimisation d'un critère [3]. L'extension au cas non linéaire des méthodes de type espace de parité a fait l'objet de plusieurs travaux, parmi lesquels on peut citer [4].

5-2 Diagnostic par observateurs:

Plusieurs méthodes de reconstructions d'état pour le diagnostic ont été développées dans la littérature. Ces méthodes emploient des algorithmes ayant pour but d'estimer l'état du système à partir des grandeurs connues. Parmi les observateurs, on distingue ceux d'ordre plein (même ordre que le modèle du système étudié) ou ceux d'ordre réduit. Plusieurs techniques d'observation ont été appliquées au diagnostic : Observateurs de LUENBERGER, observateurs à entrées inconnues, observateur de KALMAN pour les modèles fortement non linéaire.

- Filtres de détection de défaut : L'idée proposée initialement par BEARD[5] consiste à synthétiser un filtre tel que les sous-espace attribués en réponse à chacun des défauts soient invariants et ne se recouvrent pas. Ainsi, si le système présente un défaut, le correspondant est non nul et un défaut est détecté. Chaque défaut étant projeté dans un sous-espace invariant, l'identification de ces défauts (sous-espace) est rendue possible.



- Observateurs à entrées inconnues (OEI) : Un observateur à entrée inconnues vise à annuler l'erreur d'estimation d'une ou plusieurs combinaisons linéaires des états du système étudié, et ce, indépendamment de la présence d'entrées inconnues (perturbation). Une des premières utilisations de l'OEI pour le diagnostic à données incomplètes nécessite et suffisantes pour l'existence d'un OEI et des conditions de rang permettent de vérifier la possibilité de synthétiser un OEI.
- Observateurs non-linéaires : Afin de remédier aux limitations inhérentes à une modélisation linéaire, des travaux portant sur les observateurs non linéaires ont été largement développés ces dernières années. Une introduction à ces approches [6]

5-3 Estimation paramétrique:

La prise en compte de grandeurs paramétriques (ou multiplicatives) conduit à nouveau à appliquer des techniques d'estimation paramétrique. Les capacités de localisation de ces techniques sont généralement bonnes et la possibilité d'estimer les défauts peut se révéler utile afin de compenser leur influence. Cependant, les contraintes d'excitation sur les signaux d'entrée sont en général importantes.

Les techniques d'adaptation ont été appliquées aussi bien aux équations de parité qu'aux observateurs. Elles permettent de compenser l'influence de certaines perturbations. Limite à un nombre de paramètres adaptés est un moyen pour lever partiellement les contraintes sur l'excitation du système [7] présente quant à lui un estimateur adaptatif non linéaire pour le diagnostic de défauts.

Les techniques d'identification et d'estimation paramétriques sont également appliquées au diagnostic et consistent généralement à évaluer la cohérence des paramètres estimés avec des domaines de valeurs réels (en tenant compte de la fonction de transfert avec ou sans défauts). Bien souvent, les paramètres estimés ne sont pas homogènes aux paramètres physiques ayant pu servir à construire le modèle du système. Lorsque la fonction perturbée est connue, la tâche de diagnostic est facilitée.

6.Principe de génération de résidus à base d'observateurs :

Il consiste à estimer une partie ou l'ensemble des grandeurs mesurables du système à surveiller. Le résidu est calculé alors en faisant la différence, éventuellement en filtrant, entre les sorties réelles et celles estimées.

L'observateur revient alors à un modèle parallèle au système avec une contre réaction qui pondère l'écart de sortie. Ce principe est illustré sur la Fig. 1.5 Cette approche offre des propriétés très intéressantes car elle donne lieu à des résidus très flexibles et à souplesse, dans le choix des paramètres, permet de s'affranchir de certaines entrées inconnues, améliorant ainsi les caractéristiques des résidus tels que leur robustesse vis-à-vis des perturbations et leur sensibilité aux défauts.



7.2 Structure d'observateurs dédiés (DOS) :

Dans ce type de 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 de ses variables estimées, tandis que les estimations des autres observateurs convergent vers les mesures des sorties correspondantes sauf sur la sortie erronée. Ce schéma reste valable même dans le cas de plusieurs défauts simultanés.

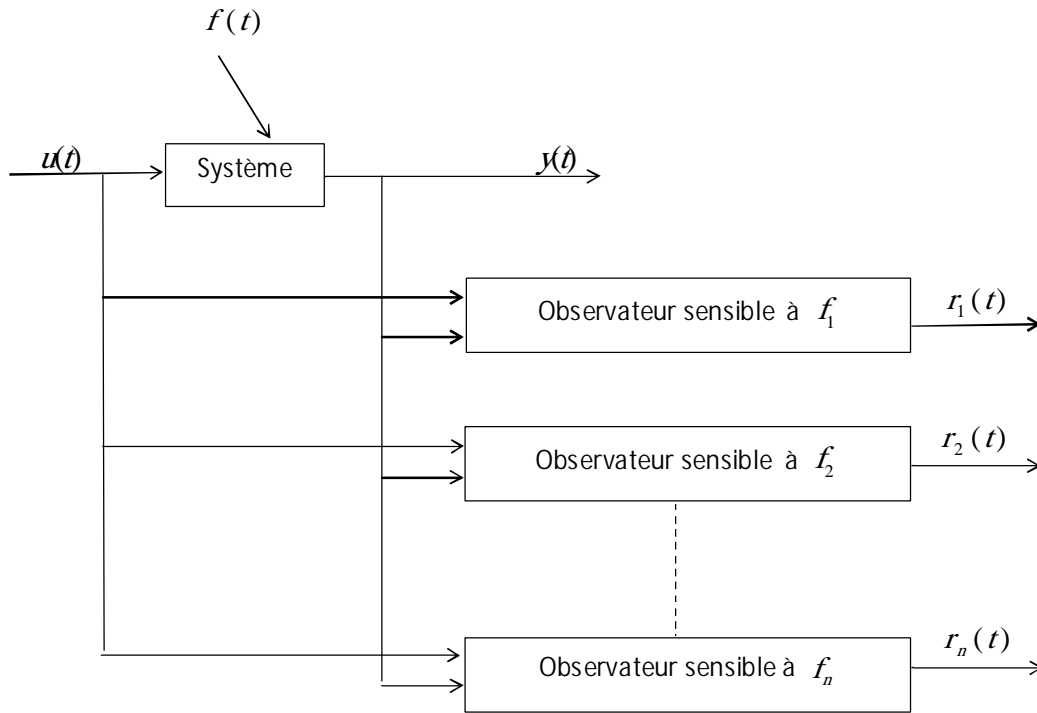
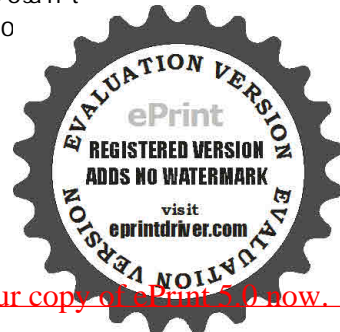


Fig. 1.7 Structure d'observateurs dédiés

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.

7-3 Structure d'observateurs généralisés (GOS) :

Dans ce genre de structure, il s'agit de synthétiser un certain nombre d'observateurs où chacun d'entre eux étant insensible à un seul défaut. Si un défaut apparaît alors, toutes les estimations d'états seront erronées sauf celles issues de l'observateur insensible à ce seul défaut. Ce schéma offre plus de degrés de liberté pour la conception de l'observateur et permet d'augmenter la robustesse. Cependant, en plus de ne pas être généralement pas capables de résoudre les problèmes de localisation des défauts, la problématique est encore abordée dans les interactions entre les sous-systèmes. En effet, si ces interactions sont faibles (ou nulles) un défaut n'affecte que l'estimation de l'observateur correspondant. Il est alors possible de localiser le composant défaillant. En revanche, si les interactions sont grandes, un défaut d'un des composants se propage aux observateurs des autres composants.



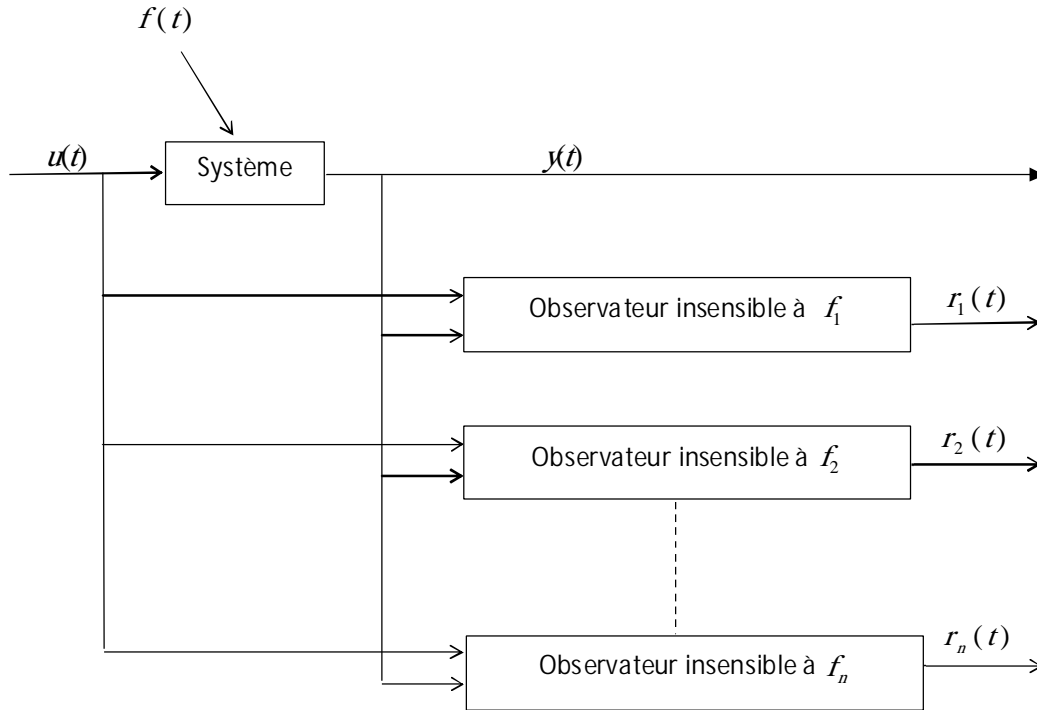


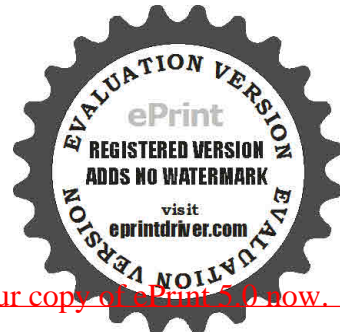
Fig. 1.8 Structure d'observateurs généralisés

8.Evaluation des résidus :

Le résidu converge vers une valeur proche de ou égale à zéro, dans le cas sans défaut et quitte d'une manière significative cette valeur après l'occurrence d'un défaut. Il est lié à la différence entre les sorties mesurées et leurs estimés par l'équation :

$r_i = O(\hat{y}_i - y_i)$, où r_i est le résidu correspondant à l*ème* sortie et O est un opérateur mathématique (dérivé, norme, moyenne etc.). Selon le nombre de résidus et l'expression de l'opérateur O . Il est possible de détecter et d'isoler les défauts. La plupart des méthodes de diagnostic à base de modèle incorporent deux étapes séquentielles pour résoudre un problème [9]

- génération du résidu .
- évaluation du résidu .
- Un résidu structuré est caractérisé par la propriété suivante : le résidu répond seulement à un sous-ensemble de défauts spécifiques, et pour chaque défaut seul un sous-ensemble spécifique de résidus répond .



Défauts capteur: modélisés en général par des signaux additifs aux signaux de sortie, ils fournissent une mauvaise image de l'état physique du système.

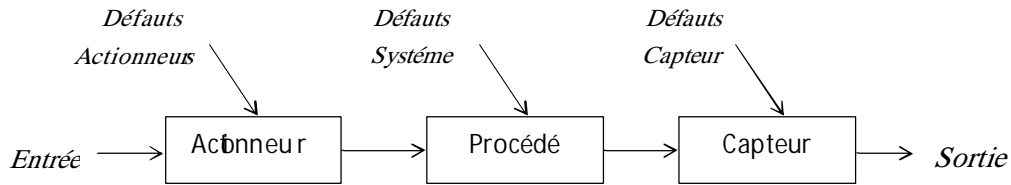


Fig. I.9 Différents Types de défauts agissant sur le système

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, il correspond à une panne brutale (dysfonctionnement total et partiel d'un élément).

-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.

-Défaut graduel: Ce défaut a un comportement temporel lent ce qui le rend difficile à détecter, il caractérise un encrassement ou une usure d'une pièce.

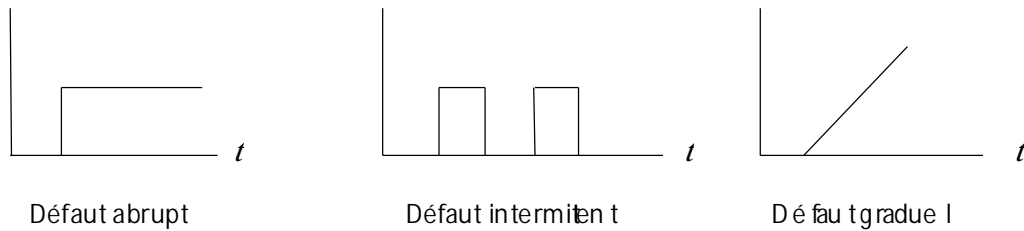
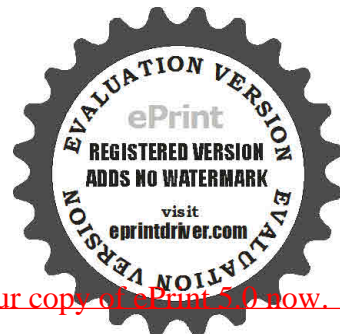


Fig. I.10 Evolution temporelle des différents types de défauts

11.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons établi d'une manière globale un état d'art sur le diagnostic de défauts en présentant les principales méthodes de diagnostic. Les méthodes FDI à base d'observateurs nécessitent de faire un bon choix d'observateurs et de structures de génération du résidu à utiliser. Ces choix dépendent à la fois de la nature du système à diagnostiquer (linéaires ou non linéaires) et de type de défauts.



Chapitre 2 : Diagnostic a base d'un O.E.I :

1.Introduction :

La conception d'observateur a été révisée (O.E.I) a fait l'objet, ces dernières années, de nombreux travaux, que ce soit pour la conception de commandes en présence de perturbations ou pour la génération de résidus en détection de fautes. Parmi les travaux précurseurs marquants, citons les travaux de (Hosteler et Meditch) et de (Johnson) qui imposent les fondements de la construction d'observateurs quand le comportement des entrées inconnues est supposé régi par une équation différentielle. Ces entrées inconnues, c'est à dire les perturbations ou les défauts, sont alors estimées. Dans le cas le plus courant où seule la matrice de distribution des entrées inconnues est connue, les approches algébriques sont les plus utilisées et font souvent intervenir des techniques utilisant des pseudo-inverses. Les conditions d'existence des O.E.I ont été définies par (Kudva), dans le cadre de la conception d'un observateur réduit de Luenberger soumis à des entrées inconnues. Dans le même esprit ont suivi les travaux de (Miller et Mukundan) tandis que les propriétés relatives à l'observabilité des systèmes ont été exploitées dans (Hou et Muller) pour établir les conditions nécessaires et suffisantes d'existence d'un observateur d'ordre réduit.

Une comparaison réalisée dans (Yang et Wilde) n'atteste que les observateurs d'ordre réduit présentent une moins bonne convergence que les O.E.I d'ordre plein, ceci du fait de degrés de liberté moindres dans le choix des dynamiques. (Darouach et al) ont présenté une procédure de construction d'O.E.I d'ordre plein où les conditions d'existence sont bien mises en évidence. Les travaux de (Hou et Muller) montrent que ces conditions d'existence sont équivalentes à celles établies dans (Hou et Muller).

Citons enfin pour être complet l'approche géométrique, nettement moins développée que son homologue algébrique, où les conditions d'existence de l'O.E.I sont établies dans (Guidorzi et Marro) et reprises dans (Bhattacharyya).

2.Diagnostic d'observateur à entrée inconnue :

La représentation d'un système fait généralement apparaître des signaux inconnus (bruits d'actionneurs ou de capteurs, biais ou offset d'un composant, voire erreur de modélisation). Ces signaux sont désignés par le terme d'entrées inconnues, et notés $w(t)$ et les observateurs utilisés pour la reconstruction de l'état de tels systèmes ne peut se faire que sous certaines conditions et portent le nom d'observateurs à entrées inconnues.

Un système dynamique affecté par des entrées inconnues est de la forme suivante :

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

$w(t) \in \mathbb{R}^q$ le vecteur d'entrées inconnues.

Les matrices A, B, C et F sont des matrices connues, constantes et de dimensions compatibles avec les signaux.

La construction d'observateur à grand gain est fondée sur la connaissance du modèle du système observé, de ce fait l'introduction de signaux inconnus peut dégrader sensiblement la qualité de l'estimation d'état.

Sous certaines conditions portant sur la matrice F de distribution des entrées inconnues, néanmoins possible de reconstruire l'état (ou une partie de l'état) du système observé malgré la présence de ces entrées inconnues.



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

D'un point de vue pratique, cette approche permet d'une part de diagnostiquer les modèles où la sortie des actionneurs n'est pas mesurée, et d'autre part de découpler l'influence des entrées sur la reconstruction et qui constitue l'épine dorsale de base de la génération de bancs d'observateur pour la localisation de défauts.

La structure de l'observateur à entrées inconnues s'écrit :

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Mz(t) + Nu(t) + ky(t) \\ \hat{x}(t) = z(t) - Ly(t) \end{cases}$$

L'erreur de reconstruction sera définie :

$$\varepsilon_x(t) = x(t) - \hat{x}(t) = x(t) - z(t) + Ly(t) \rightarrow \varepsilon_x(t) = (I + LC)x(t) - z(t)$$

Sa dérivée :

$$\dot{\varepsilon}_x(t) = (I + LC)(Ax(t) + Bu(t) + Fw(t)) - (Mz(t) + Nu(t) + ky(t))$$

Posons :

$$E = I + LC$$

$$\dot{\varepsilon}_x(t) = EAx(t) + EBu(t) + EFw(t) - Mz(t) - Nu(t) - ky(t)$$

$$\dot{\varepsilon}_x(t) = (EA - kC - NE)x(t) + (EB - N)u(t) + EFw(t) + M\varepsilon_x(t)$$

Pour que $\varepsilon_x(t)$ converge vers 0 indépendamment des autres signaux, il faut déterminer les gains de l'observateur tels que l'erreur d'estimation soit caractérisée :

$$\dot{\varepsilon}_x(t) = M\varepsilon_x(t)$$

Autrement dit, il faut satisfaire les conditions suivantes :

$$E = I + LC$$

$$0 = EA - kC - ME$$

$$0 = EB - N$$

$$0 = EF$$

Mstable

Les équations précédentes doivent être résolues par rapport à M, N, k et L de façon à définir complètement la structure de l'observateur.

D'un point de vue numérique, la solution de ce système s'explique à partir de l'inverse généralisée de CF (sous réserve de son existence).

$$E = I + LC$$

$$EF = IF + LCF$$

$$0 = F + ECF$$

Dont la solution, si elle existe s'écrit :



$$L = -F(CF)^{-1} \Rightarrow \begin{cases} E = I - F(CF)^{-1}C \\ N = EB \\ M = EA - kC \\ k = I - ME \\ M \text{ stable} \end{cases}$$

Procédure de calcul de l'observateur :

- Calculer l'inverse généralisée de CF ,
- En déduire E , puis N ,
- Après avoir fixé les pôles de M , en déduire le gain I puis la matrice M ,
- Déduire de I la valeur de k (gain de l'observateur).

Comme :

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_x(t) = M\varepsilon_x(t) \\ \varepsilon_y(t) = C\varepsilon_x(t) \end{cases}$$

L'entrée inconnue $w(t)$ n'intervient donc pas dans l'expression de l'erreur de sortie et n'est donc pas détectable par le résidu correspondant. Cependant, le résidu reste sensible aux erreurs de capteurs et d'actionneurs et donc on dispose d'un moyen pour détecter une erreur affectant le système (erreur de capteur ou d'actionneur).

Estimation de l'entrée inconnue :

Si $(CF)^{-1}$ existe, on aura $\Rightarrow w(t) = (CF)^{-1}(y(t) - CAx(t) - CBu(t))$

2.1 Influence des défauts capteurs et actionneurs :

Le système étant affecté des défauts d'entrée et de sortie inconnues ses équations :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Fw(t) + D_a d_a(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + D_c d_c(t)$$

$$x(0) = x_0$$

L'erreur d'estimation des sorties par l'observateur à entrées inconnues, synthétisée peut être vue comme la sortie du système dynamique suivant :

$$\dot{\varepsilon}_x(t) = M\varepsilon_x(t) + ED_a d_a(t) + (ME - k)D_c d_c(t) - LD_c \dot{d}(t)$$

$$\varepsilon_y(t) = C\varepsilon_x(t) + D_c d_c(t)$$

$$x(0) = Ex_0 - z_0$$

Qui témoigne de la sensibilité de l'erreur de reconstruction de l'état et, par conséquent de celle des sorties vis-à-vis des défauts ; $\varepsilon_y(t)$ converge vers zéro en l'absence de défauts, dans la mesure où M est stable.



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

Le signal $\tilde{y}(t)$ est donc un résidu sensible à $d_a(t)$ et $d_c(t)$ est insensible à $\omega(t)$. La sensibilité des résidus peut être étudiée en utilisant la transformée de Laplace. En effet :

$$\varepsilon_x(p) = (pI - M)^{-1} (\varepsilon_x(0) + ED_a D_a(p) + (ME - k - pL) D_c D_c(p))$$

$$\varepsilon_y(p) = C \varepsilon_x(p) + D_c D_c(p)$$

Ce qui permet d'étudier les fonctions de transfert exprimant l'influence des défauts sur les résidus. [22]

Si :

$$(CF)^{-1} \text{ Existe :}$$

On peut exprimer l'entrée inconnue :

$$w(t) = (CF)^{-1} \left(\frac{dy}{dt} - CAx(t) - CBu(t) \right)$$

2.2: Diagnostic à base de bancs d'observateurs :

Objectif : analyse de la structure des résidus pour l'isolation des défauts.

Exemple 1 :

On considère le système suivant, pour lequel les deux capteurs peuvent être soumis à des défauts.

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} u(t)$$

$$y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} D_c(t)$$

La reconstruction peut être réalisée par l'observateur [22] :

$$\hat{\dot{x}}(t) = (A - kC) \hat{x}(t) + (B \quad k) \begin{pmatrix} u(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$$

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

$$\hat{x}(0) = \hat{x}_0$$

Qui donne :

$$\hat{\dot{x}}(t) = \begin{pmatrix} -2.5 & 2.5 \\ 0 & -2 \end{pmatrix} \hat{x}(t) + \begin{pmatrix} 1 & 2.5 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$$

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

$$\hat{x}(0) = \hat{x}_0$$



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

Dans lequel le gain a été ajusté pour placer les pôles aux valeurs $(-2,5 \quad -2)$. On peut alors évaluer à partir de se rreurs de recons truction :

$$\varepsilon_{yx}(p) = (I - C(pI - A + kC)^{-1}k)D_c D_c(p)$$

Qui donne :

$$\varepsilon_{y_1}(p) = \frac{p(p+4)}{p^2 + 4.5p + 5} D_1(p) - 2 \frac{p+1}{p^2 + 4.5p + 5} D_2(p)$$

$$\varepsilon_{y_2}(p) = \frac{2}{p+2} D_1(p) + \frac{p+1}{p+2} D_2(p)$$

Ainsi, les erreurs sont sensibles aux défauts capteurs, mais les expressions obtenues rendent délicate l'isolation des défauts capteurs 1 et 2, puisqu'ils influencent tous les deux et simultanément les deux résidus.

Pour tenter de s'affranchir de cette influence et dans l'optique d'assurer une bonne isolation des défauts, on structure les résidus. Plusieurs façon de structuration des résidus et qui correspondent à un découplage :

- Soit en réglant le gain de l'observateur pour rendre diagonale la matrice de transfert :

$$\varepsilon_y(p) = (I - C(pI - A + kC)^{-1}k)D_c D_c(p)$$

- Soit l'utilisation de batteries d'observateurs de formes particulières construits à partir d'une partie seulement des entrées et sorties du système. Chaque observateur génère un résidu sensible à un défaut (voir à un ensemble de défauts) particulier(s) et insensible aux entrées inconnues (on considère les autres commandes comme des entrées inconnues) ; on parle d'observateurs dédiés pour cette structuration des résidus.

De nombreux schémas sont proposés dans la littérature

- Schéma d'observateur simplifié (SOS - Simplified Observer Scheme),
- Schéma d'observateur dédié (DOS - Dedicated Observer Scheme) : un défaut n'influence qu'un seul vecteur de résidus.
- Schéma d'observateur généralisé (GOS - Generalized Observer Scheme) : un défaut influence tous les vecteurs de résidus sauf un.

2.3. Applications défaut actionneur :

On utilise qu'une des commandes disponibles pour synthétiser l'observateur, et de considérer les autres comme des entrées inconnues.

Dans ce cas l'erreur de reconstruction des sorties sera sensible à un défaut affectant l'entrée et insensible à un défaut survenant sur les commandes ignorées et on parle de détection de défaut par l'observateur (DO S).



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

Chaque sortie sous couvert de l'observabilité est utilisé pour piloter un observateur dédié (d'ordre réduit ou plein). Ainsi, l'observateur recevant une mesure défaillante fournit une mauvaise estimation des variables estimées, tandis que les autres observateurs convergent vers les mesures des sorties correspondantes sauf la sortie erronée.

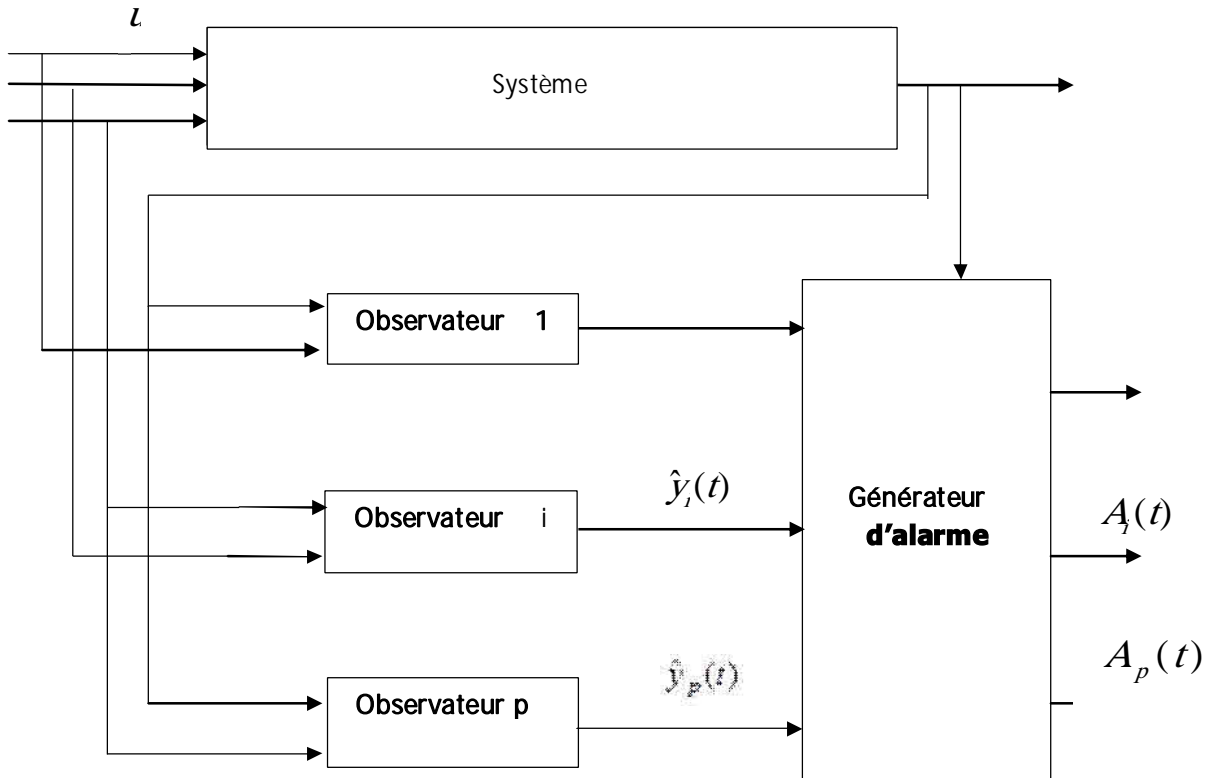
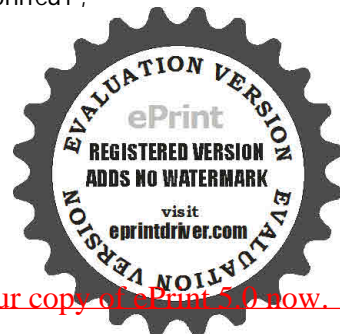


Fig. II.1 Schéma d'observateur dédié (DOS) pour la localisation des défauts actionneur

L'erreur de reconstruction donnée par l'observateur i , notée $\hat{y}_i(t)$, permet de diagnostiquer l'apparition d'un défaut sur le $i^{ème}$ actionneur. L'alarme $A_i(t)$ affectée au $i^{ème}$ défaut actionneur est obtenue par comparaison de $\hat{y}_i(t)$ à un seuil S_i établi en l'absence de défaut.

$$A_{ai}(t) = \begin{cases} 0, & \text{si } |\tilde{y}_i(t)| < S_i \\ 1, & \text{si } |\tilde{y}_i(t)| \geq S_i \end{cases}$$

L'autre approche consiste à construire des observateurs utilisant toutes les entrées sauf le $i^{ème}$, cette dernière étant considérée comme une entrée inconnue, c'est l'approche GOS et dans ce cas, l'erreur d'estimation des sorties donnée par le $i^{ème}$ observateur est sensible à tous les défauts actionneur, excepté le $i^{ème}$.



Chapitre 2 :diagnostic a base d'un O.E.I

Une logique de décision permet, à partir des p résidus, de déterminer l'instrument en faute. Par exemple, notons $d_{ai}(t)$ le $i^{\text{ème}}$ composant de $d_a(t)$. A chaque commande, est associée un booléen, noté b_i , déterminé par comparaison de \tilde{y}_i avec un seuil s_i , supposé constant.

$$b_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{si } |\tilde{y}_i| < s_i \\ 1, & \text{si } |\tilde{y}_i| \geq s_i \end{cases}$$

Les signatures des différentes fautes sur les différents résidus sont données ci-dessous pour un système à trois commandes.

	$d_{a1}(t)$	$d_{a2}(t)$	$d_{a3}(t)$
$b_1(t)$	0	1	1
$b_2(t)$	1	0	1
$b_3(t)$	1	1	0

II.1 Table de signature d'un système a trois commandes.

La logique de décision pour générer une alarme $A_{ai}(t)$ affectée à un défaut $d_{ai}(t)$ est alors :

$$A_{ai}(t) = \bar{b}_i(t) \prod_{j \neq i} b_j$$



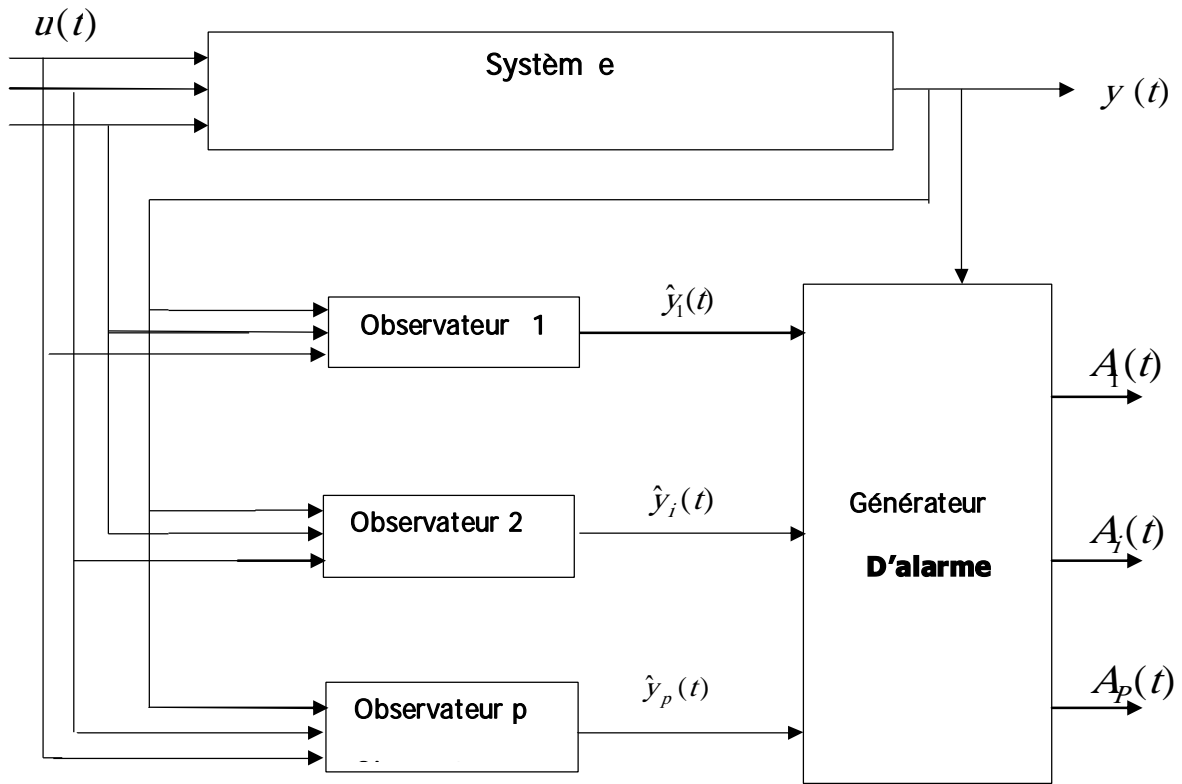


Fig. II.2 Schéma d'observateur dédié (DOS) pour la localisation des défauts actionneur

2.4 : Applications défaut capteur :

Le même raisonnement est possible dans le cas des défauts capteurs.



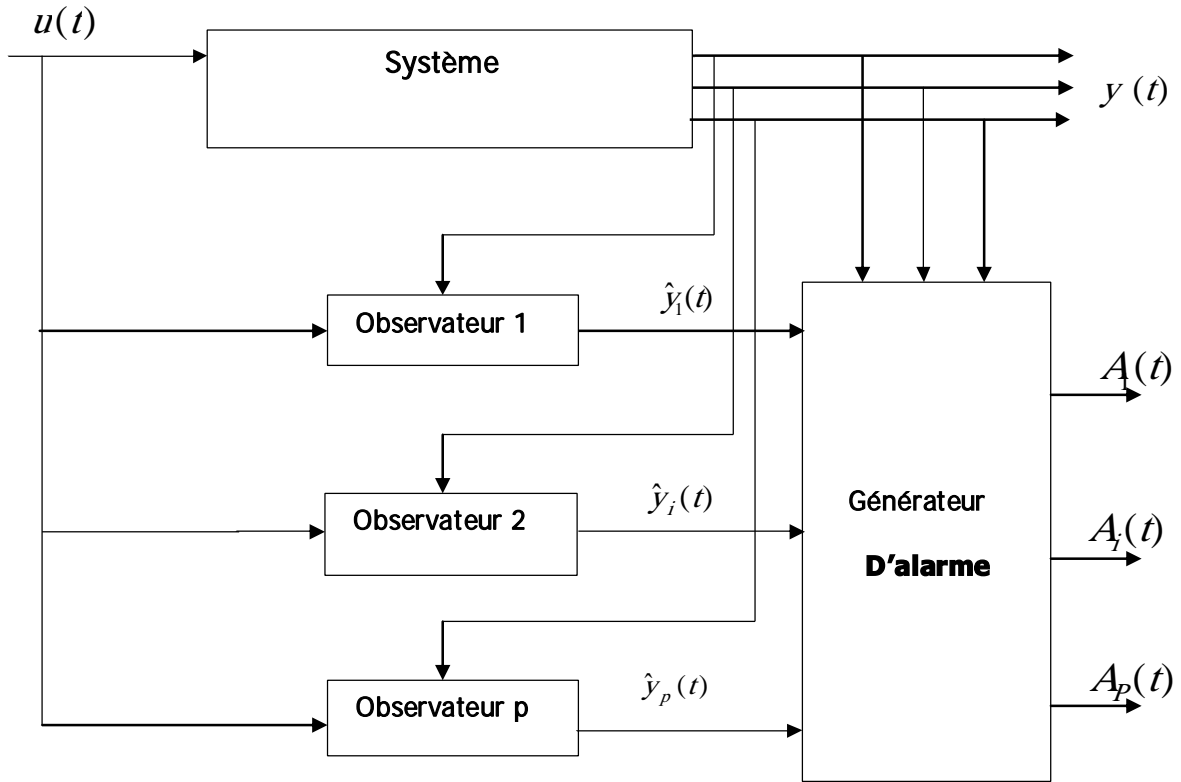


Fig. II.3 Schéma d'observateur dédié (DOS) pour la localisation des défauts capteur

3. Structuration des résidus :

3.1 Utilisation d'un observateur à gain :

Soit un système à surveiller, correctement décrit par la représentation d'état suivante :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + D_a d(t) + Fw(t)$$

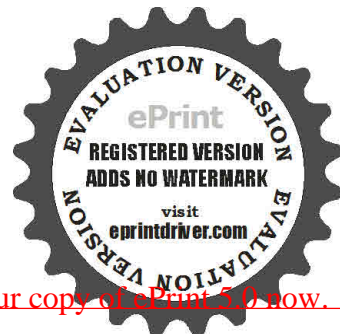
$$y(t) = Cx(t) + D_c d(t)$$

$$x(0) = x_0$$

D_a, D_c sont respectivement les matrices de distribution ou d'action des défauts actionneurs et des capteurs.

F est la matrice de distribution des entrées inconnues qui sont le bruit, les perturbations et les incertitudes du modèle du système.

Si le système est observable, le reconstruteur d'état en tant que générateur de résidus $r_y(t)$, est alors :



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + k(y(t) - \hat{y}(t))$$

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

$$\hat{x}(0) = \hat{x}_0$$

La matrice k (gain de l'observateur) est calculée de façon que l'estimation tende vers $x(t)$ du système réel quand t tend vers l'infini quel que soient les états initiaux $x(0)$, $\hat{x}(0)$.

L'erreur d'estimation sur l'état, s'écrit alors :

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

$$\rightarrow \dot{\varepsilon}_x(t) = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) = Ax(t) + Bu(t) + D_a d(t) + Fw(t) - A\hat{x}(t) - Bu(t) - ky(t) + k\hat{y}(t)$$

Or :

$$y(t) = Cx(t) + D_c d(t)$$

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

D'où :

$$\dot{\varepsilon}_x(t) = (A - kC)\varepsilon(t) + (D_a - kD_c)d(t) + Fw(t)$$

Passage aux transformées de Laplace, les conditions initiales sont nulles :

$$\varepsilon_x(p) = (pI - (A - kC))^{-1} (D_a - kD_c)D(p) + (pI - (A - kC))^{-1} FW(p)$$

Cette erreur est sensible aux défauts actionneurs capteurs ou inconnues.

Pour exploiter ces résultats, on s'intéresse aux matrices de transfert reliant les diverses entrées à l'erreur d'estimation de sortie (car l'état n'est pas connu) :

$$\varepsilon_y(p) = Y(p) - \hat{Y}(p) = CX(p) + D_c D(p) - C\hat{X}(p) = C(X(p) - \hat{X}(p)) + D_c D(p)$$

$$X(p) - \hat{X}(p) = \varepsilon_x(p)$$

En reportant dans $\varepsilon_y(p)$

$$\begin{cases} \varepsilon_y(p) = N_d D(p) + N_w W \\ N_d(p) = C(pI - (A - kC))^{-1} (D_a - kD_c) + D_c \\ N_w(p) = C(pI - (A - kC))^{-1} F \end{cases}$$

Soit $Q(p)$ une matrice de transfert stable et propre et générons un vecteur de résidus tel que :

$$R(p) = Q(p) \cdot \varepsilon_y(p) = Q(p)N_d D(p) + Q(p)N_w W$$



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

Dans ces conditions, si l'on peut trouver une matrice de paramétrisation $Q(p)$ telle que les deux relations suivantes soient vérifiées :

$$Q(p)N_d \neq 0, Q(p)N_w = 0,$$

$R(p)$ sera sensible aux défauts et non aux entrées inconnues. Dans le cas où l'influence des entrées inconnues est négligeable sur l'évolution des résidus, la matrice $Q(p)$ peut être entièrement utilisée pour faciliter la localisation des défauts, on parle de structuration des résidus.

3.2 Utilisation d'un observateur à entrées inconnues avec découplage parfait :

Le principe de construction d'un observateur à entrées inconnues consiste à rendre l'erreur d'estimation indépendante des perturbations non mesurables. Considérons le système à surveiller, supposé correctement décrit par la représentation d'état suivante :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + F\omega(t) + D_a d(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + D_c d(t)$$

$$x(0) = x_0$$

Dans le cas où le vecteur des entrées inconnues agit également sur le vecteur de sortie, il est possible moyennant une transformation linéaire, La structure de l'observateur généralement adoptée est la suivante :

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Mz(t) + Nu(t) + ky(t) \\ \hat{x}(t) = z(t) - Ly(t) \end{cases}$$

Où M, N, k et L sont des matrices inconnues de dimension appropriées, qui vont être déterminées de façon que l'estime $\hat{x}(t)$ converge asymptotiquement vers l'état réel $x(t)$ du système, malgré l'influence des perturbations. L'erreur de reconstruction d'état $\varepsilon_x(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ s'écrit :

$$\varepsilon_x(t) = \hat{x}(t) - x(t) = z(t) - Ly(t) - x(t)$$

$$z(t) - L(Cx(t) + D_c d(t)) - x(t) = z(t) - (I + LC)x(t) - LD_c d(t)$$

Posons :

$$E = I + LC$$

$$\varepsilon_x(t) = z(t) - Ex(t) - LD_c d(t)$$

Soit aussi :

$$z(t) = \varepsilon_x(t) + Ex(t) + LD_c d(t)$$

La dynamique de l'erreur d'estimation d'état s'écrit :

$$\varepsilon_x(t) = z(t) - Ex(t) - LD_c d(t) \rightarrow \dot{\varepsilon}_x = \dot{z}(t) - E\dot{x}(t) - LD_c \dot{d}(t)$$



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

$$\dot{\varepsilon}_x = \dot{z}(t) - E\dot{x}(t) - LD_c\dot{d}(t) = Mz(t) + Nu(t) + k(Cx(t) + D_c d(t)) - E(Ax(t) + Bu(t) + D_a d(t) + Fw(t)) - LD_c\dot{d}(t)$$

$$\dot{\varepsilon}_x = M(\varepsilon_x(t) + Ex(t) + LD_c d(t)) + Nu(t) + k(Cx(t) + D_c d(t)) - E(Ax(t) + Bu(t) + D_a d(t) + Fw(t)) - LD_c\dot{d}(t)$$

$$\dot{\varepsilon}_x = M\varepsilon_x(t) + (MP + kC - EA)x(t) + (N - EB)u(t) + (MLD_c + kD_c - ED_a)d(t) - EFw(t) - LD_c\dot{d}(t)$$

Si les conditions suivantes sont remplies :

$$\left\{ \begin{array}{l} M(\text{est de Hurwitz}) \text{ stable} \\ MP + kC - EA = 0 \\ N - EB = 0 \\ EF = 0 \\ MLD_c + kD_c - ED_a \neq 0 \\ LD_c \neq 0 \end{array} \right.$$

Alors, la dynamique de l'erreur d'estimation devient indépendante de l'état, de l'entrée de commande, et de l'entrée inconnue, elle n'est sensible qu'aux défauts actionneurs et capteurs.

$$\dot{\varepsilon}_x = M\varepsilon_x(t) + (MLD_c + kD_c - ED_a)d(t) - LD_c\dot{d}(t)$$

Procédure de résolution :

Assurer la condition de découplage des entrées inconnues :

$$EF = 0; E = I + LC \rightarrow (I + LC)F = 0 \rightarrow LCF = -F$$

Il s'agit donc de déterminer la matrice L . Si l'inverse généralisée $(CF)^{-1}$ existe, L peut être calculé à l'aide de la relation :

$$L = -F(CF)^{-1}$$

Avec :

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

Le découplage n'est possible que si le rang de la matrice (CF) est égal au nombre d'entrées inconnues n_w .



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

1. Vérifier que : $\text{rang}(CF) = n_w$ puis calculer L ,
 2. A partir de L calculer $E = I + LC$,
 3. A partir de E calculer $N = EB$,
 4. Imposer que M soit une matrice de HURWITZ (la choisir comme une matrice diagonale faisant apparaitre les valeurs propres désirées pour l'observateur),
 5. Calculer la matrice k telle que $kC = EA - ML$.
- Posons :

$$H = MLD_c + kD_c - ED_a$$

Et $H' = -LD_c$

Calculons la matrice de transfert reliant les défauts à l'erreur d'estimation :

$$p\varepsilon_x(p) = M\varepsilon_x(p) + HD(p) + H'pD(p) \rightarrow \varepsilon_x(p) = (pI - M)^{-1}(H + H')D(p)$$

L'erreur d'estimation de l'asortie s'écrit :

$$\varepsilon_y(p) = \hat{Y}(p) - Y(p) = C(\hat{X}(p) - X(p)) - D_c D(p) = C\varepsilon_x(p) - D_c D(p)$$

En remplaçant ε_x par son expression, on obtient :

$$\begin{cases} \varepsilon_y(p) = (C(pI - M)^{-1}(H + pH') - D_c)D(p) \\ H = MLD_c + kD_c - ED_a = (MLY + k)D_c - ED_a \\ H' = -LD_c \end{cases}$$

Soit $Q(p)$ une matrice de transfert stable et propre et générons un vecteur de résidu $R(p)$ tel que :

$$\begin{cases} R(p) = Q(p)\varepsilon_y(p) = Q(p)N_d(p)D(p) \\ N_d = C(pI - M)^{-1}(H + pH') - D_c \end{cases}$$

La matrice de paramétrisation permet de structurer les résidus afin de faciliter la localisation des défauts.



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

Exemple d'application 2: $\dot{X} = AX + Bu + D_a d + Fw$; $Y = CX + D_c d$:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + Bu + D_a d + Fw \\ \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + D_c d \end{cases}$$

où

D_a, D_c sont respectivement les matrices de distribution ou d'actions des défauts actionneurs et des capteurs.

F est la matrice de distribution des entrées inconnues qui sont le bruit, les perturbations et les incertitudes de modélisation du système.

Les matrices du système sont :

$$\begin{cases} A = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 100 & -10 & -1 \\ 0 & 2 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, D_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, D_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{cases}$$

alors

les matrices du système sont :

$$\begin{aligned} L_y &= -D_a [CD_a]^T (CD_a)^{-1} A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \\ E &= I + L_y C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, N = EB = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$



Chapitre 2 : diagnostic a base d'un O.E.I

On a : $M = \text{diag} [-5, -6, -7]$

On a : $M = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 \\ 0 & -6 & 0 \\ 0 & 0 & -7 \end{bmatrix}$

On a : $kC = EA - ME$, en $C = \begin{bmatrix} 1 & 5 & -1 & 0 \\ 0 & 100 & -4 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

$$k = \begin{bmatrix} 5 & -1 & 0 \\ 100 & -4 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

On a : $\begin{cases} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{cases} = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 \\ 0 & -6 & 0 \\ 0 & 0 & -7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 5 & -1 & 0 \\ 0 & 100 & -4 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} e_{y1} \\ e_{y2} \\ e_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} - C \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 + y_3 \end{bmatrix} \end{cases}$$

On a :

$$N_f(p) = C(sI - M)^{-1}(F + sF') - F_y, \text{ on a :}$$

$$H = (ML_y + k)F_y - EF_x = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 0 & -4 & -1 \\ 0 & 0 & 7 \end{bmatrix}, \quad H' = -L_y F_y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

On a : $R(p) = Q_f(p)Q_d Q_f(p) f(p)$ soit :

$$R(p) = Q_f(p) \begin{bmatrix} -\frac{1}{p+5} & -\frac{1}{p+5} & 0 \\ 0 & -\frac{p+10}{p+6} & -\frac{1}{p+6} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(p) \\ f_2(p) \\ f_3(p) \end{bmatrix}$$

On a : $\begin{cases} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{cases} = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 \\ 0 & -6 & 0 \\ 0 & 0 & -7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 5 & -1 & 0 \\ 0 & 100 & -4 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$



Chapitre 2 :diagnostic a base d'un O.E.I

$$Q_f(p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

• :

$$R(p) = \begin{bmatrix} R_1(p) \\ R_2(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{p+5} & -\frac{1}{p+5} & 0 \\ 0 & -\frac{p+10}{p+6} & -\frac{1}{p+6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(p) \\ f_2(p) \\ f_3(p) \end{bmatrix}$$

LRAPRIS S'UAT URUVS URUUS TSS S RUSURUS WUS S ARUS WUUS US RS WURUUAU U RS TRS U SU:

	$f_1(p)$	$f_2(p)$	$f_3(p)$
$r_1(p)$	1	1	0
$r_2(p)$	0	1	1

II.2 Table des signatures

titu

figure

EN

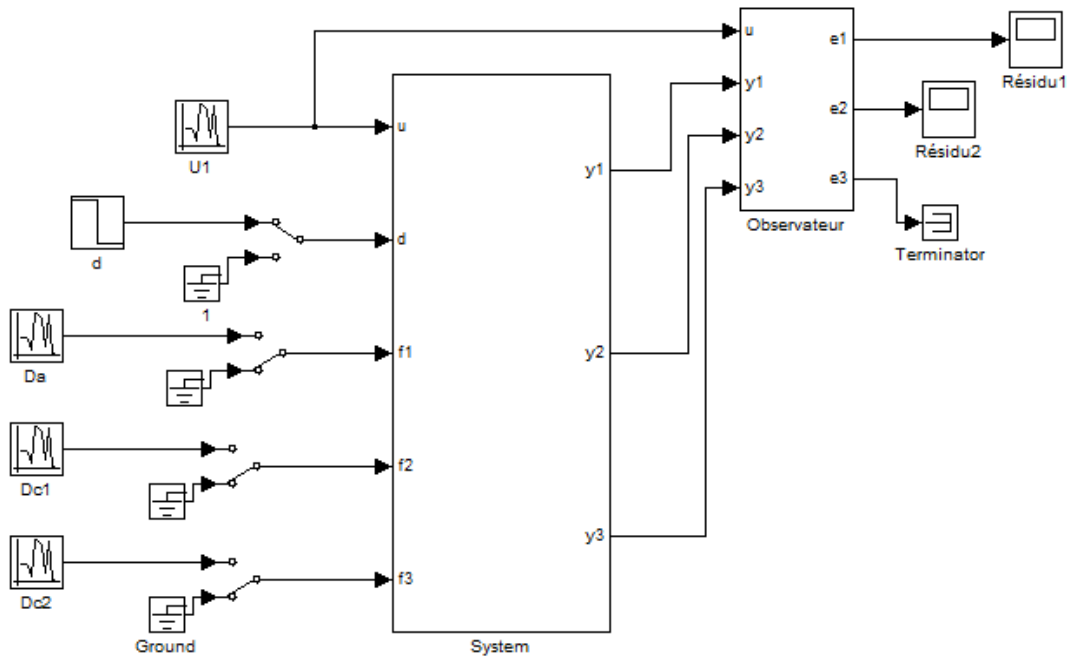
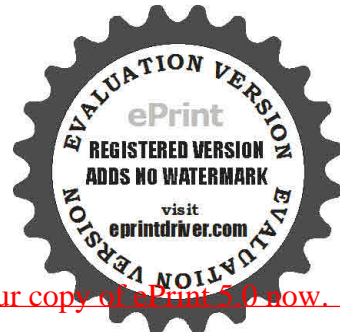


Fig. II.4 simulink



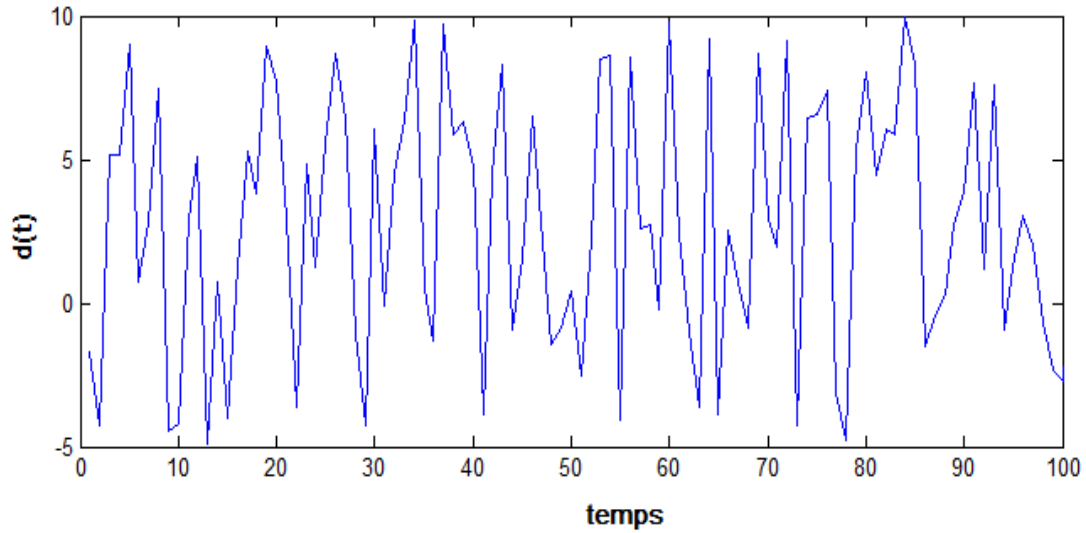


Fig. II.5 :bruit(perturbation).

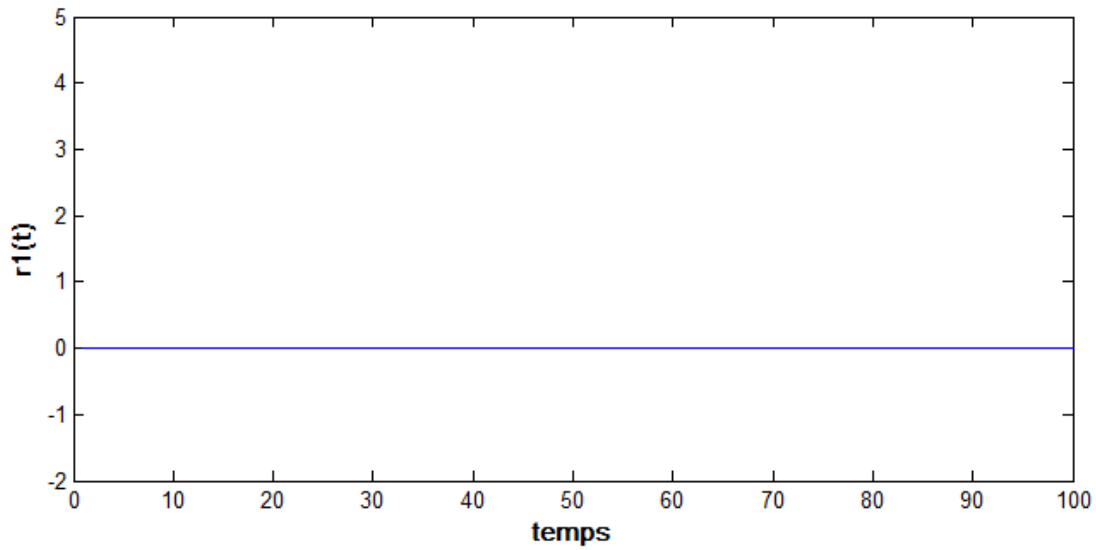


Fig. II.6 :residus1 en présence de perturbation



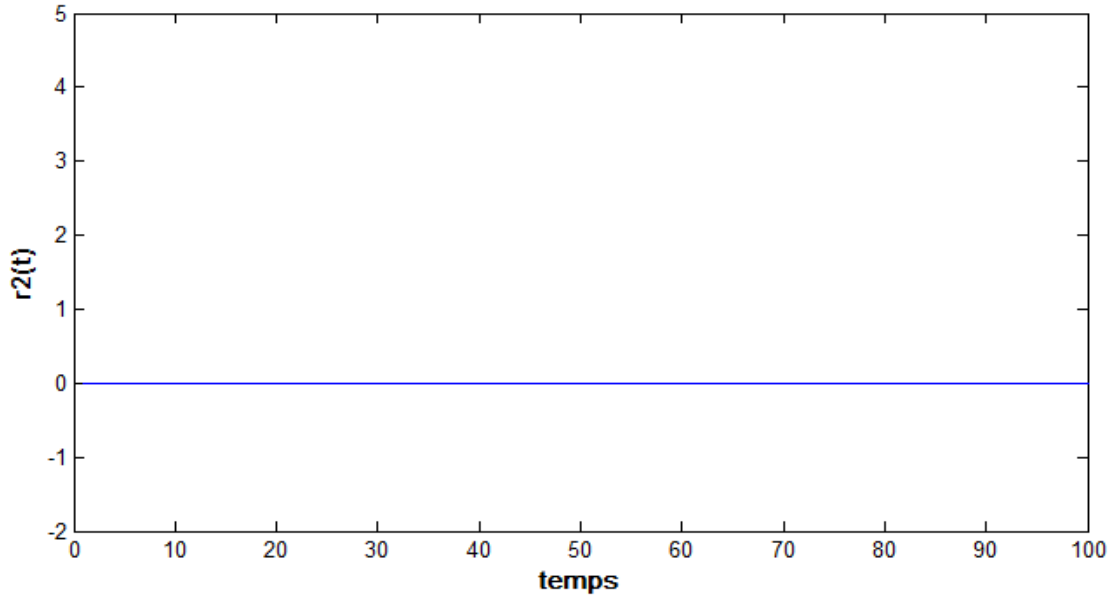


Fig. II.7 :residu2 en présence de perturbation .

On remarque d'après les figure II.5 et figure II.6 que les résidus(r_1 et r_2) sont insensible aux perturbation d. donc les résidus sont parfaitement découplés de la perturbation $r(t)=0$, mais en réalité les résidus ne sont jamais nuls en raison des bruits de mesure .

evoteria taru hfo-s

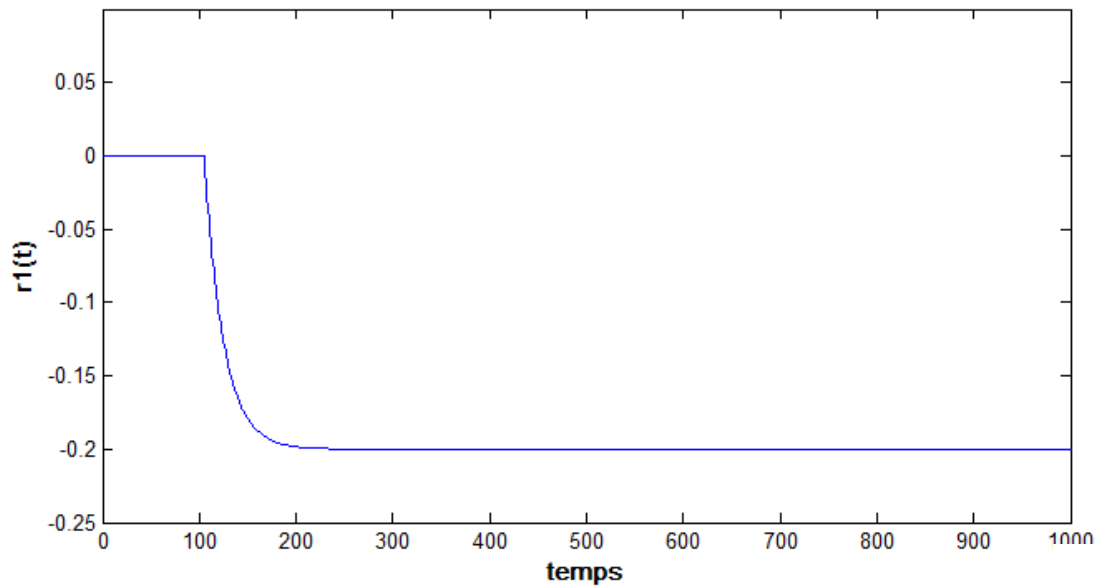


Fig. II.8 :résidu1 en présence de défaut actionneur .



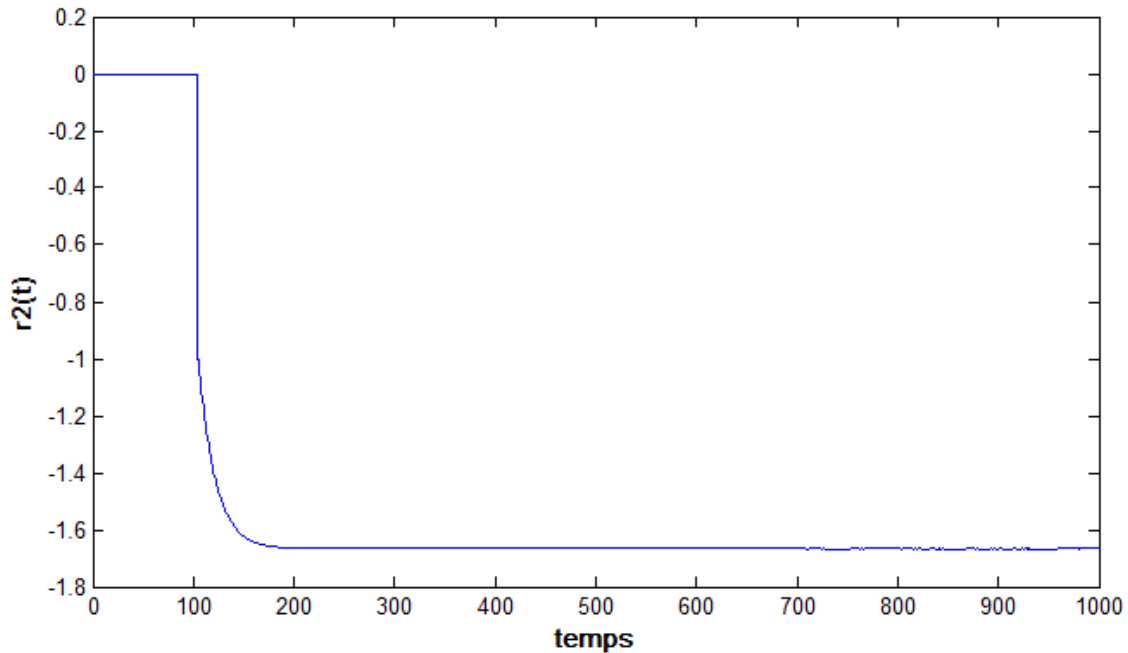


Fig. II.13 :résidu2 en présence de défaut capteur2

D'après [2] la méthode de diagnostic basée sur les résidus est

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une méthodologie pour la synthèse d'observateurs à entrées inconnues pour les systèmes linéaires à entrées inconnues à la fois au niveau de la dynamique de l'état qu'au niveau de la sortie [2].

Nous avons focalisé notre étude sur la détection et l'isolation de défauts provenant des actionneurs [2] et des capteurs pour différents systèmes linéaires à entrées inconnues.

La méthode développée est appliquée sur un exemple en absence et présence de bruits de mesures. Cette méthode qui s'est avérée efficace pour le cas que nous avons considérés, n'est en présence [2] de bruit, présente l'inconvénient de n'être applicable.



Chapitre 3 : Diagnostic à base d'espace de parité :

1.Introduction :

L'espace de parité est l'une des techniques de diagnostic à base de modèle explicite les plus connues [13],[14],[15],[16]. Cette méthode est basée sur l'utilisation des outils de l'algèbre linéaire, notamment les projections matricielles pour générer un résidu centré en l'absence de défauts et de moyenne non nulle dans le cas contraire. Ce résidu est obtenu en retranchant successivement l'influence des entrées et de l'état sur la sortie du système. L'influence des entrées est retranchée directement puisque ces entrées sont connues de même que leur matrice d'action (matrice de Toeplitz inférieure). Comme la matrice d'interaction de l'état sur la sortie (la matrice d'observabilité) est connue, l'influence de l'état est annulée par projection sur l'espace orthogonal à cette matrice d'interaction. Ces projections sont réalisées orthogonalement à la matrice d'observabilité de manière à annuler l'influence de l'état sur la sortie. En l'absence de défaut le résidu ainsi obtenu reflète que l'action des bruits à été résiduelle et centrée. Si un défaut affecte le système et si sa direction n'est pas colinéaire à celle de l'état, alors son influence se traduira par un changement de la moyenne du résidu. Une structuration du résidu est réalisée ensuite. Afin de localiser le défaut.

Dans cette section nous nous intéresserons uniquement à l'adéquation et à l'isolation de défaut de capteurs par l'espace de parité. Cette présentation comme nous le verrons est une description du problème de détection et d'isolation de défaut de capteurs. Nous présenterons ensuite la solution proposée par l'espace de parité, à savoir la génération d'un résidu sensible aux défauts par des projections géométriques puis nous montrerons comment ce résidu peut être utilisé pour détecter et isoler les défauts de capteurs. Finalement une analyse de l'espace de parité dans le cas où le modèle du système est incertain sera exposée.

2.Approche par espace de parité :

L'idée de base de l'approche par espace de parité est de vérifier la cohérence entre les relations mathématiques du système et les mesures (relations de redondance analytique). Supposons maintenant qu'une mesure puisse s'exprimer en fonction des autres par une relation connue. La différence entre la mesure et sa valeur calculée à l'aide du modèle est appelée résidu. Si le résidu est nul, les mesures sont cohérentes par rapport au modèle, le système est déclaré sans défaut. Un résidu non nul indique un défaut du modèle mathématique du système.

Il existe deux types de relations de redondance analytique :

- la redondance statique : ensemble de relations algébriques entre les mesures fournies par les différents capteurs.
- la redondance dynamique : ensemble d'équations différentielles ou récurrences entre les sorties des capteurs et les entrées du système.

3.Espace de parité statique :

3.1.Redondance statique :

Dans un système physique, les variables mesurées sont généralement liées par un ensemble de relations algébriques. La redondance statique apparaît dans les redondances analytiques et est efficace pour la détection des défauts de capteurs, c'est l'ensemble de relations algébriques entre



mesures instantanées fournies par les différents capteurs. Cette recherche est réalisée à l'aide d'un modèle mathématique du système de mesure qui s'écrit généralement de la façon suivante :

$$y(t) = C x(t) + f(t) \tag{8.11}$$

où $y(t) \in \mathbb{R}^p$ est le vecteur des mesures, $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$ est la matrice d'observation, $x(t) \in \mathbb{R}^n$ est le vecteur d'état et $f(t) \in \mathbb{R}^p$ est le vecteur des défauts de capteurs.

Les équations de redondance sont obtenues par élimination de l'inconnue $x(t)$. Ceci est possible que si la matrice C est de rang plein colonne et si le nombre de mesures est supérieur à la dimension de l'inconnue. Dans ces conditions, il est possible de trouver une matrice V , dite de parité, orthogonale à C (c'est-à-dire telle que $VC = 0$), permettant de trouver des relations indépendantes liant les mesures entre elles. En effet, en multipliant les deux membres de la relation (8.11) par une matrice V telle que $VC = 0$, on obtient :

$$r(t) = V y(t) = VC x(t) + V f(t) = V f(t) = \sum_{i=1}^p V_i f_i(t) \tag{8.12}$$

où $r(t)$ est le vecteur de parité de dimension $p-n$ et $V_i(t)$ le vecteur colonne numéro i de la matrice V . En l'absence de défaut, le vecteur de parité est nul (aux bruits de mesure près). En présence d'un défaut $f_i(t)$, le vecteur de parité s'oriente dans la direction V_i correspondant au capteur défectueux. Les lignes de V forment une base de l'espace de parité de dimension $p-n$. V est une matrice de projection dans l'espace de parité. Une façon simple de déterminer une matrice de parité V est de réarranger l'équation (8.11). En l'absence de défaut ($f(t) = 0$), la relation (8.11) peut se réécrire sous la forme suivante :

$$y'(t) = C' x'(t), \text{ avec } : y'(t) = \begin{pmatrix} y_n(t) \\ y_{p-n}(t) \end{pmatrix}, C' = \begin{pmatrix} C_n \\ C_{p-n} \end{pmatrix} \tag{8.13}$$

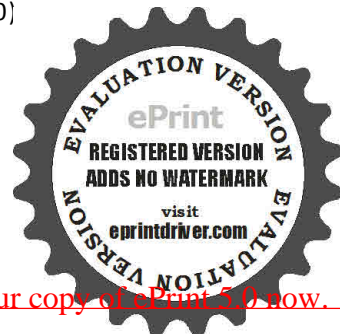
la matrice carrée C' de la relation (8.13) est construite à partir de la ligne indépendante C_n et de C_{p-n} afin d'assurer l'existence de son inverse. la matrice C' est obtenue à l'aide des $p-n$ lignes restantes de C . Nous avons alors :

$$y_{p-n} = C_{p-n} C_n^{-1} y_n \tag{8.14}$$

cette relation indépendante s'écrira sous la forme de l'équation (8.14) et de la relation (8.14) peut encore s'écrire sous la forme suivante :

$$[-C_{p-n} C_n^{-1} \quad I_{p-n}] \begin{pmatrix} y_n(t) \\ y_{p-n}(t) \end{pmatrix} = 0 \tag{8.15}$$

la matrice de parité $V' = [-C_{p-n} C_n^{-1} \quad I_{p-n}]$ de dimension $(p-n, p)$ est orthogonale à C' ($V'C' = 0$)



Exemple 1: considérons le système de mesure suivant :

$$\begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ y_5(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 1 \\ 1 & 0 & 8 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 8 & 0 & 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ f_3(t) \\ f_4(t) \\ f_5(t) \end{pmatrix}$$

A partir de la matrice d'observation on peut construire deux matrices C_n et C_{p-n} telle que :

$$C_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 8 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad C_{p-n} = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 1 \\ 8 & 0 & 8 \end{bmatrix}$$

On a alors :

$$[-C_{p-n} C_n^{-1} \quad I_{p-n}] = \begin{bmatrix} 0 & -8 & 7 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -8 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ et } \begin{pmatrix} y_p(t) \\ y_{p-n}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ y_5(t) \end{pmatrix}$$

D'où les équations de redondance statiques :

$$y_1(t) - 8y_3(t) + 7y_4(t) = 0$$

$$8y_4(t) - y_5(t) = 0$$

En l'absence de défaut, ces deux relations sont identiquement nulles, il y a cohérence des mesures. Lorsqu'un défaut capteur apparaît, ces relations ne sont généralement plus vérifiées.

Notons que la mesure $y_2(t)$ n'intervient dans aucune de ces deux relations, en conséquence, un défaut sur le capteur correspondant ne pourra donc pas être détecté.

Notons que la nécessité d'avoir un nombre de mesures supérieures à la dimension de l'état limite l'intérêt pratique de la redondance statique. Avec la redondance dynamique cette contrainte disparaît, car l'on prend en compte l'évolution des mesures et des entrées au cours du temps, on parle alors aussi de redondance temporelle ou dynamique.

3.2 Redondance dynamique :

La redondance dynamique est une généralisation de la redondance statique dans le cas où l'on utilise un modèle dynamique du système étudié. L'objectif est de rechercher des relations entre les mesures fournies par les différents capteurs et les entrées du système à différents instants.



Considérons à cet effet un système supposé correctement représenté par le modèle d'état discret suivant :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Fx(k) + Gu(k) \\ y(k) &= Cx(k) \end{aligned} \tag{8.16}$$

$$x(k) \in \mathbb{R}^n, \quad u(k) \in \mathbb{R}^m, \quad y(k) \in \mathbb{R}^p$$

Où $x(k)$ représente le vecteur d'état, $u(k)$ le vecteur d'entrée des actionneurs et $y(k)$ le vecteur des sorties délivrées par les capteurs. On souhaite construire un générateur de résidus capable de détecter et de localiser un défaut de capteur ou d'actionneur.

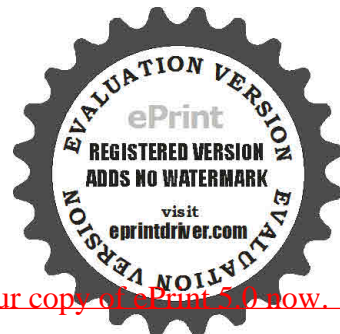
La succession des états, depuis un état initial $x(k)$ jusqu'à un état final quelconque $x(k+h)$ peut s'exprimer uniquement en fonction de l'état à l'instant k et des entrées aux instants k à $k+h-1$. En effet, on a successivement :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Fx(k) + Gu(k) \\ x(k+2) &= Fx(k+1) + Gu(k+1) = F^2x(k) + FG u(k) + Gu(k+1) \\ x(k+3) &= Fx(k+2) + Gu(k+2) = F^3x(k) + F^2G u(k) + FG u(k+1) + Gu(k+2) \\ &\vdots \\ x(k+h) &= F^h x(k) + \sum_{i=0}^{h-1} F^{h-i-1} G u(k+i) \end{aligned}$$

Sur un horizon d'observation $[k, k+h]$, les sorties aux différents instants k à $k+h$ s'écrivent alors :

$$\begin{pmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ y(k+2) \\ \vdots \\ y(k+h) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C \\ CF \\ CF^2 \\ \vdots \\ CF^h \end{pmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ CG & 0 & \dots & 0 & 0 \\ CFG & CG & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ CF^{h-1}G & CF^{h-2}G & \dots & CG & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \\ \vdots \\ u(k+h) \end{pmatrix} \tag{8.17}$$

Posons :



$$y(k, h) = \begin{pmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ y(k+2) \\ \vdots \\ y(k+h) \end{pmatrix}, u(k, h) = \begin{pmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \\ \vdots \\ u(k+h) \end{pmatrix}, C(h) = \begin{pmatrix} C \\ CF \\ CF^2 \\ \vdots \\ CF^h \end{pmatrix}$$

$$g(h) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ CG & 0 & \dots & 0 & 0 \\ CFG & CG & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ CF^{h-1}G & CF^{h-2}G & \dots & CG & 0 \end{bmatrix}$$

la relation (8.17), s'écrit donc, de manière plus condensée :

$$y(k, h) = C(h)x(k) + g(h)u(k, h) \tag{8.18}$$

On est alors ramené au cas de la redondance statique. En multipliant le membre de la relation (8.18) par une matrice de parité V orthogonale à $C(h)$, on obtient le vecteur de parité généralisé :

$$r(k, h) = V(y(k, h) - g(h)u(k, h)) \tag{8.19}$$

Qui ne dépend que des entrées et des sorties du système. En l'absence de défaut, le vecteur de parité est nul (au bruit de mesure près), et différent de zéro si non. On peut donc l'utiliser comme résidus dans le but de détecter et de localiser, par exemple, un défaut de capteur ou d'actionneur. Toutefois, les relations insobtenues ne sont pas toujours nécessaires en temps réel sur la fenêtre d'observation stricte. Les techniques d'auto-redondance et d'inter-redondance permettent alors de combiner cette difficulté.

3.2.1 Auto-redondance :

Les relations d'auto-redondance sont obtenues en écrivant la relation (8.18) pour chacun des capteurs. On ne conserve alors, pour un capteur donné, que les relations indépendantes permettant d'exprimer une partie de l'état. Pour obtenir la redondance, une relation supplémentaire est introduite, permettant de ne faire apparaître que les mesures aux divers instants, issues du capteur considéré et les entrées.

Par exemple, pour le capteur numéro j la relation (8.17) s'écrit :



$$\begin{pmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ y(k+2) \\ \vdots \\ y(k+h) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C \\ C_j F \\ C_j F^2 \\ \vdots \\ C_j F^h \end{pmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ C_j G & 0 & \dots & 0 & 0 \\ C_j F G & C_j G & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_j F^{h-1} G & C_j F^{h-2} G & \dots & C_j G & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \\ \vdots \\ u(k+h) \end{pmatrix}$$

Ou C représente le vecteur ligne numéro j de la matrice C. cette relation s'écrit sous forme plus condensée :

$$y_j(k, h) = C_j(h)x(k) + g_j(h)u(k, h) \tag{8.20}$$

Soit n, le rang maximum de la matrice C_j(h). dans ces conditions, il est possible d'exprimer n_j composantes du vecteur d'état à l'aide des n mesures y_j(k) à y_j(k+n-1).

La matrice de rang maximum C_j(n-1) est appelée matrice d'observabilité réduite.

La relation (8.20) s'écrit alors :

$$y_j(k, n-1) = C_j(n-1)x(k) + g_j(n-1)u(k, n-1) \tag{8.21}$$

Remarquons que si le système est complètement observable par la sortie numéro j alors le rang de la matrice d'observabilité réduite est de n. afin d'éviter la redondance, on ajoute une ligne supplémentaire à C_j(n-1) la relation (8.21) devient donc :

$$y_j(k, n) = C_j(n)x(k) + g_j(n)u(k, n) \tag{8.22}$$

L'équation d'aut-redondance est alors obtenue en éliminant l'état de la relation (8.22)

Pour cela, on recherche un vecteur ligne V_j tel que :

$$V_j C_j(n) = 0 \tag{8.23}$$

L'équation d'aut-redondance s'écrit alors :



$$r_j(k) = V_j \left(\begin{array}{c} y_j(k) \\ y_j(k+1) \\ y_j(k+2) \\ \vdots \\ y_j(k+n_j) \end{array} \right) - \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ C_j G & 0 & \dots & 0 & 0 \\ C_j F G & C_j G & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_j F^{h-1} G & C_j F^{h-2} G & \dots & C_j G & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ u(k+2) \\ \vdots \\ u(k+n_j) \end{pmatrix}$$

En l'absence de défaut, la grandeur $r_j(k)$ est déduite aux bruits des mesures et de structures. L'apparition d'un défaut se traduit par une évolution de $r_j(k)$; ce qui permettra la détection de l'anomalie.

Exemple 2:

Soit le système défini par la représentation d'état discrète suivante :

$$x(k+1) = F x(k) + G u(k) \quad \text{avec } F = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$y(k) = C x(k)$$

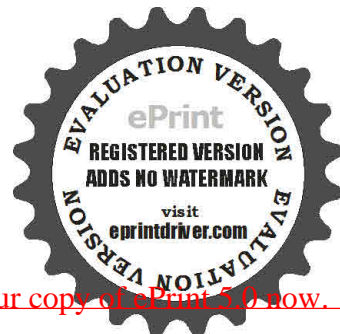
$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, y(k) = [y_1(k) \ y_2(k)]^T$$

$$x(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ x_3(k)]^T, u(k) = [u_1(k) \ u_2(k)]^T$$

La matrice d'observabilité réduite par rapport à la sortie y_1 est égale à $[C_1 \ C_1 F]^T$ ($n_1=2$), à la quelle on rajoute la ligne $C_1 F^2$ pour obtenir de la redondance. la relation (8.22) s'écrit donc pour la sortie y_1

$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_1(k+1) \\ y_1(k+2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_1 F \\ C_1 F^2 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ C_1 G & 0 \\ C_1 F G & C_1 G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \end{bmatrix}$$

On obtient finalement :



$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_1(k+1) \\ y_1(k+2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0.25 & 0.6 & 0.25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \\ u_1(k+1) \\ u_2(k+2) \end{bmatrix}$$

La relation d'auto-redondance sur la premier capteur s'obtient à os en éliminant les variables d'état ces trois équations on obtient :

$$r_1(k) = y_1(k) - 0.6y_1(k-1) + 0.05y_1(k-2) - u_1(k-2) - u_2(k-2)$$

La matrice d'observabilité réduite par rapport à la sortie y_2 est égale à $[C_2 \ C_2F]^T$ ($n_2=2$), à la quelle on rajoute la ligne C_2F^2 pour obtenir de la redondance .la relation (8.22) s'écrit donc pour la sortie y_2 :

$$\begin{bmatrix} y_2(k) \\ y_2(k+1) \\ y_2(k+2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_2 \\ C_2F \\ C_2F^2 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ C_2G & 0 \\ C_2FG & C_2G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \end{bmatrix}$$

On obtient finalement :

$$\begin{bmatrix} y_2(k) \\ y_2(k+1) \\ y_2(k+2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0.1 & 0.5 \\ 0 & 0.01 & 0.25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & -0.4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \\ u_1(k+1) \\ u_2(k+2) \end{bmatrix}$$

La relation d'auto-redondance sur le deuxième capteur ,s'obtient ,comme précédemment par substitution , de façon à obtenir une relation indépendante des variables d'état . on obtient tous les calculs faits :

$$r_2(k) = y_2(k) - 0.6y_2(k-1) + 0.05y_2(k-2) - u_1(k-1) + 0.5u_1(k-2) + 0.4u_2(k-2)$$

Le vecteur d'auto-redondance $r(k) = [r_1(k) \ r_2(k)]^T$ s'écrit donc :

$$\begin{bmatrix} r_1(k) \\ r_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1(k) - 0.6y_1(k-1) + 0.05y_1(k-2) - u_1(k-2) - u_2(k-2) \\ y_2(k) - 0.6y_2(k-1) + 0.05y_2(k-2) - u_1(k-1) + 0.5u_1(k-2) + 0.4u_2(k-2) \end{bmatrix}$$

L'analyse de ce vecteur permet de construire la table des signatures des défauts .soit f_{y1} , f_{y2} , f_{u1} et f_{u2} les défauts respectivement en t sur le capteur y_1 , le capteur y_2 , l'actionneur d'entrée u_1 et l'actionneur d'entrée u_2 on a :



	f_{y1}	f_{y2}	f_{u1}	f_{u2}
r_1	1	0	1	1
r_2	0	1	1	1

II-1 :table de signature

Qui signifie par exemple que r_1 est sensible aux défauts f_{y1}, f_{u1}, f_{u2} , et insensible au défaut f_{y2} . notons que ce vecteur de parité ne permet pas de localiser un défaut d'actuateurs, leurs signatures étant identique. au lieu d'un traitement « tout ou rien » du vecteur de parité, on peut s'intéresser à son orientation dans l'espace de parité. en effet, en présence d'un défaut, le vecteur de parité s'oriente, en régime permanent, suivant des directions particulières. dans le cas de l'exemple traité, on a :

	f_{y1}	f_{y2}	f_{u1}	f_{u2}
Orientatbn du vecteur de parité	0.45	0	-1	-1
	0	0.45	-0.5	0.4

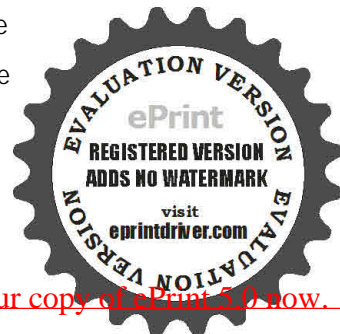
II-2 :table d'orientation du vecteur de parité en fonction des défauts

On peut noter que les quartes orientations de référence sont distinctes, ce qui permet de réaliser cette fois, la localisation des quatre défauts.

3.2.2 Inter-redundance : Les relations d'inter-redundance permettent de rélier des mesures provenant de plusieurs capteurs. On les obtient en considérant les n_j ($j=1$ à q) relations indépendantes obtenues à partir de (8.21) :

$$\begin{bmatrix} y_1(k, n_1 - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ y_i(k, n_i - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ y_q(k, n_q - 1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1(n_1 - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ C_i(n_i - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ C_q(n_q - 1) \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} g_1(n_1 - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ g_i(n_i - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ g_q(n_q - 1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(k, n_1 - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ u(k, n_i - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ u(k, n_q - 1) \end{bmatrix} \quad (8.24)$$

Le système (8.24) est composé de N relations avec $N = \sum_{j=1}^q n_j$. le vecteur d'état étant de dimension n , il existe $N-n$ relations d'inter-redundance indépendantes. Les équations d'inter-redundance obtenues par élimination du vecteur d'état. Cela revient à rechercher une matrice V telle que



$$V \begin{bmatrix} C_1(n-1) \\ \vdots \\ C_i(n_i-1) \\ \vdots \\ C_q(n_q-1) \end{bmatrix} = 0 \quad (8.25)$$

Les relations d'indépendance s'écrivent alors :

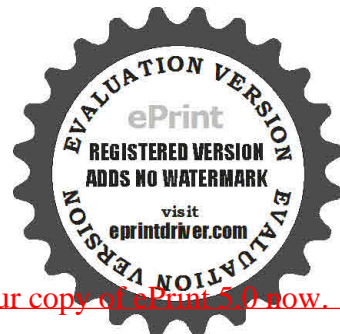
$$r(k) = V \left(\begin{bmatrix} y_1(k, n-1) \\ \vdots \\ y_i(k, n_i-1) \\ \vdots \\ y_q(k, n_q-1) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_1(k, n-1) \\ \vdots \\ g_i(k, n_i-1) \\ \vdots \\ g_q(k, n_q-1) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} u(k, n-1) \\ \vdots \\ u(k, n_i-1) \\ \vdots \\ u_q(k, n_q-1) \end{bmatrix} \right) \quad (8.26)$$

Exemple : reprenons le système de l'exemple .le rang de la matrice d'observabilité réduite par rapport à y_1 et y_2 est de deux ,ce qui permet d'écrire quatre relations indépendantes et donc une relation d'indépendance .le système (8.24)s'écrit dans ce cas :

$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_1(k+1) \\ y_2(k) \\ y_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_1 F \\ C_2 \\ C_2 F \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ C_1 G \\ 0 \\ C_2 G \end{bmatrix} u(k)$$

On obtient finalement :

$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_1(k+1) \\ y_2(k) \\ y_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0.1 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix}$$



Que l'on peut aussi écrire :

$$x(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_1(k+1) \\ y_2(k) \end{bmatrix}$$

$$y_2(k+1) = [0 \ 0.1 \ 0.5]x(k) + u_1(k)$$

En reportant l'expression de $x(k)$ dans celle de $y_2(k+1)$, on obtient :

$$y_2(k+1) = [0 \ 0.1 \ 0.5] \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & -1 \\ -0.5 & 1 & 0 \\ 0.5 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_1(k+1) \\ y_2(k) \end{bmatrix} + u_1(k)$$

D'où finalement la relation d'itération-redondance suivante :

$$r_3(k) = 0.4y_1(k) - 0.2y_1(k-1) + y_2(k) - 0.5y_2(k-1) - u_1(k-1)$$

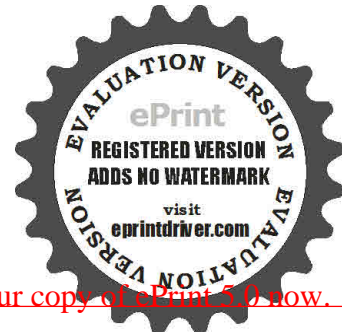
On peut constater que le résidu ainsi généré est insensible à un défaut sur l'actionneur d'entrée, en regroupant cette relation d'itération-redondance avec les deux relations d'auto-redondance précédemment obtenues, on obtient le vecteur de parité suivant :

$$\begin{bmatrix} r_1(k) \\ r_2(k) \\ r_3(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1(k) - 0.6y_1(k-1) + 0.05y_1(k-2) - u_1(k-2) - u_1(k-2) \\ y_2(k) - 0.6y_2(k-1) + 0.05y_2(k-2) - u_1(k-1) + 0.5u_1(k-2) + 0.4u_2(k-2) \\ 0.4y_1(k) - 0.2y_1(k-1) + y_2(k) - 0.5y_2(k-1) - u_1(k-1) \end{bmatrix}$$

L'analyse de ce vecteur permet de construire la table des signatures des défauts. Soit f_{y1} , f_{y2} , f_{u1} et f_{u2} les défauts respectivement sur le capteur y_1 , le capteur y_2 , l'actionneur d'entrée u_1 et l'actionneur d'entrée u_2 . on a :

	f_{y1}	f_{y2}	f_{u1}	f_{u2}
r_1	1	0	1	1
r_2	0	1	1	1
r_3	1	1	1	0

II-3 : Table de signatures des défauts



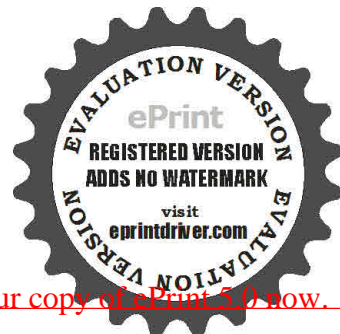
Notons que ce vecteur de parité permet, cette fois la localisation de l'ensemble des défauts [22] considérés. La figure 8.9 présente, pour différents défauts, l'évolution du vecteur de parité [22].

4.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une méthodologie pour la synthèse de l'espace de parité pour les systèmes linéaires affectés.

On a montré comment gérer les équations de redondance analytiques et les équations d'état d'un système. Lorsque les paramètres de ce système sont incertains, les résidus d'équation de redondance ne sont pas systématiquement nuls et on a proposé l'adaptation du seuil de détection des défaillances afin de limiter l'apparition de fausses alarmes.

Nous avons focalisé notre étude sur la détection et l'isolation de défauts provenant des actionneurs et des capteurs pour différents systèmes linéaires.



Chapitre 4 : Application d'un système hydraulique

1. INTRODUCTION :

L'utilisation des nouvelles technologies pour accroître la qualité des produits et des services ainsi que la productivité, a rendu les systèmes industriels de plus en plus complexes, et donc plus vulnérables aux défauts. Ces derniers peuvent engendrer une baisse de rendement du système ou des conséquences graves au niveau de la sécurité. Il est donc, nécessaire de développer des méthodes permettant de détecter et d'isoler ces défauts et éviter ainsi, toutes conséquences indésirables. Pour cela, plusieurs méthodes FDI (Fault Detection and Isolation) sont disponibles. Les méthodes basées sur les modèles, notamment celles à base d'observateurs, sont assez bien développées, surtout pour les systèmes linéaires, où différents types d'observateurs ont été proposés en fonction de la nature du problème (défaut en présence de bruit, de perturbations, d'incertitudes etc...), un des observateurs qui est utilisés pour la résolution du problème FDI est les observateurs à entrées inconnues. Lorsque les paramètres d'un système sont inconnus ou changent au cours du temps, l'utilisation des observateurs simples pour l'estimation d'état devient difficile. Cela est dû au fait qu'on doit estimer simultanément l'état et les paramètres du système. Dans ce cas, nous examinerons les performances de cette méthode sur le cas de défauts actionneurs, capteurs, présence et absence de perturbation d'un système hydraulique de plusieurs réservoirs.

2. Etude d'un Système à plusieurs réservoirs :Notion :Resistance hydraulique :

La notion de résistance implique forcément l'existence d'obstacles. Parmi ces obstacles, citons les vannes ; les orifices ainsi que les sauts de la surface interne des chemins empruntent par le fluide.

Notons que les vannes est avant tout un élément de réglage de débit. l'obstacle à l'écoulement d'un fluide est défini par une résistance R_h , qui représente la variation de pression capable de causer une variation unitaire de débit :

Etudions l'exemple de la Fig. IV.1. Dans cette figure, le réservoir 4 est alimenté par deux sources. L'une provenant du réservoir 1, l'autre provenant conjointement des réservoirs 2 et 3. L'ensemble du système a deux grandeurs d'entrée q_{e1} et q_{e2} et une seule grandeur de sortie q_s .

Pour faciliter la modélisation de l'ensemble du système, on l'a décomposé en trois sous-systèmes notés S/S1 (réservoir1), S/S2 (réservoirs 2 et 3), S/S3 (réservoir 4). Procédons d'abord la modélisation de chaque sous-système en considérant l'écoulement du fluide à minime.

On utilise pour cela l'équation $R_h = \frac{\Delta h}{q}$ (s/m^2) pour la résistance et

$q_e(t) - q_s(t) = \frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt}(Ah) = A \frac{dh}{dt}$ pour la capacité. La longueur de la tuyauterie

étant faible, l'inductance hydraulique est négligée.

Pour le sous-système S/S1 on peut écrire :



$$q_{el} - q_1 = C_1 \frac{dh_1}{dt} \tag{IV.1}$$

$$R_1 = \frac{h_1}{q_1} \tag{IV.2}$$

En décrivant l'expression (IV.2) et en remplaçant dans (IV.1), on obtient :

$$R_1 C_1 \frac{dq_1}{dt} + q_1 = q_{el} \tag{IV.3}$$

L'équation (IV.3) représente l'équation différentielle décrivant le sous-système S/S1.

Pour le sous-système S/S2, nous remarquons qu'entre les réservoirs 2 et 3, il existe une liaison rigide par l'intermédiaire de la vanne R_3 . Cela veut dire que le niveau de l'un influence le niveau de l'autre. Pour le réservoir 3 :

On a les mesures suivantes : $C_1 = 1; C_2 = 1; C_3 = 1; C_4 = 3$ $R_1 = 2; R_2 = 2; R_3 = 2; R_4 = 3$

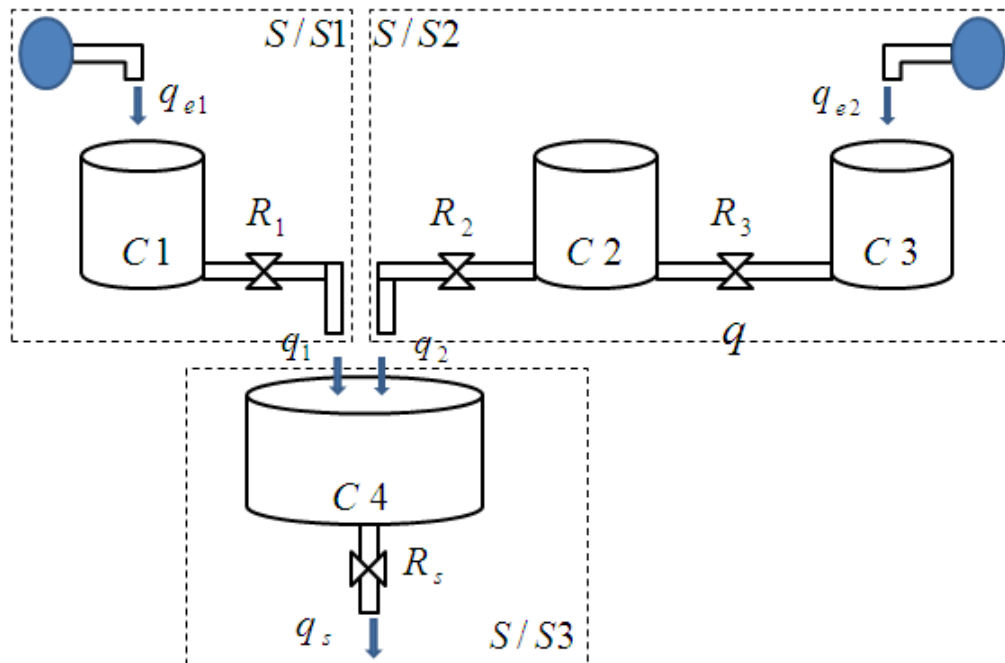


Fig .IV.1 système hydraulique

On peut donc Ecrire :

$$q_{e2} - q = C_3 \frac{dh_3}{dt} \tag{IV}$$



$$R_3 = \frac{h_3 - h_2}{q} \quad (IV.5)$$

Pour le réservoir 2, on a :

$$q - q_2 = C_2 \frac{dh_2}{dt} \quad (IV.6)$$

$$R_2 = \frac{h_2}{q_2} \quad (IV.7)$$

En combinant deux à deux les équations (IV.4), (IV.5) et (IV.6), (IV.7), on obtient le système d'équations différentielles suivant :

$$q_{e2} - q = R_3 C_3 \frac{dq}{dt} + R_2 C_3 \frac{dq_2}{dt} \quad (IV.8)$$

$$q - q_2 = R_2 C_2 \frac{dq_2}{dt} \quad (IV.9)$$

En éliminant q des équations (IV.8) et (IV.9), on obtient l'équation différentielle du sous-système 2, tel que :

$$R_2 R_3 C_2 C_3 \frac{d^2}{dt^2} q_2 + (R_3 R_3 + R_2 C_3 + R_2 C_2) \frac{d}{dt} q_2 + q_2 = q_{e2} \quad (IV.10)$$

Pour le sous-système s/s3 on peut écrire :

$$(q_1 + q_2) - q_s = C_4 \frac{dh_4}{dt} \quad (IV.11)$$

$$R_4 = \frac{h_4}{q_s} \quad (IV.12)$$

En combinant (IV.11) et (IV.12), on obtient l'équation différentielle de ce sous-système :

$$R_4 C_4 \frac{d}{dt} q_s + q_s = q_1 + q_2 \quad (IV.13)$$

Le modèle mathématique de l'ensemble du système est une combinaison des modèles décrits par les équations (IV.11), (IV.12) et (IV.13), à savoir :

$$R_1 C_1 \frac{d}{dt} q_1 + q_1 = q_{e1} \quad (IV.14)$$



$$R_2 R_3 C_2 C_3 \frac{d^2}{dt^2} q_2 + (R_3 R_3 + R_2 C_3 + R_2 C_2) \frac{d}{dt} q_2 + q_2 = q_{e2} \quad (IV.15)$$

$$R_4 C_4 \frac{dq_s}{dt} + q_s = q_1 + q_2 \quad (IV.16)$$

Comme le système a deux grandeurs d'entrée q_{e1} et q_{e2} et une seule grandeur de sortie q_s , il est intéressant d'écrire les deux équations différentielles dominant la grandeur de sortie du système en fonction de chaque grandeur d'entrée.

En arrangeant les trois équations précédentes et en posant: $a = R_2 R_3 C_2 C_3$, $b = R_3 C_3 + R_2 C_3 + R_2 C_2$, $e = R_1 C_1$ et $f = R_4 C_4$ on obtient :

$$ef \frac{d^2}{dt^2} q_s + (e + f) \frac{d}{dt} q_s + q_s = q_{e1} \quad (IV.17)$$

$$af \frac{d^3}{dt^3} q_s + (a + bf) \frac{d^2}{dt^2} q_s + (a + bf) \frac{d}{dt} q_s + q_s = q_{e2} \quad (IV.18)$$

Ainsi, le système peut être représenté soit par le système d'équations (IV.14), (IV.15) et (IV.16).

On adopte le système d'équations pour le modèle par fonction de transfert et le deuxième pour le modèle d'état.

En passant à la transformée de Laplace, les équations précédentes s'écrivent :

$$epQ_1(p) + Q_1(p) = Q_{e1}(p)$$

$$ap^2 Q_2(p) + bpQ_2(p) + Q_2(p) = Q_{e2}(p)$$

$$fpQ_s(p) + Q_s(p) = Q_1(p) + Q_2(p)$$

Les fonctions de transfert correspondantes sont :

$$\frac{Q_1(p)}{Q_{e1}(p)} = \frac{1}{ep+1}$$

$$\frac{Q_2(p)}{Q_{e2}(p)} = \frac{1}{ap^2 + bp+1}$$

$$\frac{Q_s(p)}{Q_1(p) + Q_2(p)} = \frac{1}{fp+1}$$



Pour la représentation à l'état, on se base sur les équations (IV.17) et (IV.18). En choisissant comme variable d'état : $x_1(t) = q_1(t)$, $x_2(t) = q_2(t)$, $x_3(t) = \frac{d}{dt} q_2(t)$, $x_4(t) = q_s(t)$ et en notant le fait qu'on a :

$$q_{e1}(t) = e \frac{d}{dt} q_1(t) + q_1(t)$$

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

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

On obtient la représentation d'état suivante :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \\ \dot{x}_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{e} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{a} & -\frac{b}{a} & 0 \\ \frac{1}{f} & \frac{1}{f} & 0 & -\frac{1}{f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{e} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{e1}(t) \\ q_{e2}(t) \end{bmatrix}$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix}$$

On suppose que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + Bu + D_a d + Fw \\ \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + D_c d \end{array} \right.$$

Les diverses matrices de la représentation d'état sont les suivantes :



$$\left\{ \begin{array}{l} A = \begin{bmatrix} -0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0.25 & -1.5 & 0 \\ 0.1111 & 0.1111 & 0 & -0.1111 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0.25 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, D_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, D_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \right.$$

Le rang de la matrice CF étant égal au nombre d'entrées à découpler, il est possible de construire un générateur de résidus sensible aux défauts et insensible à la perturbation. On obtient successivement :

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

$$E = I + LYC = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, N = EB = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0.25 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

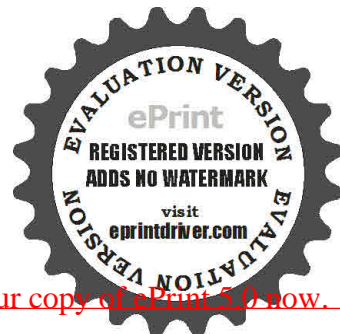
On impose que M soit une matrice de HURWITZ. En choisissant M diagonale, et les valeurs propres comme suite.

$$\lambda_1 = -1; \lambda_2 = -3.382; \lambda_3 = -2.618; \lambda_4 = -1.$$

Donc M est :

$$M = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.382 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2.618 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Calculons la matrice k telle que $kC = EA - ME$, comme C est unitaire, et après les calculs on trouve la matrice suivante :



$$k = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.382 & 1 & 0 \\ 0 & -0.25 & 1.118 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

On obtient ainsi le reconstructeur suivant :

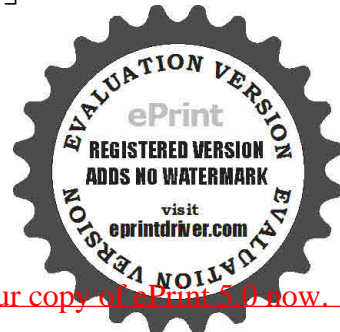
$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \\ \dot{z}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.282 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.618 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.382 & 1 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & -0.25 & 1.118 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} e_{y1} \\ e_{y2} \\ e_{y3} \\ e_{y4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} - C \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 - y_1 \end{bmatrix} \end{cases}$$

Calculons à présent la matrice de transfert $N_d = C(pI - M)^{-1}(H + pH') - D_c$, on a :

$$H = (MLY + k)D_c - LYD_a = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3.382 & 1 & 0 \\ 0 & -0.25 & 1.118 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H' = -ED_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Le vecteur des résidus s'écrit alors $R(p) = Q(p)N_d(p)d(p)$ soit :

$$R(p) = Q(p) \begin{bmatrix} -\frac{1}{p+1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{p}{p+3.382} & \frac{1}{p+3.382} & 0 \\ 0 & -\frac{0.25}{p+2.618} & -\frac{p+1.5}{p+2.618} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(p) \\ f_2(p) \\ f_3(p) \\ f_4(p) \end{bmatrix}$$



La dernière ligne n'est d'aucune utilité, et le résultat du découplage de la perturbation finale en ne conservant que les trois premières lignes.

Afin de faciliter la localisation des défauts, recherchons un ensemble de transfert $Q(p)$, stable et propre, permettant d'obtenir la table de signature suivante :

	f_1	f_2	f_3	f_4
r_1	1	0	0	0
r_2	0	1	0	0
r_3	0	0	1	0

IV.1 Table des signatures désirée

Une telle table pourra être obtenue si l'on peut trouver $Q_f(p)$ telle que la matrice

$Q_f(p) H_f(p)$, avec $H_f(p) = Q_d N_f(p)$, présente la structure suivante :

$$Q_f(p) H_f(p) = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 \\ 0 & 0 & \times \end{bmatrix}$$

où le symbole \times désigne une fonction de transfert différentielle non nulle. La matrice

$Q_f(p) H_f(p)$ s'écrit :

$$Q_f(p) H_f(p) = \begin{bmatrix} -q_1 \frac{1}{p+1} & -q_2 \frac{p}{p+3.382} & -q_3 \frac{0.25}{p+2.618} & q_2 \frac{1}{p+3.382} & -q_3 \frac{p+1.5}{p+2.618} \\ -q_4 \frac{1}{p+1} & -q_5 \frac{p}{p+3.382} & -q_6 \frac{0.25}{p+2.618} & q_5 \frac{1}{p+3.382} & -q_6 \frac{p+1.5}{p+2.618} \\ -q_7 \frac{1}{p+1} & -q_8 \frac{p}{p+3.382} & -q_9 \frac{0.25}{p+2.618} & q_8 \frac{1}{p+3.382} & -q_9 \frac{p+1.5}{p+2.618} \end{bmatrix}$$

$$\text{Avec } Q_f(p) = \begin{bmatrix} q_1(p) & q_2(p) & q_3(p) \\ q_4(p) & q_5(p) & q_6(p) \\ q_7(p) & q_8(p) & q_9(p) \end{bmatrix}$$



Il s'agit donc de satisfaire les conditions suivantes :

$$\begin{aligned}
 -q_1 \frac{1}{p+1} &\neq 0, & -q_2 \frac{p}{p+3.382} - q_3 \frac{0.25}{p+2.618} &= 0, & q_2 \frac{1}{p+3.382} - q_3 \frac{p+1.5}{p+2.618} &= 0, \\
 -q_4 \frac{1}{p+1} &= 0, & -q_5 \frac{p}{p+3.382} - q_6 \frac{0.25}{p+2.618} &= 0, & q_5 \frac{1}{p+3.382} - q_6 \frac{p+1.5}{p+2.618} &= 0, \\
 -q_7 \frac{1}{p+1} &= 0, & -q_8 \frac{p}{p+3.382} - q_9 \frac{0.25}{p+2.618} &= 0, & q_8 \frac{1}{p+3.382} - q_9 \frac{p+1.5}{p+2.618} &\neq 0,
 \end{aligned}$$

Une des solutions possibles est donnée par :

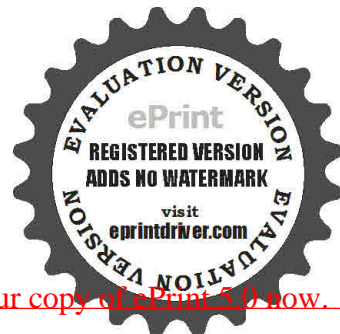
$$Q_r(p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{p + 2.618}{(p + 1.5)(p + 3.382)} \\ 0 & 1 & \frac{p(p + 2.618)}{0.25(p + 3.382)} \end{bmatrix}$$

Le vecteur des résidus s'écrit alors :

$$\begin{bmatrix} r_1(p) \\ r_2(p) \\ r_3(p) \end{bmatrix} = Q_r(p)H_r(p)f(p) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{p+1} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{(p+1.30)(p+0.67)}{(p+3.382)(p+1.5)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(p+1.31)(p+0.19)}{p+3.382} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(p) \\ f_2(p) \\ f_3(p) \end{bmatrix}$$

On obtient alors ainsi une structure permettant la réalisation complète des défauts. Vérifions à présent en simulation les résultats théoriques obtenus, Fig. IV.2 présente le fichier SIMULINK utilisé à cet effet.

Le Simulink qu'on a fait dans ce travail et le suivant :



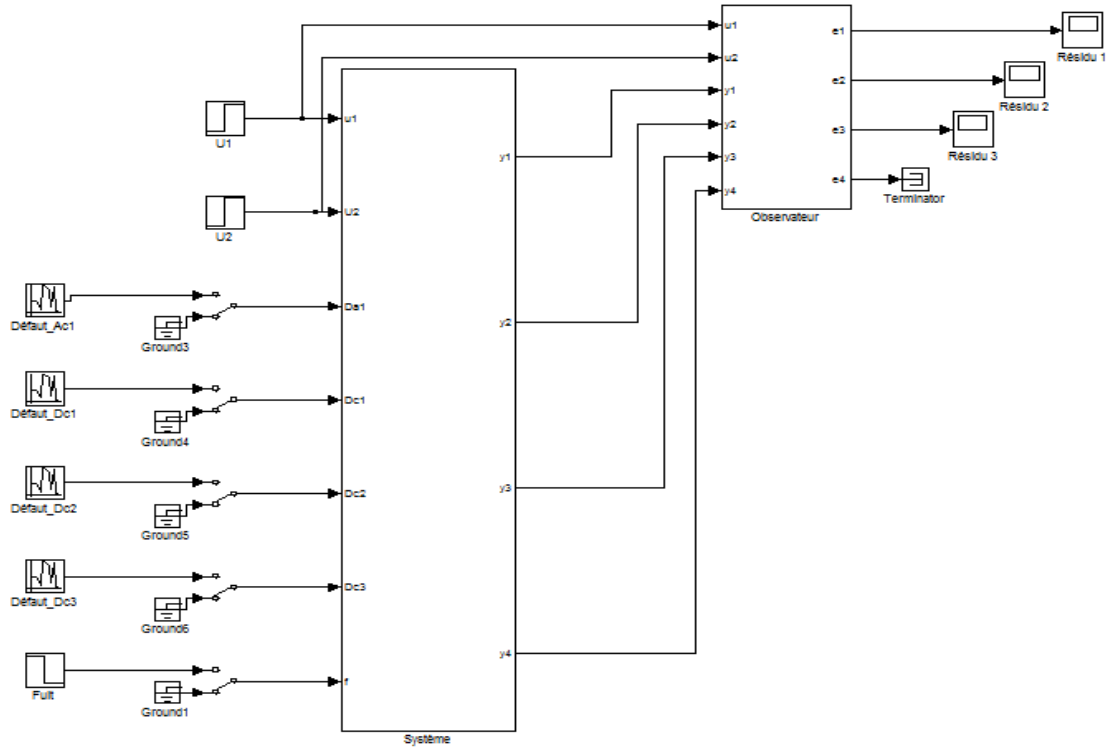


Fig. IV.2 :Simulink obtenue

Si on affecte un bruit on trouve les figures suivantes :

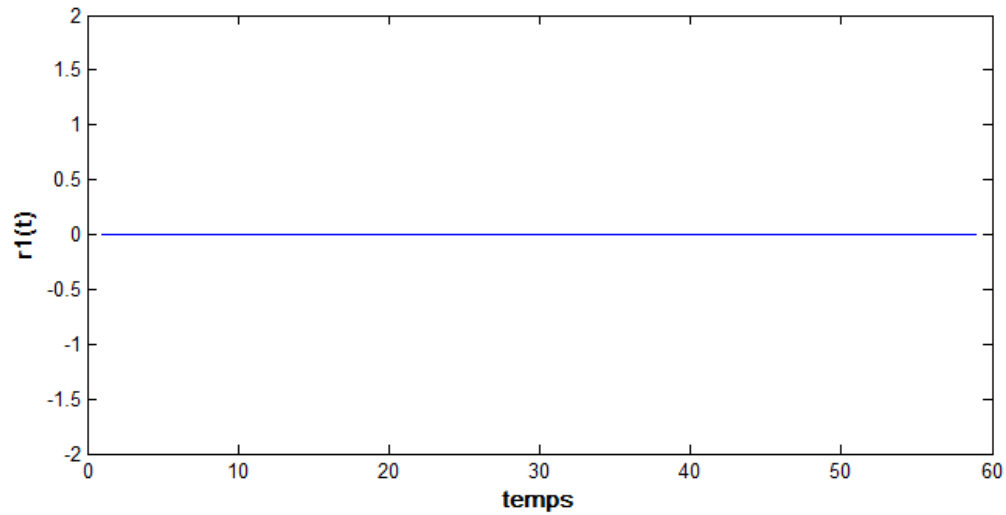
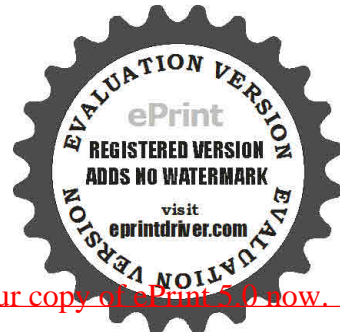
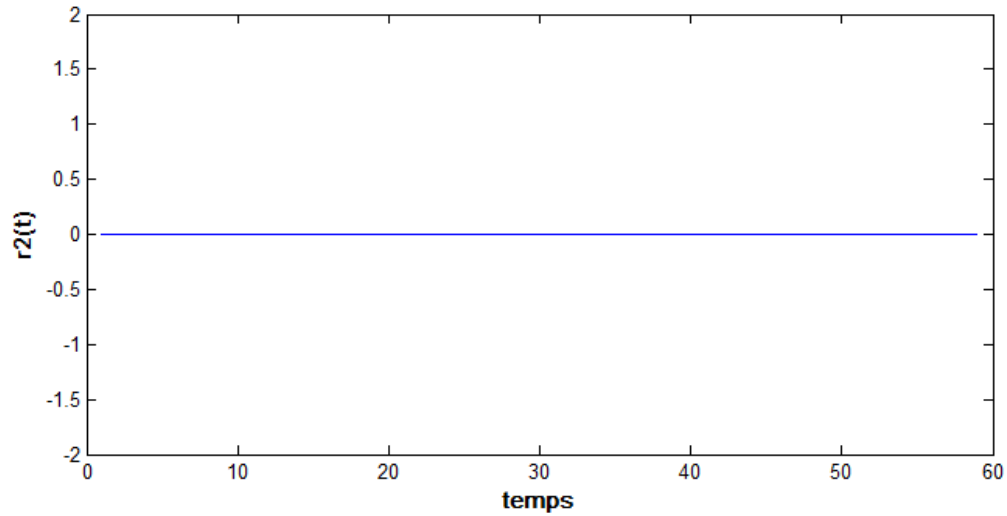
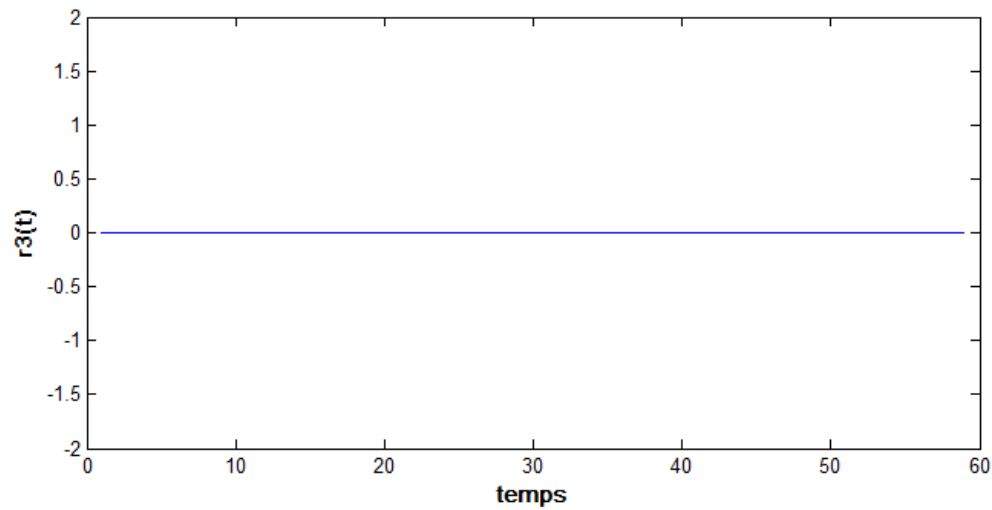


Fig. IV.3 :résidu r_1 en présence de perturbation .

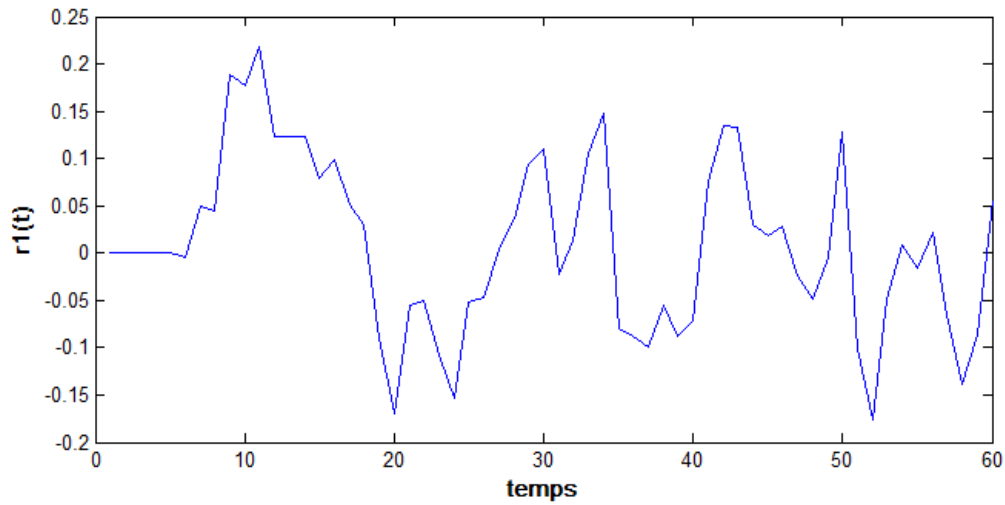
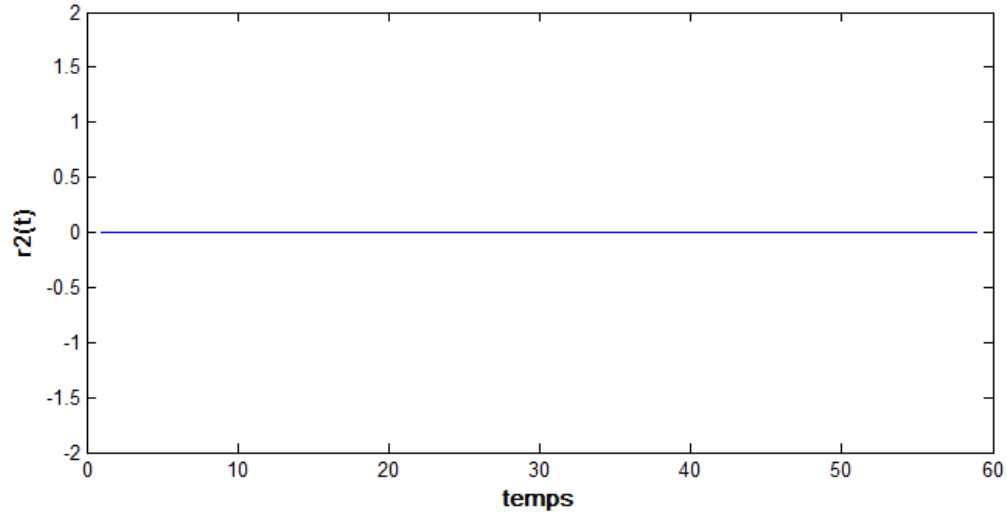


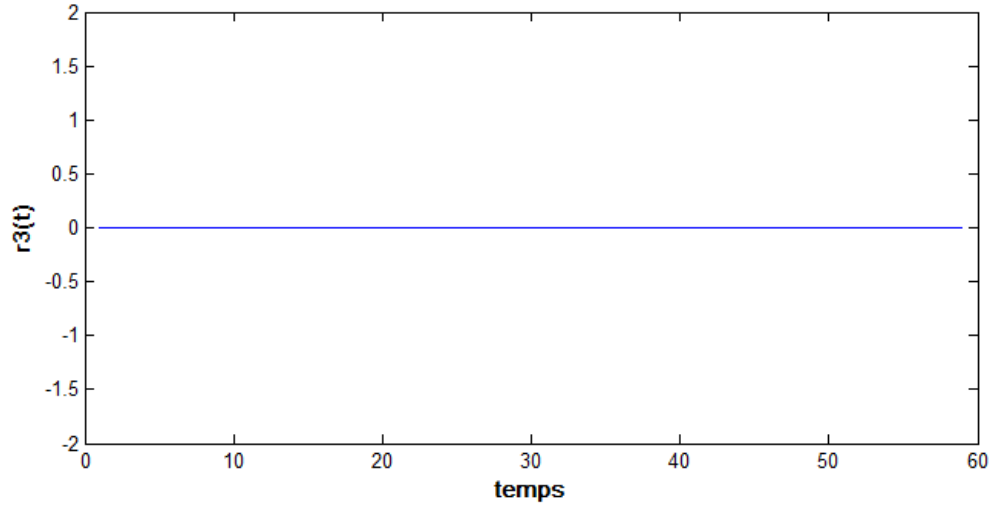
Fig. IV.4 :résidu r_2 en présence de perturbation .Fig. IV.5 :résidu r_3 en présence de perturbation .

On remarque que les résidus (r_1 et r_2 et r_3) sont insensibles aux perturbations .

-Si on affecte un dé fauto nne u e n t r o u v e l e s i g u r e s s i l e s s o u s :

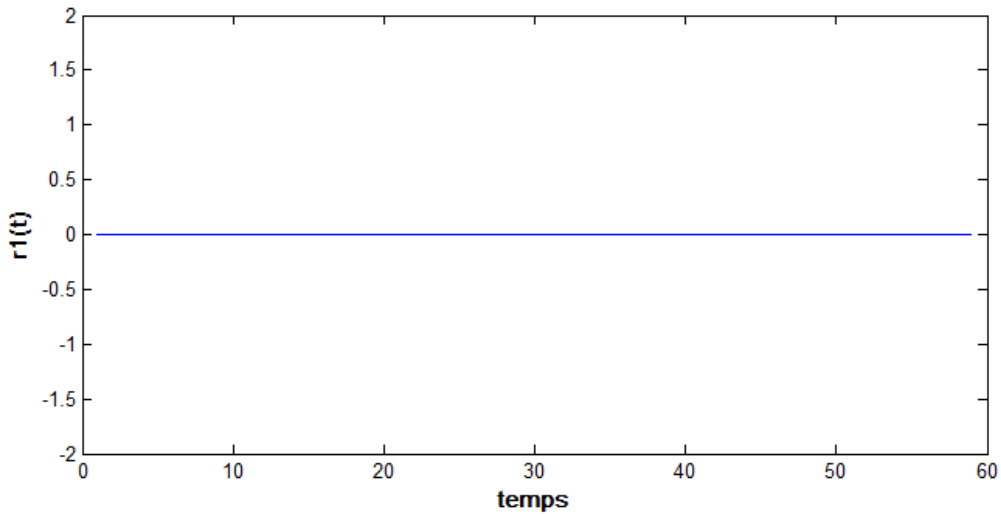
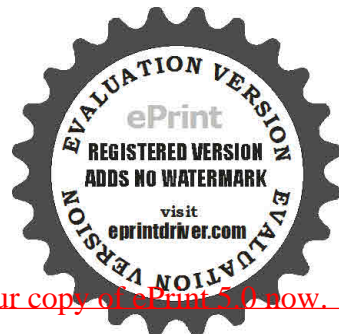


Fig. IV.6 :résidu r_1 en présence de défaut actionneur .Fig. IV.7 :résidu r_2 en présence de défaut actionneur .

Fig. IV.8 : résidu r_3 en présence de défaut actionneur .

2 3

-Si on affecte un défaut capteur1 en trouve les figures suivantes :

Fig. IV.9 :résidu r_1 en présence de défaut capteur1.

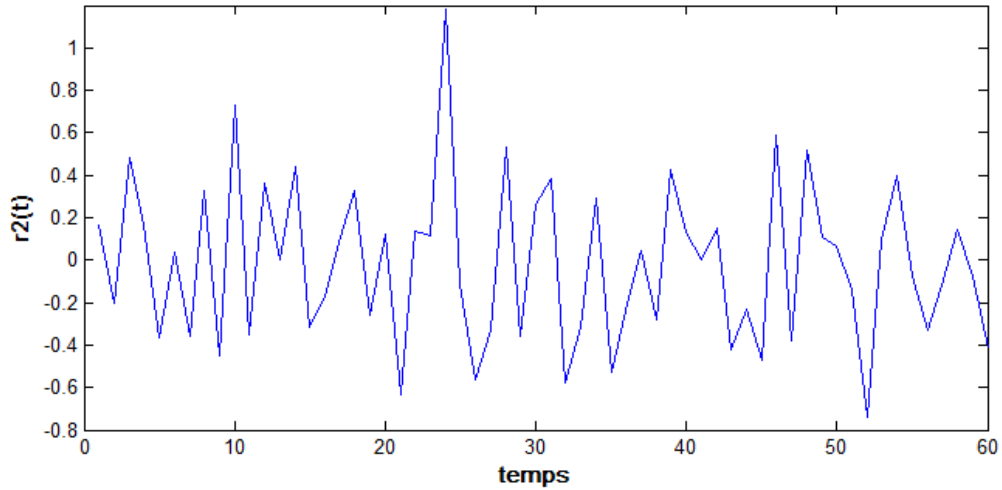


Fig. IV.10 :résidu r_2 en présence de défaut capteur1.

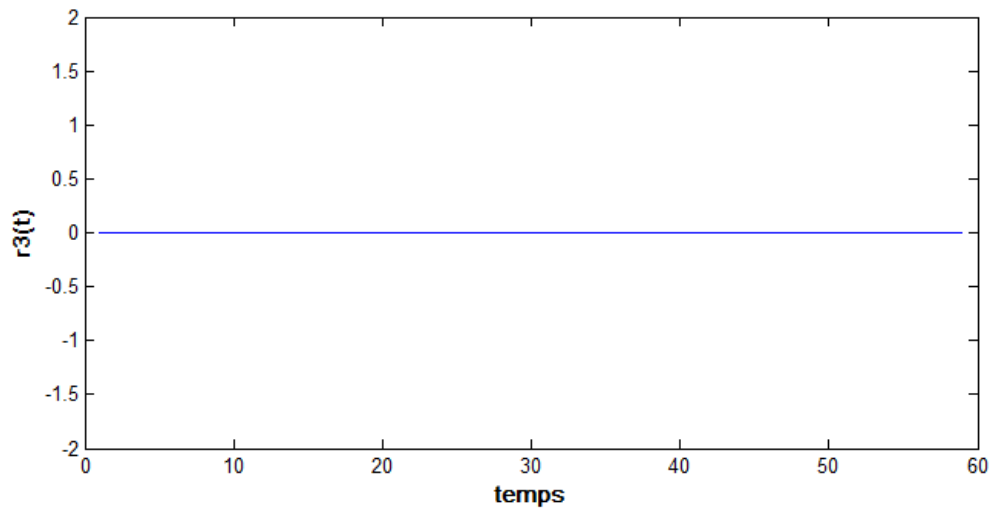
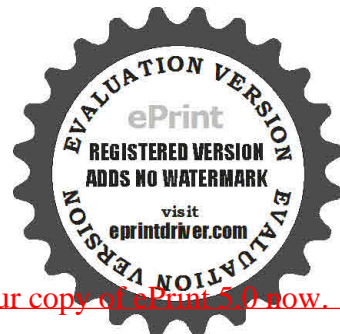
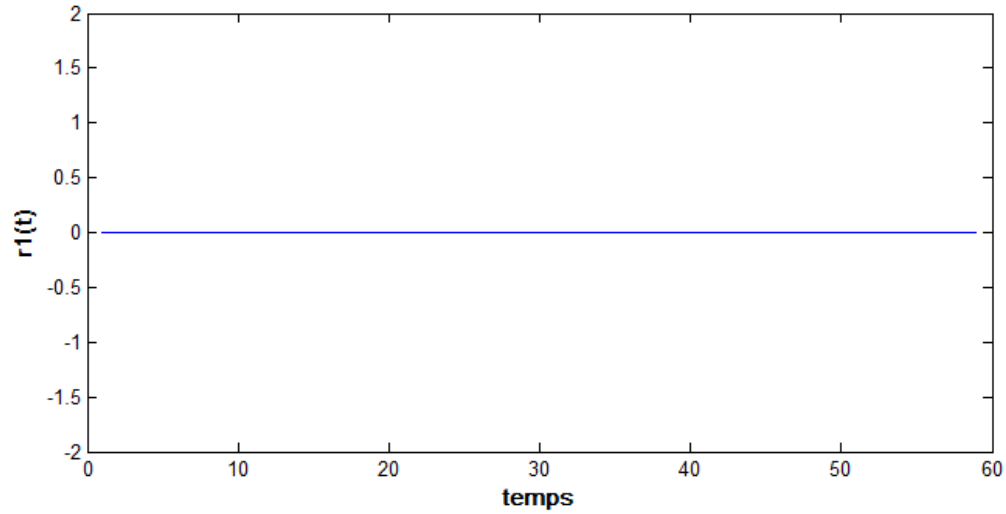
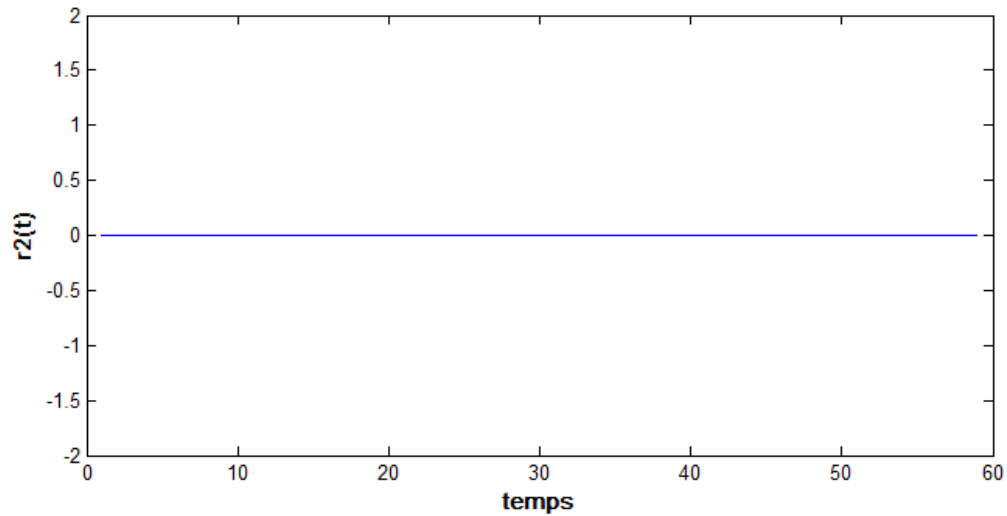
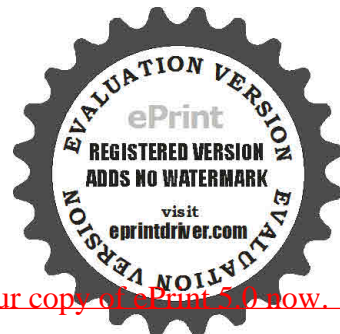


Fig. IV.11 :résidu r_3 en présence de défaut capteur1.

Si on affecte un défaut capteur 2 on trouve les figures suivantes :

-Si on affecte un défaut capteur 2 on trouve les figures suivantes :



Fig. IV.12 :résidu r_1 en présence de défaut capteur2.Fig. IV.13 :résidu r_2 en présence de défaut capteur2.

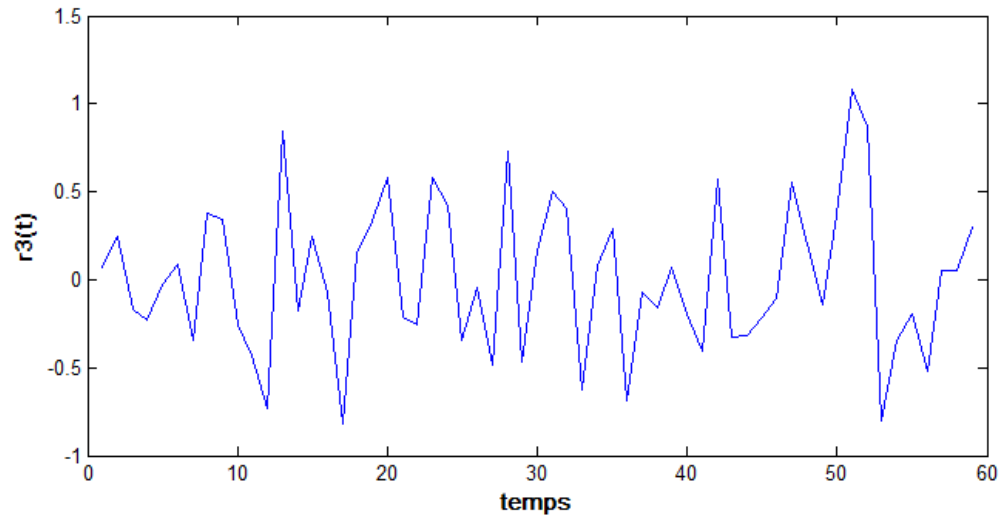


Fig. IV.14 :résidu r_3 en présence de défaut capteur2.

Il nous apparaît à travers ces résultats que le défaut capteur 3 n'a aucun effet sur la simulation, donc tous les résidus sont nuls.

D'après la table de signature on remarque que le défaut capteur 3 n'a aucun effet sur la simulation, donc tous les résidus sont nuls.

En résumé nous constatons que cette méthode est efficace pour la détection et l'isolation des défauts affectant les actionneurs et capteurs même en absence de bruits. Nous pouvons générer, à base d'observateurs, des résidus insensible à la perturbation et sensible aux défauts (défaut actionneur ou défauts capteur).

3. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons focalisé notre étude sur la détection et l'isolation de défauts provenant des actionneurs et de capteurs pour un système linéaire en utilisant un observateur à entrées inconnues. La méthode développée est appliquée sur un exemple d'un système hydraulique à plusieurs réservoirs, en absence et présence de bruits et de défauts. Cette méthode qui s'est avérée efficace pour tous les cas que nous avons considérés.

L'obtention de la robustesse ne doit pas se faire au détriment de la sensibilité aux défauts. Il s'agit donc non seulement de rendre le générateur de résidu peu sensible aux entrées inconnues mais également de le rendre le plus sensible possible aux défauts.



Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons abordé le problème d'estimation d'état des systèmes linéaires pour le diagnostic de défauts. La stratégie de diagnostic a été étudiée dans son ensemble consistant à détecter et à isoler les défauts affectant le système, en utilisant que des observateurs. Après la présentation des différentes méthodes de diagnostic et les différentes structures de génération de résidus, les critères de performances d'une procédure de diagnostic ont été posés. Le critère le plus crucial est donné par la notion de robustesse qui consiste à déterminer l'existence de défauts en dépit de la présence des perturbations. Avant de présenter la méthode de diagnostic à base d'observateurs à entrées inconnues que nous avons étudiée dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés au problème de diagnostic des systèmes linéaires, et nous l'illustrons sur un exemple d'application.

Il concerne la recherche de nouveaux algorithmes intégrant l'ensemble des tâches d'une procédure de diagnostic (faute, détection et isolation) pour des systèmes linéaires soumis à des perturbations inconnues a priori. Cette intégration n'est cependant difficile à mettre en œuvre. Nous avons proposé dans un premier temps, une méthode de génération de résidu et l'évaluation qui compose à deux parties qui sont : la détection et la localisation, la première sonde détecte le défaut et on cherche sa place avec plusieurs résidus et on fait la localisation grâce à la table de signature.

La méthode de diagnostic à base d'observateurs qui est étudiée dans ce mémoire a montré son efficacité pour la détection et l'isolation des défauts.

Dans le deuxième chapitre nous avons la représentation d'un système fait généralement apparaître des signaux inconnus (perturbations), de défauts actionneurs ou capteurs et on applique l'approche de diagnostic à base d'observateur à entrées inconnues (OEI) et nous nous sommes intéressés à la génération de résidus structures par l'intermédiaire de bancs d'observateurs afin de conclure sur l'occurrence d'une faute sur le système considéré. Nous nous sommes surtout intéressés à l'aspect de détection des fautes tandis que la localisation a été simplement évoquée à travers l'utilisation d'un observateur à entrées inconnues avec découplage parfait.

Idem pour le troisième chapitre, la méthode différentielle sur le diagnostic utilise l'espace de parité.

Enfin on applique la méthode de diagnostic à base d'un observateur d'entrées inconnues sur une application de plusieurs réservoirs montrant des résultats satisfaisants.

Le principe de la méthode consiste à découpler les défauts par rapport aux sorties. Cette méthode utilise la technique de découplage des systèmes qui permet de faciliter sa localisation et qui a le mérite de prendre en considération, naturellement, l'objectif de diagnostic.



Annexe A
Inverses généralisées

Les propriétés relatives aux inverses généralisées ont été répertoriées dans (Ben-Israel et Greville, 1974).

Considérons une matrice non singulière Q telle que :

$$QQ^{-1} = Q^{-1}Q = I \quad (A.1)$$

où $Q \in R^{p \times q}$. On peut aussi écrire que :

$$QQ^{-1}Q = Q \quad (A.2)$$

Les inverses de matrices permettent de résoudre strictement des systèmes du type $Qx = y$ avec pour solution unique $x = Q^{-1}y$. Cependant dans beaucoup d'applications, on est amené à résoudre le système linéaire compatible suivant :

$$P = XM, \quad (A.3)$$

où $P \in R^{p \times q}$ et $M \in R^{r \times q}$ représentent des matrices connues, tandis que $X \in R^{p \times r}$ est une matrice inconnue. Une inverse généralisée de la matrice M notée $M^{\{1\}}$ appartenant à $R^{q \times r}$ est définie par :

$$MM^{\{1\}}M = M. \quad (A.4)$$

Pour toute matrice M , une inverse généralisée existe et l'ensemble des inverses généralisées de M est donné par :

$$\{M^{\{1\}} + W - M^{\{1\}}MWM^{\{1\}}\} \quad (A.5)$$

où $M^{\{1\}}$ est une inverse généralisée de M et W une matrice arbitraire appartenant à $R^{q \times r}$. Deux conditions équivalentes, données ci-dessous, assurent l'existence d'une solution pour (A.3) :

$$\left\{ \text{rang } M = \text{rang} \begin{bmatrix} P \\ M \end{bmatrix} \right\} \text{ ou } \{P(I_q - M^{\{1\}}M) = 0\} \quad (A.6)$$

Lorsque ces conditions sont satisfaites, une solution générale pour (A.3) est donnée par :

$$X = PM^{\{1\}} + U(I_r - MM^{\{1\}}), \quad (A.7)$$

où U est une matrice arbitraire appartenant à $R^{p \times r}$. On constate alors que la solution pour X n'est pas unique. En effet, d'une part la matrice U est une matrice arbitraire et d'autre part l'inverse généralisé $M^{\{1\}}$ n'est pas unique et son ensemble est donné par (A.5).

De plus, par exemple, si :

$$M = \begin{bmatrix} I_\rho & 0_{\rho, q-\rho} \\ L & 0_{r-\rho, q-\rho} \end{bmatrix} \quad (A.8)$$

où $\rho = \text{rang } M$ et $L \in R^{(r-\rho) \times \rho}$ alors on peut choisir :

$$M^{\{1\}} = \begin{bmatrix} I_\rho & 0_{\rho, r-\rho} \\ 0_{q-\rho, \rho} & 0_{q-\rho, r-\rho} \end{bmatrix} \quad (A.9)$$

Ainsi, si la matrice M possède une structure particulière on peut trouver une inverse généralisée $M^{\{1\}}$ de façon systématique. Ici, que soit la matrice L , $M^{\{1\}}$ par (A.9) sera toujours une inverse généralisée pour M .



Référence :

- [1] [L. ZETAO, 2006] : Contributions à l'élaboration d'algorithme d'isolation d'identification de défaut. Thèse, Institut national des sciences appliquées de Toulouse.
- [2] [A.S. WILLSKEY, 1976] : A Survey of Design Methods for Failure Detection in Dynamic Systems.
- [3] [Alamo, et al, 2003] : Guaranteed state estimation by zonotopes.
- [4] [Comtet-Varga, et al, 1999] : FDI for the Induction Motor using EKF in a Non Theory.
- [5] [Beard.R, 1971] : Failure accommodation in linear systems through self reorganization.
- [6] [Abdelhalim LALAMI] : Thèse Diagnostic et approches sensées listes.
- [7] [Combastel, et al, 2008] : Fault diagnosis based on the enclosure of parameters estimated with an adaptive observer.
- [8] [Brune, et al, 1990] : Détection et diagnostic d'épaves - Approche par modélisation.
- [9] [H. HENRY, 1999] : Diagnostic et contrôle de cohérence des systèmes multivariables incertains, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1.
- [10] Livre: commande et diagnostic des systèmes dynamiques [Rosario TO SCANO]
- [11] Livre: SYSTEMES ASSERVIS [El-Kebir boukais]
- [12] D. X. L. Guo et T. Jeinsch. A characterization of parity space and its application to robust fault detection. IEEE Transactions on Automatic Control 44(2) 337-343, 1999.
- [13] J. Gertler. Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems. Marcel Dekker, New York, 1998.
- [14] J. Gertler. Fault detection and isolation using parity relations. Control Engineering Practice, 5(5) :653-661, 1997.
- [15] M. Basseville et I. Nikiforov. Detection of Abrupt Changes - Theory and Applications. Prentice Hall, N.J., 1993.
- [16] A. Y. Chow et A. Willsky. Analytical redundancy and the design of robust failure detection systems. IEEE Transactions on Automatic Control 29(9) 603-614, 1984.

