

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT GÉNIE ELECTRIQUE

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIES  
FILLIAIRE : AUTOMATIQUE

N° .....

OPTION : AUTOMATIQUE ET SYSTEMES



Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique  
Par : CHITOUR FATMA

**Intitulé**

**Diagnostic par observateurs d'états à entrées inconnues  
Application à un bioréacteur.**

**Membres du jury :**

Nom et prénom de l'enseignant

.....	Université .....	Président
.....	Université .....	Rapporteur
.....	Université .....	Examineur

**Année universitaire : 2021 /2022**

بسم الله والحمد لله

وصلى الله على

رسول الله

إهداء:

إلى أمي وأبي رحمهما الله

إلى زوجي الدكتور علواني مبارك

إلى كل عائلتي.

## شكر :

الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات.

أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور أوباباس حسين المشرف على انجاز هذه المذكرة على اهتمامه و متابعتة للعمل في جميع مراحلها و على حرصه على إخراجها على الوجه الأكمل فجزاه الله خيرا  
كما أشكر السادة الأساتذة أعضاء اللجنة على قبولهم الإطلاع على هذه المذكرة وعلى المشاركة في تقييمها.

شكرا لكل من يساهم بتوفير مادة علمية أو نشر خبرة أو مهارة .

## Table des matières

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Introduction au diagnostic .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Concepts et définitions .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Un défaut .....	5
1.2.2 Défaillance .....	5
1.2.3 Une panne.....	5
1.2.4 Un symptôme .....	5
1.2.5 Diagnostic .....	5
1.2.6 Un résidu .....	6
1.2.7 Perturbation.....	6
<b>1.3 Les différents types des défauts .....</b>	<b>6</b>
1.3.1 Caractéristiques temporelles .....	7
1.3.2 Modélisation .....	8
<b>1.4 Principe de diagnostic des défauts .....</b>	<b>8</b>
1.4.1 La Détection .....	8
1.4.2 La localisation .....	8
1.4.3 L'identification .....	8
1.4.4 Redondance physique ou matérielle .....	8
1.4.5 Redondance analytique .....	9
<b>1.5 Classification des méthodes de diagnostic .....</b>	<b>11</b>
1.5.1 Les méthodes sans modèles .....	11
1.5.2 Les méthodes à base de modèle .....	11
<b>1.6 Méthode de diagnostic à base d'observateurs.....</b>	<b>13</b>
<b>1.7 Principe de génération de résidus à base d'observateurs .....</b>	<b>13</b>

1.7.1	Structure d'observateurs généralisés (GOS) .....	15
1.7.2.	Structure d'observateurs dédiés (DOS) .....	16
Conclusion .....		18
<b>Chapitre II : Estimation d'état .....</b>		<b>19</b>
2.1	Introduction .....	20
2.2	L'observateur d'état.....	20
2.3	Structure d'un observateur .....	20
2.4	Notion d'observabilité.....	22
2.5	Notion de détectabilité.....	23
2.6	Classification des observateurs.....	23
2.6.1	Observateurs pour systèmes linéaires.....	23
2.6.2	Observateurs pour les systèmes non linéaires.....	30
Conclusion.....		32
<b>Chapitre III : Diagnostic par observateur à entrées inconnues Application à un bioréacteur. ....</b>		<b>33</b>
3.1	Introduction .....	34
3.2	La synthèse d'un observateur à entrées inconnues pour le diagnostic .....	34
3.2.1	Génération des résidus .....	34
3.2.2	Evaluation des résidus.....	35
3.3	Application au bioréacteur .....	38
3.3.1	Description du processus.....	38
3.3.2	Modèle dynamique du processus.....	38
3.3.3	Construction de l'observateur à entrées inconnues.....	40
3.3.4	Détection et localisation des défauts capteurs par un banc d'observateurs .....	48
Conclusion.....		60
<b>Conclusion générale .....</b>		<b>63</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>		<b>63</b>

## Table des figures

### Chapitre I

<b>Figure1.1</b> : Emplacement de défauts dans un système de commande .....	7
<b>Figure1.2</b> : Modélisation des défauts .....	7
<b>Figure1.3</b> : Schéma représentant la redondance matérielle: .....	8
<b>Figure1.4</b> : Redondance matérielle et analytique. ....	10
<b>Figure1.5</b> : Classification des méthodes de diagnostic .....	12
<b>Figure1.6</b> : génération des résidus .....	13
<b>Figure1.7</b> : différentes cas des Tables de signatures .....	15
<b>Figure1.8</b> : La structure GOS .....	16
<b>Figure1.9</b> : La structure DOS .....	17

### Chapitre II

<b>Figure2.1</b> : Structure d'un observateur. ....	20
<b>Figure2.2</b> : Schéma fonctionnel d'un observateur à ordre plein .....	22
<b>Figure2.3</b> : Schéma fonctionnel d'un observateur à ordre plein à entrées inconnues UIO .....	26

### Chapitre III

<b>Figure3.1</b> : Organigramme de la procédure de synthèse d'un UIO .....	36
<b>Figure3.2</b> : Schéma GOS pour le diagnostic des défauts capteurs .....	37
<b>Figure3.3</b> : Schéma de simulation sur SIMULINK du système et de l'UIO sans défaut. ....	41
<b>Figure3.4</b> : Résultats de simulations en absence et en présence de perturbation. ....	42
<b>Figure3.5</b> : Schéma de simulation sur SIMULINK avec défauts.....	43
<b>Figure3.6</b> : Le montage du bloc UIO sur SIMULINK .....	44
<b>Figure3.7</b> : Le montage du bloc Pant (système) sur SIMULINK .....	44

---

<b>Figure3.8</b> : Résultats de simulations avec défaut capteur 1 .....	45
<b>Figure3.9</b> : Résultats de simulations avec défaut capteur 2 .....	46
<b>Figure3.10</b> : Résultats de simulations avec défaut capteur 3 .....	47
<b>Figure3.11</b> : Schéma de simulation sur SIMULINK avec un banc d'observateurs.....	51
<b>Figure3.12</b> : Le montage du bloc UIO1, UIO2, et UIO3 .....	51
<b>Figure3.13</b> : Résultats de simulations avec un seul défaut capteur 1 .....	52
<b>Figure3.14</b> : Résultats de simulations avec un seul défaut capteur 2.....	53
<b>Figure3.15</b> : Résultats de simulations avec un seul défaut capteur 2.....	54
<b>Figure3.16</b> : Résultats de simulations avec deux défauts capteur 1 et 2.....	55
<b>Figure3.17</b> : Résultats de simulations avec deux défauts capteur 1 et 3.....	56
<b>Figure3.18</b> : Résultats de simulations avec deux défauts capteur 2 et 3.....	57
<b>Figure3.19</b> : Résultats de simulations avec défaut capteur 1,2 et 3 .....	59

## Liste des tableaux

<b>Table3.1</b> : Les paramètres du modèle .....	39
<b>Table3.2</b> : Table des signatures avec un seul observateur .....	48
<b>Table3.3</b> : Table des signatures avec le banc d'observateurs .....	59

## Abréviations et symboles

### Abréviations

LTI : Linear Time Invariant.

CSTR: Continuous Stirred-tank reactor.

FDI: Fault detection and isolation.

DOS: Dedicated Observer Scheme.

GOS: Generalized Observer Scheme.

DSP : Densité Spectrale de Puissance.

### Symboles

$R$  :Ensemble des nombres réels

$t$  : Variable de temps.

$I$  : Matrice identité

$\|r\|$  : Norme Euclidienne du vecteur  $r$ .

## **Introduction générale**

La commande moderne des processus devient de plus en plus complexe, sophistiquée, et exigeante en matière de performance. Des systèmes comme les systèmes aéronautiques, nucléaires, automobiles, processus chimiques, et lignes de production automatique doivent être hautement performants mais aussi bien sécurisés.

Une méthode efficace pour sécuriser un système est de faire la détection rapide des défauts et de déterminer l'élément défaillant.

Le développement des moyens de diagnostic et de détection de défaut pour éviter tout état de panne ou de mauvais fonctionnement des processus est un domaine actif de recherche en automatique et control.

Le diagnostic d'un état de fonctionnement s'appuie sur la comparaison de cet état avec un état de référence puis de tester un résidu qui est un signal indicateur de défaut pour décider si ce dernier est survenu.

Dans les méthodes de diagnostic à base de modèle l'état de référence est fourni par un modèle mathématique. Un algorithme de détection et d'isolation de défaut FDI utilise ce modèle et les mesures des entrées et des sorties du système pour générer des résidus, une fois ces résidus sont comparés avec des seuils une décision sera prise pour déterminer s'il y-a un défaut ou non.

Parmi ces méthodes à base de modèle, la méthode à base d'observateur a été adoptée avec réussite dans plusieurs applications. Quoique le modèle mathématique de l'observateur est similaire à celui du système à commander, mais il n'est pas soumis aux mêmes conditions du système réel, comme les perturbations, les non linéarités et les incertitudes de la modélisation pour cela il est essentiel de prendre en considération ces conditions lors de l'élaboration d'un diagnostic des défauts.

La méthode de détection et d'isolation des défauts FDI doit faire distinction entre l'effet du défaut et celui de la perturbation. En adoptant le principe de découplage de la perturbation, les résidus sont conçus de façon à être sensibles aux défauts et insensibles aux perturbations, raison pour laquelle Frank et Ding [1] avaient développé l'observateur à entrées inconnues pour les systèmes linéaires.

Le but de ce travail est d'élaborer un schéma de détection et d'isolation des défauts capteurs pour un processus chimique. Un observateur à entrées inconnues sera conçu et ces performances seront testées pour un modèle linéaire d'un bioréacteur CSTR.

Pour parvenir à atteindre notre objectif, nous avons organisé ce travail en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré pour introduire les notions de bases du diagnostic de défauts ainsi que

les types de défauts et leurs modélisations, ensuite nous allons présenter le principe de base de diagnostic et ces étapes.

Une classification des différentes méthodes de diagnostic est introduite, puis nous allons parler du diagnostic à base d'observateur et de la procédure de génération des résidus et nous finirons avec les différents schémas de structuration des résidus.

Le deuxième chapitre est dédié pour l'estimation d'état, nous allons voir le principe d'un observateur, sa structure et son modèle générale et ne présentons les notions d'observabilité et de détectabilité, conditions nécessaires pour l'existence d'un observateur. Nous parlons de la classification des observateurs en général et nous consacrant une étude détaillée à l'observateur à entrées inconnues pour système linéaire invariant dans le temps LTI.

Le troisième chapitre sera consacré à l'instauration d'un schéma de détection et d'isolation de défaut par un observateur à entrées inconnues et nous finirons avec l'application de cette méthode pour le diagnostic d'un bioréacteur.

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

## **Chapitre I : Introduction au diagnostic**

## 1.1. Introduction

Un système est dit dans un état de fonctionnement normal lorsque les variables qui le caractérisent (variables d'état, variables de sortie, variables d'entrée, paramètres du système) restent au voisinage de leurs valeurs nominales. Le système est dit défaillant dans le cas contraire [1].

Afin de comprendre l'intérêt du diagnostic et Nous allons introduire quelques notions de bases sur le diagnostic et ces méthodes ainsi que les différents types de défauts et leurs modélisations.

## 1.2. Concepts et définitions

**1.2.1 Un défaut** est une anomalie de comportement au sein du système qui peut apparaître au niveau des capteurs, des actionneurs et au niveau du processus.

Tout écart entre la caractéristique observée et la caractéristique de référence est considéré comme étant un défaut.

### 1.2.2 Défaillance

Une défaillance définit une anomalie fonctionnelle au sein d'un système physique.

Il est clair qu'une défaillance entraîne un défaut, mais l'existence d'un défaut ne produit pas nécessairement une défaillance, mais plutôt il peut avertir une défaillance à venir.

### 1.2.3 Une panne

Est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction demandée. Une défaillance précède toujours Une panne.

### 1.2.4 Un symptôme

Est une observation de dérive (état fonctionnel ou comportemental anormal) [2].

### 1.2.5 Diagnostic

Le diagnostic est le processus d'évaluation d'un état de fonctionnement donné.

Si cet état est comparé avec un état de référence, il s'agit d'évaluation de dérive de fonctionnement [2].

Le diagnostic doit permette de détecter et de localiser un défaut avant que celui-ci ne conduise à une défaillance ou à une panne qui entrainerait l'arrêt du système [1].

A partir des informations disponibles sur le comportement du système et celles de la référence (modèle) le diagnostic permet de détecter un défaut tout en indiquant son type et son ampleur ainsi de le localiser en indiquant son lieu et le moment de son occurrence.

### 1.2.6 Un résidu

C'est un signal indicateur d'une anomalie fonctionnelle ou comportementale.

Il est nul en moyenne en absence de défauts, dans le cas contraire il s'éloigne de sa valeur moyenne ce qui permet d'indiquer la présence de défauts [3].

### 1.2.7 Perturbation

Est un signal qui vient d'agir additivement sur le système, l'existence de la perturbation est vue comme normale, ainsi que son effet est atténué par une régulation adéquate [4].

## 1.3 Les différents types des défauts

On classe les défauts apparaissant dans un système à commander selon trois critères, leurs emplacements, leurs modélisations et leurs caractéristiques temporelles

### • **Emplacement**

Les défauts sont des événements qui se produisent en différents endroits du système, dans la chaîne d'acquisition, dans la chaîne d'action ou bien au sein du processus lui-même.

On distingue trois types de défauts suivant leurs emplacements.

- Les défauts capteurs.
- Les défauts actionneurs.
- Les défauts composants (interne au processus).

#### 1.3.1.1 Les défauts des capteurs

Un capteur est censé délivrer fidèlement la valeur de la grandeur physique mesurée. Dans le cas de défaut, la valeur mesurée est erronée, alors elle ne représente pas la grandeur physique. Ceci est dû au problème de filtrage dans la chaîne d'acquisition ou bien au mauvais étalonnage du capteur (portée mécanique d'un capteur à proximité).

### 1.3.1.2 Les défauts des actionneurs

Les actionneurs appartiennent à la partie opérative d'un système automatique. Quand un défaut surgit dans un actionneur, ce dernier développe un effort physique qui n'est pas en proportionnalité avec son entrée (consigne) alors le signal d'entrée du système est détérioré.

Les défauts actionneur représentent une perte totale c'est à dire une incapacité de l'actionneur à commander le système ou bien une perte partielle quand l'actionneur fournit une action dégradée qui ne permet pas au système d'atteindre son régime nominal (chute de pression dans un vérin, perte de puissance d'un moteur,...).

### 1.3.1.3 Les défauts composants ou systèmes

Ces défauts proviennent du système lui-même, ils sont classés de manière arbitraire comme défaut capteurs ou défauts actionneur.

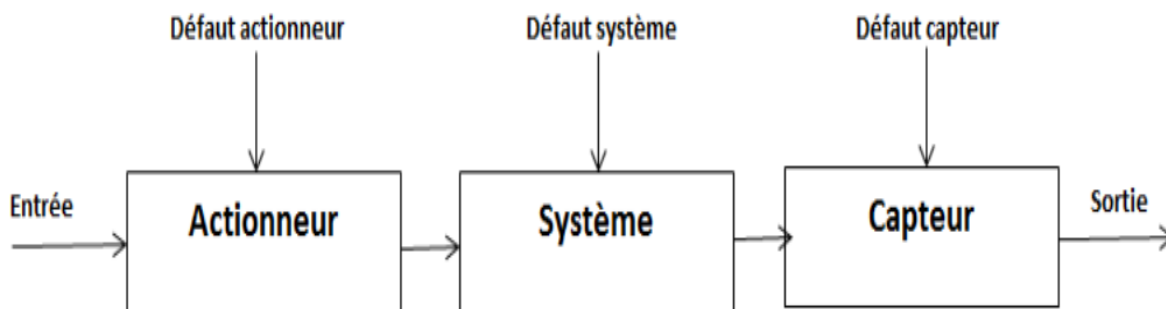


Figure 1.1 : Emplacement de défauts dans un système de commande.

## 1.3.2 Caractéristiques temporelles

Suivant leurs allures dans le temps on distingue trois types de défauts :

### 1.3.2.1 Défaut brusque

Un défaut brusque apparaît à un instant précis, sa valeur est constante et non nulle à partir de ce moment, en général il est dû à un dommage matériel.

### 1.3.2.2 Défaut intermittent

Ce sont des défauts qui apparaissent sous forme d'impulsion, ils sont aléatoires.

### 1.3.2.3 Défaut progressif

Dès l'apparition d'un défaut progressif, la valeur de ce dernier augmente lentement au fil du temps, ce genre de défaut est dû au vieillissement des équipements.

### 1.3.3 Modélisation

On distingue le modèle additif ou le défaut est additionner avec le signal, et le modèle multiplicatif ou le signal est multiplier par le défaut.



Figure1.2 : Modélisation des défauts

## 1.4 Principe de diagnostic des défauts

Le processus de diagnostic est réalisé en trois étapes [3].

### 1.4.1 La Détection

C'est une décision binaire indiquant l'occurrence du défaut ayant provoqué la panne ainsi que l'instant de cet incident, cette décision lance la signalisation d'une dérive de fonctionnement.

### 1.4.2 La localisation

L'évaluation des différentes causes de l'occurrence de défaut consiste à identifier, analyser, et à localiser ces causes.

### 1.4.3 L'identification

La détermination du type de défaut permet de décider quelle sont les actions nécessaires pour modifier cet état.

Le principe de base de la surveillance des défauts repose sur le concept de redondance qui peut être soit matérielle ou analytique.

### 1.4.4 Redondance physique ou matérielle

La redondance physique consiste à utiliser plusieurs capteurs pour mesurer la même variable puis via

un principe de sélection appliqué aux valeurs redondantes une décision est prise indiquant qu'un défaut est présent ou non.

Cette approche entraîne un coût important en instrumentation mais elle est fiable et simple à implanter [5]. Elle est mise en œuvre essentiellement sur des systèmes à hauts risques tels que les centrales nucléaires ou les avions.

Il faut noter qu'il est impossible de détecter les défauts des éléments non redondants

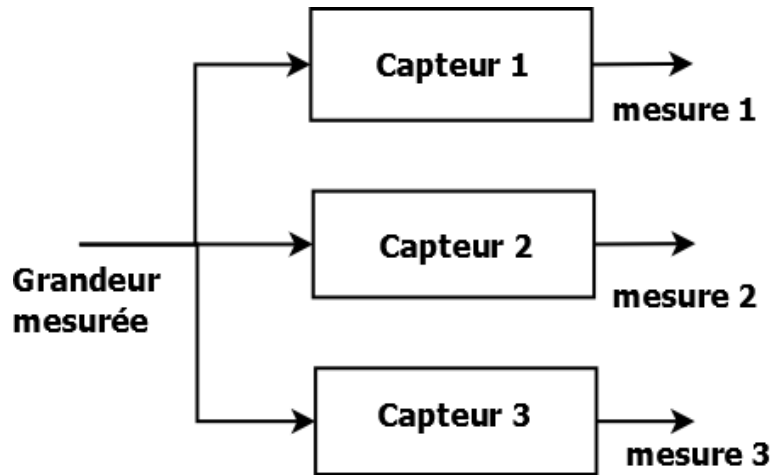


Figure 1.3 : Schéma représentant la redondance matérielle

### 1.4.5 Redondance analytique

En se servant des mesures disponibles sur le système et des relations d'entrée/sortie, de ce dernier, mises sous forme d'équations différentielles ou matrice de transfert, cette approche consiste à développer des algorithmes de détection et de localisation des défauts.

Ces algorithmes doivent tenir compte des bruits de mesure, des perturbations ainsi que des erreurs de modélisation afin d'éviter les fausses alarmes ou la non-détection de défaut. Les méthodes basées sur cette approche sont plus simples, plus flexibles, moins coûteuses et plus écologiques que l'approche de redondance physique.

Les algorithmes de redondance analytique reposent sur l'utilisation d'un modèle mathématique du système à surveiller. Pour cette raison, ces méthodes sont appelées méthodes à base de modèle.

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

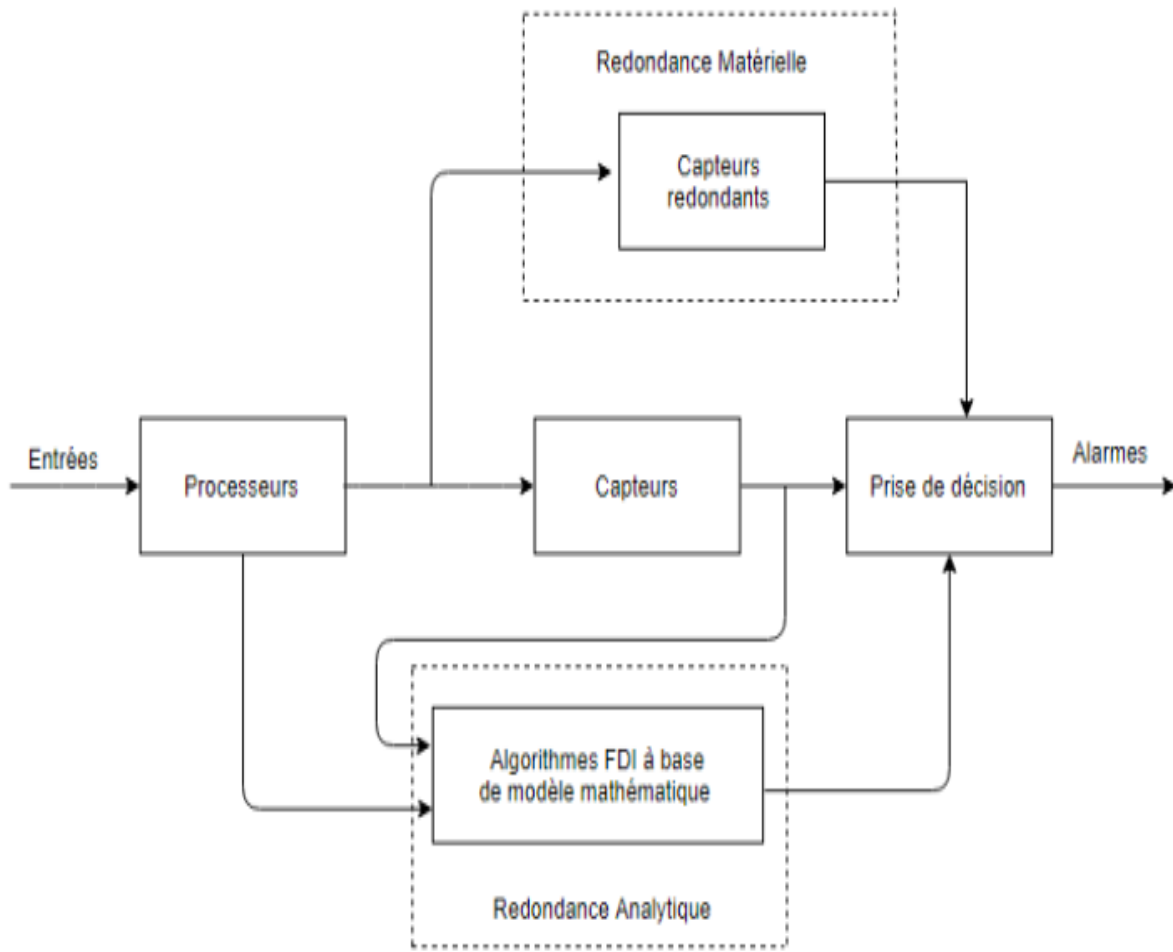


Figure 1.4 : Redondance matérielle et analytique.

## 1.5 Classification des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic peuvent être classées en deux grandes catégories (figure 1.5).

### 1.5.1 Les méthodes sans modèles

Dans certaines applications industrielles, il est difficile, voire impossible, d'obtenir le modèle du système. Cette difficulté est justifiée par la complexité des relations entrées sorties du système. Ces méthodes de diagnostic se basent sur des informations issues d'une expertise préalable, sur des données historiques, des règles heuristiques ou encore sur des exemples de résolution.

On distingue deux classes :

#### 1.5.1.1 Les méthodes qualitatives

Ces méthodes sont appelés également méthodes basés sur le traitement des données car elles se servent d'une large base de connaissance des données historiques des différents états et modes de fonctionnement du système [5].

Parmi ces méthodes, on trouve :

- L'Analyse en composantes principales (ACP),
- Réseaux de neurones,
- Analyse spectrale.

#### 1.5.1.2 Les méthodes quantitatives

Dans le cas où ni les données historiques du fonctionnement du système ni son modèle ne sont connus, les méthodes à base de connaissance s'appuient sur l'expertise de l'opérateur pour définir les causes de pannes suite à des analyses fonctionnelles et structurelles [5]

Parmi ces méthodes, on trouve :

- L'AMDE (Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets) et ses dérivées.
- Arbre de défaillances.
- les systèmes experts...

### 1.5.2 Les méthodes à base de modèle

Ces méthodes se basent sur l'élaboration de l'écart entre le système et le modèle mathématique de la redondance analytique pour détecter l'occurrence d'un défaut [6].

L'algorithme FDI consiste à utiliser le modèle mathématique du système a commandé et les mesures des entrées et des sortis pour générer un signal indicateur de défaut qui est le résidu puis en analysant ce dernier une décision est prise indiquant l'existence ou l'absence d'un défaut [6].

Elles se subdivisent également en méthodes qualitatives et quantitatives.

- Les méthodes quantitatives à base de modèle nécessitent l'existence d'un modèle mathématique du système servant de référence.

L'estimation d'états, l'espace de parité, et l'estimation paramétrique sont les trois sous catégories de méthodes quantitatives à base de modèle.

- Les méthodes qualitatives à base de modèle s'appuient sur l'utilisation d'un modèle qualitatif déduit d'une abstraction graphique (graphes causaux) ou d'une base de connaissance du système physique (logique floue)

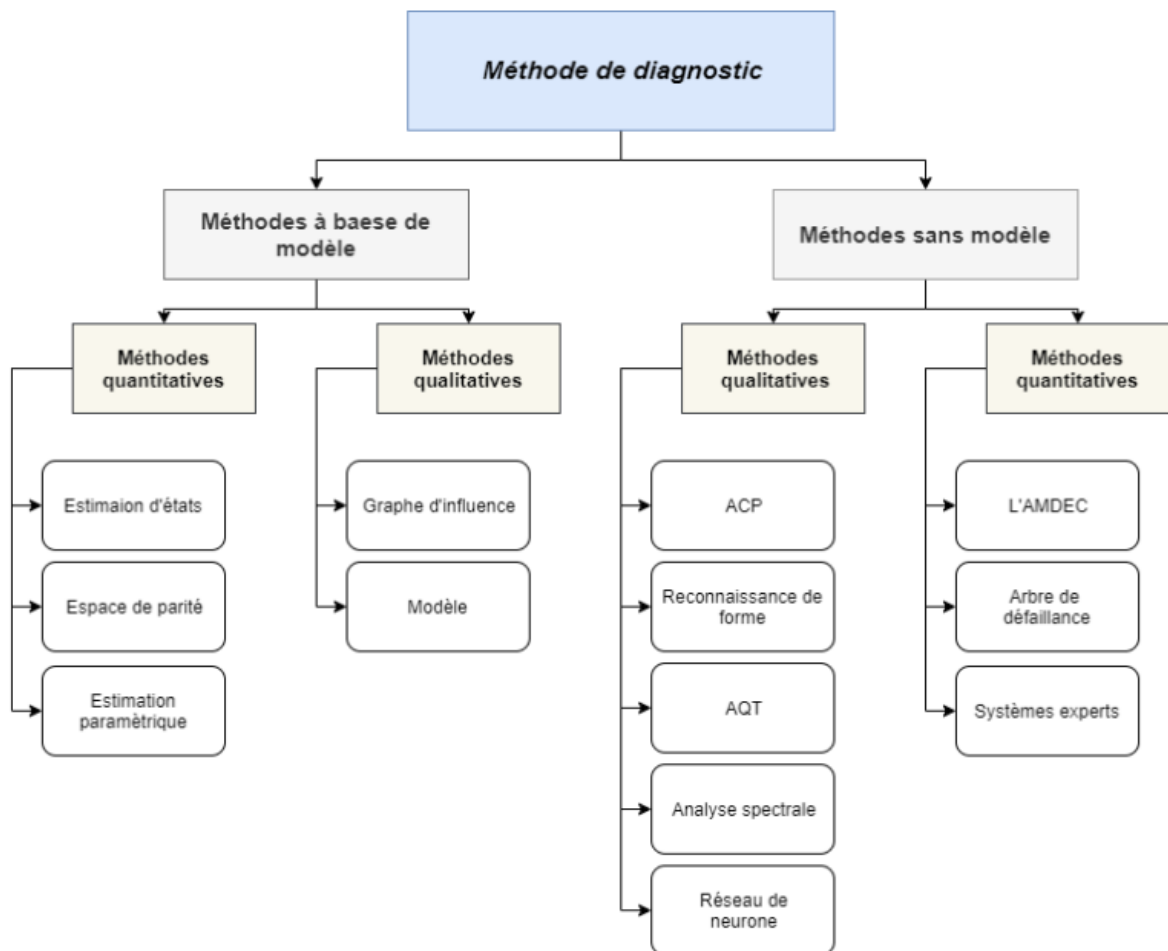


Figure 1.5 : Classification des méthodes de diagnostic [7].

## 1.6 Méthode de diagnostic à base d'observateurs

Cette méthode a connu son origine avec les travaux de R.V.Beard et Robert Clark au début des années soixante-dix du vingtième siècle .Puis pour des décades ce sujet a fait l'objet de plusieurs études.

Le diagnostic à base d'observateurs d'état consiste à comparer les mesures des sorties des systèmes réelles avec les valeurs prédites des sorties par un observateur d'état, et par la suite établir les résidus.

Un observateur complet ou un observateur partiel fourni les sorties prédites qui sont comparées par la suite avec les sorties mesurables du système pour établir l'erreur de l'estimation, cette erreur, simplement forme le résidu signalant le défaut.

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

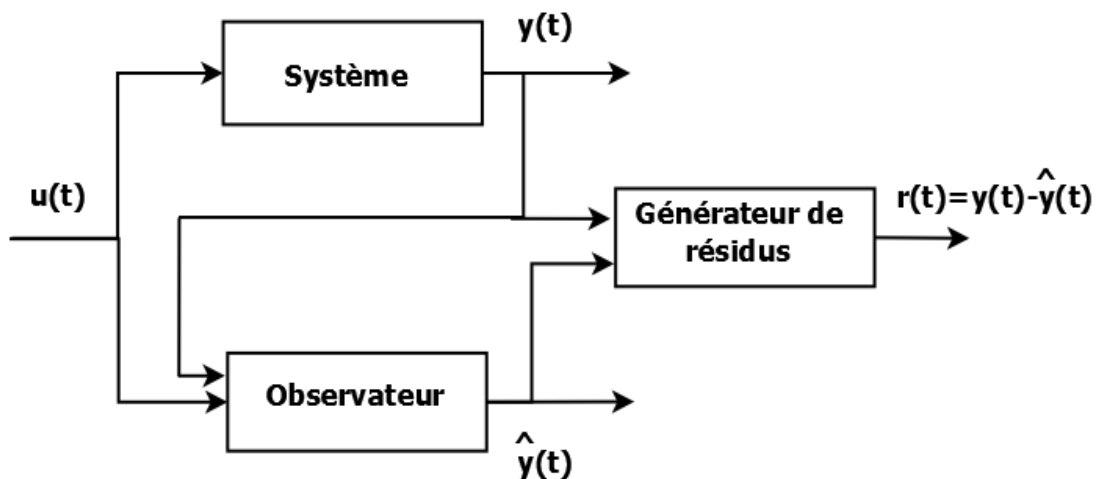


Figure 1.6 : génération des résidus

## 1.7 Principe de génération de résidus à base d'observateurs

L'utilisation d'un seul observateur suffit pour détecter l'occurrence d'un défaut même si les défauts sont nombreux, car le résidu est sensible à tous ces défauts, mais la localisation de ces derniers s'avère impossible avec le seul observateur.

Pour remonter à l'origine du défaut ça veut dire assurer la localisation des défauts , il faut faire un découplage ou une structuration de manière à avoir des résidus sensibles à un nombre de défaut et robustes à d'autres. Ceci est possible en utilisant un banc d'observateurs [8].

Le banc d'observateurs contient des observateurs qui utilisent certains nombres de sorties mesurées et d'entrées de commande suivant qu'on veut détecter des défauts capteurs ou des défauts actionneurs. Chaque observateur est formé de manière à générer un résidu sensible à un groupes de défauts et insensible au restes.

Le nombre d'observateurs dans un banc d'observateur varie suivant le nombre de défauts à détecter et à localiser, on distingue trois cas :

- **Les défauts sont détectables mais ne sont pas localisables**

Dans ce cas le banc d'observateur contient un observateur unique.

- **Cas de défauts uniques**

Il se peut que plusieurs défauts capteurs, actionneurs ou composants du système apparaissent simultanément, dans ce cas le banc d'observateurs doit contenir d'autant d'observateurs qu'il y a de défauts à isoler. Chacun de ces observateurs sera synthétisé de manière à être sensible à tous les défauts sauf un. Ainsi, le  $i^{\text{ème}}$  observateur est formé en considérant le  $i^{\text{ème}}$  défaut  $f_i$  comme entrée inconnue ou bien une perturbation [1].

- **Cas de défauts multiples**

La détection et la localisation de tous les défauts, lorsque ceux-ci peuvent intervenir simultanément, nécessitent de rendre chaque observateur découplé de tous les défauts sauf un. Une table de signature ou table d'incidence contient les informations de sensibilité et de robustesse des résidus vis-à-vis les défauts sous forme binaire tel que :

- Une case contient 1 si et seulement si le résidu est sensible au défaut  $f$  .
- La valeur de la case vaut 0 si et seulement si r est robuste au défaut f.

Les dimensions de la table de signatures sont déterminées à partir du nombre de capteurs ou d'actionneurs et du nombre de résidus engendrés par la méthode choisie.

$$T1 = \begin{matrix} & f1 & f2 & f3 \\ r1 & 0 & 1 & 1 \\ r2 & 1 & 0 & 1 \\ r3 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \quad T2 = \begin{matrix} & f1 & f2 & f3 \\ r1 & 1 & 0 & 0 \\ r2 & 0 & 1 & 0 \\ r3 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

T1 est un exemple de table des signatures dans le cas de défauts uniques

T2 est un exemple de table des signatures dans le cas de défauts multiples

Une table de signatures est qualifiée [9] :

- **Non localisante :**

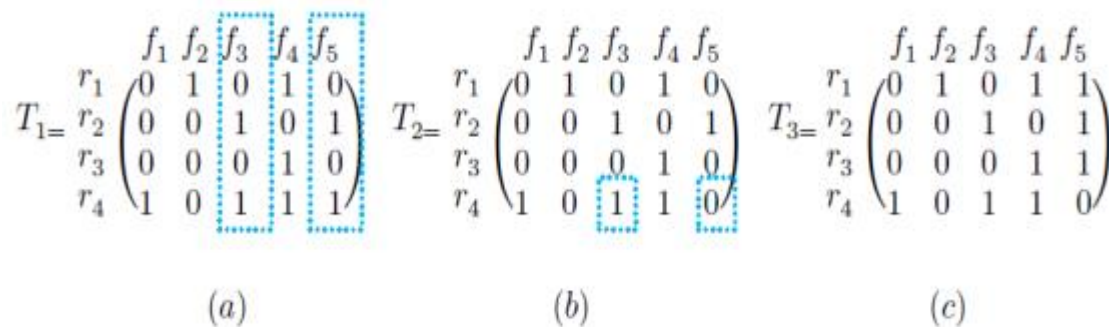
Si aux moins deux signatures de défauts sont identiques, la figure 7(a) illustre ce cas.

- **Faiblement localisante :**

Si toutes les signatures de défauts sont différentes, mais si on modifie une signature, elle peut être déduite d'une autre signature tout en changeant un 1 par 0, la figure 7 (b) illustre ce cas..

- **Fortement localisante :**

Si toutes les signatures de défauts sont différentes et ne peuvent être obtenue d'une autre en modifiant un 1 par 0, la figure 7 (c) illustre ce cas.



**Figure 1.7 :** différents cas des Tables de signatures

Différents schémas sont proposés dans la littérature pour effectuer le découplage des résidus on cite

- Schémas d'observateur généralisé GOS (Generalized Observer Scheme).
- Schémas d'observateur dédié DOS (Dedicated Observer Scheme).

### 1.7.1 Structure d'observateurs généralisés (GOS)

Dans le cas de défauts unique, les observateurs sont synthétisés de manière à avoir chacun d'entre eux étant insensibles 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 rendre la FDI plus robuste et offre plus de degrés de liberté pour la conception de l'observateur.

Dans cette structure le  $i^{\text{ème}}$  observateur est piloté par toutes les entrées/sorties (actionneur/capteur) sauf la  $i^{\text{ème}}$  entrée/sortie [8].

### 1.7.2. Structure d'observateurs dédiés (DOS)

Dans le cas de défauts multiple il est fait construire autant d'observateurs que de défauts à détecter, chacun d'entre eux génère un résidu sensible à un seul défaut et insensible aux autres. Ainsi l'observateur recevant une mesure défaillante fournit une mauvaise estimation des variables estimées, tandis que les estimations des autres observateurs convergent vers les mesures des sorties correspondantes. Cette structure reste valable même dans le cas de plusieurs défauts simultanés.

Le  $i^{\text{ème}}$  observateur est piloté uniquement par la  $i^{\text{ème}}$  entrée dans le cas de défaut actionneur, et par la  $i^{\text{ème}}$  sortie dans le cas de défaut capteur [8].

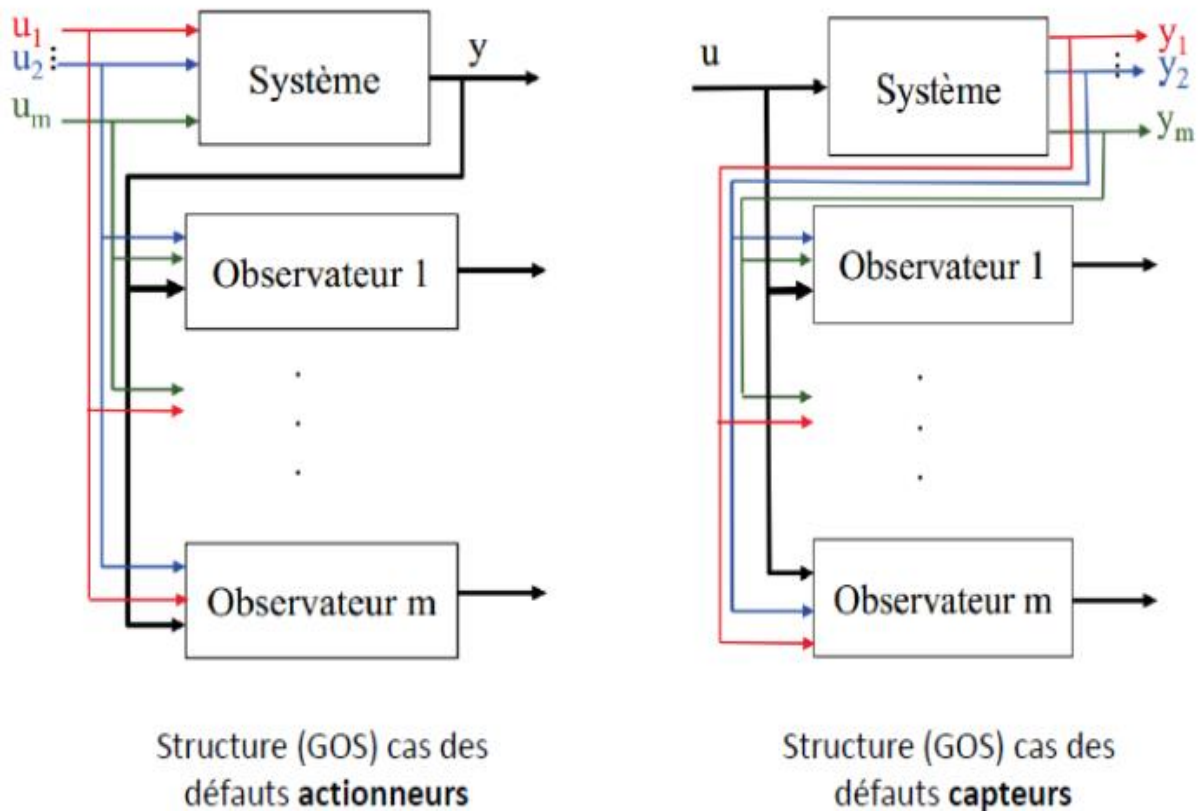


Figure 1.8 : La structure GOS

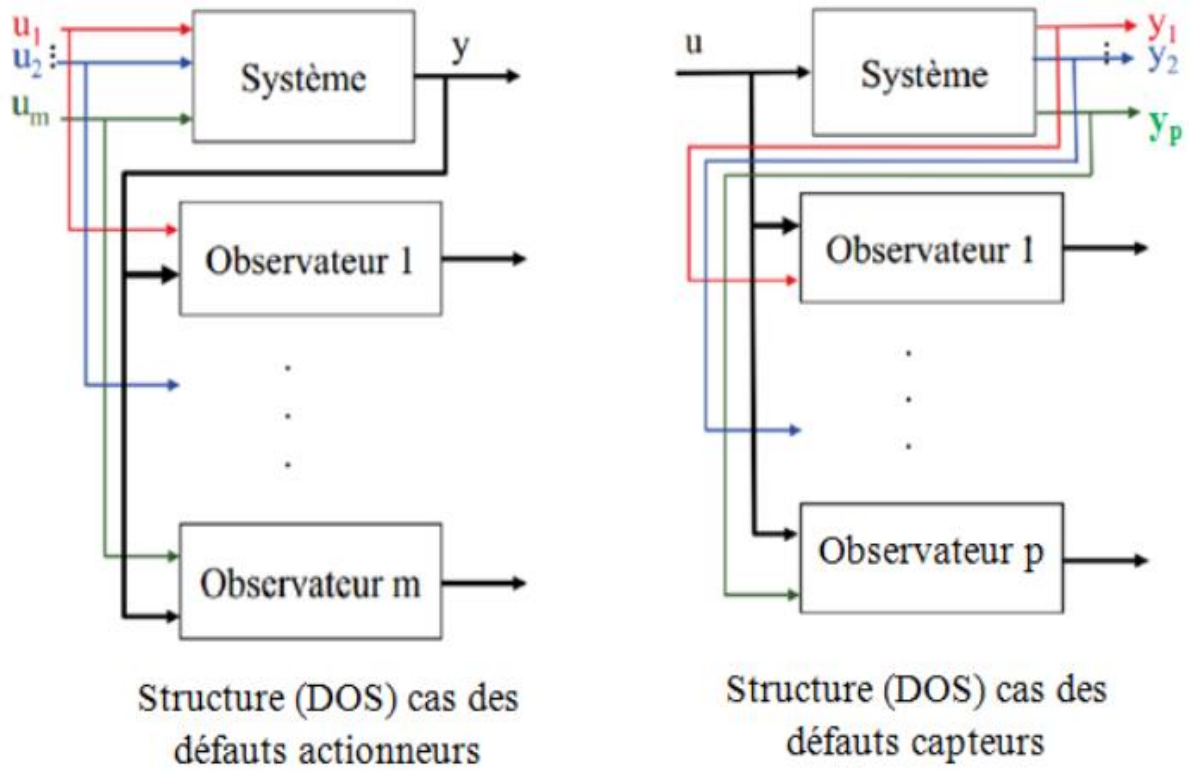


Figure 1.9 : La structure DOS.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre on a commencé avec quelques définitions et notions du domaine du diagnostic, ensuite on a parlé des différents types de défauts suivant leurs emplacements, leurs caractéristiques temporelles, ou bien la façon dont ils affectent le signal mesuré. On a présenté aussi le principe de redondance et la classification des méthodes de diagnostic.

La méthode à base d'observateurs, adoptée dans ce mémoire, qui est une méthode de redondance analytique à base de modèle a été présentée.

Cette méthode se base sur la génération des résidus qui constitue la première étape de l'algorithme de détection et de localisation (FDI). L'évaluation des résidus en utilisant la table des signatures mène à une prise de décision concernant la présence ou l'absence d'un défaut.

La localisation des défauts, une deuxième étape, nécessite le découplage des résidus par l'utilisation d'un banc d'observateurs.

Dans la dernière partie on a présenté la structure GOS et DOS, schémas possibles pour la structuration des résidus qui mène à une localisation des défauts.

## **Chapitre II : Estimation d'état**

## 2.1 Introduction

En général il n'est pas possible de pouvoir mesurer tous les états d'un système ce qui rend le nombre de sorties mesurables inférieur aux nombres des états du système, alors l'estimation des tous les états ou des états non mesurable devienne une nécessité primordiale afin de réaliser la commande par retour d'état ou bien de faire le diagnostic des défauts d'un système à commander.

L'observateur est l'instrument ou (programme numérique) qui estime ou observe ces états [10].

On distingue l'observateur à ordre plein qui estime tous les composants du vecteur d'état, quels soient mesurables ou non. L'observateur est dit à ordre réduit s'il reconstitue seulement les états non-mesurables

## 2.2 L'observateur d'état

Un observateur Est un sous-système (système auxiliaire) qui reconstitue le vecteur d'état d'un système dynamique, en se servant des mesures des entrées de commande et des sorties de ce système.

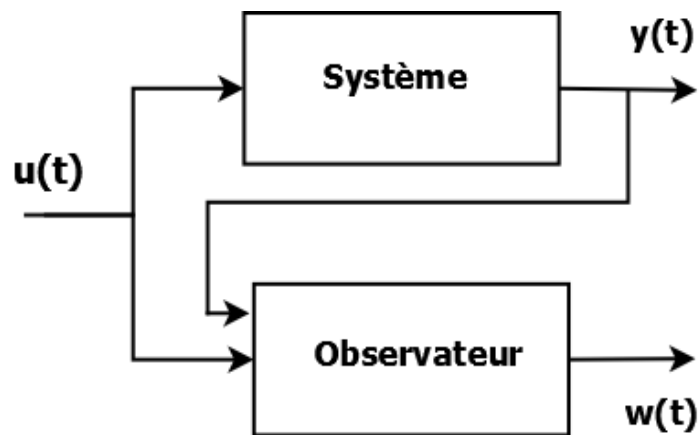


Figure 2.1 : Structure d'un observateur.

La synthèse d'un observateur n'est possible que si et seulement si le système est observable.

## 2.3 Structure d'un observateur

La représentation d'état d'un système linéaire continu à coefficients constants est décrite par l'équation suivante :

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

$x(t) \in R^n$  est le vecteur d'état.

$u(t) \in R^m$  est le vecteur d'entrées de commande.

$y(t) \in R^l$  est le vecteur des sorties.

$A \in R^n \times R^n$  est la matrice d'état

$B \in R^n \times R^m$  est la matrice d'entrée .

$C \in R^l \times R^n$  est la matrice de sortie.

Les matrices  $A$ ,  $B$ ,  $C$  et  $E$  sont des matrices constantes de dimensions appropriées.

Le modèle mathématique de l'observateur est en principe, le même que celui du système, mais il contient un terme additif qui inclut l'erreur d'estimation ce terme sert à compenser le choix inadéquat des matrices  $A$  et  $B$  et/ou la valeur initiale inconnue de l'erreur [10].

Alors le modèle mathématique de l'observateur est le suivant :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + K_e(y - \hat{y}) \\ y = C\hat{x} \end{cases} \dots \dots (2.2)$$

$\hat{x}$  est l'état estimé ou reconstitué.

$\hat{y}$  est la sortie prédite par l'observateur.

La matrice  $K_e$ , appelée matrice du gain de l'observateur, est une matrice de pondération de l'erreur de l'estimation  $y - \hat{y}$ , ce terme corrige, de façon continue, l'estimation et approuve les performances de l'observateur [10].

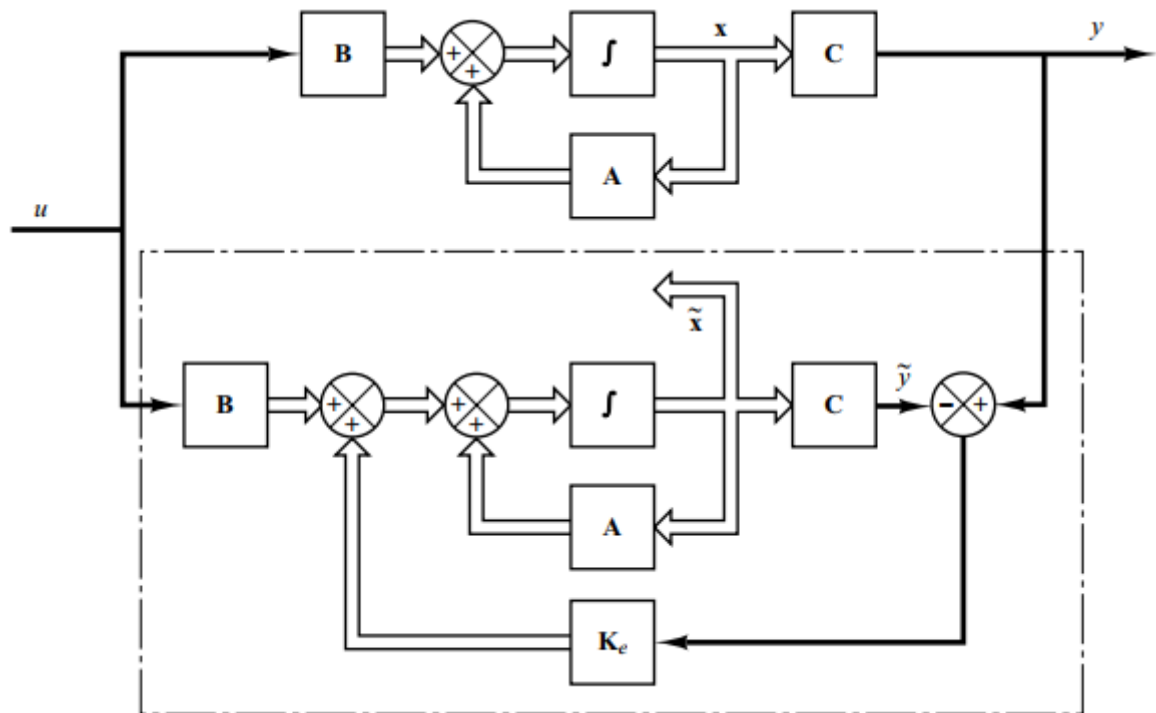


Figure 2.2 : Schéma fonctionnel d'un observateur à ordre plein.

## 2.4 Notion d'observabilité

Un système est dit observable si à partir de l'observation de ses entrées et sorties pendant un intervalle de temps fini  $[t_i, t_f]$  on peut déterminer son état initial  $x(t_i)$

La condition nécessaire et suffisante d'observabilité ci-après est appelée le critère de Kalman pour l'observabilité.

Le système régi par les équations (2.1) est dit observable si et seulement si :

$$\text{rang} \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} = n \quad \dots \quad (2.3)$$

Dans ce cas la paire (A, C) est dite observable.

## 2.5 Notion de détectabilité

Lorsque la paire  $(A, C)$  n'est pas complètement observable, il faut étudier la détectabilité de cette même paire.

### Théorème1

Un observateur stable pourra être dimensionné si et seulement si la paire  $(A, C)$  est détectable [11].

### Définition1

Le système décrit par les équations (2.1) est détectable si et seulement si les états non observables sont stables [11].

## 2.6 Classification des observateurs

### 2.6.1 Observateurs pour systèmes linéaires

Les premiers travaux concernant la construction des observateurs d'état, ont été publiés par Kalman-Bucy pour des systèmes linéaires stochastiques invariants dans le temps (filtre de Kalman), et par Luenberger pour des systèmes linéaires invariants dans le temps (LTI) déterministe [5]. Ces travaux ont établi les conditions nécessaires et suffisantes afin de rendre la synthèse de ces observateurs possible.

#### 2.6.1.1 Observateur de Luenberger

Si le système est régi par les équations (2.1), l'observateur de Luenberger est décrit par le modèle suivant

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = Ax + Bu + L(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \dots (2.4)$$

Pour obtenir l'erreur de l'estimation d'état il faut effectuer la différence entre  $x(t)$  et  $\hat{x}(t)$  :

$$e_x(t) = x - \hat{x} \dots (2.5)$$

$$\dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) = Ax - A\hat{x} + L(Cx - C\hat{x}) \dots (2.6)$$

$$\dot{e}_x(t) = (A - LC)e_x(t) \dots (2.7)$$

La dynamique de l'erreur est déterminée par les valeurs propres de la matrice  $(A - LC)$ . Si la matrice  $(A - LC)$  est stable alors le vecteur d'erreur va converger vers zéro pour toute valeur initiale de l'erreur. Dès lors  $\hat{x}$  va converger vers  $x$  quelque soit la valeur initiale  $x(0)$  et  $\hat{x}(0)$

Si les valeurs propres de la matrice  $(A - LC)$  sont choisies de manière que la dynamique du vecteur de l'erreur soit asymptotiquement stable et rapide alors tout vecteur d'erreur va tendre à zéro avec une vitesse adéquate [10].

**Théorème2 Luenberger (1971)**

Les valeurs propres de la matrice  $(A - LC)$  peuvent être fixées arbitrairement si et seulement si  $(A - LC)$  est observable.

**Théorème3 Luenberger (1971)**

Soit un système régi par les équations (2.1) On dit que ce système est asymptotiquement stable si la matrice  $A$  est de Hurwitz. Une matrice  $A$  est dite de Hurwitz si toutes ses valeurs propres sont à parties réelles strictement négatives.

**Théorème4 O'Reilly (1983)**

Pour un système régi par les équations (2.1) il est possible de dimensionner un observateur asymptotiquement stable si et seulement si la paire  $(A, C)$  est détectable. Les valeurs propres de la matrice  $(A - LC)$  sont alors toutes ou en partie fixées.

La théorie d'observation de Luenberger utilise un placement de pôles judicieux pour choisir la matrice  $L$  qui assure la convergence de l'observateur, il faut noter que ce choix n'est pas unique, mais les pôles de l'observateur doivent être choisis de manière que la dynamique de l'observateur soit trois fois à cinq fois plus rapide que celle du système [10].

**2.6.1.2. Observateur à entrées inconnues**

Les incertitudes dues au bruit , non-linéarités du système ainsi que la complexité des relations entrées/sorties et les erreurs de modélisation du système sont considérées comme des perturbations ou bien des entrée inconnues et elles sont modélisées par un terme additif dans la représentation d'état d'un système linéaire invariant dans le temps [12] afin de concevoir des circuits de commande qui puissent réduire les effets de ces perturbations ou bien pour le diagnostic des défauts.

Soit un système dynamique linéaire soumis à l'influence d'une entrée inconnue, il est décrit par les équations suivantes :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ed(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \dots (2.8)$$

$x(t) \in R^n$  est le vecteur d'état.

$u(t) \in R^m$  est le vecteur d'entrée connue.

$y(t) \in R^p$  est le vecteur de sortie.

$d \in R^q$  est le vecteur d'entrée inconnue ou de perturbation.

Les matrices  $A$ ,  $B$ ,  $C$  et  $E$  sont des matrices constantes de dimensions appropriées.

**Definition2**

Un observateur est défini comme un observateur à entrées inconnues pour un système décrit par les équations (2.9) si le vecteur d'erreur de l'estimation d'état  $e_x(t)$  défini comme :

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

Tend asymptotiquement vers zéro en présence de la perturbation qui agit sur le système.

**Théorème5Darouach (1994)**

Un observateur à entrées inconnues existe pour le système décrit par les équations (2.9) si et seulement si les deux conditions suivantes sont satisfaites [13].

$$\begin{cases} rang(CE) = rang(E) = q \\ rang \begin{pmatrix} sI - A & E \\ C & 0 \end{pmatrix} = n + q \dots \dots (2.9) \end{cases}$$

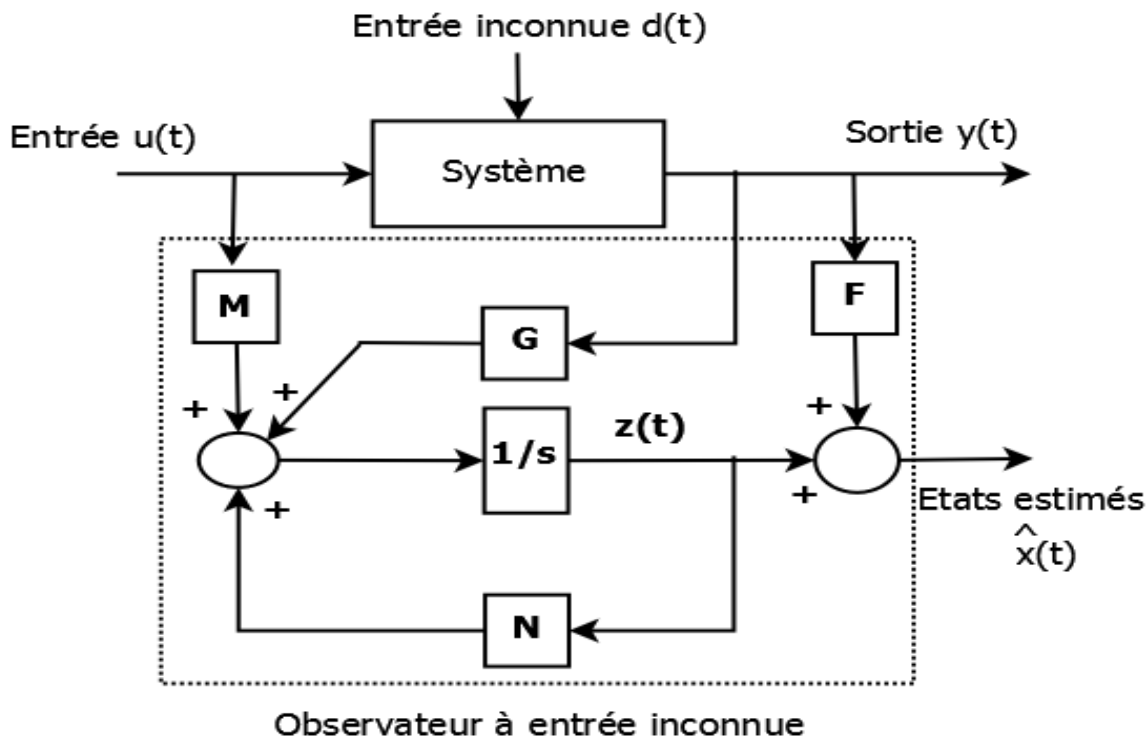
En considérant la matrice  $E$  de rang plein en colonnes et la paire  $(A, C)$  est observable, le modèle de l'UIO est le suivant :

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = Nz(t) + Mu(t) + Gy(t) \\ \hat{x}(t) = z(t) + Fy(t) \dots \dots (2.10) \\ z(0) = z_0 \end{cases}$$

$z(t)$  est le vecteur d'état de l'observateur.

$\hat{x}(t)$  est le vecteur d'état estimé du système.

Les gains  $N$ ,  $M$ ,  $G$  et  $F$  seront calculés de façon que l'erreur d'estimation de l'état  $e = x(t) - \hat{x}(t)$  converge vers zéro quel que soit l'état initial du système, et qu'elle soit insensible ou indépendante ou découplée de la perturbation  $d(t)$ .



**Figure 2.3 :** Schéma fonctionnel d'un observateur à ordre plein à entrées inconnues UIO

L'erreur d'observation s'écrit alors :

$$e_x(t) = x(t) - \hat{x}(t) \dots \dots (2.11)$$

$$e_x(t) = x(t) - z(t) - Fy(t) \dots \dots (2.12)$$

$$e_x(t) = (I - FC)x(t) - z(t) \dots \dots (2.13)$$

Soit la matrice  $P$  telle que :

$$P = (I - FC) \dots \dots (2.14)$$

Alors on aura :  $e_x(t) = Px(t) - z(t) \dots \dots (2.15)$

Au fil du temps l'erreur varie suivant cette équation :

$$\dot{e}_x(t) = P\dot{x}(t) - \dot{z}(t) \dots \dots (2.16)$$

$$\dot{e}_x(t) = P(Ax(t) + Bu(t) + Ed(t)) - (Nz(t) + Mu(t) + Gy(t))$$

$$\dot{e}_x(t) = (PA - GC - NP)x(t) + (PB - M)u(t) + PEd(t) - Ne_x(t) \dots (2.17)$$

Si les conditions suivantes sont satisfaites :

$$\begin{cases} PA - GC - NP = 0 \\ PB - M = 0 \\ PE = 0 \\ N \text{ est Hurwitz} \end{cases} \dots \dots (2.18)$$

Alors l'erreur va tendre vers zéro quel que soit  $x(0)$  et  $\hat{x}(0)$  et  $u(t)$  et  $d(t)$ .

Et  $\hat{x}(t)$  défini dans (2.11) est une estimation de  $x(t)$  défini dans (2.9).

La procédure pour la synthèse de l'observateur est la suivante :

- Calcul de la matrice  $F$  tel que :

$$PE = 0$$

$$(I - FC)E = 0$$

$$F = E(CE)^+ \dots \dots (2.19)$$

$(CE)^+$  est la matrice pseudo inverse de la matrice  $CE$

$$(CE)^+ = [(CE)^T(CE)]^{-1}(CE)^T \dots \dots (2.20)$$

- Calcul de  $P$  :  $P = (I - FC) \dots \dots (2.21)$

- Calcul de :  $M = PB \dots \dots (2.22)$

- De la relation suivant  $PA - GC - NP = 0$

On aura  $PA - N(I - FC) - GC = 0$

$$N = PA + NFC - GC$$

$$N = PA + (NF - G)C \dots \dots (2.23)$$

On pose  $\tilde{A} = PA \dots \dots (2.24)$

Et  $\tilde{G} = G - NF \dots \dots (2.25)$

Alors :  $N = \tilde{A} - \tilde{G}C \dots \dots (2.26)$

Si la paire  $(\tilde{A}, C)$  est observable, avec un placement de pôles on calcul  $\tilde{G}$  qui assure la stabilité de  $N$  qui sera calculée par la suite.

- Finalement on calcul la matrice  $G$  tel que :

$$G = \tilde{G} + NF \dots \dots (2.27)$$

Dans le cas où la paire  $(\tilde{A}, C)$  n'est observable, et suivant le Théorème 1 si la paire  $(\tilde{A}, C)$  est détectable la construction de l'observateur est possible, pour cela il faut construire une matrice  $\tilde{P}$  de la décomposition de la forme canonique d'observabilité du système [12] :

$$\tilde{P}\tilde{A}\tilde{P}^{-1} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & 0 \\ \tilde{A}_{12} & \tilde{A}_{22} \end{bmatrix} \dots \dots (2.28)$$

$$\tilde{A}_{11} \in R^{n_1 \times n_1}$$

$$C\tilde{P}^{-1} = [C^* 0] \dots \dots (2.29)$$

$$C^* \in R^{m \times n_1}$$

Où  $n_1$  est le rang de la paire  $(\tilde{A}, C)$  .

La nouvelle paire  $(\tilde{A}_{11}, C^*)$  est donc observable à condition que toutes les valeurs propres de la partie non observable de la décomposition  $\tilde{A}_{22}$  soient stables(Definition1).

Suivant le Théorème 4 on peut choisir  $n_1$  valeurs propres désirés et les imposer à la matrice  $\tilde{A}_{11} - \tilde{G}_p^1 C^*$  , par placement de poles on obtient  $\tilde{G}_p^1$  .

On calcule :

$$\tilde{G}_1 = \tilde{P}^{-1}G_p = \tilde{P}^{-1}[(\tilde{G}_p^1)^T (\tilde{G}_p^2)^T] \dots \dots (2.30)$$

Où  $\tilde{G}_p^2$  peut être n'importe quelle  $(n - n_1) \times m$ matrice, car elle n'a aucun influence sur les valeurs propres de  $N$

Finalement la matrice  $N$  et  $G$  seront calculées :

$$N = \tilde{A} - \tilde{G}_1 C \dots \dots (2.31)$$

$$G = \tilde{G}_1 + NF \dots \dots (2.32)$$

### 2.6.1.2 Filtre de Kalman-Bucy

Le filtre de Kalman-Bucy utilise l'état précédent, les entrées de commande et les mesures bruitées d'un système d'équations évoluant dans le temps pour estimer son état présent.

Le modèle de l'ensemble des sources de perturbations agissantes sur le système d'équations sous forme stochastique doit être connu. L'état estimé est optimal au sens du minimum de variance de l'erreur de l'estimation [8].

La représentation d'état d'un système stochastique linéaire à temps continu est donnée sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Mw(t) \\ y(t) = Cx(t) + v(t) \end{cases} \dots \dots (2.33)$$

Ou  $w \in R^q$  et  $v \in R^p$  sont respectivement le bruit de fond ou interne et le bruit de mesure du système.  $w$  et  $v$  sont des bruits blancs gaussiens centrés non-corrélés de densité spectrale de puissance (DSP)  $W$  et  $V$  respectivement.

$W$  : est la covariance du bruit interne, Généralement non mesurable.

$V$  : est la covariance du bruit sur les mesures, Généralement mesurable.

$P$  : est la covariance de l'erreur sur l'état estimé, il est l'indicateur de la qualité de l'estimation, il est défini par :

$$P(t) = E\{[(x(t) - \hat{x}(t))(x(t) - \hat{x}(t))^T]\} \dots \dots (2.34)$$

L'observateur est régi par les équations suivantes :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(t)(y(t) - \hat{y}(t)) \\ y(t) = C\hat{x}(t) \end{cases} \dots \dots (2.35)$$

$L(t)$  Est le gain d'observateur est donné comme :

$$\begin{cases} L(t) = P(t)CW^{-1} \\ \dot{P}(t) = AP(t) + P(t)A^T + MWM^T - L(t)CP(t) \end{cases} \dots \dots (2.36)$$

En régime permanent  $\dot{P}(t)$  est nulle alors :

$$\begin{cases} AP + PA^T + MWM^T - LCP = 0 \\ L = PCW^{-1} \end{cases} \dots \dots (2.37)$$

## 2.6.2 Observateurs pour les systèmes non linéaires

Pour les systèmes non linéaires, l'estimation d'état n'est pas facile, et il y a différentes méthodes pour la synthèse d'observateurs pour cette classe de systèmes qui se basent sur la linéarisation autour d'un point ou autour d'une trajectoire de fonctionnement, ou bien sur la transformation non linéaire pour aboutir à une forme quasi linéaire, parmi les observateurs non linéaire, on cite à titre d'exemple l'observateur de Luenberger étendu, le filtre de Kalman étendu et l'observateur à grand gain [1].

### 2.6.2.1 Représentation d'état d'un système dynamique non linéaire

La représentation d'état d'un système dynamique non linéaire est définie par les équations suivantes :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \\ y(t) = h(x(t), u(t)) \end{cases} \dots \dots (2.38)$$

Où  $x(t)$  est le vecteur d'état.

$u(t)$  Est le vecteur de commande ou d'entrée

$y(t)$  est le vecteur de mesure ou de sortie.

$f$  et  $h$  sont les fonctions non linéaires correspondant respectivement à l'équation dynamique de l'état et à l'équation de mesure [1].

### 2.6.2.2 Observateur de Luenberger étendu

L'observateur de Luenberger étendu se base sur la linéarisation du modèle autour non pas d'un point de fonctionnement mais plutôt autour d'une trajectoire d'état estimée, une fois la linéarisation est faite, un observateur qui respecte la forme générale d'un observateur de Luenberger dans le cas linéaire est synthétisé en calculant un gain par un placement de pôles pour le système linéarisé autour de cette trajectoire estimée [8].

La structure de l'observateur est la suivante :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = f(\hat{x}(t), u(t)) + L(\hat{x}) \cdot (y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y} = h(\hat{x}(t), u(t)) \\ \hat{x}(0) = \hat{x}_0 \end{cases} \dots \dots (2.39)$$

$L(\hat{x})$  Est le gain de l'observateur calculé de telle sorte que toutes les valeurs propres de la matrice  $A(\hat{x}) - L(\hat{x})C(\hat{x})$  soient à parties réelles strictement négatives.

$A(\hat{x})$  et  $C(\hat{x})$  sont issues de la linéarisation du modèle non linéaire autour de la trajectoire estimée  $\hat{x}$ .

$$\begin{cases} A(\hat{x}) = \frac{\partial f(x(t), u(t))}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}} \\ C(\hat{x}) = \frac{\partial h(x(t), u(t))}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}} \end{cases} \dots \dots (2.40)$$

### 2.6.2.3 Filtre de Kalman étendu

Le filtre de Kalman étendu est une généralisation du filtre de Kalman-Bucy linéaire, il adopte la linéarisation de la dynamique non linéaire.

Le calcul du gain de l'observateur se fait par l'intermédiaire du système linéarisé autour de la trajectoire estimée [1].

### 2.6.2.4 Observateur à grand gain

Les observateurs dits à grand gain, sont utilisés pour estimer les états des systèmes non linéaires qui peuvent se mettre sous la forme canonique uniformément observable. Ces observateurs garantissent une bonne estimation des états tout en employant un gain très élevé.

### 2.6.2.5 Observateur à mode glissant

Le principe de cet observateur est de faire évoluer la trajectoire de l'erreur d'estimation vers la surface de glissement sur laquelle l'erreur tend vers zéro, puis de faire glisser cette trajectoire sur la surface de glissement avec une dynamique imposée [8].

## Conclusion

Dans ce chapitre on a abordé le sujet de l'estimation d'état , on a commencé par le principe général de l'observation ,on a cité la notion de l'observabilité et la détectabilité puis on a présenté différents type d'observateurs pour des systèmes linéaires ou non linéaires , déterministes ou stochastiques .

**Chapitre III : Diagnostic par observateur à entrées inconnues**  
**Application à un bioréacteur.**

## 3.1 Introduction

L'algorithme de la détection et de localisation des défauts FDI à base d'observateurs repose sur l'idée de l'utilisation des résidus pour détecter et ensuite localiser les défauts. Ce processus est réalisé en deux étapes qui sont la génération des résidus, et l'évaluation de ces derniers [14].

Le principe d'un observateur à entrées inconnues consiste à générer une erreur d'estimation qui tend asymptotiquement vers zéro même en présence de l'entrée inconnue (bruits d'état, incertitudes de modélisation, perturbation, etc.) Ainsi, le résidu généré est découplé des perturbations car il est fonction de l'erreur d'estimation [6].

## 3.2 La synthèse d'un observateur à entrées inconnues pour le diagnostic

La synthèse de ce type d'observateurs est réalisable pour les modèles de systèmes décrits par :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ed(t) + F_x f(t) \\ y(t) = Cx(t) + F_y f(t) \end{cases} \quad \dots (3.1)$$

$F_x$ ,  $F_y$  sont respectivement les matrices de distribution de défauts actionneurs et défauts capteurs.

Dans ce travail nous considérons que le système est soumis à des défauts capteurs seulement.

Le découplage des résidus est assuré en adaptant la structure GOS d'observateur généralisés.

### 3.2.1 Génération des résidus

Le modèle de système (3.1) devient :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ed(t) \\ y(t) = Cx(t) + F_y f(t) \end{cases} \quad \dots (3.2)$$

Dans la structure GOS, chaque résidu est sensible à tous les défauts sauf à un, celui de l'observateur qui a généré ce résidu [3].

Soit le vecteur  $y^j$  tel que :

$$\begin{cases} y^j = C^j x + F_y f^j \\ y_j = c_j x + f_j \quad \text{pour } j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad \dots (3.3)$$

$y^j \in R^{p-1}$  : Vecteur obtenu en supprimant la  $j^{\text{ième}}$  composante  $y_j$  dans vecteur des mesures  $y$ .

## Chapitre III Diagnostic par observateur à entrées inconnues application

$C^j \in R^{(p-1) \times n}$  : Matrice obtenue en en supprimant la  $j^{\text{ième}}$  ligne  $c_j$  dans la matrice  $C$ .

Les générateurs des résidus d'un banc d'observateurs de  $p$  UIO, observateurs à entrées inconnues se construisent ainsi :  $\dot{z}^j(t) = N^j z^j(t) + M^j u(t) + G^j y^j(t) \dots$  (3.4)

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

$$r^j = y^j(t) - C^j \hat{x}^j(t)$$

$$r^j = y^j(t) - C^j (\dot{z}^j(t) + F^j y^j(t))$$

$$r^j = (I - C^j F^j) y^j - C^j z^j \text{ pour } j = 1, 2, \dots, p \quad \dots (3.5)$$

Les conditions de découplage et de stabilité du banc d'observateur qui doivent être satisfaites sont les suivantes :

$$\begin{cases} F^j C^j E = E \\ P^j = (I - F^j C^j) \\ N^j = P^j A - \tilde{G}^j C^j \text{ doit être Hurwitz} \\ G = \tilde{G}^j + N^j F^j \end{cases} \quad \dots (3.6)$$

$$\text{pour } j = 1, 2, \dots, p$$

La procédure de synthèse des observateurs UIO [15] est résumée sous forme d'un organigramme dans la figure 3.1

### 3.2.2 Evaluation des résidus

Chaque générateur de résidu utilise toutes les entrées et toutes les sorties sauf une seul sortie.

Quant un défaut provient du  $j^{\text{ième}}$  capteur, le résidu du  $j^{\text{ième}}$  observateur doit satisfaire la logique d'isolation suivante :

$$\begin{cases} \|r^j\| < T_{SFI}^j \\ \|r^k\| \geq T_{SFI}^k \text{ pour } k = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, p \end{cases} \quad \dots (3-7)$$

Tel que  $T_{SFI}^j$  sont des seuils constantes ou adaptatives [14], et  $\|r^j\|$  est la norme du vecteur des résidus[15]. Les résidus sont examinés suivant la probabilité d'incidence des défauts, puis un processus logique de prise de décision est lancé pour décider si un défaut est survenu ou non ,et ainsi on évite la fausse alarme ou la négligence de défaut.

## Chapitre III Diagnostic par observateur à entrées inconnues application

La décision finale est prise après une simple comparaison entre les résidus et les seuils, le resultat est une variable binaire  $S_r$  [14] tel que :

$$\begin{cases} \|r^j\| < T_{SFI}^j & \text{alors } S_r = 0, \text{ cas sans défaut} \\ \|r^j\| \geq T_{SFI}^j & \text{alors } S_r = 1, \text{ cas avec défaut} \end{cases} \quad \dots (3-8)$$

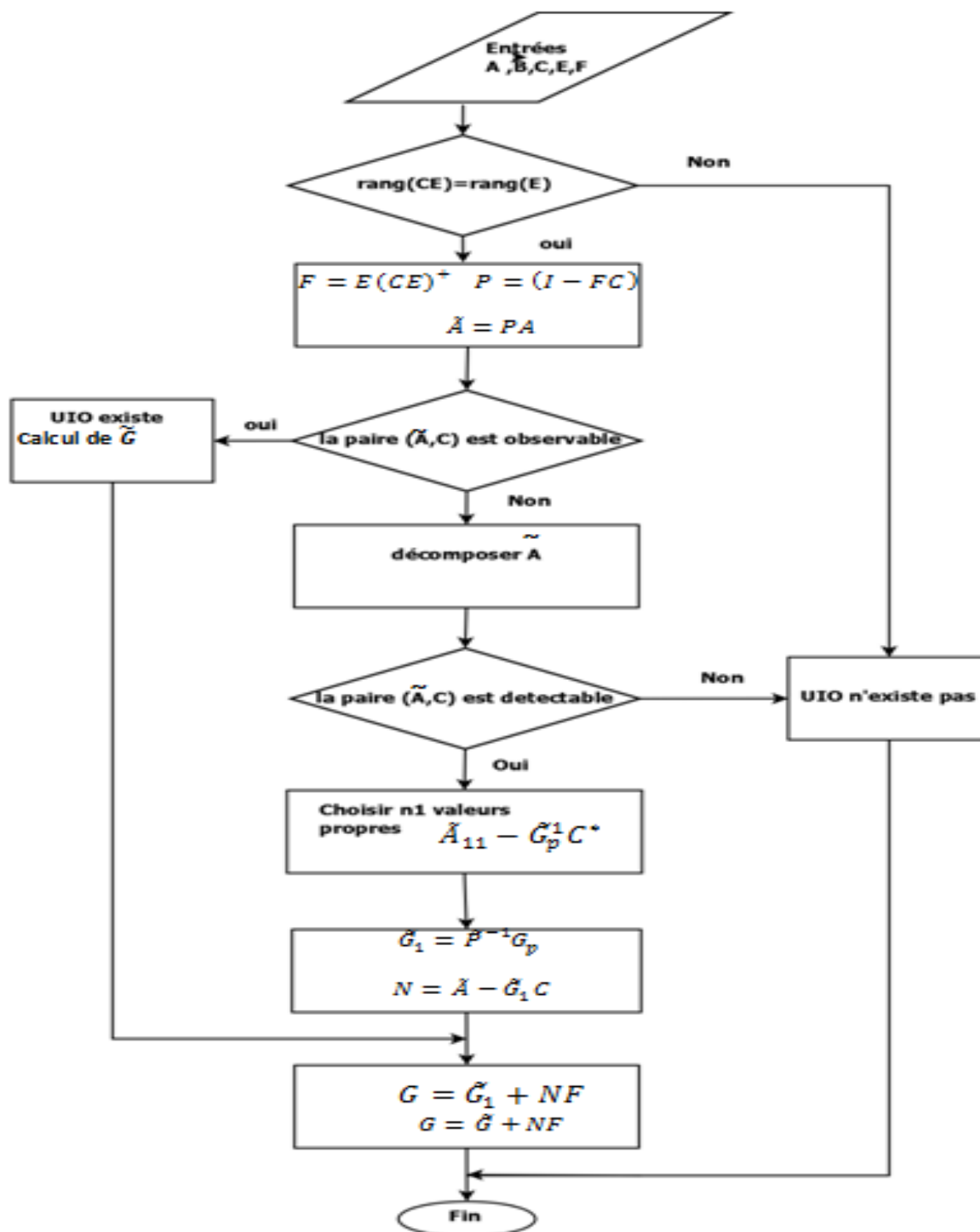


Figure 3.1 : Organigramme de la procédure de synthèse d'un UIO

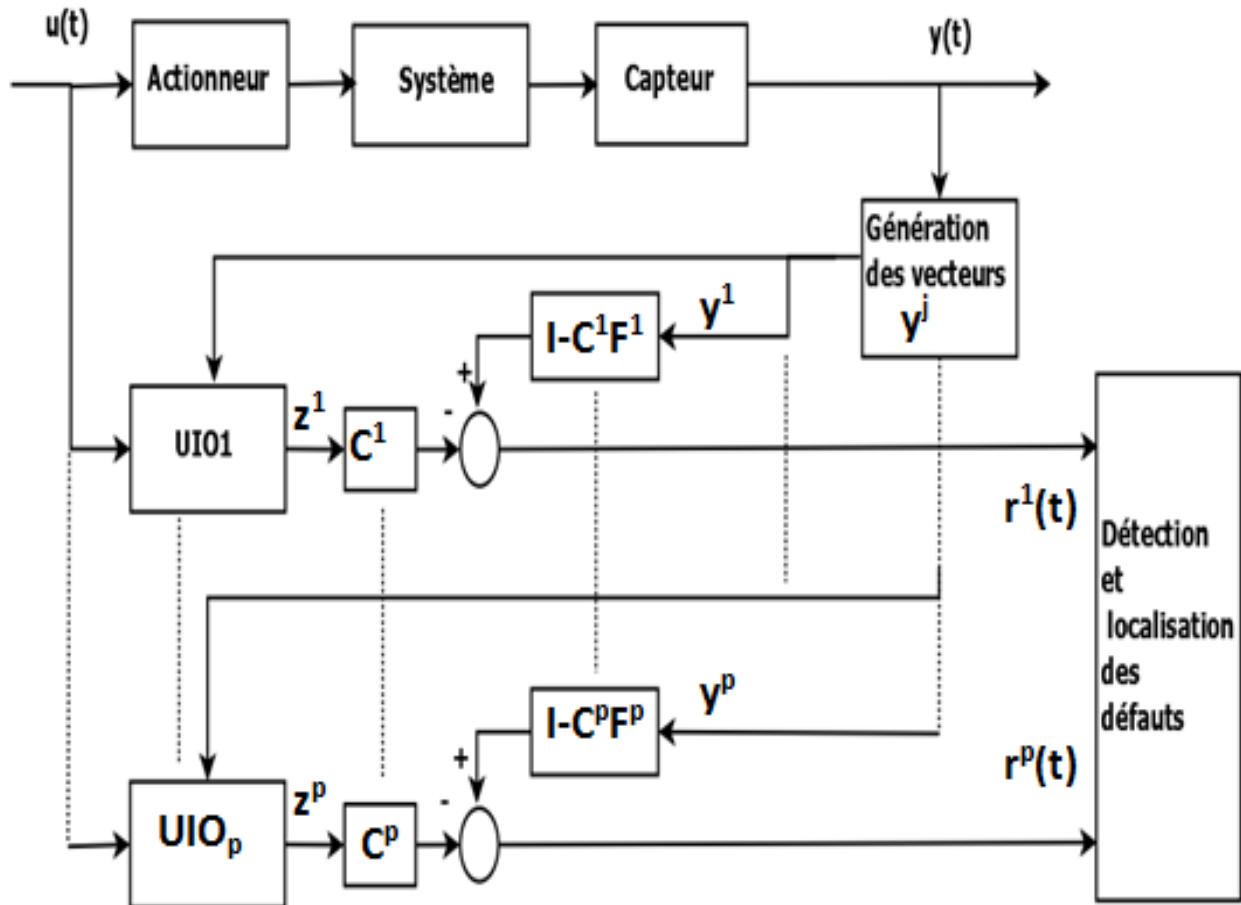


Figure 3.2 : Schéma GOS pour le diagnostic des défauts capteurs.

## 3.3 Application au bioréacteur

### 3.3.1 Description du processus

Le système étudié est un bioréacteur CSTR, c'est un système dynamique non linéaire dans lequel une réaction chimique non réversible hautement exothermique se déroule.

### 3.3.2 Modèle dynamique du processus

Le système est décrit par les équations d'états avec valeurs normalisées suivants [15] :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = p_1 u_1 + p_1 u_1 u_2 - p_1 u_2 x_1 - p_1 x_1 - p_1 (1 + x_1) e^{-p_3/(1+x_2)} \\ \dot{x}_2 = p_1 u_3 + p_1 u_2 u_3 - p_1 x_2 - p_1 u_2 x_2 - p_4 x_2 + p_4 x_3 + p_5 p_2 (1 + x_1) e^{-p_3/(1+x_2)} \dots (3-9) \\ \dot{x}_3 = p_6 x_2 - p_6 x_3 - p_7 x_3 + p_7 x_4 \\ \dot{x}_4 = p_8 u_4 + p_8 u_4 u_5 - p_8 x_4 - p_8 u_5 x_4 + p_9 x_3 - p_9 x_4 \end{cases}$$

$$x^T = \left[ \frac{C_A - C_{A,ref}}{C_{A,ref}} \frac{T_R - T_{R,ref}}{T_{R,ref}} \frac{T_W - T_{W,ref}}{T_{W,ref}} \frac{T_J - T_{J,ref}}{T_{J,ref}} \right] \text{ est le vecteur d'état.}$$

Où  $C_A$  est la concentration du réactant A en ( $mol/m^3$ ),  $T_R$  est la température du réacteur,  $T_W$  est la température du mur du réacteur,  $T_J$  est la température du couvercle du réacteur en (K).

$$u^T = \left[ \frac{C_{A0} - C_{A,ref}}{C_{A,ref}} \frac{F_R - F_{R,ref}}{F_{R,ref}} \frac{T_0 - T_{0,ref}}{T_{0,ref}} \frac{T_{J0} - T_{J0,ref}}{T_{J0,ref}} \frac{F_J - F_{J,ref}}{F_{J,ref}} \right]$$

est le vecteur d'entrées de commande.

Où  $C_{A0}$  est la concentration d'alimentation par le réactant A,  $F_R$  est le taux de débit d'alimentation,  $T_0$  est la température d'alimentation,  $T_{J0}$  est la température de l'entrée du couvercle, et  $F_J$  est le taux de débit du liquide de refroidissement.

$$C_{A0} = C_{A,ref} = 3 \text{ mol}/m^3, F_{R,ref} = 60 \times 10^{-5} m^3/s,$$

$$F_{J,ref} = 15 \times 10^{-4} m^3/s, F_{R,ref} = 60 \times 10^{-5} m^3/s,$$

$$T_{R,ref} = T_{W,ref} = T_{J,ref} = T_{0,ref} = T_{J0,ref} = 298K$$

$y = Cx$  Est le vecteur de sorties mesurables avec

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Parameter	EXPRESSION	VALUE	Unit
$P_1$	$\frac{F_{R,ref}}{V_R}$	$3.333 \times 10^{-2}$	$s^{-1}$
$P_2$	$k_0$	$4.08 \times 10^7$	$s^{-1}$
$P_3$	$\frac{E_a}{RT_{R,ref}}$	25.347	—
$P_4$	$\frac{(hA_T)_i}{V_R(\rho C_p)_f}$	$6.63 \times 10^{-1}$	$s^{-1}$
$P_5$	$\frac{-(\Delta H_R)C_{A,ref}}{(\rho C_p)_f T_{R,ref}}$	1.45	—
$P_6$	$\frac{(hA_T)_i}{V_W(\rho C_p)W}$	5.97	$s^{-1}$
$P_7$	$\frac{(hA_T)_e}{V_W(\rho C_p)W}$	5.97	$s^{-1}$
$P_8$	$\frac{F_{J,ref}}{V_J}$	$1.67 \times 10^{-1}$	$s^{-1}$
$P_9$	$\frac{(hA_T)_e}{V_J(\rho C_p)_J}$	1.33	$s^{-1}$

**Table 3.1 :** Les paramètres du modèle [15].

Le modèle linéaire du système, obtenu par une linéarisation au tour d'un point d'équilibre stable de haute température, s'écrira sous la forme suivante [15] :

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

Avec :  $A = \begin{pmatrix} -1.3787 & -0.3799 & 0 & 0 \\ 1.9991 & -0.1122 & 0.6630 & 0 \\ 0 & 5.9700 & -11.9400 & 5.9700 \\ 0 & 0 & 1.3300 & -1.3300 \end{pmatrix}$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & -0.0008 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0491 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.2302 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### 3.3.3 Construction de l'observateur à entrées inconnues

#### 3.3.3.1 Construction de l'observateur à entrées inconnues en absence des défauts

Cette approche est basée sur la supposition que la matrice de distribution de la perturbation  $E$  est préalablement connue.

Soit  $E^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1)$ .

Comme  $A$  est Hurwitz et la paire  $(A, C)$  est observable, pour que la construction de l'observateur soit possible il faut vérifier la condition :

$$\text{rang}(CE) = \text{rang}(E) = q \quad .$$

Comme la condition est satisfaite, il faut faire le calcul des matrices  $F, P, M, \tilde{A}$

$$F = \begin{pmatrix} 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} 0.6667 & -0.3333 & 0 & -0.3333 \\ -0.3333 & 0.6667 & 0 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & 1 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & 0 & 0.6667 \end{pmatrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0.0158 & 0 & 0 & 0.0767 \\ 0 & -0.0325 & 0 & 0 & 0.0767 \\ 0 & 0.0166 & 0 & 0 & 0.0767 \\ 0 & 0.0166 & 0 & 0 & -0.1535 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} -1.5855 & -0.2159 & -0.6643 & 0.4433 \\ 1.7923 & 0.0518 & -0.0013 & 0.4433 \\ -0.2068 & 6.1340 & -12.6043 & 6.4133 \\ -0.2068 & 0.1640 & 0.6657 & -0.8867 \end{pmatrix}$$

La paire  $(\tilde{A}, C)$  est observable alors l'observateur à entrées inconnues existe et par placement de pôles on calcule les matrices  $\tilde{G}, N, G$  :

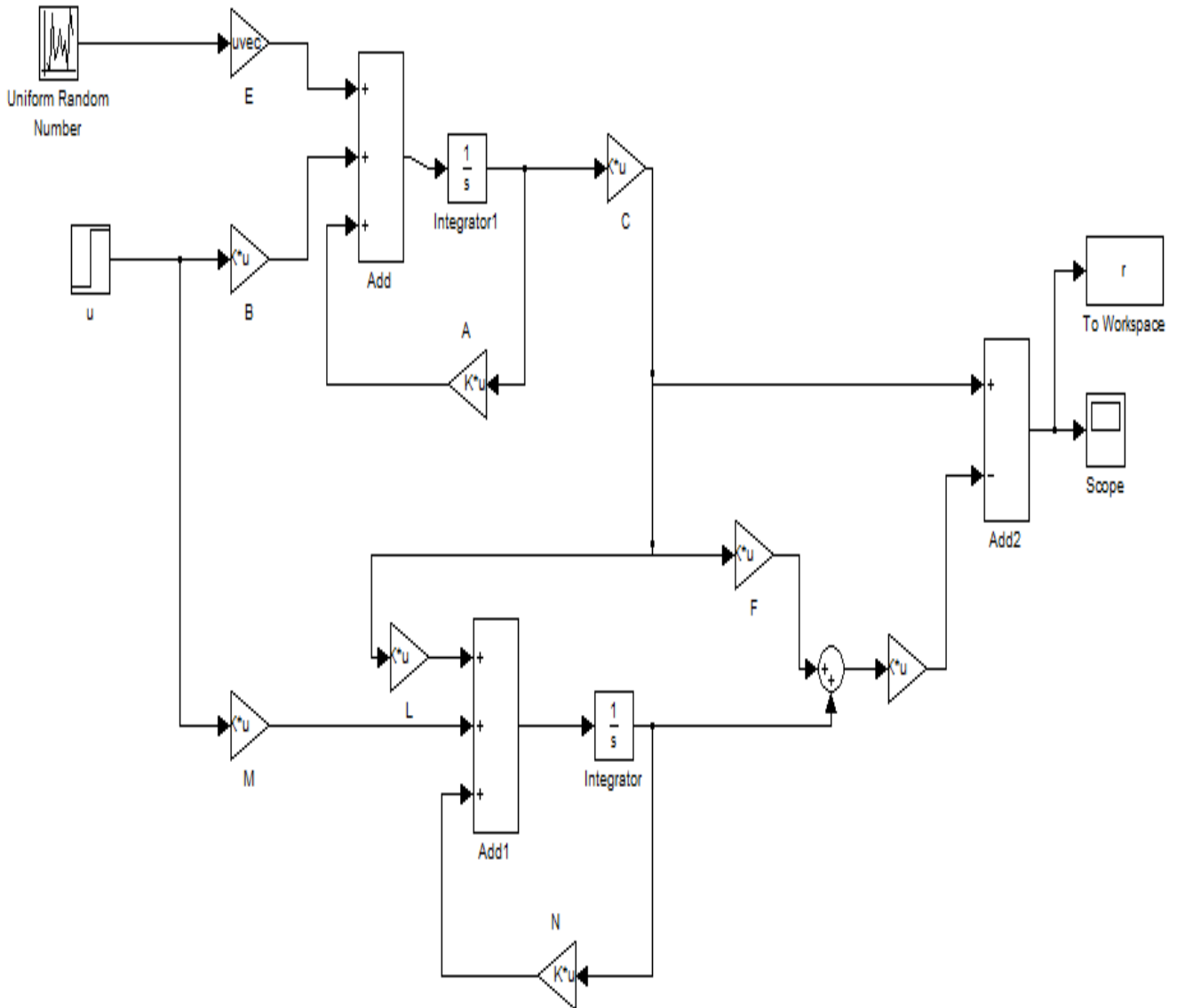
$$N = \begin{pmatrix} -3.2034 & 0.1829 & -0.6643 & 0.4688 \\ -0.1895 & -2.7512 & -0.0013 & -0.0013 \\ -0.1970 & 2.5229 & -12.6043 & 5.1758 \\ -0.1845 & -0.1789 & 0.6657 & -2.9873 \end{pmatrix}$$

$N$  Est Hurwitz avec les valeurs propres suivantes :

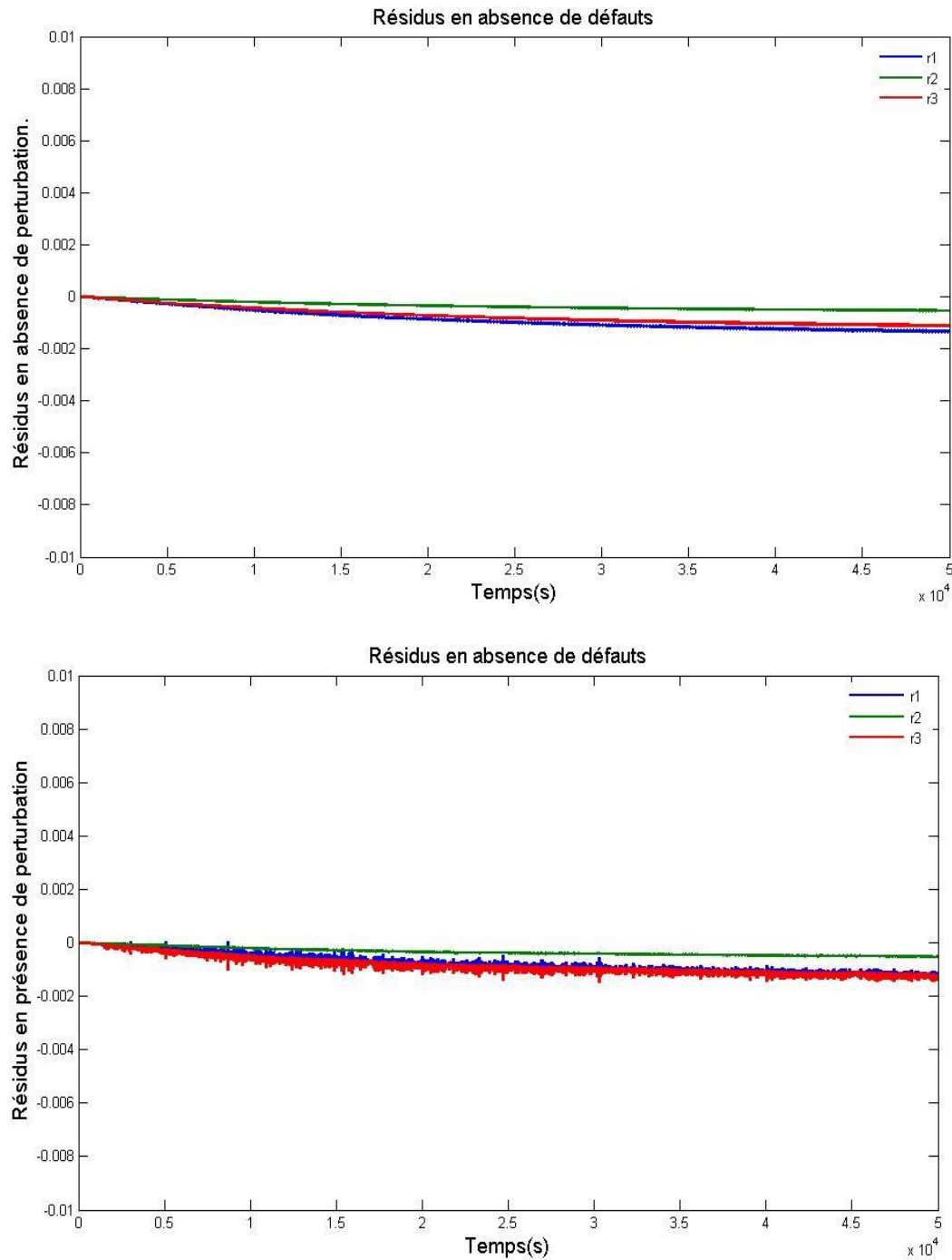
$$p_1 = 12.9518, p_2 = -3.1475, p_3 = -2.7031, p_4 = -2.7438$$

$$G = \begin{pmatrix} 0.5459 & -1.4708 & -1.0975 \\ 1.0346 & 1.8558 & -0.6042 \\ -1.7107 & 1.9103 & -0.4633 \\ -0.9173 & -0.5521 & 1.2056 \end{pmatrix}$$

La simulation du montage ci-après par MATLAB/Simulink a donné les résultats suivants :



**Figure 3.3 :** Schéma de simulation sur SIMULINK du système et de l'UIO sans défaut.



**Figure 3.4 :** Résultats de simulations en absence et en présence de perturbation.

## Interprétation

Les résidus convergent asymptotiquement vers des valeurs proches de zéro et restent dans les mêmes limites après l'injection de l'entrée inconnue ou la perturbation. Ce résultat est indiquant du découplage des résidus vis-à-vis la perturbation, et approuvant le principe de l'observateur à entrées inconnues.

## 3.3.3.2 Construction de l'observateur à entrées inconnues en présence des défauts capteurs

Le modèle de système devient :

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

$$F_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La simulation du montage ci-après par MATLAB/Simulink a donné les résultats suivants :

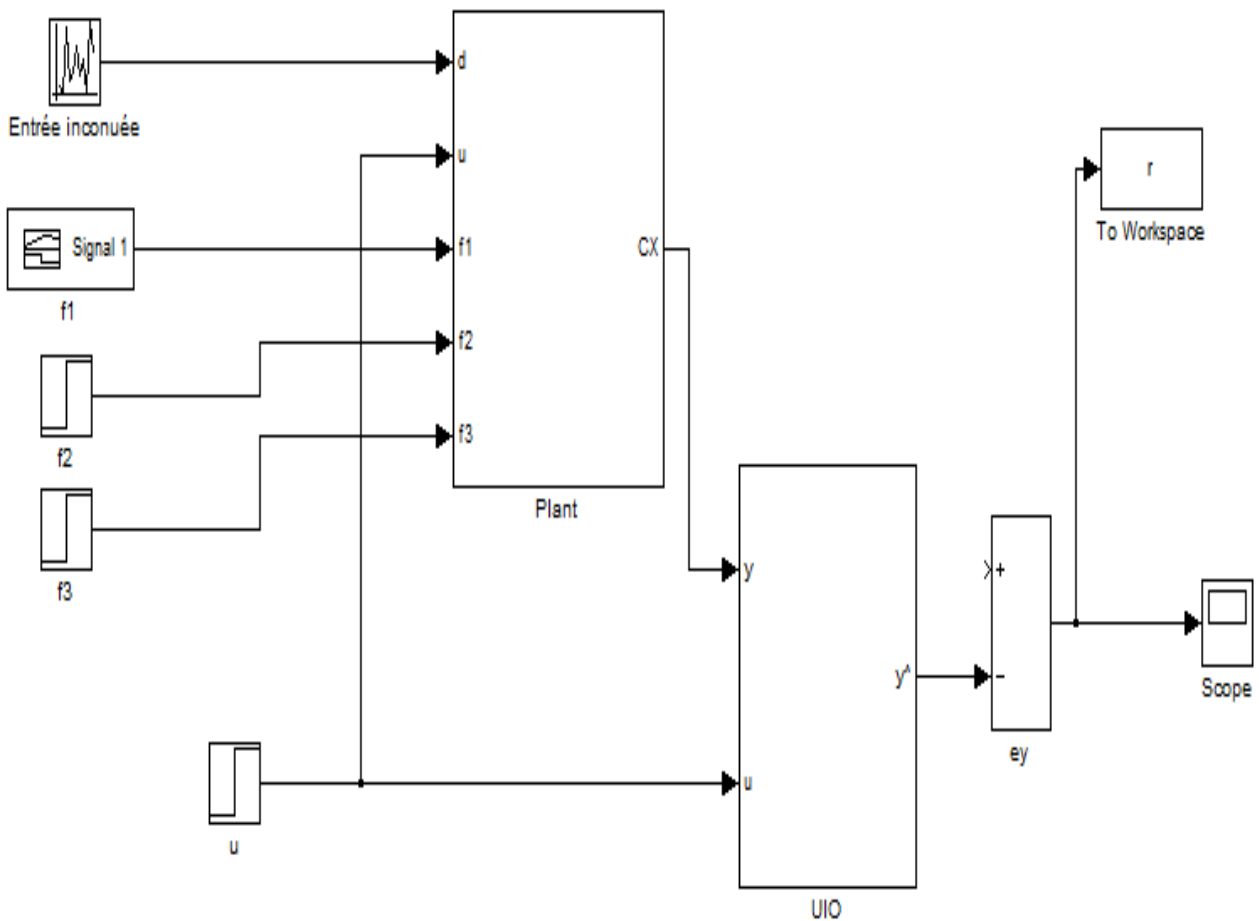


Figure 3.5 : Schéma de simulation sur SIMULINK avec défauts.

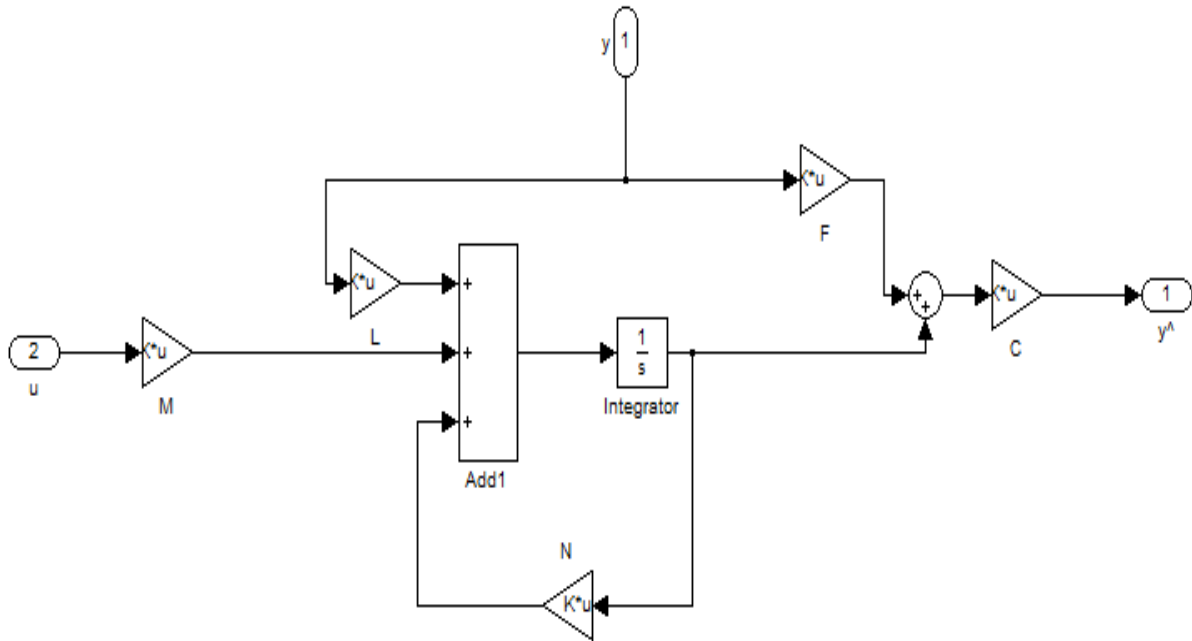


Figure 3.6 : Le montage du bloc UIO sur SIMULINK

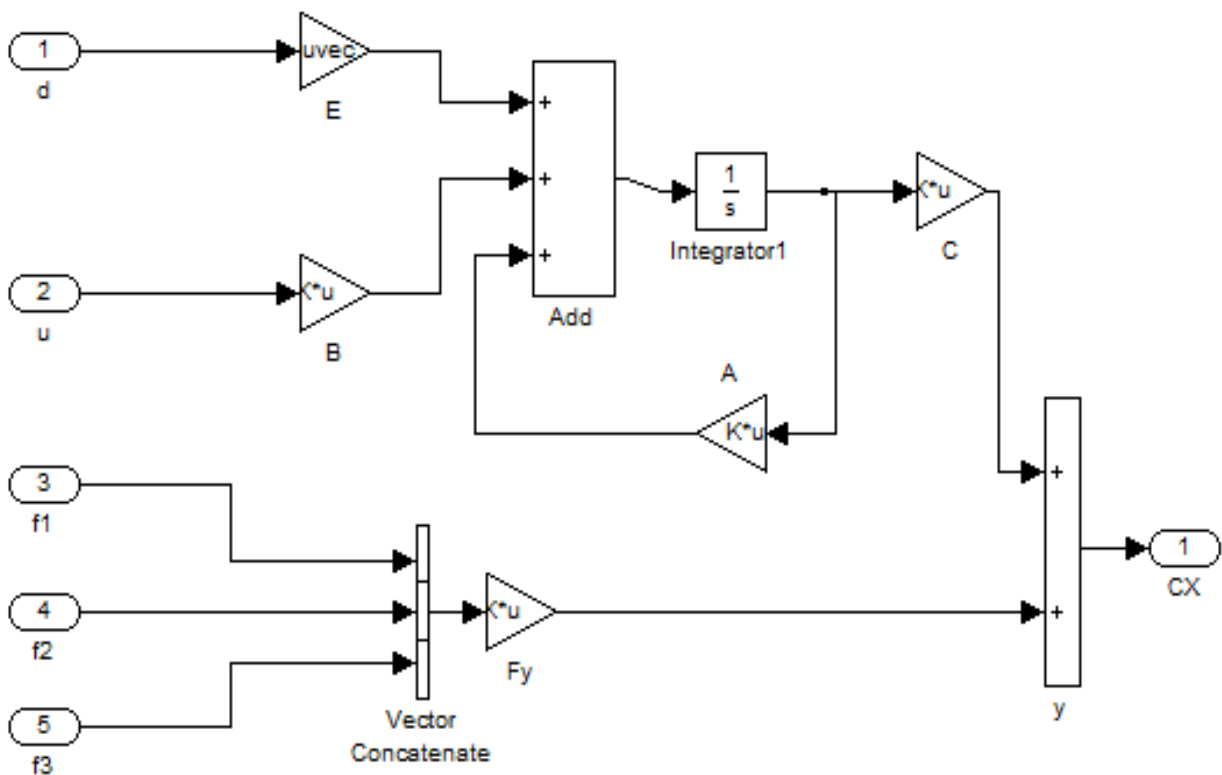


Figure 3.7 :Le montage du bloc Pant (système) sur SIMULINK

f 1, f 2, f 3 sont respectivement les défauts des capteurs des mesures sorties y1, y2, y3.

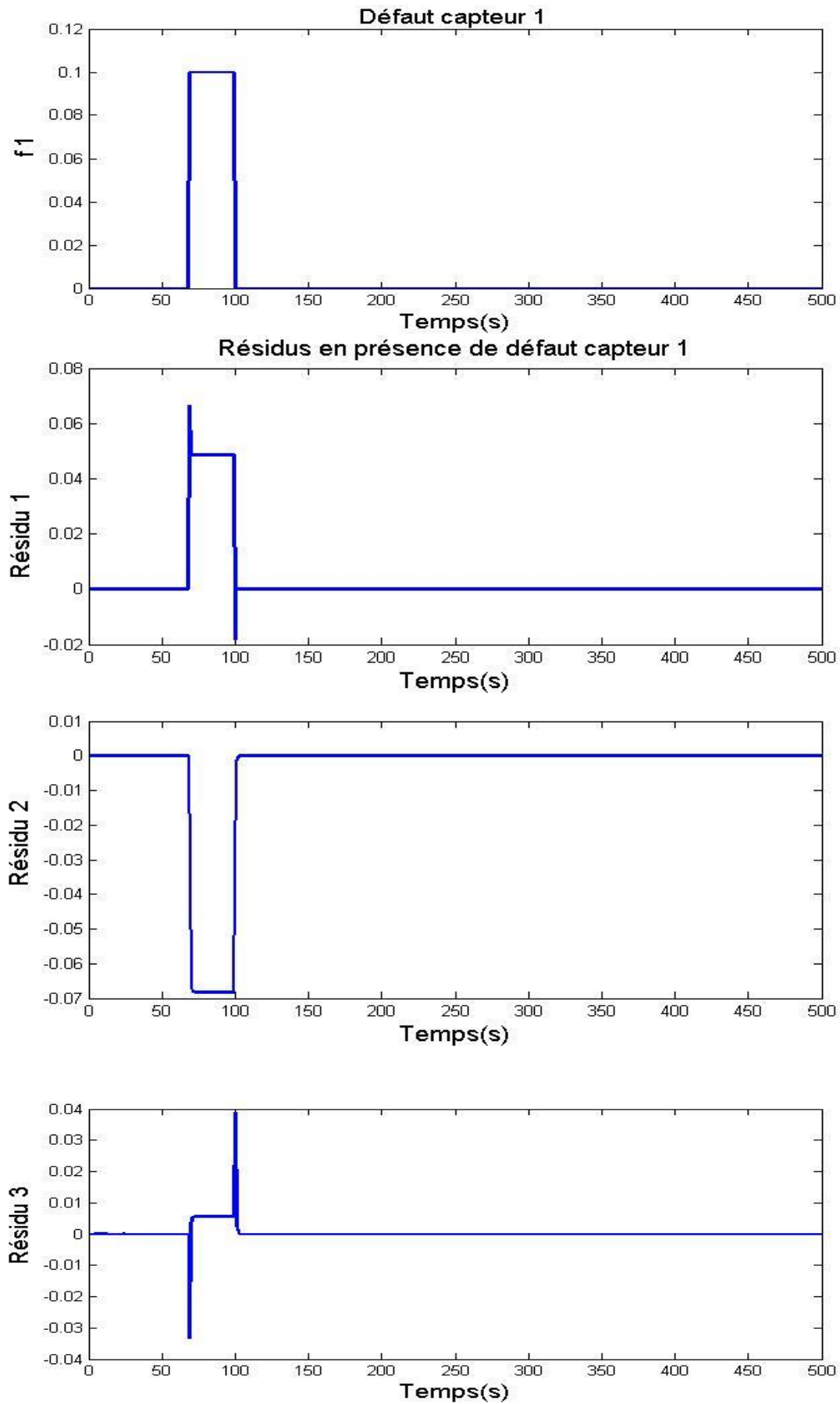


Figure 3.8 : Résultats de simulations avec défaut capteur 1

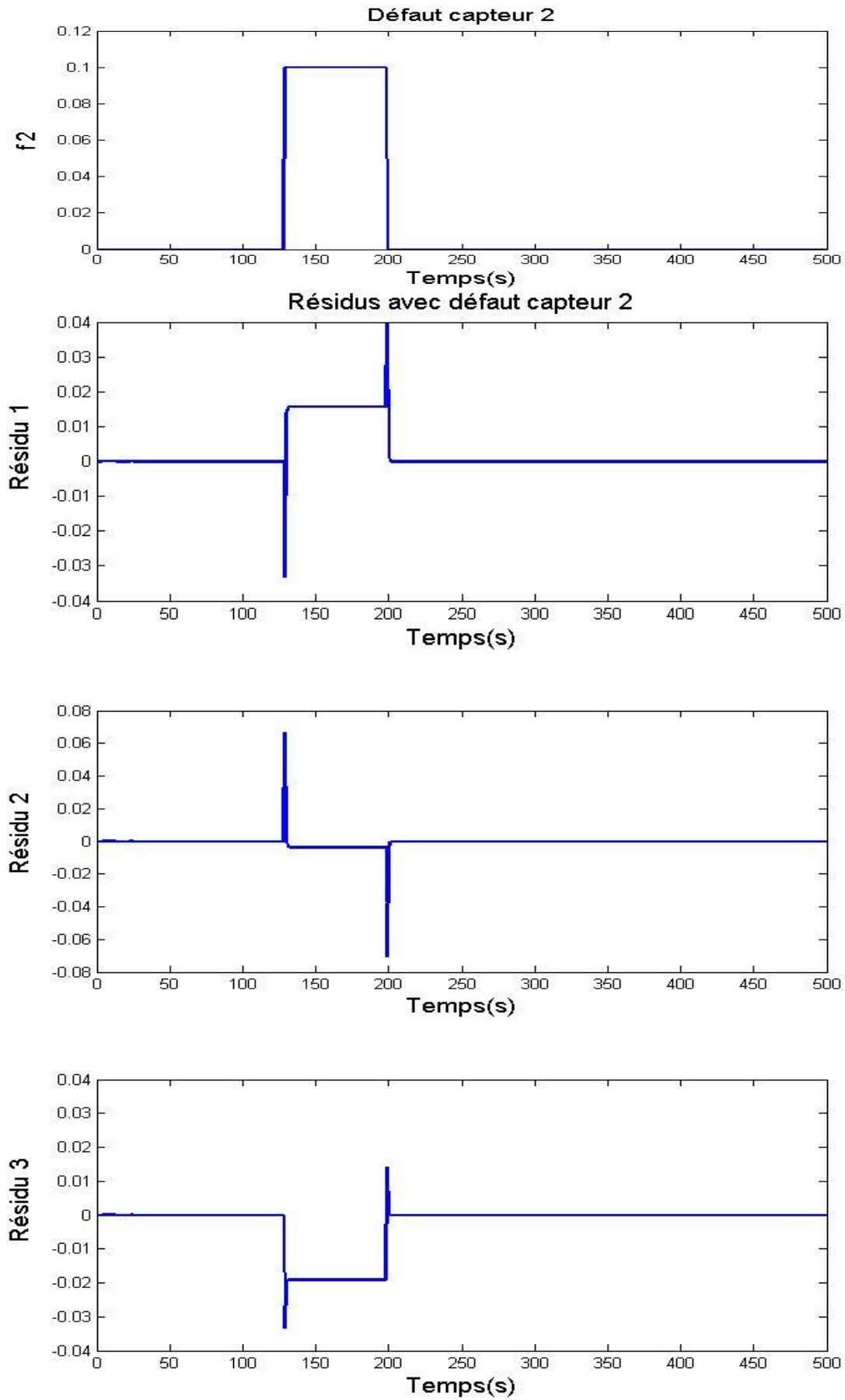


Figure 3.9 : Résultats de simulations avec défaut capteur 2

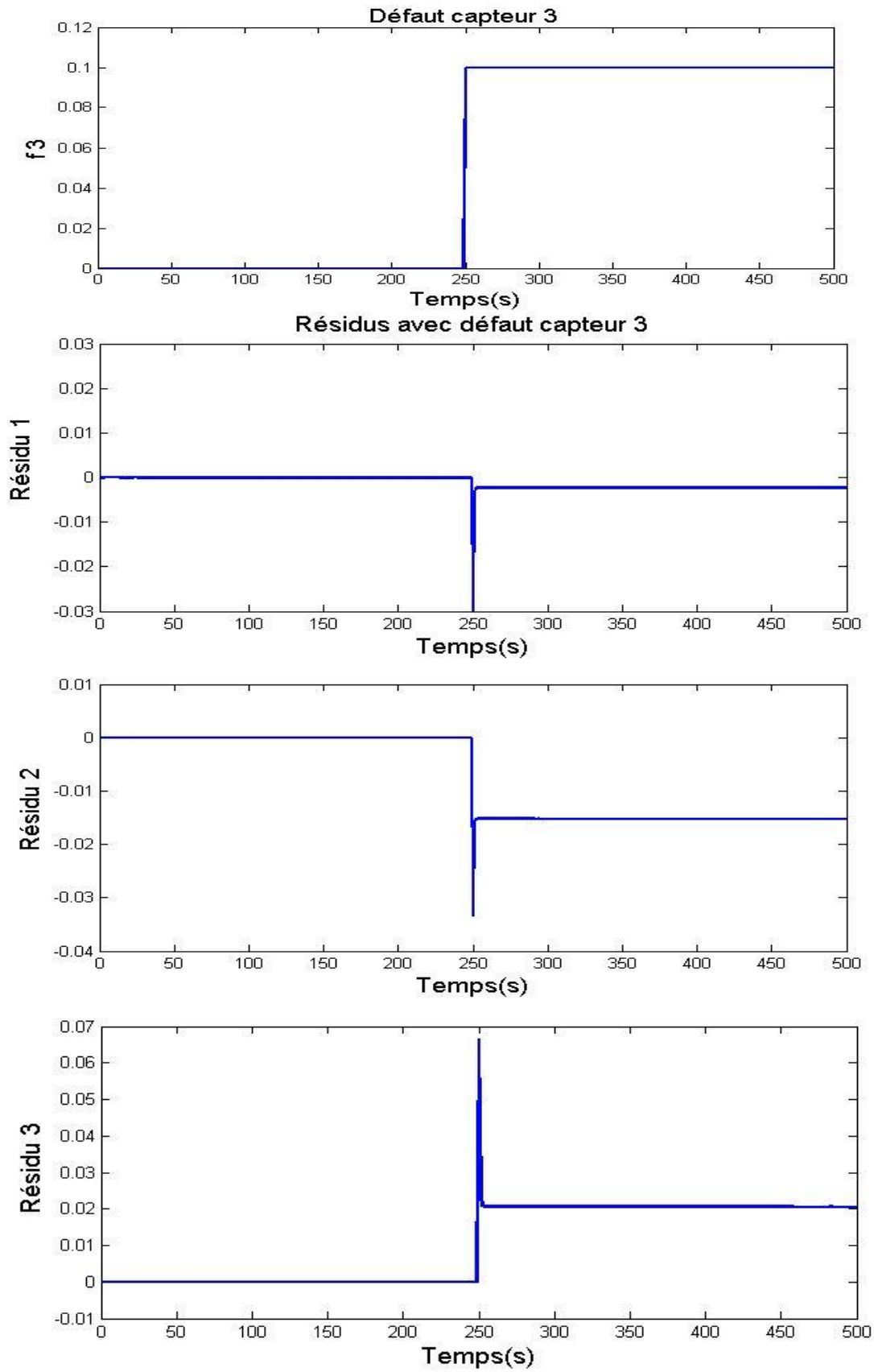


Figure 3.10 : Résultats de simulations avec défaut capteur 3

### Interprétation

Les figures 3.8 ,3.9, et 3.10 montrent les résultats de simulation après qu'un défaut brusque apparut sur un des trois capteurs séparément à des moments différents et en présence de la perturbation .on voit bien que au moins deux résidus sur trois sont sensibles au défaut .on trouve ci-après la table des signatures des défauts déduite des résultats de simulation.

résidus	Sans défaut	f1	f2	f3
<b>r1</b>	0	1	1	0
<b>r2</b>	0	1	1	1
<b>r3</b>	0	1	1	1

**Table 3.2 :** Table des signatures avec un seul observateur.

La table des signatures est non localisante, il y a deux signatures identiques.

On peut conclure que le schéma utilisé qui contient un seul observateur assure la détection des défauts, mais ne permet pas de déterminer le capteur défectueux, donc la localisation est impossible.

### 3.3.4 Détection et localisation des défauts capteurs par un banc d'observateurs

Le problème d'isolation de défaut est de localiser ce dernier ou bien de déterminer quel est le capteur défectueux. dans cette étude , la structure GOS d'observateur généralisé dans laquelle chaque résidu est sensible à un groupe de défauts et insensible à d'autres a été adopté pour assurer l'isolation.

Au premier lieu il faut construire les matrices  $C^j$  pour  $j = 1,2,3$  :

$$C^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, C^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, C^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Pour chaque observateur UIO il faut vérifier la condition :

$\text{rang}(C^j E) = \text{rang}(E)$  , le rang est complet pour les trois observateurs.

Après on doit calculer les matrices :  $F^j, P^j, M^j, N^j, G^j$ , et  $D^j$  tel que

$$D^j = I - C^j F^j$$

La condition d'observabilité de la paire  $(\tilde{A}^j, C^j)$  est satisfaite pour les trois observateurs.

- **Les matrices du premier observateur UIO1 :**

$$F^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$M^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0.0238 & 0 & 0 & 0.1151 \\ 0 & -0.0245 & 0 & 0 & 0.1151 \\ 0 & 0.0245 & 0 & 0 & 0.1151 \\ 0 & 0.0245 & 0 & 0 & -0.1151 \end{pmatrix}$$

$$N^1 = \begin{pmatrix} -2.3783 & -1.0695 & -0.9965 & 0.6197 \\ 0.9996 & -4.4844 & -0.3335 & 0.2600 \\ -0.9996 & 2.1135 & -12.6043 & 5.3628 \\ -0.9996 & -0.2414 & 0.3335 & -2.7582 \end{pmatrix}$$

$$G^1 = \begin{pmatrix} 0 & -1.1666 & -1.8670 \\ 0 & 2.6491 & -1.3741 \\ 0 & 0.6828 & -1.9577 \\ 0 & -1.5353 & 0.2604 \end{pmatrix}$$

- **Les matrices du deuxième observateur UIO2 :**

$$F^2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$M^2 = \begin{pmatrix} 0 & -0.0004 & 0 & 0 & 0.1151 \\ 0 & -0.0487 & 0 & 0 & 0.1151 \\ 0 & 0.0004 & 0 & 0 & 0.1151 \\ 0 & 0.0004 & 0 & 0 & -0.1151 \end{pmatrix}$$

$$N^2 = \begin{pmatrix} -2.8782 & -0.1900 & -0.6650 & 2.1090 \\ 7.0886 & 0.0778 & -0.0020 & -10.7928 \\ 4.0188 & 6.1599 & -12.6050 & -1.8446 \\ 2.0799 & 0.1900 & 0.6650 & -4.9977 \end{pmatrix}$$

$$G^2 = \begin{pmatrix} 1.3768 & 0 & -2.2561 \\ -6.2143 & 0 & 9.6435 \\ -5.4649 & 0 & 6.3442 \\ -2.4220 & 0 & 3.3013 \end{pmatrix}$$

- **Les matrices du troisième observateur UIO3 :**

$$F^3 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0.0241 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0241 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0250 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0250 & 0 & 0 & -0.2302 \end{pmatrix}$$

$$N^3 = \begin{pmatrix} -3.0540 & 0.2460 & -0.3315 & 0 \\ -0.3102 & -5.0226 & 0.3315 & 0 \\ -0.3102 & -5.5877 & -12.2715 & 5.9700 \\ -0.3102 & -14.4938 & 0.9985 & -1.3300 \end{pmatrix}$$

$$G^3 = \begin{pmatrix} -0.2046 & -1.9496 & 0 \\ -0.5015 & 2.6558 & 0 \\ -6.0997 & 5.7040 & 0 \\ -7.5677 & 7.1721 & 0 \end{pmatrix}$$

# Chapitre III Diagnostic par observateur à entrées inconnues application

La simulation du montage ci-après par MATLAB/Simulink avec des défauts séparés, puis simultanés a donné les résultats suivants :

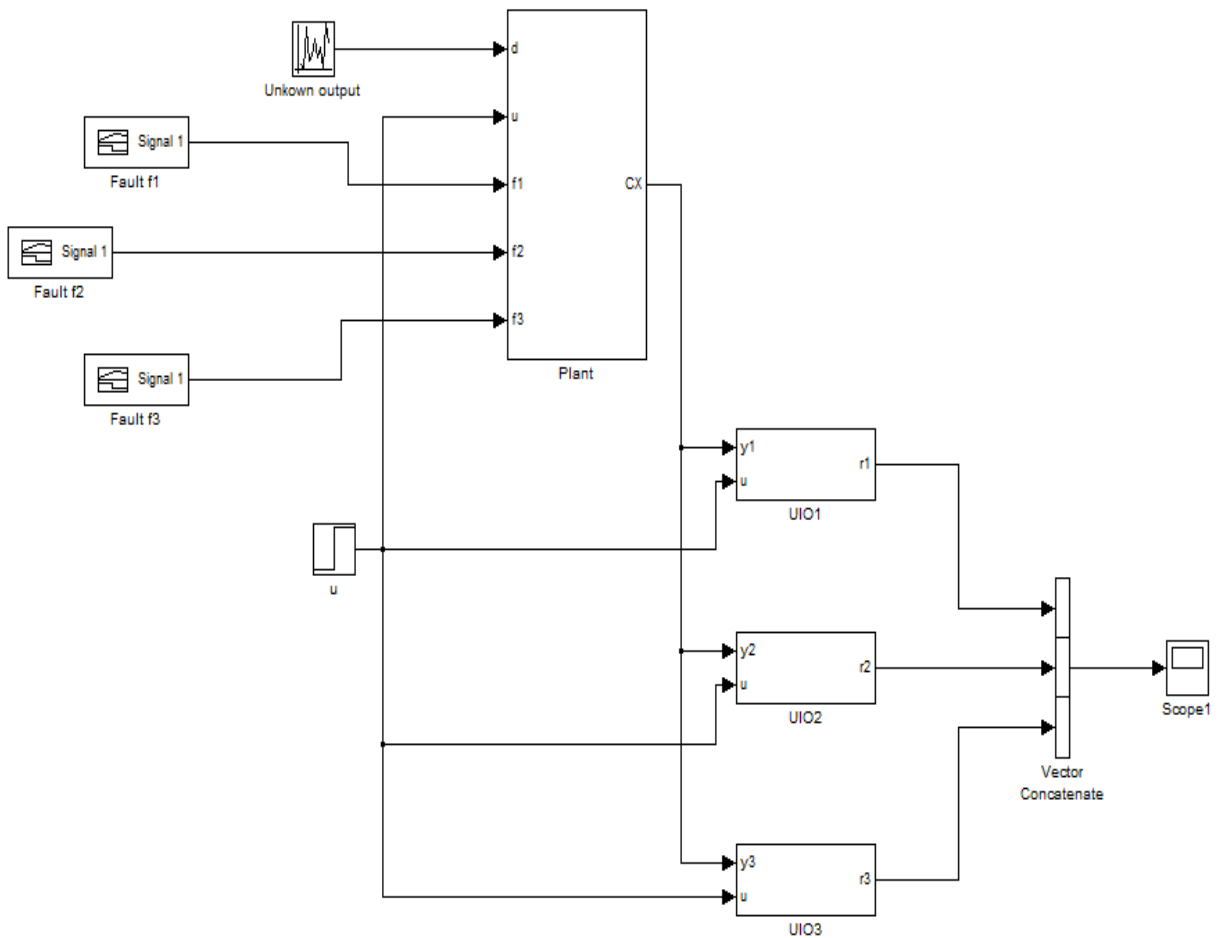


Figure 3.11 : Schéma de simulation sur SIMULINK avec un banc d'observateurs

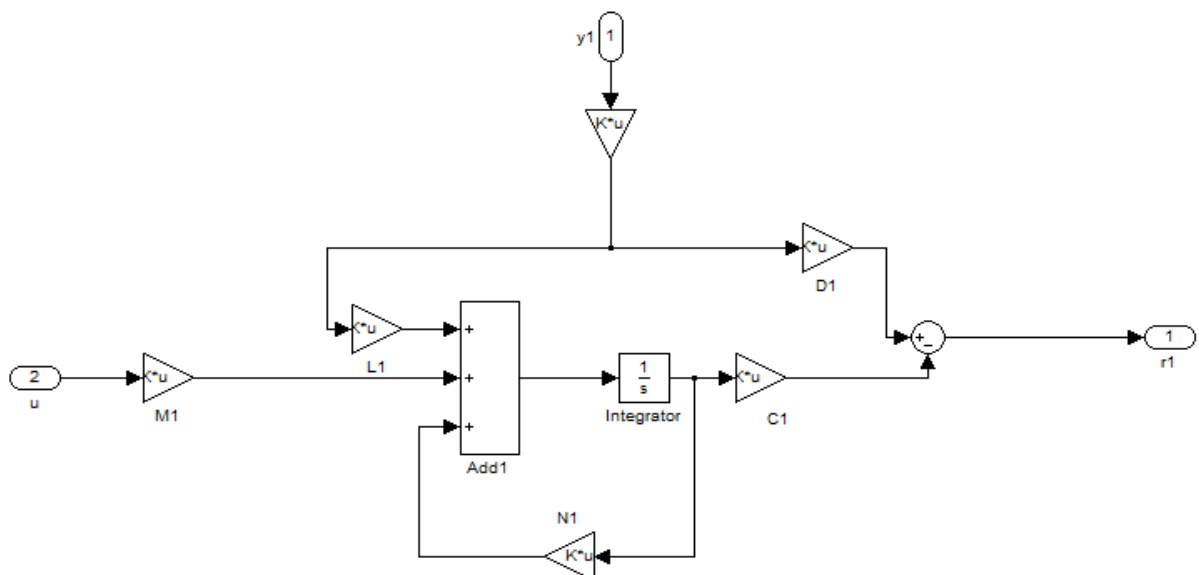


Figure 3.12 : Le montage du bloc UIO1, UIO2, et UIO3

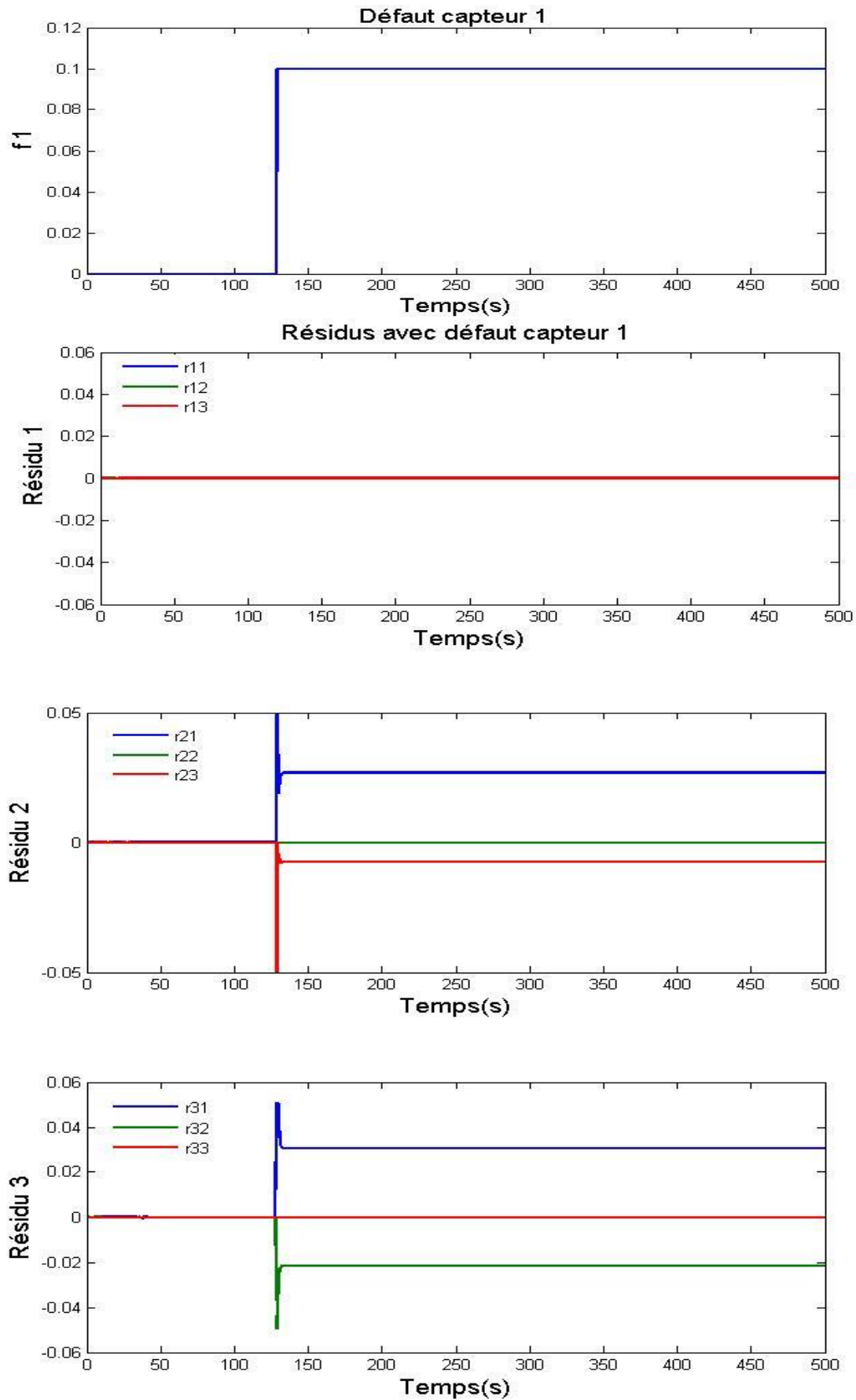


Figure 3.13 : Résultats de simulations avec un seul défaut capteur 1

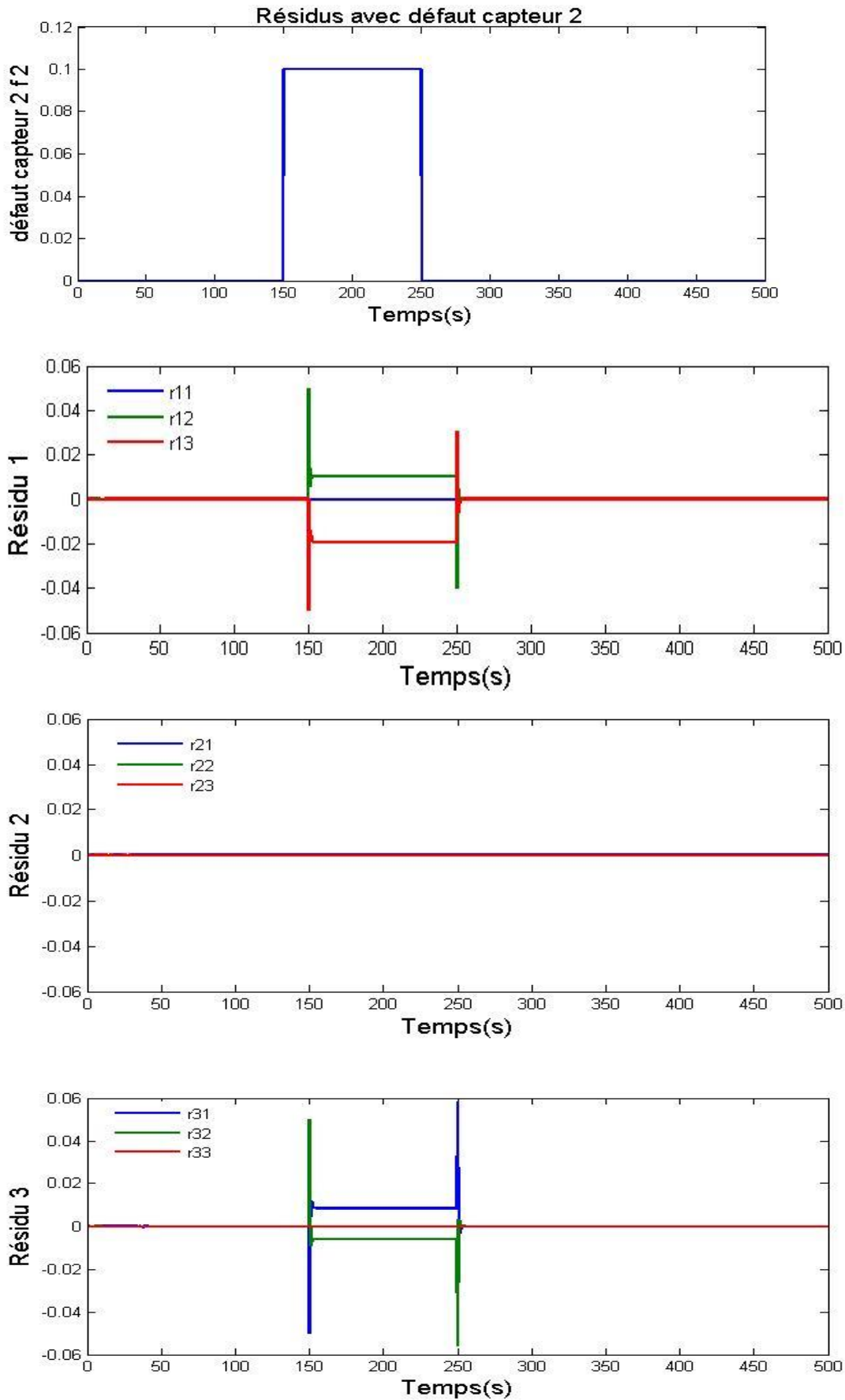


Figure 3.14 : Résultats de simulations avec un seul défaut capteur 2

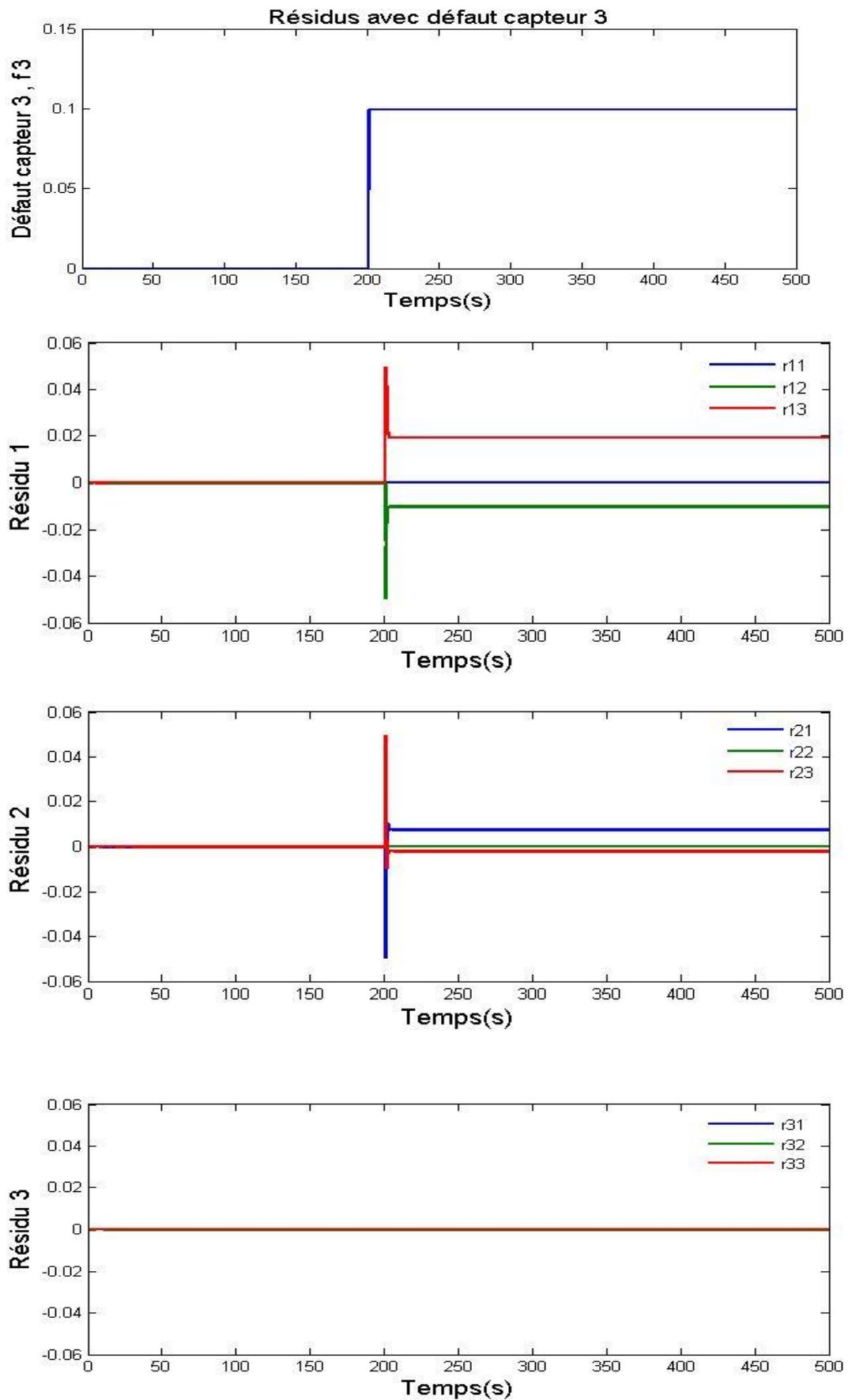


Figure 3.15 : Résultats de simulations avec seul défaut capteur 3

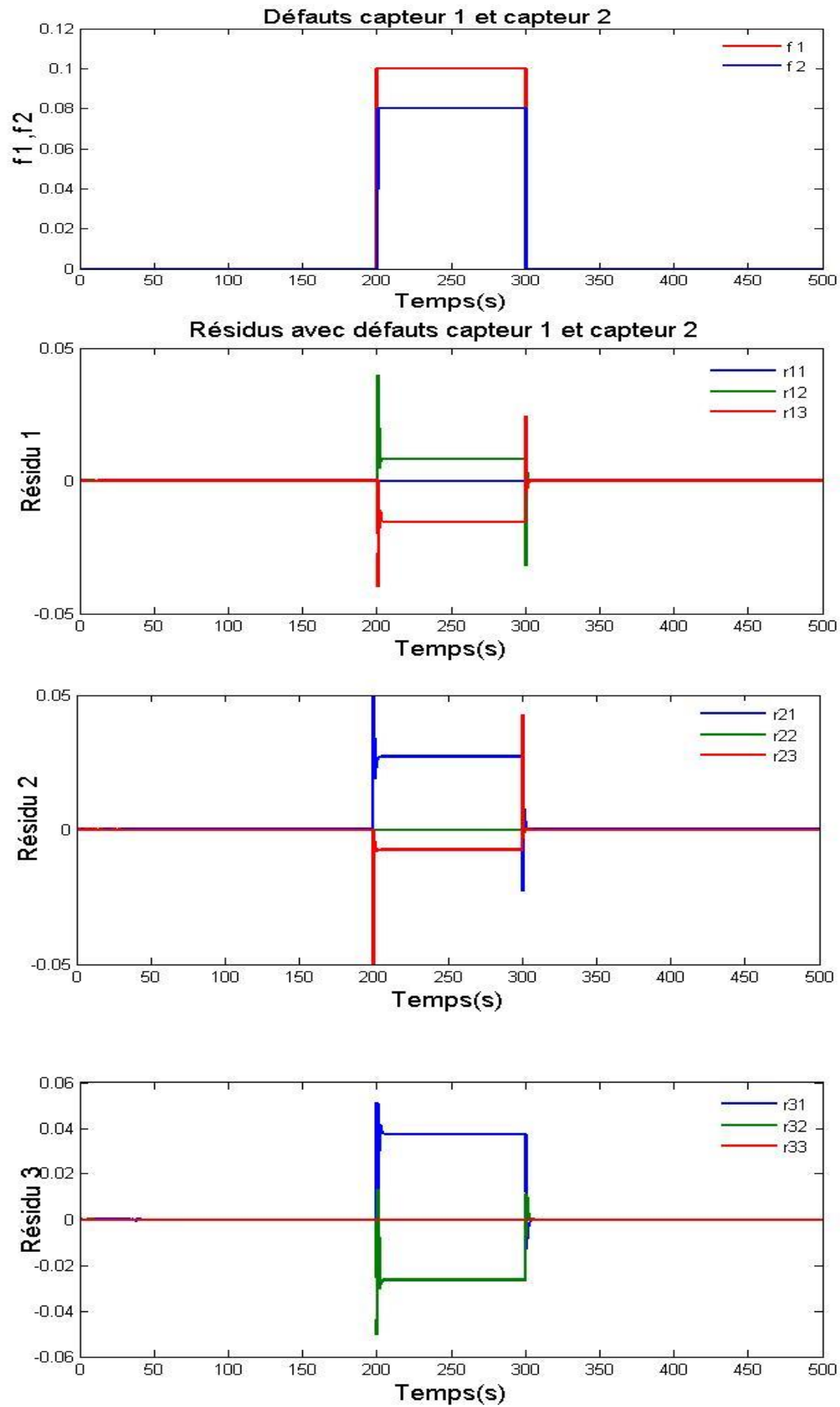


Figure 3.16 : Résultats de simulations avec deux défauts capteur 1 et 2

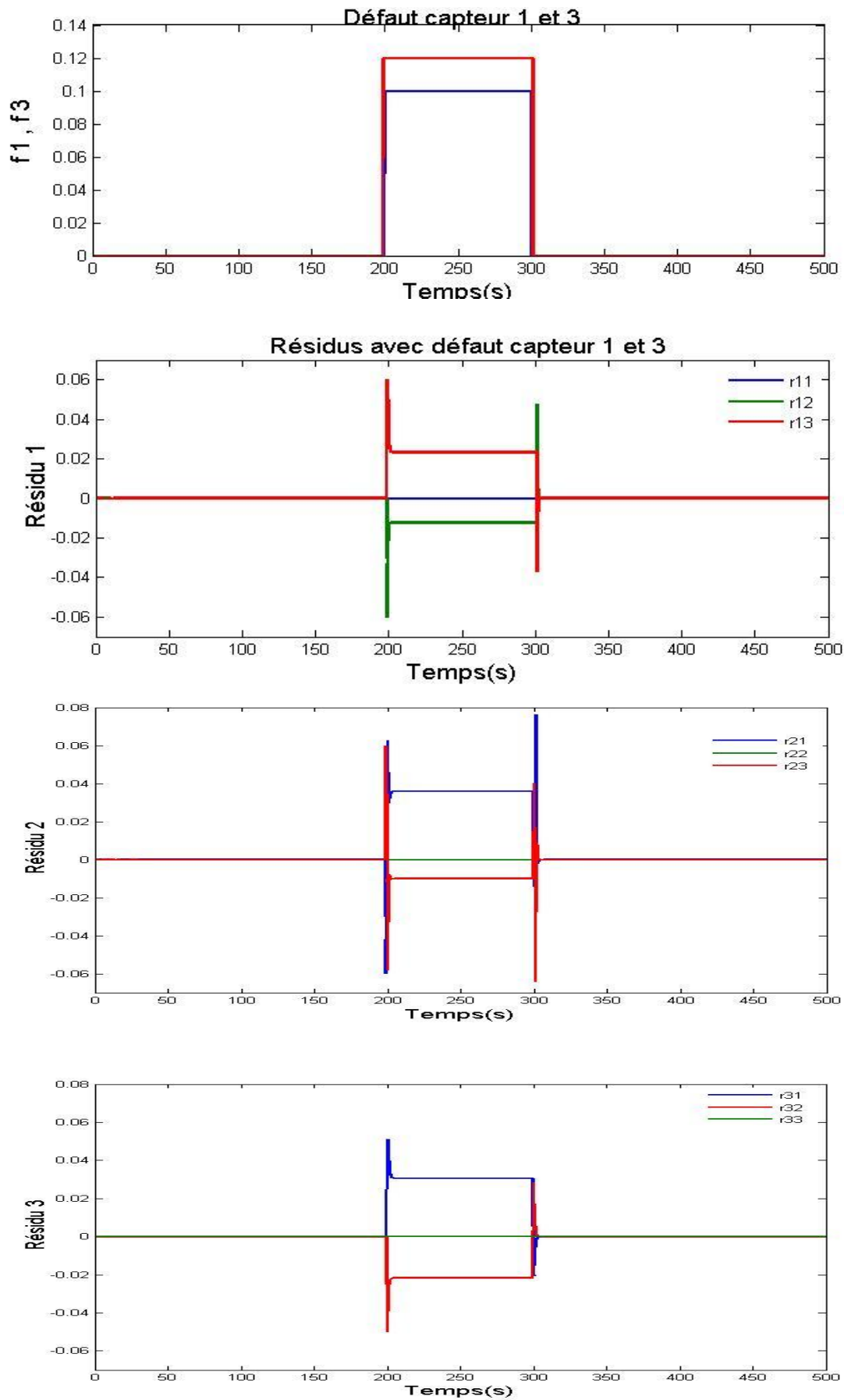


Figure 3.17 : Résultats de simulations avec deux défauts capteur 1 et 3

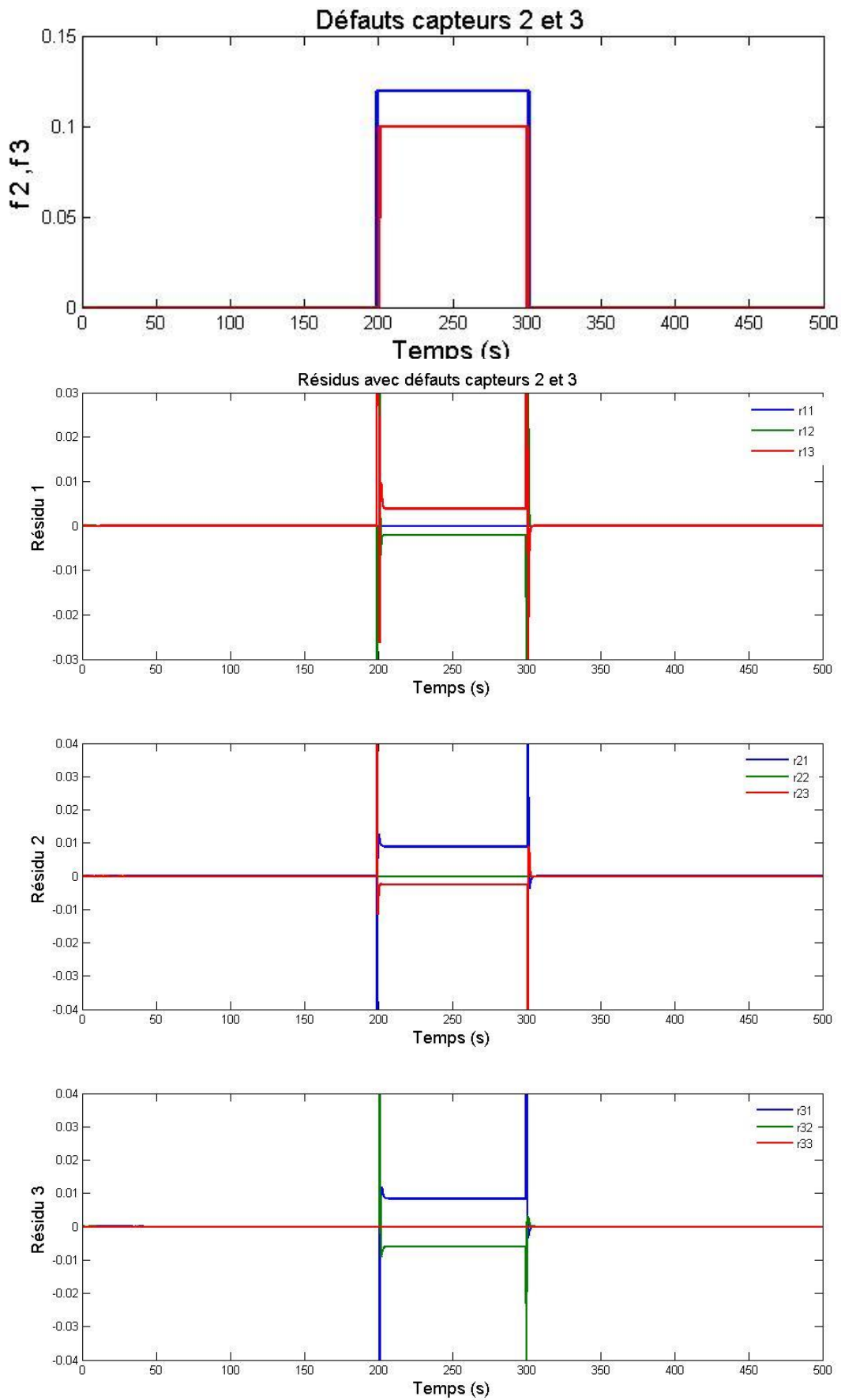


Figure 3.18 : Résultats de simulations avec deux défauts capteur 2 et 3

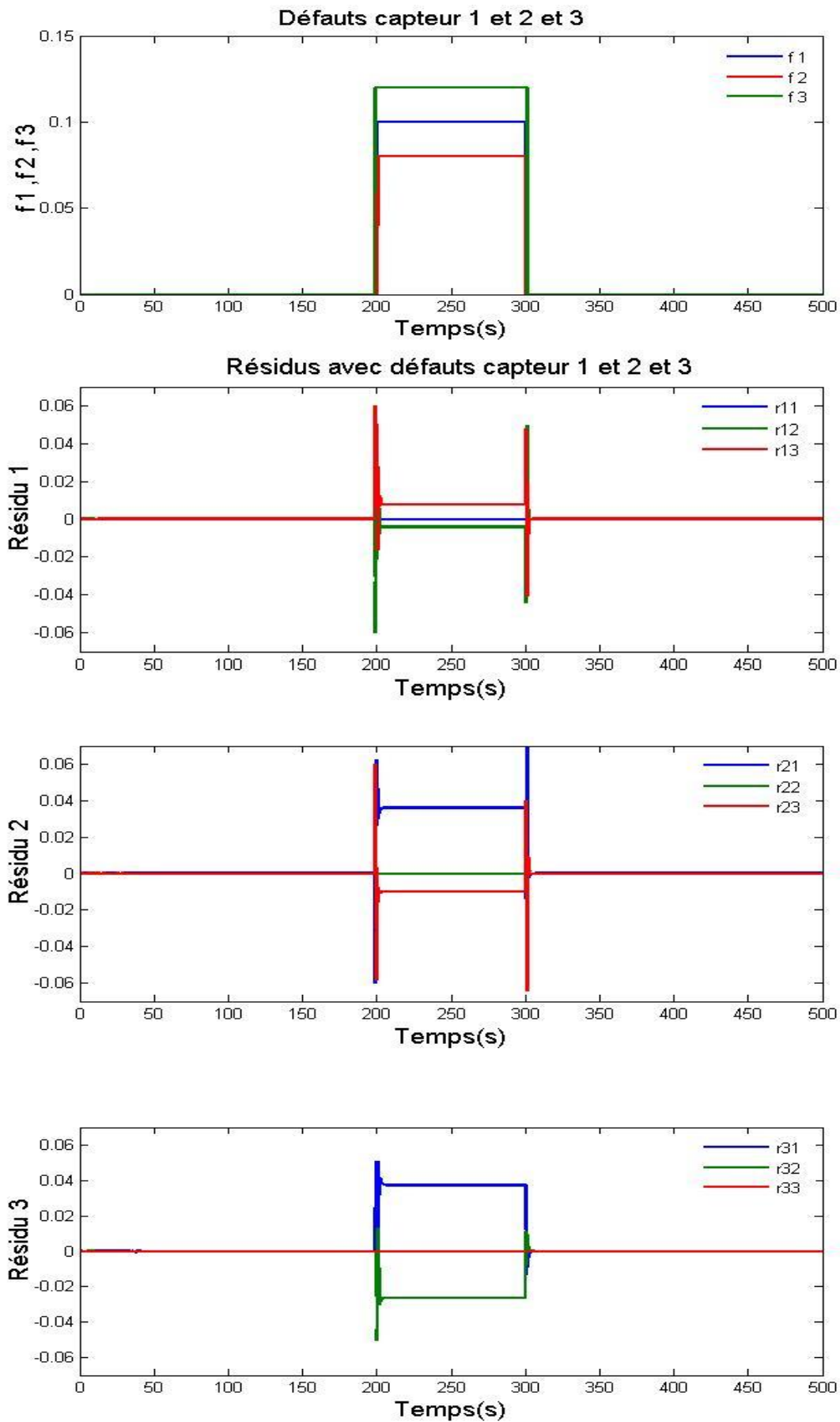


Figure 3.19 : Résultats de simulations avec défaut capteur 1,2 et 3

## Chapitre III Diagnostic par observateur à entrées inconnues application

### Interprétation

Les figures 3.13, 3.14, et 3.15 montrent les résultats de simulation après l'envoi d'un seul défaut brusque sur capteur 1, capteur2, et capteur 3 respectivement en présence de la perturbation .on voit bien que le résidu associé à la mesure défectueuse reste insensible alors que les deux autres résidus sont affectés par le défaut.

La table 3.3, table des signatures de défauts déduite des résultats de la simulation montre bien que dans le cas de défauts séparés, les signatures sont différentes est la localisation est assurée parfaitement.

Dans le cas de deux défauts simultanés, les résultats dans les figures 3.16, 3.17 ,3.18, montrent cette fois ci que tous les résidus sont sensibles aux deux défauts, les signatures sont identiques, alors la table des signatures est non localisante.

Avec trois défauts simultanés figure3.19 la détection est la localisation est évidente, mais ce cas-là peut être confondue avec le cas deux défaut.

	Sans défauts	f1	f2	f3	f 1 f 2	f 1 f 3	f 2 f 3	f1f2f3
<b>r11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>r12</b>	0	0	1	1	1	1	1	1
<b>r13</b>	0	0	1	1	1	1	1	1
<b>r21</b>		1	0	1	1	1	1	1
<b>r22</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>r23</b>	0	1	0	1	1	1	1	1
<b>r31</b>	0	1	1	0	1	1	1	1
<b>r32</b>	0	1	1	0	1	1	1	1
<b>r33</b>	0	0	0	0	0	0	0	0

**Table 3.3 :** Table des signatures avec le banc d'observateur.

### Conclusion

Au début du chapitre on a présenté le schéma proposé pour le découplage des résidus, en adoptant la structure GOS. Egalement on a donné la procédure de synthèse de l'observateur à entrées inconnues.

L'application est portée sur un bioréacteur, processus non linéaire, son modèle linéarisé autour d'un point de fonctionnement a été présenté avec ces paramètres.

On a testé l'observateur a entrée inconnue vis-à-vis la perturbation, sa qualité de découplage entre les résidus et l'entrée inconnue a été approuvée.

En suite après l'ajout des défauts et en présence de la perturbation, le schéma avec un seul observateur a permet la détection des défauts mais il été impossible de faire la localisation.

En adoptant le schéma GOS du banc d'observateur proposé au début du chapitre , les résultats ont montré l'efficacité d'isolation des défauts uniques ou non simultanés , mais dans le cas des défauts simultanés cette structure ne convient pas car la localisation est impossible ,alors le choix du schéma DOS sera mieux

## **Conclusion générale**

La méthode de diagnostic à base d'observateurs est une méthode de redondance analytique, dont le principe repose sur la comparaison entre le comportement du système et celui du système auxiliaire qui est l'observateur d'état. L'efficacité du processus de diagnostic dépend d'un côté de la structure adoptée pour générer les signaux indicateurs de défauts qui sont les résidus, et d'un autre côté de l'observateur, ce dernier doit être modélisé tout en prenant en considération les conditions réelles qui entourent le système et les caractéristiques du système lui-même.

Dans le cadre de ce travail, le choix d'un observateur à entrées inconnues est tout à fait justifié vu sa capacité de découplage entre les perturbations et les défauts, cette faculté de distinction provient des conditions de synthèse de cet observateur où les résidus sont rendus sensibles aux défauts et insensibles à l'entrée inconnue.

La structure GOS de l'algorithme de détection et d'isolation FDI est un schéma fondé sur le principe de découplage entre résidus et défauts, tel que chaque résidu est sensible à certains défauts et insensible à d'autres.

Cette structure a montré son efficacité d'isoler des défauts uniques, néanmoins dans le cas de défauts simultanés la structure DOS aurait été mieux adaptée.

Comme perspectives nous proposons de tester la robustesse du schéma utilisé dans ce mémoire en présence de défauts multiples en combinant les deux structures GOS et DOS ainsi que dans le cas où le modèle du système est incertain et d'effectuer l'étude avec le modèle non linéaire du bioréacteur.

.

## Références bibliographiques

- [1] : S. Tahraoui, «Diagnostic des Systèmes dynamiques à base d'observateurs à entrées inconnues». Thèse doctorat université de Tlemcen, 2015.
- [2] : F. Vanderhaegene, «E- diagnostic».
- [3] : D. cortés, J.Anzures, S.Ramirez, «The fault diagnosis problem: a comparative study based on dedicated observers and unknown inputs observers» IEEE 2014
- [4] :R.Longchamp, « Commande numérique de systèmes dynamiques » cours d'automatique, presses polytechniques et universitaires Romandes. 2006.
- [5] : D. Konenig, «Génération de résidus robustes pour une approche intégrée de diagnostic des systèmes linéaires déterministes ou stochastiques». Thèse doctorat université Henri Poincare Nancy 1, 1998.
- [6]:H. Al-Shatri, A.Arshad, O.Olagoke, and B. Nyakuma, «Unknown input observer design for fault detection and diagnosis in a continuous stirred tank reactor».E3S Web of Conférences 90, 02004(2019)CONCEPT 2018.
- [7] C.Benyoucef, CH. Meradji, «Génération d'algorithmes de diagnostic à l'aide d'observateurs à entrées inconnues». Thèse masteruniversité de Tlemcen2018.
- [8] : H. Oubabas, «Contribution au diagnostic et à la commande tolérante aux défauts par l'approche ensembliste ». Thèse doctorat université de Tizi-Ouzou, 2019.
- [9] :S.Tahraoui, D.Boubekour, F.Benbakhti,A.Gaidi,J.Benmansour, «Détection de défauts actionneurs à l'aide d'observateur à entrées inconnues dans un fauteuil roulant électrique».ELEKTROTEHNIKA ,ELECTRONIKA, AUTOMATICA, 2017, vol.65, no.2.
- [10]: K.Ogata, Modern control engineering fifth edition, 2010.
- [11] :B.Larroque, «Observateurs de systèmes linéaires Application à la détection et localisation de fautes». Thèse doctorat université de Toulouse.
- [12]:S. Nazari, «A review of the unknown input observer with examples ».
- [13] : E. Tarasov, «Estimation des entrées inconnues pour le diagnostic et la commande. Approche bond graph ». Thèse doctorat université de Lille1 2015.
- [14]:V. Kumar,J. Jerome, «Sensor fault detection in DC servo system using unknown input observer with structured residualgeneration».

[15]:J.zarei,J. Poshtan«Sensor fault detection and diagnosis of a process using unknown input observer ». Mathematical and Computational Applications, Vol. 16, No. 1, pp. 31-42, 2011.

في عملنا هذا قمنا بعرض طريقة التشخيص بالكشف والتحديد للأعطال باستعمال نوع من المراقبات وهو المراقب بمدخل غير معروف وذلك لنظام المفاعل البيولوجي. يعتمد هذا المراقب على مبدأ الفصل أو فك الارتباط بين خطأ التقدير وبين الاضطرابات التي كاملة ويمكن استعمال الفوارق بين مخارج النظام المقاسة وهي مداخل غير محددة المصدر. تم استعمال مراقب بدرجة تعتري النظام وبين التقديرات التي يقدمها المراقب في حالة تأثير الاضطرابات ومن دونها، مكن من الكشف عن حالة وجود خلل في أحد المجسات استعمالنا صف من المراقبات حيث يسمح هذا التركيب بالعزل بين الأعطال لكن لم يسمح هذا التركيب من تحديد مصدر الخلل. الكامل في تحديد المختلفة، تم التحقق من ذلك باستحداث أعطال في المجسات في لحظات زمنية مختلفة. بينت نتائج المحاكاة النجاح المجس مصدر الخلل وذلك في حالة وجود خلل في مجس منفردا، لكن في حالة الأعطال المترامنة لم يمكن التركيب من التحديد وهذا متوقع لأن الهيكلة العامة لا تناسب حالة الخلل الواحد.

## Abstract:

In this dissertation, we have presented a sensor fault detection and isolation FDI method, which use the unknown input observer UIO, and we applied it on a CSTR process. The UIO is based on the principle of decoupling between the error estimation from the disturbance. A single full order observer was designed, and a residual generated in both presence and absence of the unknown input allows the detection of sensor faults, but the scheme is not effective for isolation. A bank of observers based on generalized observer scheme GOS provides decoupling between faults. The performance of this scheme was assessed by some sensor faults created in different moments. The simulation results showed in the unique fault case a perfect isolation, although in simultaneous faults case the scheme was not suitable.

## Résumé:

Dans ce travail nous avons présenté la méthode de diagnostic à base d'observateur appliqué à un bioréacteur. L'observateur utilisé est à entrées inconnues, il est fondé essentiellement sur le principe de découplage entre l'erreur d'estimation et la perturbation considérée comme entrée inconnue. La simulation du montage à un seul observateur en absence puis en présence de l'entrée inconnue a montré l'indépendance des résidus vis-à-vis la perturbation, la détection avait été assurée mais la localisation était impossible. Nous avons utilisé un banc d'observateurs adoptant la structure GOS pour assurer le découplage entre les résidus. Les résultats de simulation étaient très satisfaisants dans le cas de défaut unique, cependant dans le cas de défauts simultanés et avec la structure adoptée la localisation n'était possible.