

Chapitre 3 : Génération de résidus

1. Principe de Génération de résidus

Le principe général des algorithmes de diagnostic consiste à confronter les données relevées au cours du fonctionnement réel du système avec la connaissance que l'on a de son fonctionnement nominal (pour la détection) ou de ses fonctionnements défectueux (pour la localisation et l'identification). Toutes ces procédures se composent essentiellement d'un générateur de résidu qui est engendré à partir des grandeurs mesurées issues du modèle des signaux appelés résidus. Ces derniers vont être traités par la procédure de décision pour détecter et isoler l'élément défectueux. Donc la conception d'un système diagnostic dépend principalement de la qualité du modèle utilisé ; cependant, il est important d'utiliser un modèle précis décrivant le comportement du processus physique. Dans un cas général, un système comportant les effets des défauts et des perturbations de type additives est donné par :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + D_x d(t) + F_x f(t) \\ y(t) = Cx(t) + F_y f(t) \end{cases} \quad (1)$$

La représentation du système (1) par matrices fonctions de transfert est donnée par la relation suivante :

$$y(p) = G_u(p) \cdot u(p) + G_f(p) \cdot f(p) + G_d(p) d(p) \quad (2)$$

Avec :

$$G_u(p) = C(pI - A)^{-1}B, \quad G_f(p) = C(pI - A)^{-1}F_x + F_y \text{ et } G_d(p) = C(pI - A)^{-1}D_x$$

Le problème de génération de résidus consiste à construire un dispositif, appelé générateur de résidus, permettant d'élaborer, à partir des grandeurs d'entrées et de sorties mesurées un vecteur d'indicateurs de défauts appelé vecteur de résidus et nommé $r(t) \in \mathcal{R}^q$, tel que :

$$\begin{cases} r(t) \neq 0 & \text{si } f(t) \neq 0 \\ r(t) = 0 & \text{si } f(t) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

La figure suivante donne la structure générale d'un générateur de résidus.

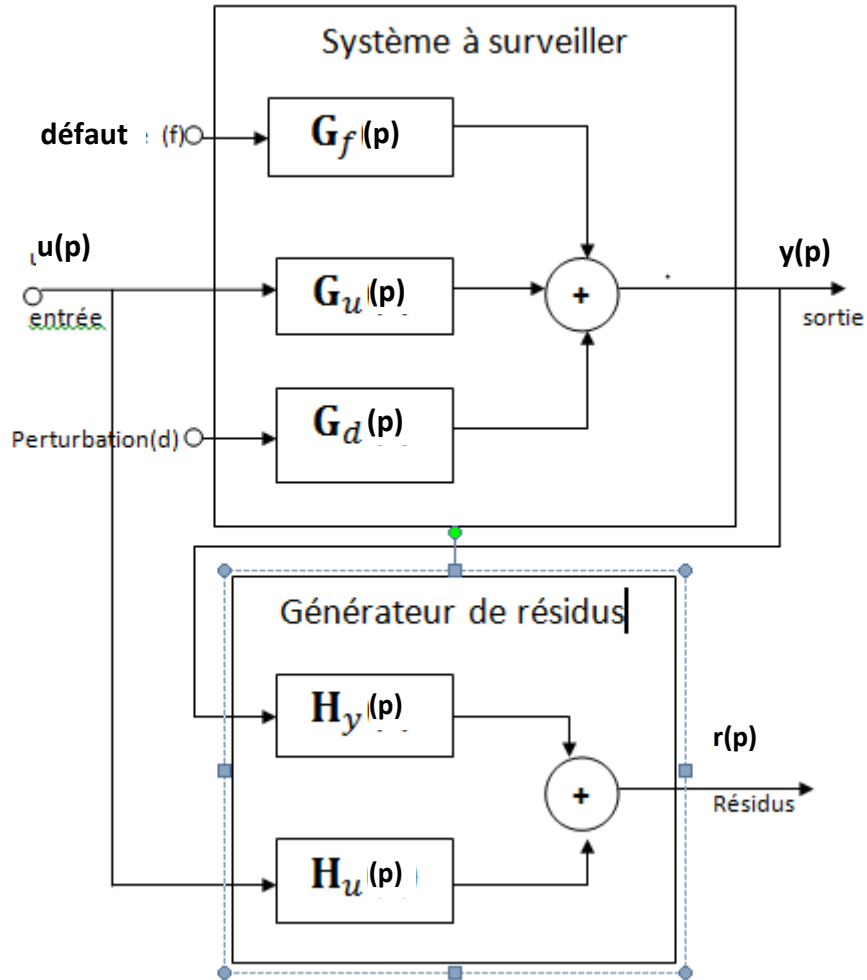


Figure 1 Structure générale d'un générateur de résidus

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

Tant qu'il n'y a pas de défauts

$$r(p) = 0 \quad (4)$$

et dès qu'il y a un défaut on aura un signal généré sur le résidus, tel que :

$$r(p) = H_y(p)y(p) + H_u(p)u(p) \quad (5)$$

Avec: $y(p) = G_u(p)u(p) + G_f(p)f(p) + G_d(p)d(p)$

On remplace $y(p)$ dans (5) on aura :

$$r(p) = H_u(p).u(p) + H_y(p). (G_u(p).u(p) + G_f(p).f(p) + G_d(p).d(p)) \quad (6)$$

H_u et H_y doivent satisfaire les deux relations suivantes :

$$\begin{cases} H_y(p).G_d(p) = 0, & H_y(p).G_f(p) \neq 0 \\ H_y(p).G_u(p) + H_u(p) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Si les deux relations sont vérifiées alors :

$$r(p) = H_y(p).G_f(p).f(p) \quad (8)$$

$$Q(p) = H_y(p).G_f(p) \quad (9)$$

Donc :

$$r(p) = Q(p).f(p) \quad (10)$$

$Q(p)$ est la matrice de transfert entre le vecteur des défauts et le vecteur des résidus, cette matrice de transfert permet de nous renseigner sur la possibilité d'isoler les défauts en nous fournissant une table logique de signatures des défauts.

Remarque : les matrices $H_u(p)$ et $H_y(p)$ doivent être stables et propres.

La synthèse du générateur de résidus consiste en un choix correct des matrices $H_u(p)$ et $H_y(p)$ toute en respectant les conditions données par (7).

2. Détection et localisation des défauts :

L'étape de détection permet de décider si le système est dans un état de fonctionnement normal ou non.

Exemple : on considère un système soumis à 03 défauts f_1 , f_2 et f_3 pour lequel on dispose d'un générateur de résidus à 03 composantes : r_1 , r_2 et r_3 .

Et on considère que la matrice de transfert $H_y(p).G_f(p)$ entre le vecteur des résidus et le vecteur de défauts définie par :

$$r(p) = H_y(p).G_f(p).f(p) = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & 0 & g_{13} \\ 0 & g_{22} & 0 \\ 0 & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Avec g_{11} , g_{13} , g_{22} , g_{32} et g_{33} sont des fonctions de transferts stables et propres.

D'après cette relation si $f(t) = 0$ alors $r(t)=0$ et lorsque un des défauts est non nul alors $r(t)$ est non nul.

En réalité, les grandeurs mesurées sont souvent entachées de bruits, alors le vecteur de résidus $r(t)$ est toujours non nul même en absence de défauts. Dans ce cas, en considérant les différentes sources d'incertitudes comme des entrées de perturbations notées e_p , la relation (11) va se réécrire sous la forme :

$$r(p) = H_y(p) \cdot G_f(p) f(p) + e_p(p) = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & 0 & g_{13} \\ 0 & g_{22} & 0 \\ 0 & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{p1} \\ e_{p2} \\ e_{p3} \end{bmatrix} \quad (12)$$

La relation (12) montre bien que le résidu est non nul en absence de défauts.

La procédure de détection de défauts peut être réalisée en comparant les résidus à un certain seuil de détection S , qui dépend de e_{p1} , e_{p2} et e_{p3} . Ce seuil de détection doit vérifier la relation : $S > |e_{pi}(t)|$ pour $i=1,2,3$. (13)

La détection de défauts se fait alors comme suit :

$$\begin{cases} |r(t)| \leq S, & \text{alors } f(t) = 0 \\ |r(t)| > S, & \text{alors } f(t) \neq 0 \end{cases} \quad (14)$$

Le résultat de comparaison à un seuil est une grandeur booléenne.

On écrira symboliquement que le résidu $r_i(t)=1$ si $|r_i(t)| > S$ et $r_i(t)=0$ si $|r_i(t)| \leq S$.

Lorsque un défaut est détecté, il s'agit de le localiser, cette localisation est réalisée à partir de la table des signatures, définie par la matrice de transfert $H_y(p) G_f(p)$.

La table de signatures de l'exemple précédent s'écrit :

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

Figure 2 : table de signatures

D'après cette table, la signature $[1\ 0\ 0]^T$ est associée au défaut f_1 .

D'une manière générale, la signature d'un défaut correspond à l'une des colonnes de la table de signatures.

C'est ainsi que l'identification de la signature à l'une des colonnes de la table permet de localiser le défaut.

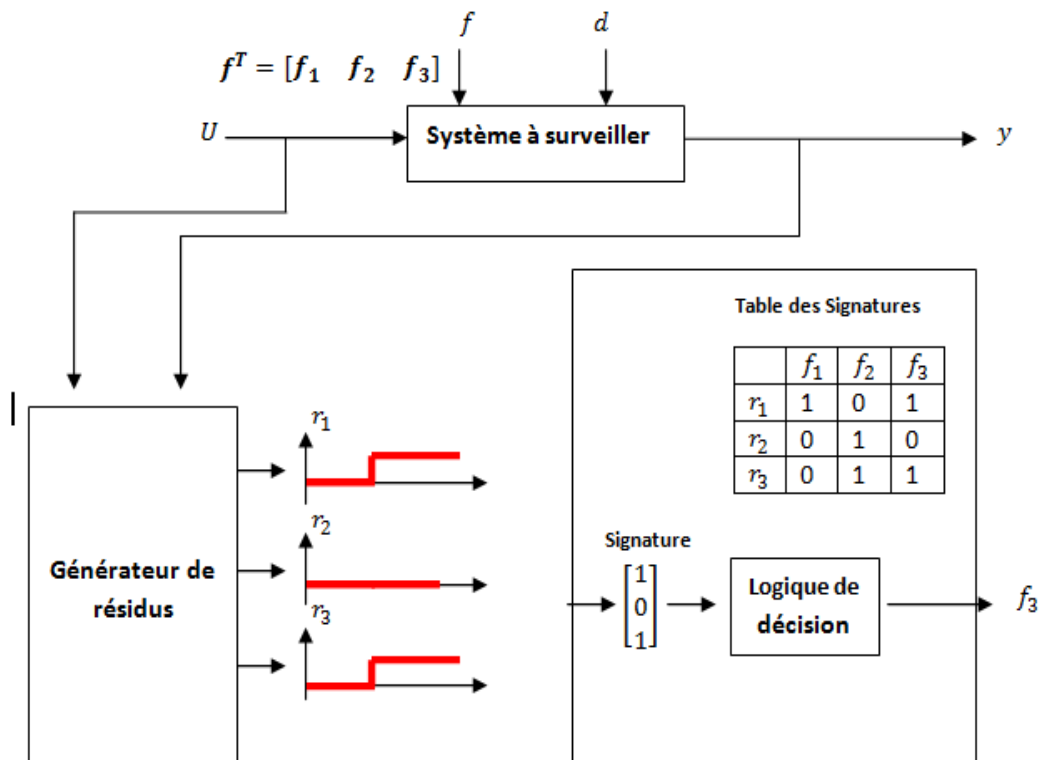


Figure 3 : Détection et localisation de défauts.

La figure 3 résume les étapes du diagnostic, le générateur de résidus permet de générer les signaux résidus sensible aux défauts ce qui nous fournit une signature qui comparée à la table signature permet alors la localisation des défauts.

3. Principe de génération de résidus a base d'observateurs :

Le principe de génération de résidu a base d'observateur consiste a estimer une partie ou l'ensemble des grandeurs mesurables du système a surveiller. Le résidu est calcule alors en faisant la différence, éventuellement filtrée, entre les sorties réelles et celles estimée.

L'observateur revient alors a un modèle parallèle au système avec une contre réaction qui pondère l'écart de sortie. Ce principe est illustre sur la figure suivant :

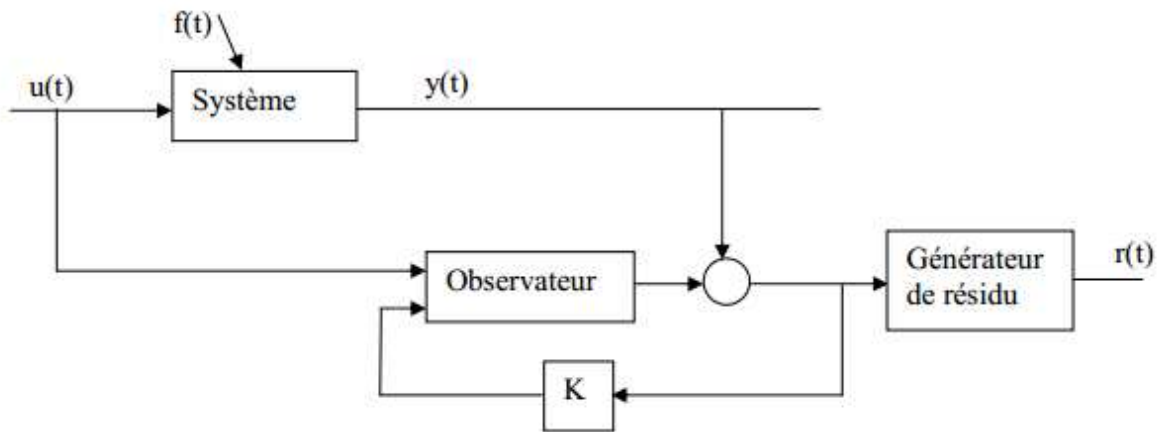


Figure 4 : Schéma de principe du diagnostic des défauts à base d'observateurs.

Cette approche offre des propriétés très intéressantes car elle donne lieu à des résidus très flexibles et la souplesse, dans le choix des paramètres, permet de s'affranchir de certaines entrées inconnues, améliorant ainsi les caractéristiques des résidus telles que leur robustesse vis-à-vis perturbations et leur sensibilité aux défauts.

3.1. Structure des résidus générés à base d'observateur:

Il est important d'obtenir une structure du résidu permettant son évaluation. Les résidus doivent être produits, de manière que pour chaque défaut un ou un ensemble de résidus soient affectés.

Cependant, même si l'apparition de défauts multiples est peu probable, les résidus doivent être capables de situer chacun des défauts arrivant simultanément, en occurrence, il devrait être garanti que le recouvrement des effets résultants de la combinaison des défauts ne mène pas à une décision fautive, par exemple détection manquée d'un défaut ou mauvaise isolation du défaut. Il existe plusieurs manières de définir les résidus structurés afin de parvenir à une évaluation correcte du résidu. Les résidus structurés sont conçus de manière à être chacun affecté par un sous ensemble de défaut et robuste (non affecté) par rapport aux défauts restantes. Ainsi, lorsqu'une défaillance apparaît, seul un sous ensemble de résidus réagit. Le résidu est dit structuré par rapport à un vecteur de défaillances f_1 s'il n'est affecté que par les défaillances f_1 s'il est robuste aux autres. Dans la littérature, on distingue trois structures de génération de résidus à base d'observateur ou chacune est définie par un schéma particulier.

3.1.1. Structure d'observateurs simplifiés (SOS)

Dans cette structure le banc est constitué d'un seul observateur. Il est synthétisé de façon à n'être sensible qu'à un groupe de défauts. Dans le cas où un des défauts auquel il est sensible apparaît alors les estimations seront faussées. Dans le cas contraire, elles seront exactes.

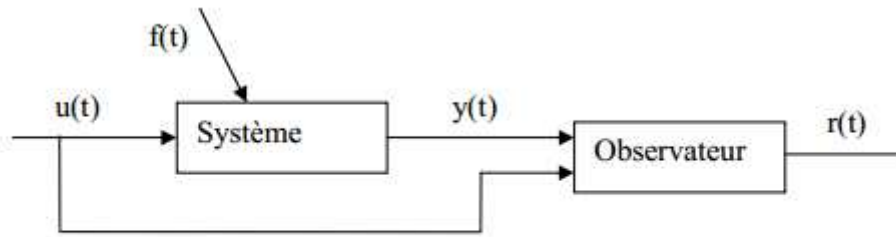


Figure 5 : Structure d'observateur simple.

3.1.2. 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 des 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.

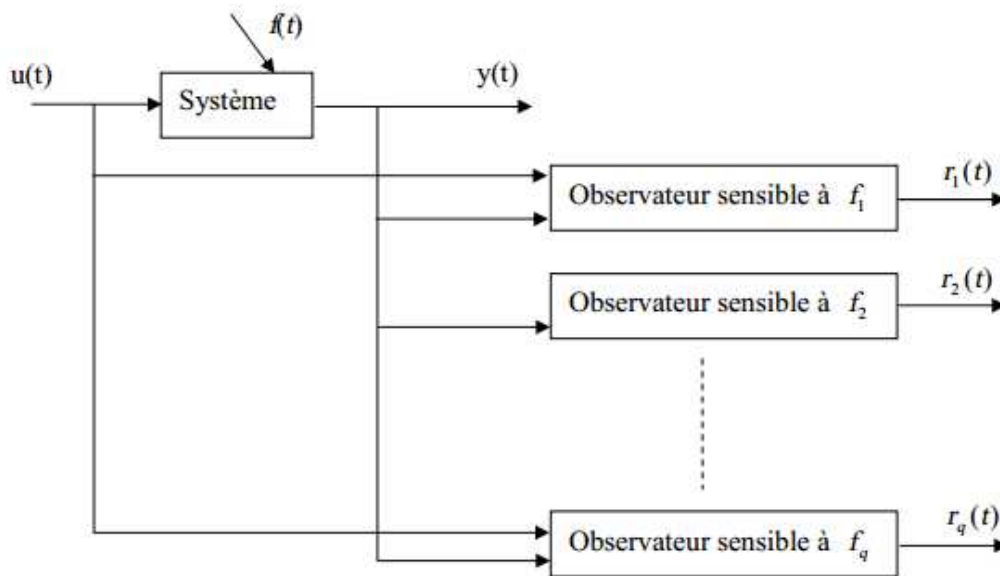


Figure 6 : Structure d'observateurs dédiés.

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.

3.1.3. 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 de cette approche reste dans les interactions entre les sous-systèmes. En effet, si ces interactions sont faibles (voire nulle), un défaut n'affectera que l'estimation de l'observateur local correspondant. Il est alors possible de localiser le composant défaillant. En revanche, si les interactions sont grandes, un défaut d'un des composants se propagera aux observateurs des autres composants.

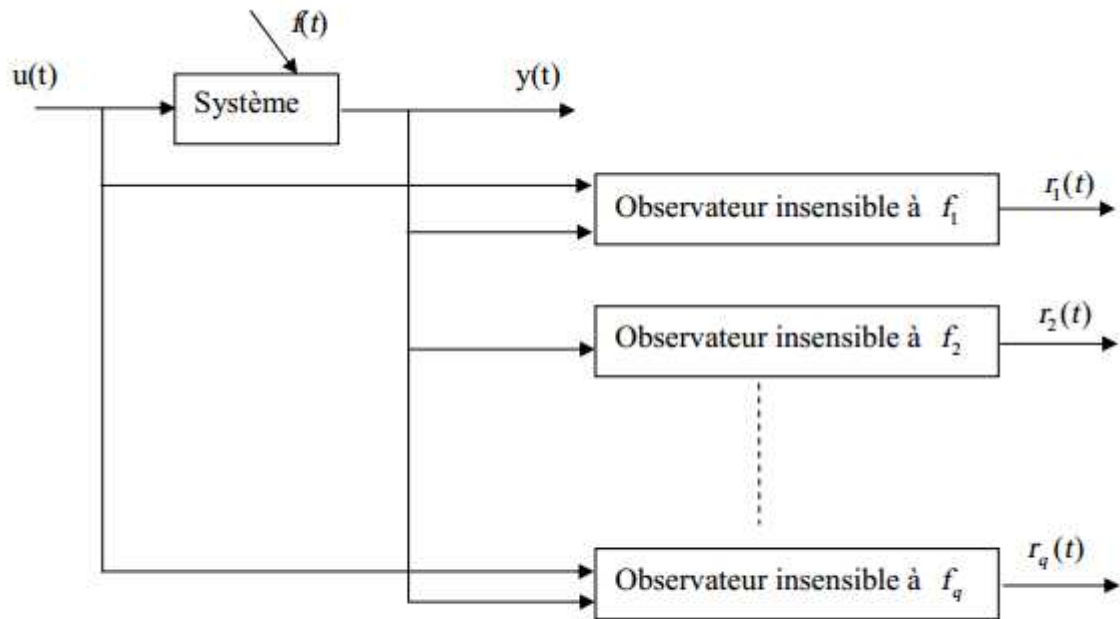


Figure 7 : Structure d'observateurs généralisée