

## Un diagnostic robuste pour la sûreté de fonctionnement

\* Mokrani Ahmed : \*\* Benmhamed Khier

\* Département Electrotechnique ,  
Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur,  
Université A/Mira Bejaia ( Algérie )  
Laboratoire de recherche : L.G.E.Béjaia  
e-mail : [ahmedmokrani@yahoo.fr](mailto:ahmedmokrani@yahoo.fr)

\*\* Département Electronique , Université de Setif

**Tél et Fax** : Université ( Bejaia ) : 034 21 60 98

### ***Résumé.***

L'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données définit la sûreté de fonctionnement ( SDF ).

Au sens large , la SDF est considérée comme la science des défaillances et des pannes. Cette science met l'accent sur la prise en compte des défaillances , de leurs causes, de leurs effets et souligne en parlant de science , l'importance de la connaissance sur les pannes.

Ainsi pour la disponibilité et la sécurité d'un processus, il est nécessaire d'introduire un système de surveillance. Donc, il est important de connaître avec précision certaines grandeurs physiques utilisées dans des chaînes de sécurité ou de régulation. Pour atteindre ces objectifs, l'idée de base consiste à multiplier les sources d'information créant ainsi une redondance analytique. Celle-ci se base sur un modèle mathématique du système pour obtenir des relations entre les variables d'entrées et de sortie. Ces dernières sont appelées «relations de redondance analytique» (RRA).

Cette méthode présentée consiste à générer des relations de redondance fonctionnelle « résidus » et qui seront comparées à des seuils de surveillance , qui sont fonction de la tolérance des grandeurs mesurées issues des processus (capteurs). Ainsi une panne est signalée lorsque le seuil est dépassé et la

recherche de l'élément défectueux ( isolation) devient impératif.

Le choix des seuils de surveillance est d'une importance majeure. La variation aléatoire des bruits de mesure par rapport aux tolérances influe sur la détection et sur l'isolation. Les amplitudes minimales des pannes détectables par le traitement seront présentées.

### ***Mots Clés.***

Tolérance, pannes, seuils de surveillances, détection, isolation, direction de panne, direction de panne.

### 1- Définition de l'espace de mesure.

Soit l'équation de mesure suivante :

$$Y(t) = C.X(t) + e(t)$$

Avec :

$X \in \mathbb{R}^n$  : vecteur des grandeurs physiques à mesurer ;  $Y \in \mathbb{R}^m$  : vecteur de mesure ( $m > n$ ) ;  $[C]$  : la matrice de mesure ( $m.n$ ) ;  $e \in \mathbb{R}^m$  : vecteur des bruits de mesure.

Les colonnes de la matrice  $[C]$ , définissent un sous-espace vectoriel de dimension ( $n$ ) dans l'espace de mesure.

Le sous-espace orthogonal à l'espace engendré par  $[C]$  est appelé espace de parité, il est de dimension ( $m-n$ ).

Soit  $R$  le vecteur de projection de  $Y$  sur l'espace de parité et  $W$  de dimension ( $m-n$ ). $n$  la matrice de projection, alors :

$$R = W.Y = W.e$$

Ainsi, une composante de ce vecteur  $[ R ]$

$$s'exprime par : r_i = \sum_{j=1}^m W_{ij}.Y_j$$

Cette quantité est comparée à un seuil ( $T_i$ ).

Le fonctionnement normal est déclaré

lorsque :  $r_i = \sum_{j=1}^m W_{ij}.Y_j < T_i$  ; sinon le

fonctionnement panne est détecté.

### 2- Particularités de la matrice W

La matrice  $W$  vérifie les conditions suivantes :

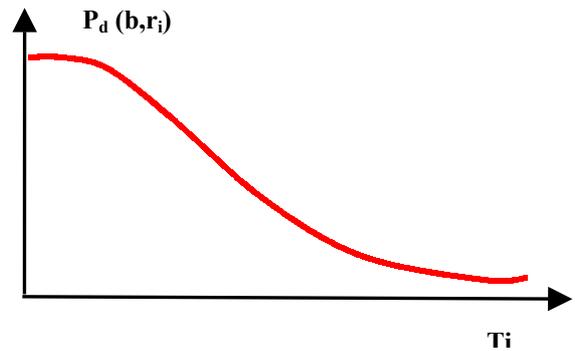
Orthogonalité :  $W.C=0$

normalité :  $W.W^t=I(m-n)$

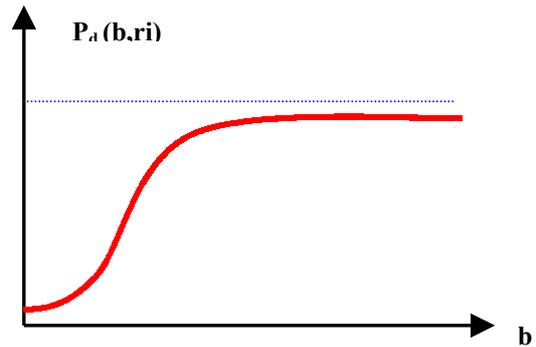
estimation:  $W^t.W=I(m) - C.(C.C^t)^{-1}.C^t$

Les colonnes  $[w_1.....w_m]$  définissent les directions de panne dans l'espace de parité, associées respectivement aux capteurs  $[1.....m]$ .

Les études propabilistiques montrent que probabilité la détection d'une panne d'amplitude «  $b$  » par un résidu ( $r_i$ ) varie en fonction du seuil de surveillance ( $T_i$ ) : figure(1) et fonction aussi de l'amplitude de la panne : figure(2).



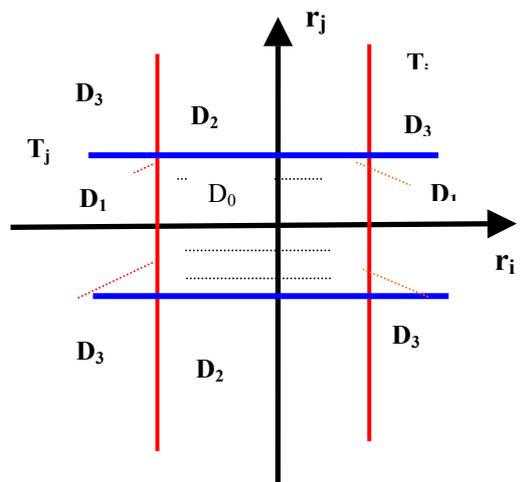
figure(1) :  $P_d(b, r_i) = f(T_i)$



figure(2) :  $P_d(b, r_i) = f(b)$

### 3- Domaines de fonctionnement.

Les domaines de la figure(3) montre l'évolution d'un vecteur des résidus en mode panne qui sont définis par les domaines d'incohérence ( $D_1$ ) pour la relation ( $r_i$ ), par ( $D_2$ ) pour la relation ( $r_j$ ) et ( $D_3$ ) pour les relations ( $r_i, r_j$ ).



Figure(3) . domaines de fonctionnement.

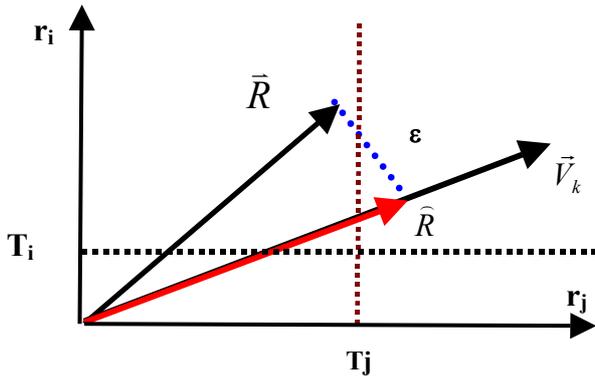
### 4- Estimation des amplitudes des pannes

La minimisation de la distance  $\|\epsilon\|^2$  figure(2), qui représente la distance entre le vecteur des résidus et sa projection sur la direction de panne ( $V_k$ ) permet d'obtenir

l'estimation du biais du défaut ( $b_k$ ) à partir de :

$$\frac{\partial}{\partial b_k} [(R - b_k \cdot V_k)' (R - b_k \cdot V_k)] ; \text{ elle s'exprime}$$

$$\text{par : } \hat{b}_k = \frac{\|\hat{R}\|}{\|V_k\|} \cdot \cos(\vec{V}_k, \vec{R})$$



Figure(4) : influence des résidus estimés sur la décision.

L'utilisation de ces tests entraîne un risque de passage d'une probabilité de non détection de certaines amplitudes de panne par certains résidus où à la détection du mode défaillant.

### 5- Mise en application du problème de la détection .

La présentation et la mise en œuvre du problème de détection est constitué de 'trois' relations de surveillance sur lesquelles des tests sont effectués.

Le seuil de surveillance est choisi comme suit :  $T_j = (|w_{ij} * T_o(j)| / n_j)$ ; avec  $T_o(j)$  est la tolérance , (n) est un entier et (j) le nombre de capteurs.

La matrice de projection est calculée principalement à partir de la matrice de mesure [c], celle-ci est un vecteur contenant 'sept' éléments. Le réseau est entraîné de façon à fournir [w] à sa sortie en lui présentant [c] à son entrée.

Pour la recherche du capteur en panne (isolation), un « 1 » est attribué lorsque la valeur du résidu est supérieure au seuil correspondant, dans le vecteur logique associé aux résidus, sinon un « 0 » lui est associé.

Ainsi on obtient un vecteur logique représentant un nombre binaire sur trois bits qu'il suffit de convertir en un nombre décimal qui représentera le numéro de l'élément présentant un défaut.

De même une estimation des amplitudes des pannes dûes aux capteurs des résidus est effectuée.

L'algorithme se présente comme suit : Les entrées introduites sont : matrice [c] ; vecteur des mesures [e] et le vecteur des tolérances des mesures de chaque capteur ( j notée  $T_o(j)$  ). Elles sont présentées sous forme :

$$\text{données} = ([c], [e], [T_o(j)])$$

Le traitement donne après exécution :

- matrice [w] perpendiculaire au plan de mesure
- les seuils de surveillances  $T_s(i)$  de chaque relation
- les valeurs des résidus
- le vecteur booleen du vecteur des résidus
- vecteur amplitude des pannes
- nature du fonctionnement

## 6- Applications

### 6.1 Influence du choix du seuil sur la détection de l'amplitude minimal pouvant affecter un capteur.

Le but recherché consiste à faire varier le seuil de surveillance et de rechercher à chaque fois la sensibilité de détection de l'amplitude du biais minimal de la panne qui peut affecter un capteur : tableau(1) et tableau(2).

#### Essai 1.

Le choix du seuil est :

$$T_j = (|w_{ij} * T_o(j)| / n_j); \quad (n=1)$$

$$C = [2; 1; 3; 1; 0.5; 1; 1]^t$$

$$y_i = [0.1; 0.2; 0.1; 0.3; 0.1; 0.2; 0]^t$$

$$T_o(i) = [2, 2, 2, 3, 4, 3, 3]^t$$

**Résultats :**

$$W^t = \begin{bmatrix} 0.8764 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9615 & 0 \\ -0.4410 & -0.2616 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5452 \\ -0.3307 & 0 & -1.1886 \\ 0 & -0.0981 & -0.4755 \\ -0.2646 & -0.0785 & -0.4755 \end{bmatrix}$$

le seuil  $T_s(1) = 0.346399$   
 le seuil  $T_s(2) = 0.174092$   
 le seuil  $T_s(3) = 0.364477$

le résidu  $r(1) = 0.010473$   
 le résidu  $r(2) = 0.146518$   
 le résidu  $r(3) = 0.249615$

$$R = [0 \ 0 \ 0]^t$$

le vecteur des amplitudes des pannes est:  
 $[0 \ 0 \ 0]^t$

AFF = aucun capteur n'est en panne

$y_i$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$
$b_{\min(i)}$	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	1	0.1

**Tableau(1)**

Ainsi, il faudrait une amplitude minimal  $b_{\min(i)}$  sur le capteur (i) pour que celle ci soit détectée et isolée par le réseau de traitement. La valeur de cette amplitude minimale représente la différence entre la valeur mesurée et la tolérance associée.

**Essai2**

Le choix du seuil est :  $T_j = (|w_{ij} * T_o(j)| / n_j)$ ;  $n=2$   
 $C = [2; 1; 3; 1; 0.5; 1; 1]^t$   
 $y_i = [0.1; 0.2; 0.1; 0.3; 0.1; 0.2; 0]^t$   
 $T_o(i) = [2, 2, 2, 3, 4, 3, 3]^t$

**Résultats :**

$$W^t = \begin{bmatrix} 0.8764 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9615 & 0 \\ -0.4410 & -0.2616 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5452 \\ -0.3307 & 0 & -1.1886 \\ 0 & -0.0981 & -0.4755 \\ -0.2646 & -0.0785 & -0.4755 \end{bmatrix}$$

le seuil  $T_s(1) = 0.346399$   
 le seuil  $T_s(2) = 0.174092$   
 le seuil  $T_s(3) = 0.364477$

le résidu  $r(1) = 0.010473$   
 le résidu  $r(2) = 0.146518$   
 le résidu  $r(3) = 0.249615$

$$R = [0 \ 0 \ 0]^t$$

le vecteur des amplitudes des pannes est:  
 $[0 \ 0 \ 0]^t$

AFF = aucun capteur n'est en panne

$y_i$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$
$b_{\min(i)}$	0.18	0.1	0.37	0.28	0.15	0.95	0.09

**Tableau(2)**

Ainsi, il faudrait une amplitude minimal  $b_{\min(i)}$  sur le capteur (i) pour que celle ci soit détectée et isolée par le réseau de traitement. On constate que la réduction du seuil de surveillance entraine une diminution au niveau de l'amplitude minimale du biais de la panne pouvant affecter un élément du système.

**6.2 Influence des bruits de mesure sur la détection de l'amplitude minimal pouvant affecter un capteur.**

Le problème consiste à faire varier les bruits de mesure et de calculer les amplitudes minimales des biais des pannes pouvant affecter les capteurs de mesure.

### Essai3.

Le choix du seuil est :  $T_j = (|w_{ij} * T_o(j)| / n_j)$ ; ( $n=2$ )

$$C = [2; 1; 3; 1; 0.5; 1; 1]^t$$

$$y_i = [0.1; 0.1; 0.2; 0.1; 0.2; 0.1; 0.2]^t$$

$$T_o(i) = [2, 2, 2, 3, 4, 3, 3]^t$$

#### Résultats :

$$W^t = \begin{bmatrix} 0.8764 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9615 & 0 \\ -0.4410 & -0.2616 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5452 \\ -0.3307 & 0 & -1.1886 \\ 0 & -0.0981 & -0.4755 \\ -0.2646 & -0.0785 & -0.4755 \end{bmatrix}$$

le seuil  $T_s(1) = 0.346399$

le seuil  $T_s(2) = 0.174092$

le seuil  $T_s(3) = 0.364477$

le résidu  $r(1) = -0.119612$

le résidu  $r(2) = 0.018315$

le résidu  $r(3) = -0.225842$

$$R = [0 \ 0 \ 0]^t$$

le vecteur des amplitudes des pannes est:

$$[0 \ 0 \ 0]$$

AFF = aucun capteur n'est en panne

$y_i$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$
$b_{\min(i)}$	0.4	0.16	-0.02	0.7	-0.03	-0.23	-0.01

Tableau(3)

On constate que la variation aléatoire des bruits de mesure influe d'une manière sensible sur la détection de l'amplitude minimale du biais de la panne pouvant affecter un élément du système. De même des détections précoces causants des fausses alarmes sont signalés pour certains capteurs de mesure. Ainsi le poids des éléments de la matrice  $[w_{ij}]$  influe différemment sur les

capteurs et par conséquent sur le vecteur des résidus.

### 7. Conclusion

Les essais ont montré que les tests sur les mesures évoluent en fonction :

- du choix du seuil de surveillance,
- évolution des bruits par rapport aux valeurs nominales. En fonctionnement panne, l'isolation de l'élément défectueux est fonction de :
- signatures des pannes des capteurs,
- des bruits de mesure qui varient d'une manière aléatoire.
- des amplitudes des biais de panne ( franche où cachée )
- des éléments de la matrice  $[W]$ .

Le résultats des essais ont été concluant mais reste la maîtrise de l'influence des éléments  $[w_{ij}]$  qui agissent avec des poids différents dans le vecteur des résidus.

### Bibliographie

- [1] **Billmann L ; Isermann R.** *Leak Detection Methods for Pipelines.* International Federation of Automatic Control ; Automatica, vol.23, No 3, pp. 381- 385, 1987.
- [2] **Brumback B.D ; Srinath M.** *A Chi-Square test for Fault-Detection in Kalman filters.* IEEE Transactions on Automatic Control, Vol 32, No 6, june 1987.
- [3] **Combastel Christophe.** Méthodes d'aide à la décision pour la détection et la localisation de défauts dans les entraînements électriques. Thèse de doctorat , INPG Grenoble , 27 septembre 2000.
- [4] **Friedland B.** *On the propreties of Reduced-Order Kalman filters.* IEEE Transactions on Automatic Control, Vol 34, No 3, mars 1989 .
- [5] **Hamad M.** Validation des mesures et détection de pannes dans les capteurs . Thèse de Doctorat d'Automatique, Université de Lille Flandres Artois, juin 1986.

- [6] **Hamidj M ; Sidane B.** Méthodologies de surveillance des modes de fonctionnement des systèmes complexes. Mémoire d'ingénieur en Electrotechnique, Béjaïa 2002.
- [7] **Karayiannis N B ; Venet Sanopoulos A** *N.Artificial Neural Networks* . Kluwer academies publishers, Boston 1993.
- [8] **Massoumnia M A ; Verghese B ; Willsky A S.** *Failure Detection and Identification* .IEEE Transactions on Automatic Control, Vol 34 , No 3, mars 1989.
- [9] **Mokrani A.** Conduite des processus : validation des mesures par l'approche neuronale dans le diagnostic des systèmes complexes . Symposium International , Qualité et Maintenance au service de l'entreprise Qualima'01 , Université de Tlemcen , 21-22 Novembre 2004
- [10] **Mokrani A ; Benmahamed K.** Diagnostic des pannes dans l'espace de parité : Internationale conférence on control, Modelling and Diagnostic ICCMD06, 22-24 mai 2006, Université de Annaba
- [11] **Mokrani A. ; Benmahamed K.** Diagnostic des défaillances dans les systèmes industriels. Congrès Algérien de mécanique de construction CAMC2007 ; 29-30 Avril 2007 Université sciences et techniques Houari Boumédiène Alger.
- [12] Taib N. Traitement des mesures issues des capteurs pour la validation. Mémoire d'Ingénieur en Electrotechnique, Béjaïa 2001.
- [13] **A.villeumeur.** sûreté de fonctionnement des systèmes industriels , Fiabilité facteurs humains information, collection de la direction des études et recherche d'électricité de France, Edition Eyrolles, 1988