

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE KASDI MERBAH Ouargla

Faculté des Nouvelles Technologies de L'Information et de la Communication

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET TELECOMMUNICATIONS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique

Par : **Aoufi Belkacem et Toumi Riadh**

Thème

**Contribution à l'étude de supervision industrielle par
l'approche structurelle. Application sous un environnement
SCADA**

Soutenu publiquement le 25 /05/2017

Devant le jury composé de :

M.	Hamza Azzedine	MAA	Président	UKM Ouargla
M.	Boulakroune M'hamed	Pr.	Rapporteur	UKM Ouargla
Mme	KARA Fouzia	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2016/2017

The page is framed by a decorative border of black floral and scrollwork patterns. The top border features a series of small, repeating floral motifs. The left border is a vertical strip of larger, more intricate scrollwork. The bottom border consists of several larger floral motifs, and the right border is a vertical strip of smaller floral motifs.

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH, le tout puissant, de nous avoir aidé et donné le courage et la volonté de recherche pour réaliser ce travail.

*Nous tenons à remercier **Mr. M'hamad BOULAKROUNE**, professeur et chercheur à l'université de Ouargla qui nous a, joyeusement, accueilli et a accepté d'encadrer notre travail de préparation de ce mémoire de Master, pour son suivi, sa patience, sa disponibilité et ses nombreux conseils.*

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à **Mr. ABDELGHANI Djeddi**, Docteur et chercheur à l'université d'Ouargla qui nous a beaucoup aidé par ses orientations et son partage des connaissances dont il nous a toujours fait profiter, pour sa disponibilité et sa gentillesse.*

*Nous tenons également à saluer l'ensemble des professeurs de la classe 2^e année Master, option Automatique, **Mr. Z. TIDJANI, Mr. B. LAKHAL, Mr. AZZEDDINE, Mme. F. KARA, et Mr TELLI.***

Nous restons reconnaissants pour le partage des connaissances dont ils nous ont toujours fait profiter. Nous remercions également les étudiants de la promotion de cette classe avec lesquels nous avons vécu une année d'étude dans les meilleures conditions possibles d'amitiés de prospérité et de respect mutuel.

*Nous remercions sincèrement, notre cher amis **Salim BELGHIT** qui nous a beaucoup aidé et nous a toujours encouragé pour faire avancer ce travail.*

Ouargla, 17 Mai 2017

- AOUI Belkacem

- TOUMI Riadh

Table des Matières

Table des Matières	i
Liste des Figures	iii
Liste de Tableaux	v
Introduction générale	01

Chapitre 01 : Généralités sur la supervision industrielle

1. Introduction	04
2. Structure générale d'un système automatique industriel	04
3. Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels	06
4. Quelques utiles	07
5. Architecture de la supervision	08
6. Techniques de la supervision	09
6.1. Acquisition de données	09
6.2 Surveillance	09
7. Détection	11
8. Diagnostic	12
8.1. Classification des défauts et leur influence	12
8.2. Localisation	13
8.3. Identification	13
9. Aide à la décision	13
10. Maintenance	14
10.1. Maintenance préventive	15
10.2. Maintenance préventive systématique	15
10.3. Maintenance préventive conditionnelle	15
10.4. Maintenance préventive prévisionnelle	16
10.5. Maintenance corrective	16
11. Supervision dans un environnement SCADA	16
11.1. Définition du SCADA	17
11.2. Architecture du SCADA	17
11.3. Avantage du SCADA	18
11.4. Interfaces graphiques du SCADA	18
11.5. Fonctionnalité temps réel	19
12. Conclusion	20

Chapitre 02 : Méthodes de surveillance

1. Introduction	22
2. Classification des méthodes de surveillance	22
2.1. Méthodes de surveillance avec modèle	23

3. Approche Structurelle	30
3.1 Description de la méthode	30
3.2. Structure du modèle	31
3.3. Caractérisation des sous-systèmes	37
3.4. Génération des résidus	38
4. Placement de capteurs par la méthode basée sur la décomposition	40
Dulmage- Mendelshon	
4.1. Placement de capteurs : étude de la détectabilité	40
4.2. Placement de capteurs : étude de l'isolabilité	42
5. Conclusion	46
Chapitre 03 : Surveillance dans un environnement SCADA	
1. Introduction	48
2. Application sur un système de control de niveau	48
2.1. Model analytique	49
2.2. Graphe structurel	49
3. Simulation	50
3.1. Sans défaut	50
3.2. Avec défaut	50
4. Implémentation dans un environnement SCADA	51
4.1. Génération des RRA d'un système à trois réservoirs avec la méthode	51
d'analyse structurelle	
4.2. Description du système	51
4.3. Génération de relations de redondance analytique	52
4.4. Représentation structurelle du système	52
5. Implémentation des RRA sur le logiciel InduSoft	55
6. Conclusion	61
Conclusion générale	
	64
Références bibliographiques	67
Annexe	71


Liste des Figures

Figure 1.1.	: Structure générale d'un système automatique industriel	05
Figure 1.2.	: Schéma général des défauts actionneurs, capteurs et composants	05
Figure 1.3.	: Système élémentaire associé à ses actionneurs et son instrumentation	06
Figure 1.4.	: Poste de pilotage d'une supervision (salle de contrôle)	08
Figure 1.5.	: Architecture générale d'un système de supervision en ligne	09
Figure 1.6.	: Différents type de surveillance	10
Figure 1.7.	: Détection par comparaison d'un résidu à un seuil	12
Figure 1.8.	: Représentation additive et multiplicative des défauts	13
Figure 1.9.	: Différents type de maintenance	15
Figure 1.10.	: Architecture de la supervision dans un environnement SCADA	17
Figure 1.11.	: Interface graphique de supervision d'un procédé de traitement thermique et de conditionnement des produits alimentaire (Stock America)	19
Figure 2.1.	: Classification des méthodes de surveillance	23
Figure 2.2.	: Redondance matérielle double	24
Figure 2.3.	: Redondance matérielle triple	25
Figure 2.4.	: Représentation de la chaîne alternée	28
Figure 2.5.	: Schéma de principe d'un générateur de résidus à base d'un observateur	29
Figure 2.6.	: Schéma de principe de génération des résidus par estimation paramétrique	30
Figure 2.7.	: Exemple de contrainte	32
Figure 2.8.	: Exemple d'une représentation du système	33
Figure 2.9.	Contrainte causale sur un couplage	39
Figure 2.10.	Couplage possible et impossible	39
Figure 2.11.	: Diagramme de Hasse du système 2.19	42
Figure 2.12.	: Diagramme de Hasse de l'ordre partiel du système 2.19	43
Figure 3.1.	: Système de contrôle de niveau	48
Figure 3.2.	Courbe du Résidu sans fuite	50

Figure 3.3.	Courbe du Résidu avec fuite	50
Figure 3.4.	Système à trois réservoirs	51
Figure 3.5.a	Première RRA sans défaut	54
Figure 3.5.b	Deuxième RRA sans défaut	54
Figure 3.5.c	Troisième RRA sans défaut	54
Figure 3.6.a	Première RRA avec défaut	55
Figure 3.6.b	Deuxième RRA avec défaut	55
Figure 3.6.c	Troisième RRA avec défaut	55
Figure 3.7.	: Interface graphique de l'application de supervision du système à trois réservoirs	57
Figure 3.8.	: Détection d'un défaut sur le capteur C1	58
Figure 3.9.	: Détection d'un défaut sur le capteur C2	58
Figure 3.10.	: Détection d'un défaut sur le capteur C3	59
Figure 3.11.	: Détection d'un défaut sur le premier réservoir	60
Figure 3.12.	: Détection d'un défaut sur le deuxième réservoir	60
Figure 3.13.	: Détection d'un défaut sur le troisième réservoir	61
Figure 3.14.	: Détection de trois défauts sur les trois réservoirs	61

Liste des Tableaux

Tableau 2.1.	: Représentation structurelle du système de l'exemple de la figure 2.8.	33
Tableau 2.2.	: Représentation structurelle étendue du système de l'exemple de la figure 2.8.	34
Tableau 2.3.	: Représentation structurelle généralisée du système de l'exemple de la figure 2.8.	35
Tableau 2.4.	: Redondance matérielles double	36
Tableau 2.5.	: Relation contraintes variables ou matrice d'adjacence	41
Tableau 2.6.	: DM décomposition de la matrice d'adjacence associée au système 2.19	41
Tableau 2.7.	: DM décomposition de la matrice d'adjacence associée au système 2.19 entaché de deux fautes capteurs	45
Tableau 3.1.	: Graphe structurel	48
Tableau 3.4.	: Représentation structurelle du système de la figure 3.4.	53



INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

L'évolution technologique rapide de nos jours contribue à l'amélioration de la qualité et de la production, mais induit aussi, une complexité flagrante dans les systèmes industriels. Ceci contribue également à l'augmentation des risques de pannes qui peuvent survenir sur le fonctionnement de l'installation, et à la diminution de la sécurité du personnel et de l'environnement, sachant que la sûreté de fonctionnement d'une installation est directement liée aux enjeux économiques, en d'autres termes à la survie de l'installation, ce qui fait, qu'un simple défaut sur le fonctionnement du système n'est pas toléré. Pour arriver à prévoir le moindre défaut ou panne qui risquerai de provoquer un arrêt du système, une bonne maîtrise des techniques de surveillance et de supervision est requise.

La maîtrise de ces techniques de surveillance et de supervision passe par une opération de diagnostic qui est donc indispensable pour la sûreté de fonctionnement et la disponibilité des systèmes [08]. Les deux fonctions importantes d'un système de diagnostic sont la détection et la localisation des anomalies [08].

S'appuyant sur des outils déjà existants en automatique, la recherche dans le domaine du diagnostic a connu une évolution importante et a donné naissance à plusieurs méthodes permettant de résoudre les problèmes de détection et d'isolation de défauts [21]. Ces méthodes peuvent être classées en deux approches, la première utilise un modèle mathématique du système et la seconde ne l'utilise pas.



L'analyse structurelle est un outil puissant qui permet de déterminer de nombreuses propriétés du système considéré. Ces propriétés sont obtenues à partir de la seule connaissance de l'existence de liens (contraintes) entre variables sans que les valeurs des paramètres soient nécessairement connues. Ce prétraitement, qui peut être entièrement automatisé de manière efficace même pour les très grands systèmes, permet par exemple de connaître les conditions structurelles d'observabilité ou de commandabilité [21], les possibilités de détection et de localisation des défaillances [20] ou d'étudier la reconfigurabilité du système en cas de perte de composants [08]. Cette analyse est effectuée lors de la phase de conception et permet de déterminer le nombre et la place des capteurs à implanter afin de respecter le cahier des charges de surveillance. Pour toutes les propriétés structurelles étudiées, les conditions obtenues sont nécessaires mais en général non suffisantes car elles sont indépendantes de la valeur réelle des paramètres. [21].

Plus de l'introduction et la conclusion générales, ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre on donnera un aperçu sur l'état de l'art de la supervision et de sa nécessité dans les systèmes industriels et aussi on introduit quelques définitions utiles dans le domaine de la supervision.

Le deuxième chapitre présente les méthodes de surveillance des systèmes industriels, une étude particulière est consacrée à l'approche structurelle avec quelques aspects fondamentaux de la supervision dans un environnement SCADA.

Au troisième chapitre on présentera l'étude de la supervision sous un environnement SCADA avec une application par le logiciel « INDUSOFT » sur un système à trois réservoirs interconnectés, où on utilise les algorithmes de génération des résidus afin de diagnostiquer les défauts via ce logiciel.



Chapitre 01 :
Généralités sur la supervision
industrielle

1. Introduction

Le sujet d'études de la supervision industrielle touche plusieurs aspects, entre autres : la continuité de fonctionnement de l'installation industrielle dans les conditions de performance et de qualité requises, et la surveillance pour assurer une meilleure sûreté de fonctionnement de cette installation. La gestion de la maintenance d'une manière optimale fait partie de ce sujet du fait que le système de supervision prend en charge la mission de diagnostic des défauts dans un stade plus avancé que l'apparitions des défaillances partielles ou totales du procédé à superviser.

Autrement dit, la supervision est solution complète de gestion de l'installation industrielle, mais l'intégration de plusieurs fonctions dans un système améliore non seulement la productivité et la qualité mais contribue aussi à le rendre complexe et augmente les risques des pannes sur les équipements et menace la sécurité des personnes et de l'environnement.

Dans ce chapitre on présentera un aperçu général sur la supervision et de sa nécessité dans les systèmes industriels et aussi on introduit quelques définitions utiles dans ce domaine, puis on donnera quelques aspects fondamentaux de la supervision dans un environnement SCADA.

2. Structure générale d'un système automatique industriel

Tout système industriel peut être divisé en plusieurs sous système interconnectés les uns aux autres, chaque sous système contient plusieurs actionneurs et plusieurs capteurs qui, à chaque instant envoi des informations sur l'état du système [01], la figure 1.1. représente un système industriel avec tout ses composants.

Les systèmes industriels sont constitués de quatre parties principales :

1. Un ensemble de sous systèmes destiné à l'accomplissement d'une fonction globale.
2. Un ensemble de système d'actionnements constitué d'une interface de puissance (distributeur, variateur de vitesse, etc.) et de l'actionneur proprement dit (moteur, vérins, résistance, etc.).

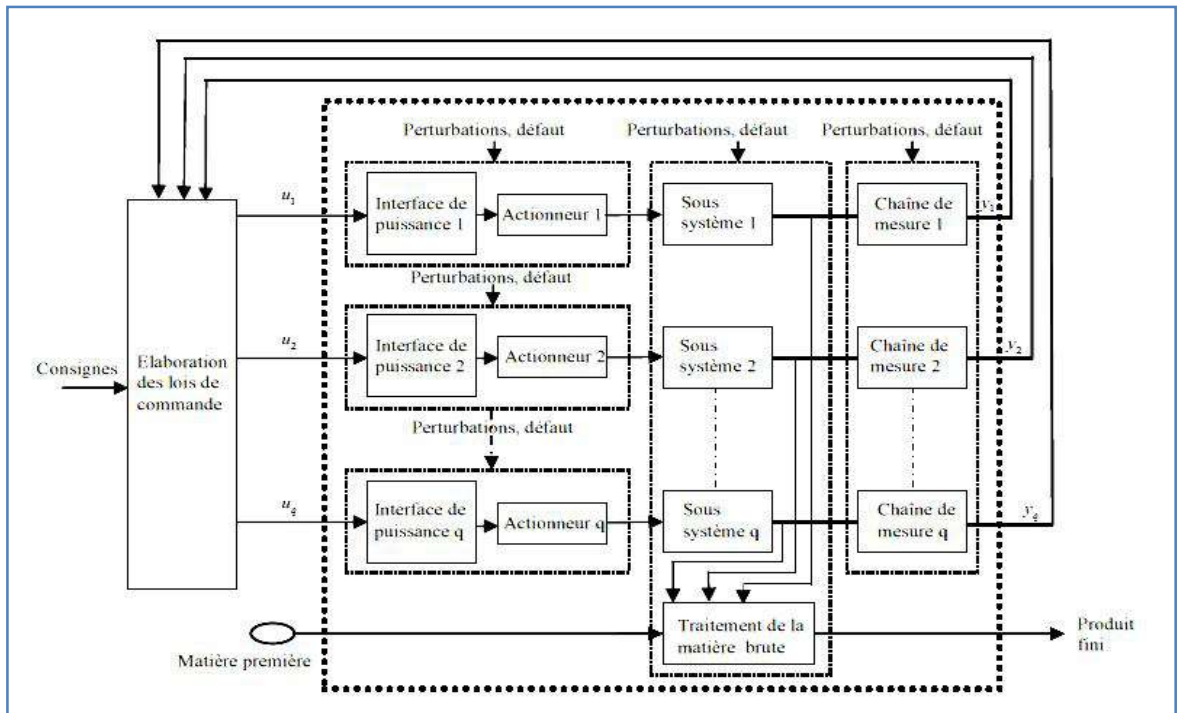


Fig. 1.1. Structure générale d'un système automatique industriel

3. Une instrumentation composée d'un ensemble de chaîne de mesures incluant les capteurs. Cette chaîne assure en particulier le filtrage et la mise en forme des signaux issus des capteurs.

4. Un système permettant l'élaboration des lois de commande en fonction des consignes de production et des mesures réalisées sur l'ensemble des processus élémentaires.

Chaque sous système du système global : capteurs, actionneurs sont susceptibles de subir des défauts et sont soumis à des perturbations diverses supposées non mesurables, appelées aussi entrées inconnues] [21].

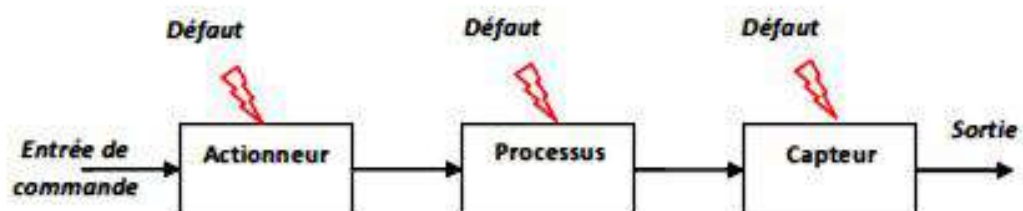


Fig 1.2 : Schéma général des défauts actionneurs, capteurs et composants

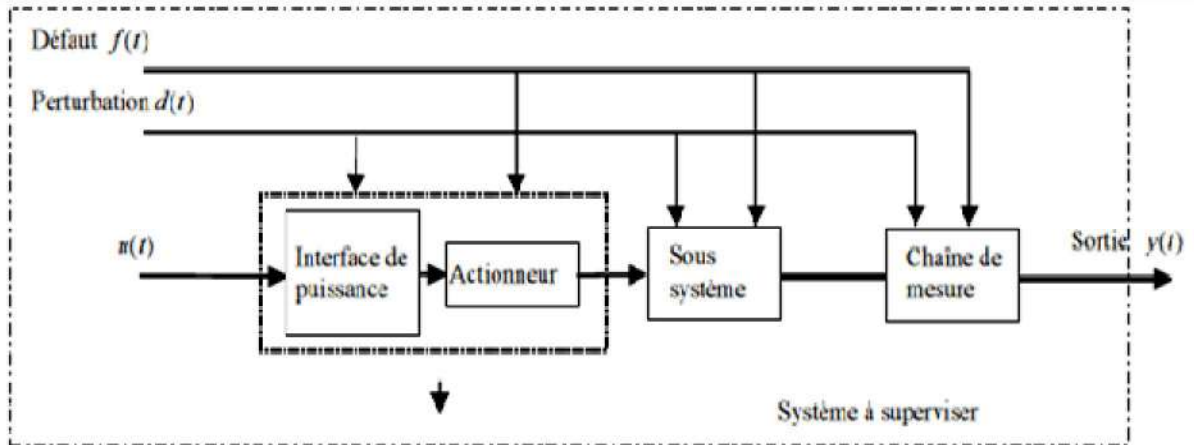


Fig. 1.3. Système élémentaire associé à ses actionneurs et son instrumentation

La figure 1.3. représente un sous système avec tous ses composants ; interface de puissance, actionneurs etc. C'est cette ensemble qui sera considéré par la suite comme le système à superviser.

3. Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels

Le maintien de marche du système industriel dans les condition de sécurité et de fiabilité requises est l'objectif du domaine de sûreté de fonctionnement. Le risque industriel concerne certains installations industrielles tels que des installations de production de matières premières possédant des dangers intrinsèques (inflammabilité, toxique, explosif) qui utilisent en entrée ces produits chimiques afin d'en produire d'autres, des sites de transformation de ces matières, qui utilisent ces produits en entrée mais qui les transforment en produits non dangereux, directement ou indirectement utilisables, des sites de stockage de produits possédant des dangers intrinsèques, des sites de distribution, comme les unités de livraison pour les produits pétroliers par exemple [02].

Les sources de danger ne se situent pas uniquement dans les industries chimiques et pétrolières mais concernent aussi d'autres types d'industries : par exemple, dans certaines conditions, les silos de stockage de céréales peuvent présenter un risque d'explosion par inflammation des poussières dans l'air du silo.

D'une manière générale les risques menaçant la sureté de fonctionnement des systèmes industriels peuvent être regroupes en trois catégories :

1. Risque de disputation ou de propagation des matière toxique ou nocive à la santé, dû à la propagation dans l'air, l'eau ou le sol.

2. Risque d'incendie dû à la perte de confinement de produits inflammables (Méthane, essence...etc). La formation d'un mélange inflammable avec l'air en présence d'une source d'ignition peut conduire à des conséquences extrêmement graves pour l'installation industrielle et pour la population avoisinante.

3. Risque d'explosion dû à la perte de confinement des produits explosifs dans l'état gazeux et la formation d'un mélange explosif avec l'air, une source d'ignition négligeable peut conduire à des surpressions atmosphériques létales pour les personnes et destructives pour les installations et les immeubles.

En règle générale et en marche normale les produits dangereux sont contenus dans des réservoirs ou dans des appareils de fabrication parfaitement étanches. Mais si une défaillance matérielle et/ou humaine survient, le produit dangereux peut s'échapper de son enceinte et se répandre dans l'atmosphère, créant un nuage toxique, un incendie ou une explosion.

Cependant, pour qu'un accident devienne « majeur » et déborde des limites de l'usine ou du lieu où il est initié, il faut que plusieurs causes s'enchaînent, chacune d'entre elles ayant sa propre probabilité d'apparition. Il suffit qu'un seul maillon vienne à manquer dans la chaîne des défaillances pour que le pire soit évité.

Pourtant, aussi peu probables soient-elles, les conséquences d'un accident majeur sont trop graves pour que sa rareté dispense de s'en prévenir.

4. Quelques définitions utiles

Erreur : Une erreur est définie comme l'écart entre une valeur mesurée ou estimée d'une variable et la vraie valeur spécifiée par le modèle d'un capteur jugé théoriquement correcte [03].

Dégradation : Une dégradation est l'état d'un composant présentant une perte de performances dans une ou plusieurs de ses fonctions pour lesquelles est conçu.

Défaut: Un défaut est un écart entre un comportement attendu et un comportement observé. Cet écart est constaté grâce à un indicateur de défaut. Un défaut peut être invisible pendant un certain temps avant de donner lieu à une défaillance.

Défaillance: Une défaillance est une modification indésirable du système se traduisant par une variation d'un ou de plusieurs paramètres par rapport à une valeur de référence. Les défaillances peuvent provenir des actionneurs, des capteurs, des contrôleurs ou du processus lui-même.

Résidu: Un résidu ou indicateur de fautes exprime l'incohérence entre les informations disponibles et les informations théoriques fournies par un modèle.

Panne: Une panne est une interruption permanente de la capacité du système à réaliser sa fonction requise.

Contraintes: Les contraintes sont les limitations imposées par la nature (lois physiques) ou l'opérateur.

Supervision: La supervision consiste à conduire une installation industrielle aux moyens d'écrans de supervision placés aux postes de pilotage, rafraîchis à chaque instant par les informations provenant des automatismes et des capteurs intelligents.

La figure 1.4. représente le poste de pilotage d'une supervision :



Fig. 1.4. Poste de pilotage d'une supervision (salle de contrôle)

5. Architecture de la supervision

La supervision est d'un niveau supérieur et qui superpose la boucle de commande, elle assure les conditions d'opérations pour lesquelles les algorithmes d'estimation et de commande ont été conçus. Parmi les tâches principales de la supervision se trouve la surveillance, l'aide à la décision, le diagnostic et la détection [04].

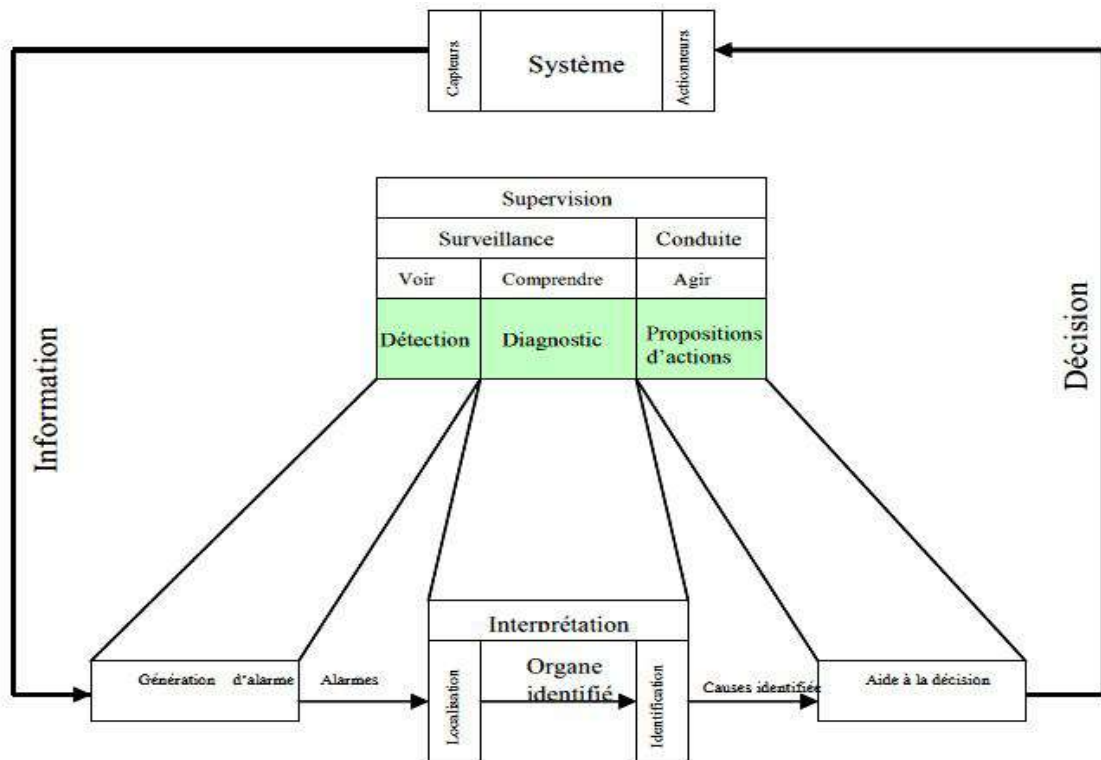


Fig. 1.5. Architecture générale d'un système de supervision en ligne

6. Techniques de la supervision

Le design d'un système de supervision nécessite la maîtrise des techniques suivantes [21].

6.1. Acquisition de données

L'acquisition de données est la première étape de la supervision, telle qu'elle consiste à recueillir, à valider et à assurer l'acheminement des informations sur l'état du système jusqu'au poste de pilotage, cette tâche, est exécutée sans interruption et à chaque instant, ces opérations impliquent l'utilisation des capteurs permettant de mesurer les différentes variables du processus. Ces informations seront utilisées dans des relations de résidus pour accomplir l'étape de détection [01].

6.2. Surveillance

La surveillance utilise les données provenant du système pour représenter l'état de fonctionnement puis détecter les évolutions. La surveillance intervient en phase d'exploitation bien qu'elle soit prise en compte dès la phase de conception [05].

Elle sert à filtrer les signaux et les événements issus du procédé et de la commande afin d'établir l'état du système. En fonctionnement normal, elle communique des comptes rendus

filtrés à la commande. Elle permet également de détecter et diagnostiquer les fautes et les erreurs dans le système. En cas de dysfonctionnement, elle informe le module de maintenance et le module de supervision [06].

On distingue, deux types de surveillance: la surveillance du système opérant et la surveillance de la commande. La surveillance du système opérant se décompose elle-même en deux types de surveillance : la surveillance curative et la surveillance prédictive.

6.2.1. Surveillance de la commande

Basée sur la notion de filtre de commande [11], elle permet de vérifier que les ordres émis sont conformes à l'état de la partie opérative. Le concept d'Objet Commandable Élémentaire (OCE) a été développé pour la conception de ces filtres de commande.

6.2.2 Surveillance du système opérant

Elle a en charge la surveillance des défaillances du procédé qui, dans le cadre de la sûreté de fonctionnement, sont classées en deux catégories : les défaillances cataleptiques et les défaillances progressives :

- Les défaillances cataleptiques : Ce sont des défaillances soudaines et complètes. Il y a passage, sans transitoire, d'un état de fonctionnement normal à un état de panne.
- Les défaillances progressives : Ce sont des défaillances partielles et graduelles.

La figure 1.6. présente les différents types de surveillance.

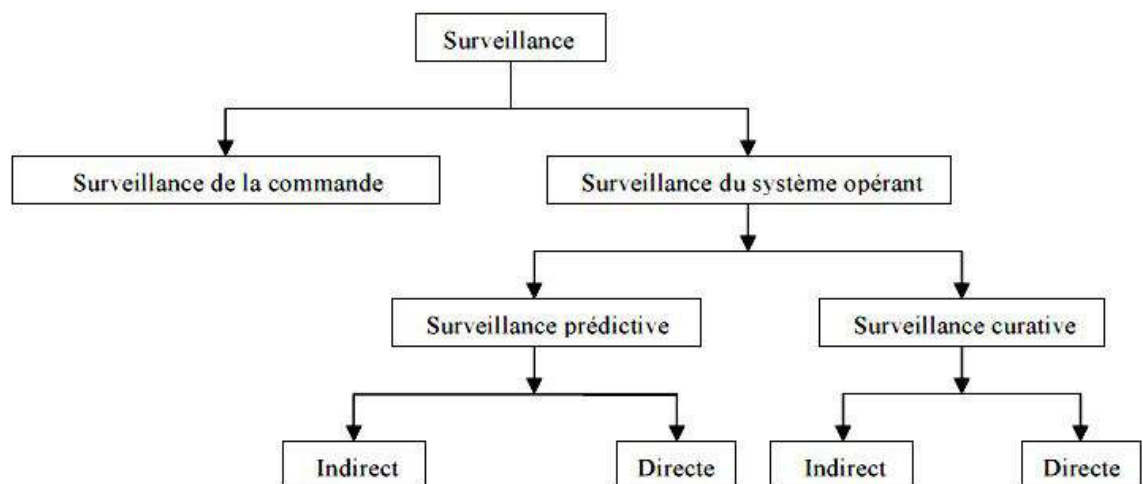


Fig. 1.6. Différents type de surveillance

Surveillance prédictive :

La surveillance prédictive peut être directe ou indirecte, le principe de la surveillance prédictive directe est fondé sur l'analyse des signaux, l'analyse des données et sur l'étude des processus stochastiques pour connaître l'état réel de l'élément et évaluer sa durée de vie restante.

La surveillance prédictive indirecte prend en compte tous les types de matériels ayant des défaillances se manifestant par une baisse de la qualité ou de la quantité des produits fabriqués. Elle utilise des paramètres tels que le flux de production ou la qualité des produits [07].

Surveillance curative :

Elle comporte deux fonctions : la détection et le diagnostic. La détection est fortement dépendante de la contrainte temps réel. Son rôle est d'analyser le comportement de la partie opérative pour générer des symptômes en cas de dysfonctionnement.

Le diagnostic est basé sur un mécanisme constitué de deux étapes : la première étape consiste en une localisation du sous-système fonctionnel défaillant, à partir de symptômes signalés par la détection. Elle est réalisée par une interprétation des symptômes au fur et à mesure de leurs occurrences. Cette étape utilise un modèle de connaissance obtenu à partir d'une analyse fonctionnelle du système à surveiller. Ce modèle est traduit sous forme de Signatures Temporelles Causales (STC) [08].

La deuxième étape permet l'identification des causes premières des défaillances ainsi que l'analyse de leurs conséquences. Elle est basée sur le graphe fonctionnel qui modélise les relations causales liant les fonctions internes du système à ses fonctions principales [06], [07].

7. Détection

Cette étape est très importante car elle doit permettre de décider si le système se trouve ou non dans un état de fonctionnement normal en comparant les valeurs des résidus à des seuils qui sont fixés auparavant. En pratique, le signal mesuré est souvent entaché de bruit, et le modèle du système est souvent imparfait car le système réel est soumis à des perturbations non nécessairement mesurables, ce qui rend le résidu non nul même en l'absence de défauts, Par conséquent, cette étape fait le plus souvent appel aux tests statistiques ou, de manière plus

simple, est réalisée à l'aide d'un seuillage, Le schéma suivant représente la comparaison d'un résidu à un seuil [01]:

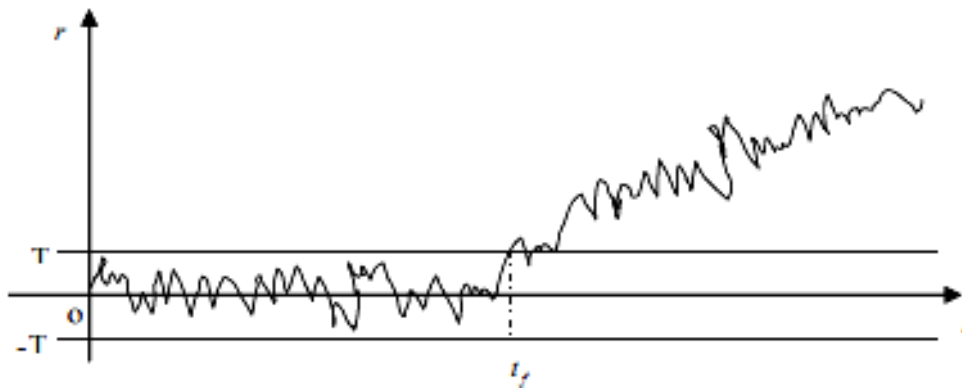


Fig. 1.7. Détection par comparaison d'un résidu à un seuil

On remarque que pour $t < t_f$, le résidu est compris entre les deux valeurs de seuil $[-T \ T]$, ce qui signifie qu'il n'y a pas de défaut sur le système, cependant pour $t > t_f$ le résidu dépasse le seuil, ce qui se traduit par une présence d'un défaut sur le système.

8. Diagnostic

Cette étape consiste à partir des défauts détectés, de localiser l'élément défaillant et d'identifier la cause qui a provoqué ce défaut. On appelle signature d'un défaut l'effet de celui-ci sur un ou plusieurs résidus. Si l'on dispose de la connaissance de la signature des défauts, il est possible, à partir de celle-ci, de remonter des effets aux causes, c-à-d à partir des résidus non nuls de remonter aux éléments défaillants. Cette étape nécessite donc un modèle de défauts du système permettant la résolution du problème inverse. En résumé, une procédure de diagnostic comprend deux étapes, une étape d'identification de défaut et une étape de localisation de défaut [06].

8.1. Classification des défauts et leur influence

Les défauts peuvent être différenciés selon leurs influences sur les systèmes. Donc ils peuvent être qualifiés d'additifs et multiplicatifs. Selon la figure I.7., des défauts sont additifs s'ils affectent le comportement du procédé indépendamment des entrées connues (tels que les défauts actionneurs et défauts capteurs). S'ils affectent le procédé d'une façon dépendante des entrées connues, ils sont considérés comme étant multiplicatifs (défauts système). [22].

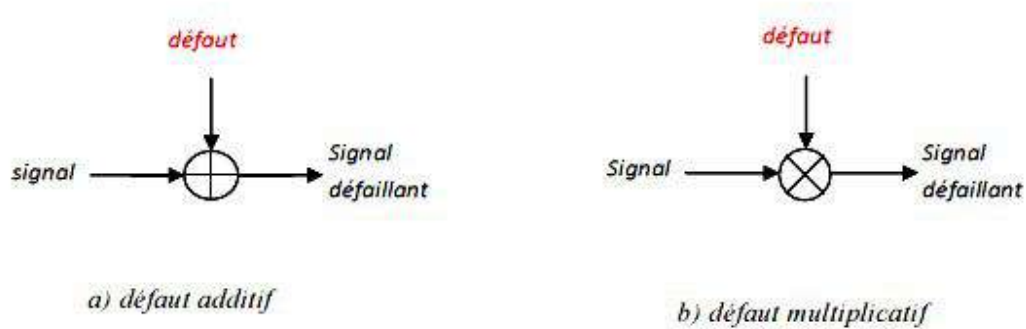


Fig. 1.8. Représentation additive et multiplicative des défauts.

8.2. Localisation

Cette étape s'exécute juste après qu'il ait une détection d'un défaut, elle consiste à repérer et à isoler l'élément défaillant et prépare ainsi la tâche à la prochaine étape qui est l'identification.

8.3. Identification

Dans cette étape, on cherche à identifier les causes précises de cette anomalie grâce à des signatures répertoriées par les experts, et validées après expertise et réparation des dysfonctionnements. Les informations ainsi obtenues sont fournies au service de maintenance.

9. Aide à la décision

Dans quelques situations même l'opérateur le plus expérimenté et le plus qualifié commet des erreurs en prenant des décisions inappropriées, cette situation est due à la fatigue de l'opérateur, au nombre impressionnant d'alarmes qui surviennent en même temps et que l'opérateur est incapable de gérer ou tout simplement par une mauvaise interprétation de sa part.

L'aide à la décision consiste à aider l'opérateur à prendre la bonne décision devant toute situation, et cela en proposant une liste d'actions qui pourraient restaurer les grandeurs optimales du système.

Dans un système d'aide à la décision, l'opérateur est toujours maître de la situation, car le système d'aide à la décision n'agit jamais, il informe et conseille seulement, de ce fait le système ne calcule pas une valeur précise, mais propose plutôt quel moyen d'action doit être exécuté, par exemple, il pourrait conseiller de changer un point de référence d'une boucle de commande parce qu'un capteur a une dérive ou de changer la commande manuelle parce que

le régulateur travaille hors de son domaine de stabilité. Mais il n'est pas censé trouver le point de réglage ou la valeur précise de l'action, ceci a besoin d'une étude plus soignée de validation, qui est toujours un problème de recherche [02].

En revanche, et avec l'évolution normative et réglementaire, il est prescrit qu'un système de sécurité fonctionnelle soit pris en considération pendant la phase de design de certaines installations industrielles jugées hautement dangereuses (installations pétrolières, chimiques, nucléaires, etc.). Un système de sécurité fonctionnelle conduit automatiquement le procédé, et sans l'intervention de l'opérateur, vers un état sûr prédéfini lors des études de risques en phase d'engineering. Ce type de systèmes est conçu pour agir quand aucune action n'est entreprise par l'opérateur après activation des modules de détection et diagnostic des défauts, et l'envoi des alarmes et des messages d'aide à la décision. Les seuils d'activation de ce système et les fonctions de sécurité qu'il doit l'accomplir sont définis dans la phase de design. Ce type de système s'appelle SIS « Système Instrumenté de Sécurité » ou « Safety Instrumented System ». [24]. Ce domaine fait l'objet de beaucoup de publications de recherches ces dernières années.

Par exemple le système ESD (Emergency Shut Down system) est un système instrumenté de sécurité, parmi ses fonctions de sécurité on trouve l'arrêt d'urgence du procédé et d'actionnement des équipements de sécurité appropriés à l'entrée et à la sortie afin d'empêcher le procédé de franchir certaines limites au-delà desquelles il pourrait être dangereux.

10. Maintenance

La maintenance est l'étape qui intervient généralement après l'étape de prise de décision elle consiste à maintenir ou à restaurer les performances des composants ou du système d'une façon globale, pour l'accomplissement de sa tâche requise, ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de gestion.

Lorsqu'au cours d'une tâche préventive un composant interne du matériel est trouvé ou jugé défaillant, sa réparation ou son remplacement doit être considéré comme de la maintenance corrective. S'il est trouvé non défaillant mais dégradé, même au-delà de la valeur de défaillance potentielle, sa réparation ou son remplacement est de nature préventive [01]. La figure 1.8. regroupe les différents types de maintenance.

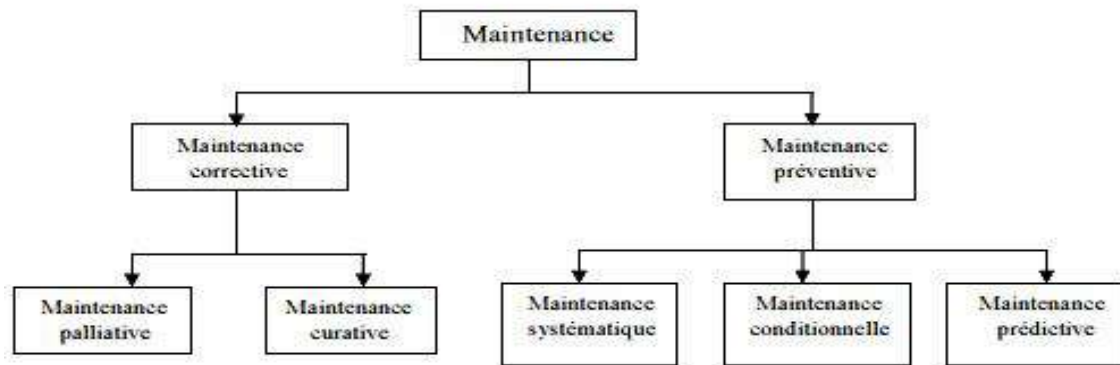


Fig. 1.9. Différents type de maintenance

10.1. Maintenance préventive

L'objectif de la maintenance préventive est de diminuer la probabilité de défaillance ou la dégradation d'un composant qui pourrait nuire à sa fonction requise, ce type de maintenance intervient si une durée de vie d'un composant est expirée (maintenance systématique) ou si ce composant se trouve dans un état de dégradation significatif et qui pourrait provoquer une défaillance sur le système qui le rendra incapable d'accomplir sa fonction requise (maintenance conditionnelle) [11].

10.2. Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive systématique intervient avant même qu'une simple dégradation ait été constatée, car, elle intervient à la limite de la fin de la durée de vie des composants et ce ci sans prendre en considération l'état du système à cet instant, il est remplacé d'une façon systématique.

Le remplacement de composants peu coûteux pour éviter les dépenses d'évaluation de leur état et l'essentiel des opérations de service (remplacement de fluides, filtres, etc.) [01].

10.3. Maintenance préventive conditionnelle

Ce type de maintenance préventive intervient pour la restauration des fonctions des composants jugées potentiellement défaillantes, et ceci après avoir étudié et comparé leurs états à un critère prédéfini.

Ce type de maintenance préventive requiert donc des tâches additionnelles pour évaluer le niveau de dégradation, la plupart d'entre elles soient effectuées selon une programmation régulière [01].

10.4. Maintenance préventive prévisionnelle

Maintenance préventive prévisionnelle est liée à la dégradation des composants et son évolution dans le temps, son rôle consiste à retarder la défaillance et de planifier des interventions.

10.5. Maintenance corrective

La maintenance corrective consiste en toute tache réalisée pour rétablir le bon fonctionnement du système, que se soit d'une façon définitive ou d'une façon temporaire, et cela après qu'un défaut ait lieu, de ce fait, on distingue deux types de maintenance corrective; la maintenance corrective palliative et la maintenance corrective curative.

A. Maintenance palliative

La maintenance palliative consiste à rétablir les fonctions requises du système d'une façon temporaire et provisoire, en général ce type de maintenance est toujours suivie de la maintenance curative, appelée aussi dans un langage courant de dépannage, son rôle est de gagner du temps pour la préparation et la planification pour les taches de la maintenance curative.

B. Maintenance curative

La maintenance curative est un ensemble d'actions qui permettent de faire rétablir le bon fonctionnement du système d'une façon permanente, ces actions peuvent être des réparations, des remplacements de composants ou des aménagements qui permettront de supprimer les défaillances [11].

11. Supervision dans un environnement SCADA

Le système SCADA fonctionne par l'acquisition de données provenant de l'installation, ces dernières sont affichées sur une interface graphique sous un langage très proche du langage humain, ces opérations sont exécutées en temps réel, ainsi les systèmes SCADA donnent aux opérateurs le maximum d'information pour une meilleure décision, ils permettent un très haut niveau de sécurité, pour le personnels et pour l'installation et permettent aussi la réduction des coûts des opérations, les avantages qu'offre le SCADA sont obtenus avec la combinaison des outils softs et hard. [09].

11.1. Définition du SCADA

SCADA est un acronyme qui signifie le contrôle et la supervision par acquisition de données (en anglais: Supevisory Control And Data Acquisition). Le système SCADA collecte des données de diverses appareils d'une quelconque installation, puis transmet ces données à un ordinateur central, que ce soit proche ou éloigné, qui alors contrôle et supervise l'installation, ce dernier est subordonné par d'autres postes d'opérateurs.

11.2. Architecture du SCADA

SCADA entoure un transfert de données entre le Serveur (MTU, Master Terminal Units) et une ou plusieurs unités terminales distantes (Remote Terminal Units RTUs), et entre le Serveur et les terminaux des opérateurs, la figure ci-dessous représente un schéma sur l'architecture d'un réseau SCADA qui utilise des routeurs pour joindre le poste de pilotage par le billet de l'Internet [10].

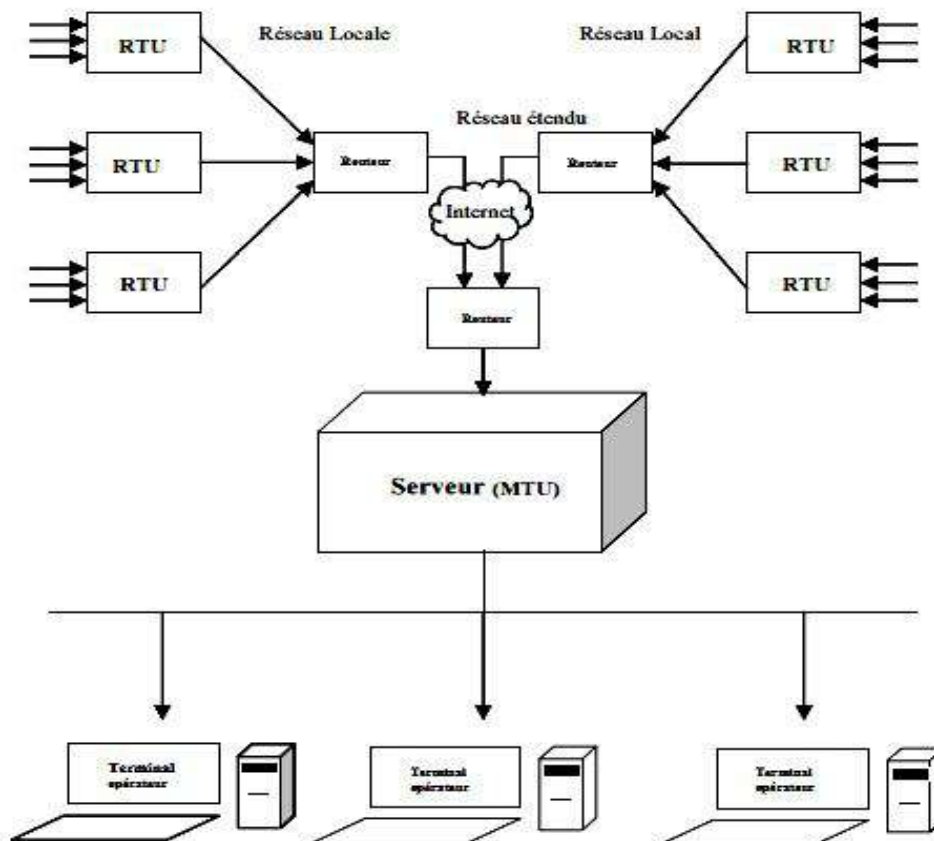


Fig. 1.10. Architecture de la supervision dans un environnement SCADA

Les logiciels de supervision sont une classe de programmes applicatifs dédiés au contrôle de processus et à la collecte d'informations en temps réel depuis des sites distants (ateliers, usines), en vue de maîtriser un équipement (machine, partie opérative).

Les éléments hardware assurent la collecte des informations qui sont à la disposition du calculateur sur lequel est implanté le logiciel de supervision, le calculateur traite ces données et en donne une représentation graphique réactualisée périodiquement, le système SCADA enregistre les événements dans des fichiers ou les envoie sur une imprimante, par mail, etc. ainsi le système surveille les conditions de fonctionnement anormal et génère des alarmes.

11.3. Avantage du SCADA

Parmi les avantages du SCADA on retrouve :

- Le suivi de près du système ; voire l'état du fonctionnement de procédé dans des écrans même s'il se situe dans une zone lointaine.

- Le contrôle et l'assurance que toutes les performances désirées sont atteintes ; de visualiser les performances désirées du système à chaque instant, et s'il y aurait une perte de performance, une alarme se déclencherait d'une manière automatique pour prévenir l'opérateur.

- Produire une alarme lorsque une faute se produit et visualise même la position où se situe la faute et l'élément défectueux, ce qui facilite la tâche du diagnostic et de l'intervention de l'opérateur.

- Donne plusieurs informations sur le système ainsi aide l'opérateur à prendre la bonne décision, et ne pas se tromper dans son intervention.

- Diminue les tâches du personnel en les regroupant dans une salle de commande.

- Elimination ou réduction du nombre de visites aux sites éloignés ; avec une interface graphique, on peut suivre l'état de l'installation à chaque instant, ainsi on n'aura pas besoin de faire des visites de contrôle.

11.4. Interfaces graphiques du SCADA

Les interfaces graphiques sont un outil très important pour le bon déroulement de la procédure d'aide à la décision, elles sont le seul point d'interaction entre l'opérateur et les algorithmes d'aide à la décision, ainsi, elles aident l'opérateur dans sa tâche d'interprétation et de prise de décision, en lui offrant une très bonne visibilité sur l'état et l'évolution de

l'installation, avec l'affichage en différentes couleurs des résidus, des alarmes et des propositions sur l'action à entreprendre, [02].

La figure 1.10. représente une interface graphique de la supervision d'une installation de traitement thermique et de conditionnement des produits alimentaire appartenant à l'entreprise Stock America .

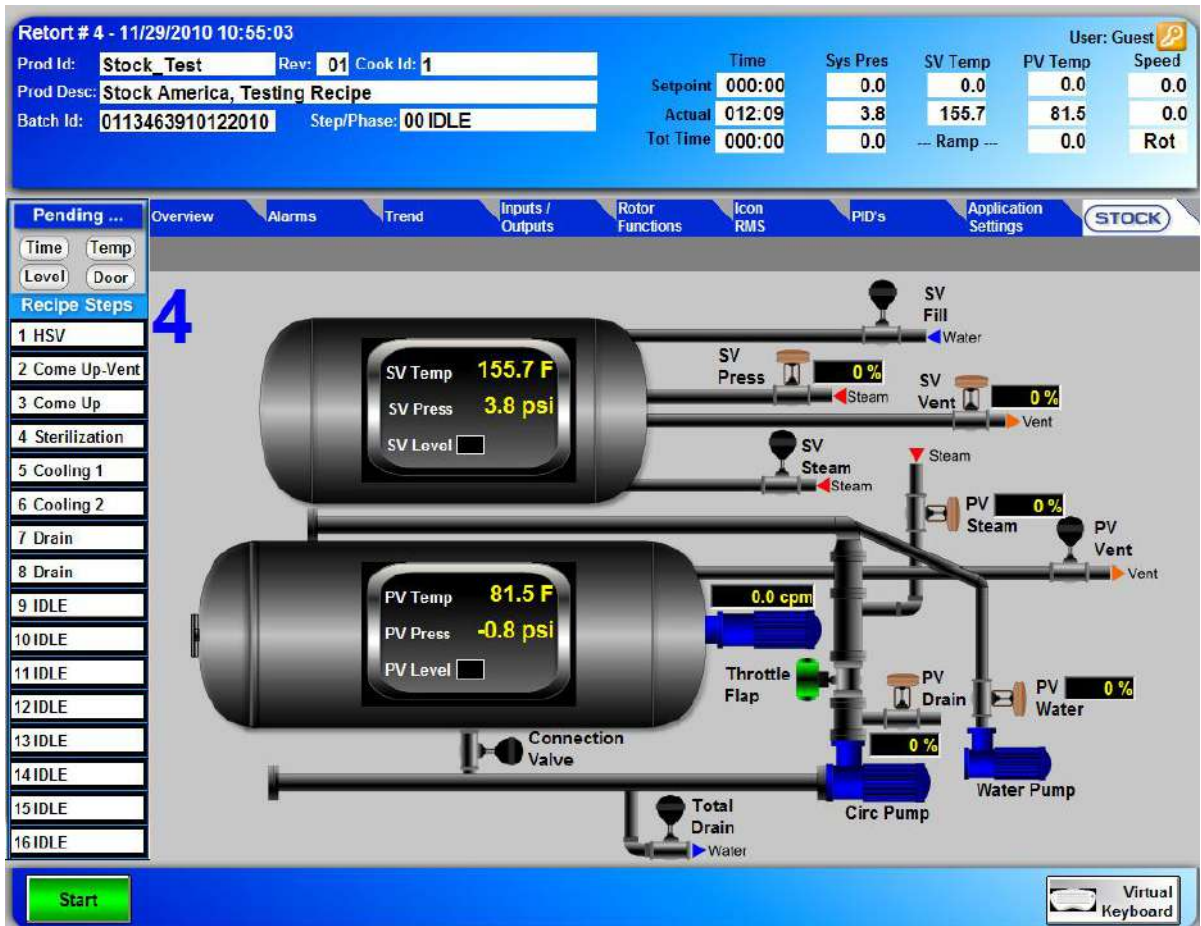


Fig. 1.11. Interface graphique de supervision d'un procédé de traitement thermique et de conditionnement des produits alimentaire (Stock America)

11.5. Fonctionnalité temps réel

La notion temps réel est devenue très importante et indispensable dans la procédure de surveillance et de supervision en générale, elle permet de faire le rafraichissement des signaux à chaque instant, ce qui permet de suivre l'évolution de l'état du système d'une façon continue.

12. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté brièvement la supervision ainsi que tous les outils nécessaires pour sa mise en œuvre, tout en présentant son importance au sein des installations à hauts risques telles que les installations nucléaires, chimiques, etc.

La supervision joue un rôle important afin de prévenir la sécurité du personnel, de l'environnement, et des installations, et ce, en détectant la moindre dégradation qui pourrait affecter le bon fonctionnement du système, voir même des explosions et des dommages matériels et humains.

L'arrêt d'un système industriel provoque des dommages énormes sur l'économie de l'entreprise, alors on peut conclure que le rôle de la supervision ne se limite pas à la sécurité mais aussi à la continuité de la rentabilité de l'entreprise, autrement dit à la survie de l'entreprise.

Le système SCADA est un outil qui permet de réaliser une supervision à distance, c'est-à-dire, que l'installation à superviser pourrait se trouver très loin du poste de pilotage (hors périmètre d'impacte des explosions ou des incendies), ce type de supervision est très utile pour les industries à hauts risques.



CHAPITRE 02 :

Methodes de Surveillance



1. Introduction

Beaucoup de méthodes sont utilisées pour assurer une meilleure surveillance, et par conséquent une meilleure sûreté de fonctionnement. Le domaine d'étude de ces méthodes est la détection et le diagnostic, qui est un domaine qui ne cesse de développer depuis des décennies.

Le design de systèmes de fonctionnement parfaitement nécessite l'implantation d'un système de diagnostic pour réaliser la détection et la localisation de fautes (Fault Detection and Isolation : FDI). La phase qui vient juste après le diagnostic, est la reconfiguration et la réadaptation de la commande afin de garder la qualité des performances et de sécurité du système après fautes. Ce domaine s'appelle « La commande tolérante aux fautes », et il a attiré beaucoup d'investigateurs et demeure un sujet large de publications et de recherche [12].

Dans ce mémoire on se limite à l'étude de la supervision avec modèle et non pas à la commande tolérante aux fautes.

Les méthodes de surveillance basées sur la redondance matérielle sont très utilisées dans les installations à haut risques, telles que les installations nucléaires, chimiques, hydrocarbures, etc. néanmoins ces méthodes représentent quelques inconvénients, à savoir: le coût élevé, l'encombrement, le poids des composants supplémentaires, etc.

Dans ce chapitre on présentera des méthodes de surveillance qui existent, et on focalisera sur la méthode d'analyse structurelle.

2. Classification des méthodes de surveillance

Les méthodes de surveillance sont divisées en deux catégories: les méthodes de surveillance avec modèle et les méthodes de surveillance sans modèle :

- La première catégorie se base sur le modèle analytique du système à surveiller et utilise généralement des techniques de l'Automatique [08]

- La deuxième catégorie de méthode, à son tour, se divise en deux sous catégories, la première correspond aux statistiques de Traitement du Signal qui sont généralement qualifiés d'outils de traitement de bas niveau, parce qu'ils sont en contact direct avec le signal capteur, et ne servent généralement que pour la génération d'alarmes brutes, sans aucune information concernant leur signification, la deuxième sous catégorie est orientée vers la communication avec l'opérateur, cette sous catégorie utilise l'Intelligence Artificielle, et serve comme outil de base pour l'aide à la décision, les méthodes de cette catégorie sont plus efficaces, car elles

sont capables de détecter, d'interpréter et de diagnostiquer les défauts [06]. La figure 2.1. regroupe les différentes méthodes de surveillance.

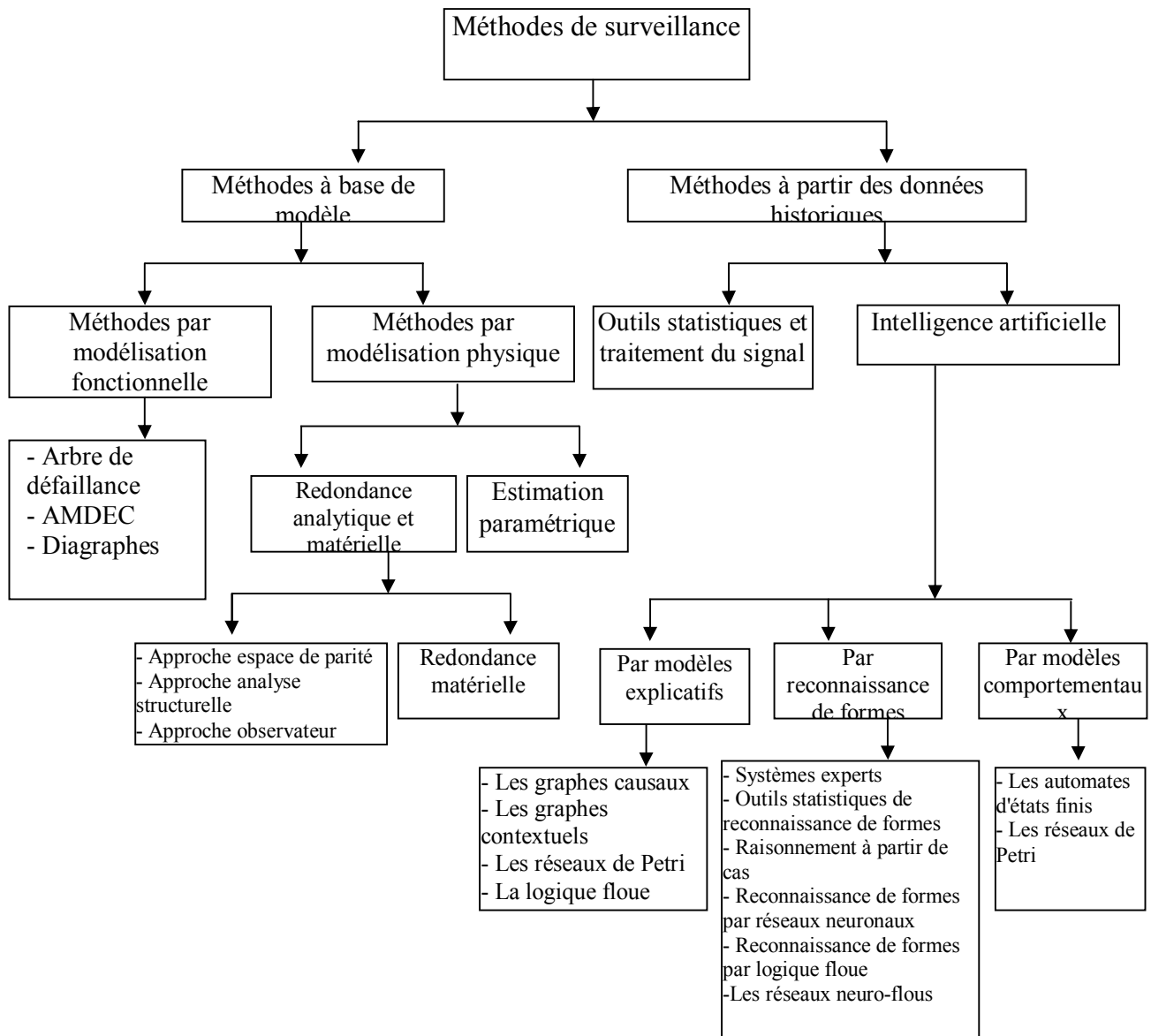


Fig 2.1. Classification des méthodes de surveillance

2.1. Méthodes de surveillance avec modèle

Cette catégorie de méthodes à base de modèle, fait appel à des techniques d'automatique, et elle intervient directement sur les signaux provenant de la chaîne de mesure, elle est la catégorie la plus utilisée dans l'industrie [13],[21]. elle se compose de deux sous catégories de méthodes :

2.1.1. Méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle

Ce type de méthode consiste à concevoir des relations entre les effets mesurables des défaillances et leurs causes initiales, tel que, à partir des effets d'une défaillance on pourra

remonter jusqu'à sa cause initiale, les méthodes les plus couramment rencontrées sont l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC) et les Arbres De Défaillances (ADD). Une autre catégorie de méthodes avec modèle est représentée par les méthodes basées sur une modélisation physique des processus surveillés. [21]

2.1.2. Méthodes de surveillance par modélisation physique

Le principe de ces méthodes est de comparer les mesures effectuées sur le système aux informations fournies par le modèle analytique [14]. Tout écart est alors synonyme d'une défaillance, une fois un écart est détecté, les outils de la théorie de la décision sont utilisés pour déterminer si cet écart est dû à des aléas normaux, comme par exemple le bruit de mesure ou s'il traduit une défaillance du système, ces méthodes peuvent être séparées en deux techniques : techniques de redondance physique et analytique, et la techniques d'estimation paramétrique.

2.1.2.1. Redondance matérielle et Analytique

A/ Redondance matérielle

La redondance matérielle est la plus ancienne méthode utilisée pour le contrôle de la crédibilité des mesures, son principe est de doubler, tripler...les composants physiques dans une installation, par exemple, en installant plusieurs capteurs qui mesurent la même variable, ce qui permet de détecter très facilement les pannes capteurs [12].

- Redondance matérielle double :

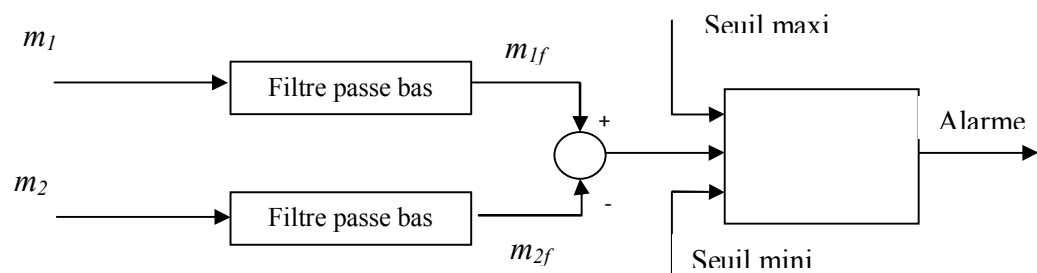


Fig 2.2. Redondance matérielle double

Avec :

m_1, m_2 : sont des mesures issues de deux capteurs différents mesurant la même variable.

m_{1f}, m_{2f} : sont les mesures m_1, m_2 après filtrage du bruit par un filtre passe bas.

La différence $m_{1f} - m_{2f}$ sera comparée à un seuil en fonction des tolérances et des bruits de mesures, si cette différence dépasse l'un des deux seuils une alarme sera donnée, ce qui veut dire qu'un capteur est en panne [01].

Cette redondance matérielle double permis de détecter une panne, mais ne permet pas d'isoler le composant en panne, pour arriver à isoler la panne c'est-à-dire identifier le composant défaillant il faut opter à une redondance triple.

-Redondance matérielle triple

Le principe de la redondance matérielle triple est de mettre trois capteurs en parallèle, un voteur qui va faire un vote de trois signaux issus des trois capteurs, pour donner le signal final qui sera pris en considération, comme le montre la figure 2.3. :

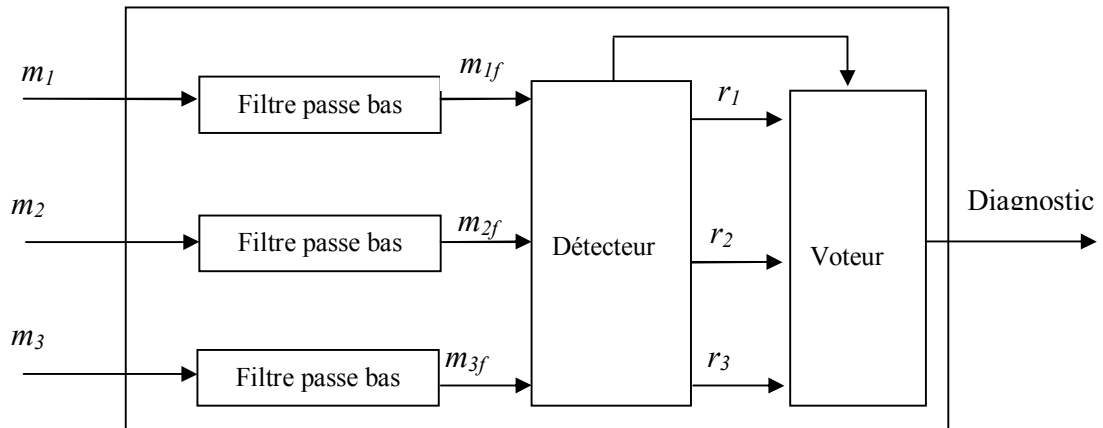


Fig 2.3. Redondance matérielle triple

m_1 , m_2 , m_3 sont des signaux issus de trois capteurs mesurant la même variable, ces derniers seront filtrés par des filtres passe bas pour éliminer le bruit, puis acheminés à un détecteur qui va calculer les résidus

$$\text{avec : } r_1 = m_{1f} - m_{2f}, \quad r_2 = m_{1f} - m_{3f} \quad \text{et} \quad r_3 = m_{2f} - m_{3f}$$

Le voteur va déterminer lequel des trois capteurs est en panne, cette décision sera prise en comparant les trois résidus et aussi en prenant en compte des erreurs de mesure et de modélisation.

La redondance matérielle est très efficace, mais elle a des inconvénients majeurs :

- Elle est limitée aux pannes capteurs seulement ; elle ne prend pas en considération les fuites, les pannes de masse, les pannes d'alimentation électrique ...
- Un encombrement dans des installations complexes.
- Les coûts qui sont très élevés dus au grand nombre de capteurs.

B/ Redondance analytique

L'idée de base est de comparer le comportement observé et le comportement attendu du système, pour cela on a besoin de connaître le modèle mathématique du système, si le comportement observé du système ne vérifie pas les équations du modèle alors on déduit que le système ne fonctionne pas normalement [13].

2.1.2.2. Approche par espace de parité

Cette approche est utilisée sur des systèmes linéaires, et devient inexploitable devant les systèmes non linéaires, il existe deux types de redondance analytique par espace de parité [08]:

- Redondance statique et redondance dynamique.

- *Redondance statique* :

L'objectif de la redondance statique est de trouver un ensemble de relations algébriques, en fonction uniquement des mesures fournies par les capteurs, ces relations sont données par des vecteurs appelés vecteur de parité.

Soit le modèle suivant :

$$y(t) = C x(t) + f(t) \quad (2.1)$$

Avec : $y(t) \in R^p$: est le vecteur des mesures

$C \in R^{p \times n}$: est la matrice d'observation

$x(t) \in R^n$: est le vecteur d'état

$f(t) \in R^n$: est le vecteur des défauts de capteurs

le vecteur de parité est donné par la formule suivante :

$$p(t) = V \cdot y(t) \quad (2.2)$$

Avec :

V: Une matrice orthogonale à C

Pour que la redondance statique existe, il faut que le nombre de mesures soit supérieur à la dimension de l'état, c'est une condition qu'on ne trouve pas dans la redondance dynamique.

- *Redondance dynamique*

La redondance dynamique est une généralisation de la redondance statique, elle cherche à trouver une relation entre les différentes mesures et les différentes entrées du système à tout instant.

Soit le modèle discret suivant :

$$\begin{cases} x(k+1) = F x(k) + G u(k) \\ y(k) = C x(k) \end{cases} \quad (2.3)$$

Avec : x : est le vecteur d'état, $x(k) \in R^n$

F : est la matrice d'état

G : est la matrice d'entrée

y : est le vecteur de sortie, $y(k) \in R^p$

u : est le vecteur d'entrée, $u(k) \in R^m$

Le but est de trouver une relation sous la forme suivante :

$$P(k, h) = V(y(k, h) - G(h)u(k, h)) \quad (2.4)$$

On remarque que la relation (2.4) dépend que des entrées et des mesures du système, et que à l'absence des défauts, elle sera nulle, et qu'en présence des défauts, elle sera non nulle, on peut donc l'utiliser pour détecter les défauts sur les capteurs et sur les actionneurs.

2.1.2.3. Analyse structurelle

Différente de l'espace de parité, l'analyse structurelle ne travaille qu'avec les propriétés graphiques du système, cette méthode ne demande pas des connaissances approfondies sur le système, ce qui la rend efficace pour les systèmes de grande échelle et les systèmes non linéaires [13] [15].

Le principe de la méthode est d'obtenir des relations exprimant le bilan de masse ou énergétique et qui sont en fonction seulement des variables mesurées, elles expriment la différence qui existe entre les variables mesurés du système réel et les variables calculées par le modèle mathématique du système. Ces relations sont appelées Relations de Redondances Analytiques (RRA) [03].

Considérant la représentation suivante:

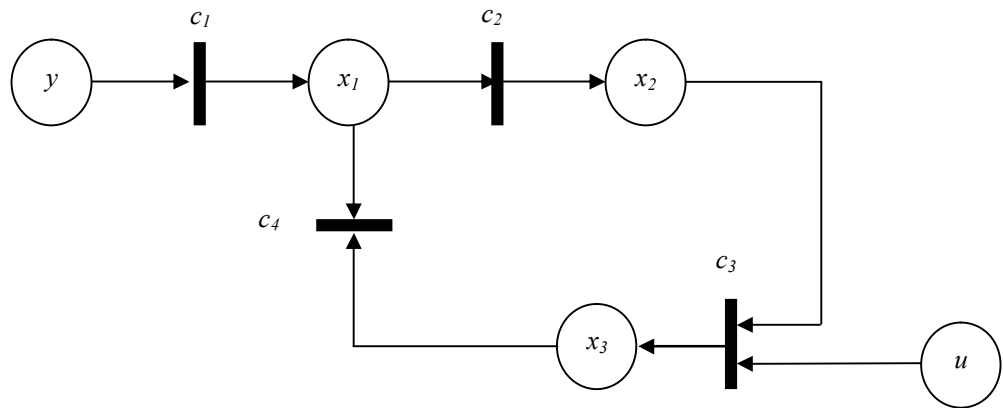


Fig. 2.4. Représentation de la chaîne alternée

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$: Ensemble de contraintes du système

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$: Ensemble de variables du système

y : Vecteur de mesures

u : Vecteur d'entrée

Les variables mesurées et les variables d'entrées sont utilisées dans les contraintes pour calculer les autres variables inconnues, jusqu'à ce que toutes les variables inconnues soient calculées, les contraintes non utilisées seront considérées comme des relations de redondances analytiques, elles font intervenir que de variables connues. Dans la fig. 2.4, la contrainte c_4 est utilisée pour calculer la relation de redondance analytique.

2.1.2.4. Approche à base d'observateur

Un observateur est un système dynamique qui est installé en parallèle avec le système réel à observer, ayant pour entrées: l'entrée et la sortie du système réel, sa fonction est d'estimer les états du système dans le cas où on veut faire de la commande ou d'estimer la sortie dans le cas où on veut faire du diagnostic.

Le vecteur résidu est obtenu en faisant la différence entre le vecteur de sortie du système réel et le vecteur de sortie estimé [01] [15].

Considérant le modèle du système suivant :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A x(t) + B u(t) + F_x f(t) + D_x d(t) \\ y(t) = C x(t) + F_y f(t) \end{cases} \quad (2.5)$$

Où F_x et F_y sont les matrices d'action des défauts $f(t)$, D_x est la matrice d'action de perturbation $d(t)$.

Si la paire (C, A) est observable alors on peut trouver un modèle d'un observateur sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}}(t) &= A \hat{x}(t) + Bu(t) + L (y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) &= C\hat{x}(t)\end{aligned}\quad (2.6)$$

Où la matrice L est appelée le gain d'observateur, elle est calculée de façon à annuler l'erreur entre le vecteur d'état du système réel et celui de l'observateur.

La figure 2.5. montre le schéma général d'un générateur de résidus par un observateur.

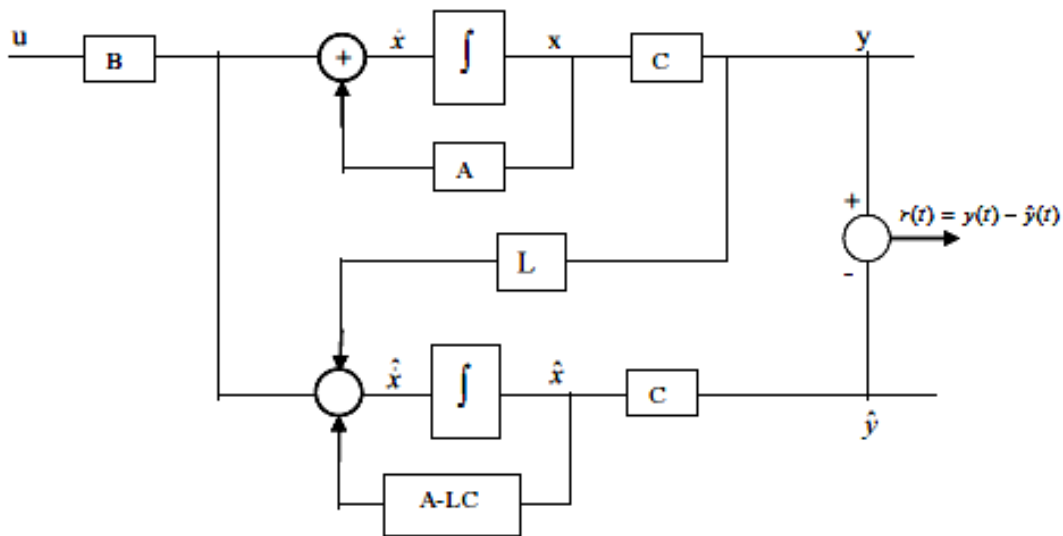


Fig 2.5. Schéma de principe d'un générateur de résidus à base d'un observateur

2.1.2.5. Approche par estimation paramétrique

Tout modèle mathématique d'un système fait intervenir un ensemble de paramètres, qui font parti des caractéristiques physiques du système, à l'état normal (sans défauts), ces paramètres ont des valeurs dites nominales, à l'état de défauts ces paramètres évoluent d'une façon significative [13].

Le principe de l'algorithme de résidu de cette méthode est de calculer à chaque instant le nouveau vecteur de paramètre et de le comparer au vecteur nominal, une simple dégradation du système se traduira par un écart entre le nouveau vecteur paramètre et le vecteur nominal. Cette méthode consiste, à partir d'un ensemble de mesures faites sur le système, de trouver la

meilleure estimation possible du vecteur paramètre en optimisant un critère bien défini. Le schéma de principe est donné par la figure 2.6 [01] [16].

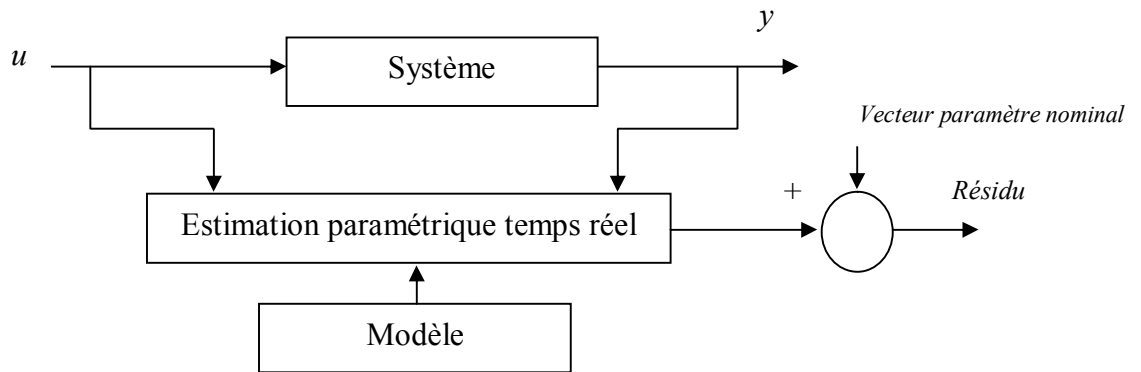


Fig 2.6. Schéma de principe de génération des résidus par estimation paramétrique

3. Approche Structurale

Les méthodes de génération des résidus présentées précédemment, déterminent des résidus sous forme de signaux qui, en régime de fonctionnement normal, sont statistiquement nuls et s'écartent de zéro en présence de défauts. Il est bon de rappeler que la mise en œuvre de la majorité des méthodes à base de modèle exige des connaissances très approfondies sur le procédé, l'analyse structurale quant à elle, ne demande pas des connaissances approfondies sur le système, mais juste les liens qui existent entre les variables et les contraintes de ce système, ces liens sont indépendants des valeurs paramétriques du système et restent valables dans tout l'intervalle de ces paramètres. Le deuxième avantage que possède cette méthode est qu'elle s'applique aussi bien qu'aux systèmes linéaires qu'aux systèmes non linéaires, vu que la majorité des systèmes physiques sont de natures non linéaires, alors on peut aisément constater l'exploitabilité et l'efficacité de cette méthode dans les installations industrielles.

3.1 Description de la méthode

L'analyse structurale traite et analyse les propriétés structurales du système, ces propriétés sont indépendantes des valeurs réelles des paramètres, elles sont aussi vérifiées presque partout dans l'espace des paramètres. Ces propriétés structurales sont représentées par des liens entre les variables et les paramètres du modèle, et cela, indépendamment de la manière avec laquelle ces liens sont exprimés, (valeurs numériques ou symboliques, relations analytiques ou non) [13].

Les liens sont représentés sous une forme graphique, et c'est la structure de ce graphe qui est analysée, ce qui signifie que la connaissance large sur le système n'est pas nécessaire dans cette analyse. De plus, la présentation graphique de ces liens peut être appliquée sur tous les systèmes qui peuvent être considérés, ce qui fait que l'analyse structurelle :

- s'applique aux modèles linéaires comme aux modèles non linéaires,
- n'exige aucune précision du modèle de calcul du comportement,
- permet une représentation homogène de tous les types de modèles.

- L'analyse structurelle travaille avec des données binaires, ce qui fait qu'elle est efficace pour même les grands systèmes, bien que les données d'entrée soient extrêmement pauvres, elles contiennent la plus grande partie de la connaissance nécessaire à la conception de systèmes de surveillance. Durant la conception d'un système de surveillance, l'analyse structurelle nous fournit d'intéressants outils pour de nombreuses étapes de cette conception qui sont [08] :

- Analyse des redondances locales du système, pour mettre en évidence les possibilités de surveillance.
- Détermination des capteurs supplémentaires dont la mise en œuvre permettrait de répondre au cahier des charges (ou d'accroître les performances du système de surveillance).
- Détermination des séquences de calcul dont le résultat est un résidu.
- Introduction de contraintes de calcul, pour prendre en compte les problèmes de conditionnement, de précision ...etc.
- Analyse de la structure des résidus pour évaluer la détectabilité et l'isolabilité des défaillances.
- Analyse de la structure des résidus pour l'implémentation distribuée des algorithmes de surveillance.

3.2. Structure du modèle

L'analyse structurelle considère le modèle d'un système comme un ensemble de contraintes qui s'applique à un ensemble de variables, dont seules les certaines variables sont mesurées. Les variables connues sont les variables de commande et celles qui ont des capteurs associés mesurant leurs valeurs à chaque instant [17].

L'ensemble des contraintes est fourni par les modèles des blocs qui, au niveau hiérarchique considéré, représentent le système. Le terme "contrainte" fait référence au fait qu'un équipement technologique impose certaines relations aux évolutions temporelles des variables qui le décrivent. En d'autres termes, le vecteur de ces variables ne peut pas prendre ses valeurs dans tout l'espace auquel il appartient, mais seulement dans un sous-ensemble de valeurs compatibles avec les lois physiques qui régissent le fonctionnement de l'unité en question. Un résistor de résistance constante R , par exemple, considéré comme unité technologique élémentaire, introduit une contrainte sur le vecteur des variables u (tension à ses bornes) et i (intensité qui le traverse) puisque toute trajectoire de ce vecteur ne peut se situer que dans le sous-espace $u - R i = 0$ défini par la loi d'Ohm (figure 2.7.)

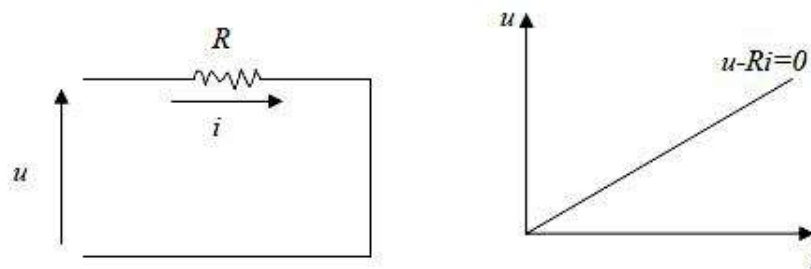


Fig. 2.7. Exemple de contrainte

On remarque que la contrainte $u - Ri = 0$ peut être écrite de deux façons différentes : $u = Ri$, ou encore : $i = u / R$.

On appelle structure du modèle le graphe bi-parti dont la matrice d'incidence représente les liens entre les variables (qu'elles soient connues ou non) et les contraintes.

Soit :

$C = \{c_1, c_2, c_3 \dots c_m\}$ l'ensemble des contraintes qui représentent le modèle du système.

$Z = \{z_1, z_2, z_3 \dots z_n\}$ l'ensemble de toutes les variables.

Z est formé de trois sous-ensembles : U , le sous-ensemble des variables de commande; Y , le sous-ensemble des variables mesurées; X , le sous-ensemble des variables non mesurées. Y et U constituent les variables connues, X est l'ensemble des variables inconnues. Soit K le sous-ensemble des variables connues, La structure graphique est représentée par la relation binaire suivante :

$$S : C \times Z \rightarrow \{0, 1\}$$

$$(c_i, z_j) \rightarrow \begin{cases} S(c_i, z_j) = 1 & \text{si et seulement si la contrainte } c_i \text{ s'applique à la variable } z_j. \\ S(c_i, z_j) = 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

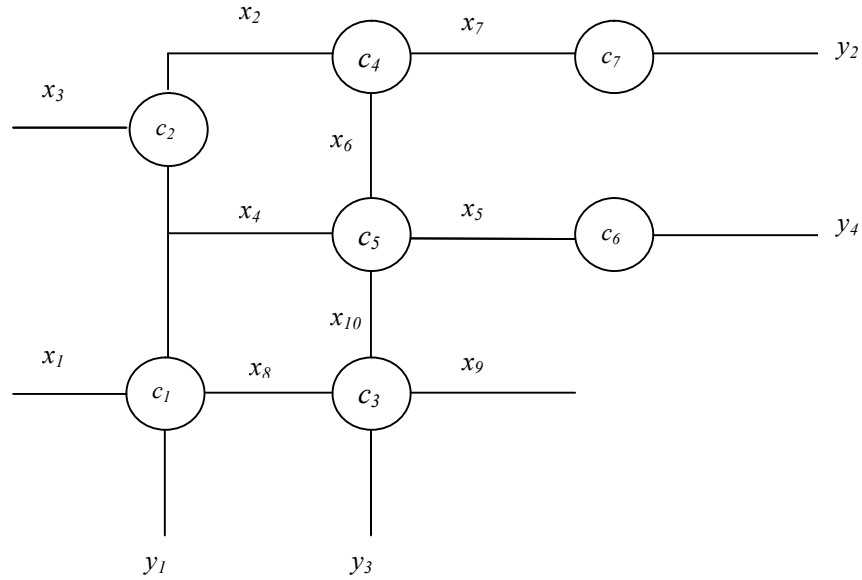


Fig 2.8. Exemple d'une représentation du système

Tab. 2.1. Représentation structurelle du système de l'exemple de la figure 2.8.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}
c_1	1			1				1			1			
c_2		1	1	1									1	
c_3								1	1	1			1	
c_4		1				1	1							
c_5				1	1	1				1				
c_6						1								1
c_7							1					1		

On remarque que la structure du système à elle seule, ne fait pas intervenir les variables connues et leurs relations avec les variables inconnues, pour ce faire, nous devons aussi représenter la structure de mesure qui est composée de toutes les relations liant les variables

inconnues et les variables connues, la tableau 2.2. montre une représentation structurelle étendue du système :

Tab 2.2. Représentation structurelle étendue du système de l'exemple de la figure 2.8.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	y_1	y_2	y_3	y_4
c_1	1			1				1			1							
c_2		1	1	1									1					
c_3								1	1	1		1						
c_4		1				1	1											
c_5				1	1	1				1								
c_6						1								1				
c_7							1					1						
g_1											1				1			
g_2												1				1		
g_3													1				1	
g_4														1				1

Avec :

g_i : contrainte de mesure

y_i : est une mesure

Dans le but de généraliser le modèle structurel d'un système, on considère ses paramètres comme étant des variables, que se soient connues ou inconnues, ce qui nous amène à dire qu'un modèle d'un système peut être vu comme un ensemble de contraintes qui s'appliquent à un ensemble de variables et de paramètres, possédant un sous ensemble dont les valeurs sont inconnues.

Supposant que les contraintes c_2 , c_4 et c_5 de l'exemple précédent font intervenir des paramètres a_2 , a_4 et a_5 dont seule la valeur du premier est connue. Le graphe structurel généralisé est donné par le tableau 2.3. :

Tab 2.3. Représentation structurelle généralisée du système de l'exemple de la figure 2.8.

	x_1	x_2	α_2	x_3	x_4	α_4	x_5	α_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	y_1	y_2	y_3	y_4
c_1	1				1						1			1							
c_2		1	1	1	1																
c_3											1	1	1			1					
c_4		1				1		1	1												
c_5					1		1	1	1				1								
c_6									1								1				
c_7										1					1						
g_1														1				1			
g_2															1				1		
g_3																1				1	
g_4																	1				1

A partir de leur structure, les systèmes peuvent être dynamiques ou statiques [15], les systèmes dynamiques peuvent être à leur tour décomposés en deux types de représentations suivant que l'on explicite ou pas les dérivées comme des variables. Considérant l'équation différentielle suivante :

$$c(x, \dot{x}, \ddot{x}) = 0 \tag{2.7}$$

La relation (2.7) peut être représentée par les deux représentations structurelles suivantes:

	x	\dot{x}	\ddot{x}	u
c	1	1	1	1

Ou

	x	\dot{x}
c	1	1

Dans la deuxième représentation la dérivée \dot{x} n'apparaît pas, elle est condensée dans la variable x

• **Relations de redondance directes**

Soit C un sous ensemble de C tel que :

$$\forall c \in C, \forall x \in X \Rightarrow S(c, x) = 0 \tag{2.8}$$

Soit C_k un sous ensemble de contraintes qui font intervenir que les variables et les paramètres dont les valeurs sont connues, on remarque que ces contraintes peuvent être utilisées comme des relations de redondance pour surveiller un bon fonctionnement en temps réel d'un système, on remarque que ce genre de contraintes sont vérifiées pour tous les types de relations analytiques ou non. Ces relations sont obtenues directement du modèle du système et de son instrumentation.

- **Relations de redondance déduites**

Soient y_1, y_2 deux capteurs mesurant la même variable x comme le représente la tableau 2.4.:

Tab. 2.4. Redondance matérielle double

	y_1	y_2	x
c_1	1	0	1
c_2	0	1	1

Comme les deux capteurs mesurent la même variable x , il est donc possible de trouver une relation entre y_1 et y_2 qui exprimera la cohérence entre les deux mesures.

En effet, le sous-système constitué par $\{c_1, c_2\}$ conduit à une surdétermination de la variable inconnue x , qui peut être calculée par deux moyens différents (en supposant que c_1 et c_2 inversibles par rapport à x). Puisque x représente une variable physique unique, les deux résultats doivent être identiques. C'est cette exigence de cohérence qui fournit les relations de redondance déduites [18].

Les relations de redondance correspondantes à cet exemple de redondance matériel étudié sont calculées comme suivant :

- Contrainte correspondante au premier capteur

$$c_1(y_1, x) = 0 \quad (2.9)$$

- Contrainte correspondante au deuxième capteur :

$$c_2(y_2, x) = 0 \quad (2.10)$$

- Calcul de x avec deux manières différentes :

$$\begin{cases} x = c_1^{-1}(y_1) \\ x = c_2^{-1}(y_2) \end{cases} \quad (2.11)$$

La cohérence entre les deux résultats de la variable x nous permet d'écrire la relation de la redondance analytique suivante :

$$c_1^{-1}(y_1) - c_2^{-1}(y_2) = 0 \quad (2.12)$$

Cette relation permet une surveillance en temps réel le bon fonctionnement des capteurs y_1 et y_2 , on remarque que cette relation existe au fait que les capteurs mesurent la même variable et non au fait que les capteurs sont identiques.

On remarque aussi que l'hypothèse sur l'invisibilité des deux contraintes n'est pas nécessaire, car la surdétermination de la variable x permettra le calcul de la relation de la redondance analytique lorsqu'au moins une contrainte possède cette propriété, en effet : A partir de la relation (2.9) on obtient:

$$x = c_1^{-1}(y_1) \quad (2.13)$$

La substitution de la relation (2.13) dans la relation (2.10) permet d'aboutir au résultat suivant :

$$c_2 [y_2 - c_1^{-1}(y_1)] = 0 \quad (2.14)$$

En fait, les relations de redondance déduites existent car ils existent différents moyens de calculer le même sous-ensemble de variables inconnues, et que les résultats doivent en être identiques.

3.3. Caractérisation des sous-systèmes

Soit $P(E)$ l'ensemble des parties d'un ensemble E ; on définit les structures lignes et colonnes par les applications suivantes :

$$\begin{aligned} Q: P(C_x) &\rightarrow P(Z) \\ C &\rightarrow Q(C) = \{z_j \mid \exists c_i \in C, \text{ tel que } S(c_i, z_j) = 1\} \\ R: P(Z) &\rightarrow P(C) \\ Z &\rightarrow R(Z) = \{c_j \mid \exists z_i \in Z \text{ tel que } S(c_i, z_j) = 1\} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Un sous-système est un couple $(C, Q(C))$, où C est une partie de C_X .

Soit $Q(C) = Q_K(C) \cap Q_X(C)$ où $Q_K(C)$ est le sous-ensemble des variables connues de $Q(C)$ et $Q_X(C)$ est le sous-ensemble des variables inconnues. Les contraintes associées au sous-système C s'écrivent :

$$C [Q_K(C), Q_X(C)] = 0 \quad (2.16)$$

Nous caractérisons le sous-système $(C, Q(C))$ par le nombre de solutions pour les variables de $Q_X(C)$ qui correspondent à des valeurs ou trajectoires données pour les variables de $Q_K(C)$ [19].

Dans la recherche de relations de redondance analytiques déduites, l'analyse du sous-graphe structurel correspondant aux contraintes C_X fera apparaître des sous-systèmes.

3.4. Génération des résidus

Les relations de redondance analytique directes où déduites représentent une description partielle du système ne faisant intervenir que des variables connues. Ces relations valent zéro si le fonctionnement du système est en mode normal et sont non nulles si le fonctionnement du système est en mode défaut. Pour des modèles analytiques, ces relations s'expriment sous la forme :

$$\varphi(u, y) = 0 \quad (2.17)$$

Dans la mesure où le modèle ne décrit pas, en général, le fonctionnement réel du système (même non défaillant), l'égalité ci-dessus n'est, dans la pratique, jamais vérifiée.

$$r = \varphi(u, y) \quad (2.18)$$

Les résidus expriment l'écart entre le fonctionnement réel du système et ce qu'il serait, si ce système se comportait exactement comme son modèle.

Dans le cas de relations de redondance déduites, on peut utiliser deux approches différentes pour calculer les valeurs des résidus. La première met en œuvre des substitutions formelles, en éliminant les variables inconnues selon un schéma de couplage fourni par l'analyse structurelle. Elle produit une écriture formelle des résidus analogue à celle disponible pour les relations de redondance analytique directes. La seconde procède au moyen de substitutions numériques : la valeur d'un résidu est obtenue numériquement par une chaîne de calcul qui réalise en fait le couplage. Une telle séquence d'implémentation est très facile lorsque la structure du couplage est triangulaire.

- **Couplage sous contraintes causales**

Rappelons que si $G(C_X, X, A)$ est un couplage sur $G(C_X, X, A_X)$, on a :

$$A \subset A_X$$

En d'autres termes, si $(c_j, x_i) \in A$ alors $S(c_j, x_i) = 1$, i.e. x_i appartient à la structure de c_i . Cependant, $x_i \in Q(c_j)$ est une condition nécessaire mais non suffisante pour que x_i puisse être calculée en utilisant la contrainte c_i , sous l'hypothèse que toutes les autres variables.

$Q(c_j) \setminus (x_i)$ sont connues.

Autrement dit, en plus de l'hypothèse que les autres variables soient connues, le couplage doit satisfaire certaines conditions de calculabilité. Commençons par donner un exemple simple de telles conditions

Exemple 1 :

Soit $c(x_1, x_2)$ la contrainte non linéaire représentée figure 2.9. Les couplages possibles et impossibles sont représentés figure 2.10. En effet, x_2 peut être calculée à partir de la contrainte c en connaissant la valeur x_1 , mais l'inverse est bien évidemment faux. On dira que le couplage (c, x_2) est causal et que le couplage (c, x_1) ne l'est pas.

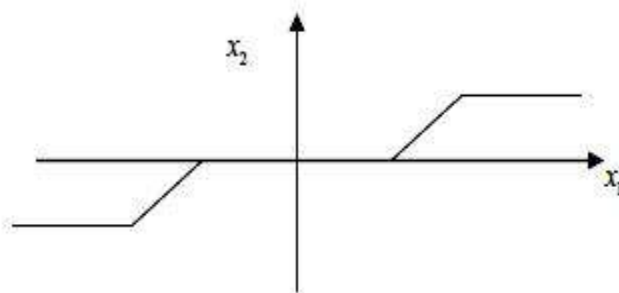
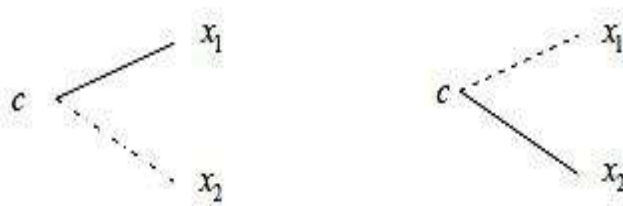


Fig 2.9. Contrainte causale sur un couplage



Couplage impossible

Couplage possible

Fig 2.10. Couplage possible et impossible

• Contrôle des résultats

La procédure de génération des résidus qui vient d'être décrite s'applique à un système dont le modèle est décrit par : un ensemble de contraintes C , un ensemble de variables et

paramètres Z , parmi lesquels sont distingués ceux qui sont connus (K) et ceux qui ne le sont pas (X).

On a présenté deux façons d'obtenir des relations de redondance analytique. L'ensemble C étant décomposé en deux sous-ensembles C_k et C_X , les relations de redondance directes sont données par le premier de ces sous-ensembles sous la forme $C_k(K) = 0$, alors que les relations de redondance déduites sont données par les sous-systèmes surdéterminés présents dans le graphe $G(C_X, X, A_X)$. (C_X, X) est un sous-système du système global (C, Z) issu d'une certaine partition de l'ensemble Z (en deux classes K et X) où de l'ensemble C (en deux classes C_k et C_X).

4. Placement de capteurs par la méthode basée sur la décomposition Dulmage-Mendelshon

Cette méthode a été proposée par Krysander et Frisk [20], elle est basée sur la décomposition Dulmage-Mendelshon. Comme la plupart des approches structurales, elle peut manipuler des modèles très divers : (non linéaires et algébro-différentiels) d'une façon efficace.[12]

4.1. Placement de capteurs : étude de la détectabilité

Un défaut f_i est structurellement détectable dans un modèle M si $C_{Fi} \in M^+$ où M^+ est l'ensemble des contraintes surdéterminé.

La méthode consiste à déterminer l'ensemble des variables à mesurer afin de rendre toutes les fautes détectables. D'après la définition précédente, une faute ne peut être détectée s'il n'existe pas de sous système surdéterminé.

L'exemple suivant est utilisé afin d'expliquer la méthode de placement de capteurs pour résoudre un problème de détection.

$$\left\{ \begin{array}{l} c_1 : \dot{x}_1 = -x_1 + x_2 + x_5 \\ c_2 : \dot{x}_2 = -2x_2 + x_3 + x_4 \\ c_3 : \dot{x}_3 = -3x_3 + x_5 + f_1 + f_2 \\ c_4 : \dot{x}_4 = -4x_1 + x_5 + f_3 \\ c_5 : \dot{x}_5 = -5x_5 + u + f_4 \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Où x_i sont les variables d'états, u le signal de commande et f_i les fautes.

Tab 2.5. Relation contraintes variables ou matrice d'adjacence

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
c_1	1	1			1
c_2		1	1	1	
c_3			1		1
c_4				1	
c_5					1

La DM décomposition de la matrice d'adjacence (tableau de représentation des contraintes et les variables) associée au système 2.19 est représenté sur la tableau 2.6. :

Tab 2.6. DM décomposition de la matrice d'adjacence associée au système 2.19

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
c_1	b_1				
c_2		b_2			
c_3			b_3		
c_4				b_4	
c_5					b_5

$f_1 \rightarrow$
 $f_2 \rightarrow$

$f_3 \rightarrow$
 $f_4 \rightarrow$

Dans cette matrice les parties blanches représentent les zéros (0) et les parties grises représentent les uns (1), c_i et x_i sont reliés entre eux par les blocs b_i .

Considérons le défaut f_3 . Pour que f_3 devient détectable, selon la définition, il faut ajouter un capteur de telle façon que $c_{3f} = c_4$ soit dans le sous système surdéterminé.

Il est facile de vérifier la détectabilité de f_3 lorsque les variables (x_1, x_2, x_4) seront mesurées. Par exemple, mesurer x_4 donne un sous système surdéterminé composé de la nouvelle équation de mesure avec les équations c_4 et c_5 . Dans ce sous système, un générateur de résidus sensible au défaut f_3 peut facilement être dérivé. Le même raisonnement peut être fait lors de la mesure de x_1 ou de x_2 . L'explication sur le choix des variables à mesurer peut être fait comme suit : d'après la figure (2.11), le bloc b_1 est relié à b_2 par l'intermédiaire d'un élément non nul en position (1,2), le bloc b_2 est connecté à b_4 de la même façon, ce qui donne un lien entre les variables $x_1, x_2,$ et x_4 dans le bloc b_4 . Par contre la mesure de x_3 , c'est à dire, la variable en b_3 , ne donne pas la détectabilité de f_3 car il n'y a aucun lien entre b_3 et b_4 . Les relations entre les blocs du système (2.19) sont représentées sur le diagramme de Hasse [20] (graphe acyclique direct tel qu'il existe un arc direct qui va de x vers y si et seulement si, $x \leq y$ (dans ce cas, x et y sont comparables ici x et y sont remplacés par b_i [13] de la figure 3.11.

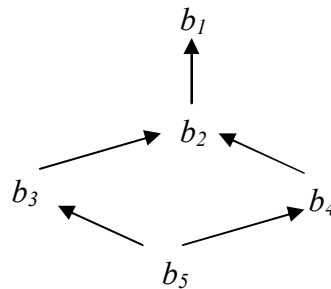


Fig 2.11. Diagramme de Hasse du système 2.19

Lemme1: Soit M l'ensemble d'équations dans le sous système juste déterminé, b_i la composante fortement connexe dans M avec les équations M_i , et $e \notin M$ une équation correspondante à la mesure de toute variable en b_i . Alors :

$$(M \cup \{e\}^+ = \{e\} \cup (U_{M_j} \ll_{M_i} M_j))$$

La preuve de ce lemme est donnée dans [20].

La réalisation de la détectabilité d'un défaut affectant une composante fortement connexe implique immédiatement la détectabilité de tous les défauts affectant la même composante. Par conséquent, il est logique de définir une relation d'équivalence sur l'ensemble des défauts, où tous les défauts qui influencent la même composante fortement connexe sont équivalents. Une série de défauts équivalents est notée $[f_i]$, où f_i est un élément de la classe d'équivalence.

Soit $P \subseteq X$ un ensemble de capteurs possibles à placer et l'ensemble $D([f_i])$ tel que

$$D([f_i]) = \{x | b_i \leq b_j, x \in X_j \cap P\}$$

Où X_j est l'ensemble des variables correspondant au bloc b_j , b_i est le bloc qui est infecté par les défauts de $[f_i]$. L'ensemble $D([f_i])$ est donc l'ensemble de variables telles que la mesure de n'importe quelle variable dans l'ensemble atteint la détectabilité de tous les défauts dans la classe d'équivalence $[f_i]$.

Dans le système 2.18, l'ajout d'un capteur pour atteindre la détectabilité de l'un des défauts dans $[f_1]$ ou $[f_3]$ entraîne la détectabilité de f_4 , cela est causé par le fait que b_5 est inférieur ou égal à b_3 et b_4 (la notion d'inférieur ou égal est dû au nombre d'équations dans chaque bloc), et selon le lemme 1, le bloc b_5 est automatiquement inclus dans tout ensemble d'équations surdéterminé lorsque $[f_1]$ ou $[f_3]$ est détectable. Cela signifie qu'il est seulement nécessaire pour assurer la détectabilité d'un sous-ensemble des classe de défauts d'assurer la détection de tous les défauts. Pour illustrer exactement les classes, introduisons un ordre sur les classes d'équivalence de F , défini comme suit : $[f_i] \leq [f_j]$ si $b_i \leq b_j$, où b_k est le bloc où les défauts de $[f_k]$ entrent dans le modèle. La figure III.5 montre le diagramme de Hasse de l'ordre partiel pour le système (2.19).

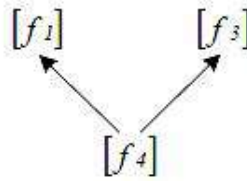


Fig 2.12. Diagramme de Hasse de l'ordre partiel du système 2.19

Dans le système (2.19), il est nécessaire et suffisant d'assurer la détectabilité d'un nombre maximal d'éléments de l'ordre partiel.

Théorème 1: [20] Soient M l'ensemble d'équations dans le sous système juste déterminé, F l'ensemble correspondant de défauts, $P \subseteq X$ l'ensemble de placements de capteurs possible, et M_S les équations correspondantes à l'ajout d'un ensemble de capteurs S . Alors, la détectabilité maximale de F dans $M \cup M_S$ est obtenue si et seulement si S a une intersection non vide avec $D([f])$ pour tout $[f] \in F_m$, où F_m est l'ensemble des classes de défauts maximales avec $D([f]) \neq \emptyset$.

La preuve de ce théorème est dans [20].

Pour le modèle du système (2.19), les classes maximales de défauts sont $[f_1]$ et $[f_3]$ et les ensembles de détectabilité correspondants sont $D([f_1]) = \{x_1, x_2, x_3\}$, $D([f_3]) = \{x_1, x_2, x_4\}$. Le théorème 1 donne les ensembles minimaux de capteurs qui permettent d'atteindre la détectabilité de tous les défauts et qui sont $\{x_1\}$, $\{x_2\}$ et $\{x_3, x_4\}$.

4.2. Placement de capteurs : étude de l'isolabilité

Définition 2 [20]: Un défaut f_i est structurellement discriminable (isolable ou distinguable) d'un défaut f_j dans un modèle E si $e_{f_i} \in (E^+ \setminus \{e_{f_j}\})$.

Le problème de l'isolabilité maximale d'ensembles de défauts peut être divisé en $|F|$ sous-problèmes, un pour chaque défaut, comme suit : pour chaque défaut $f_j \in F$, trouver toutes les mesures qui rendent le plus grand nombre possible de défauts $f_i \in F \setminus \{f_j\}$ isolables de f_j . La solution du problème de l'isolabilité sera donc obtenue en combinant les résultats de tous les sous-problèmes. Chaque sous-problème peut être formulé comme un problème de détectabilité selon le raisonnement qui suit :

Supposons que M est un modèle, y compris les capteurs de telle sorte que tous les défauts soient détectables, et M_S représentant l'ensemble des équations décrivant les capteurs supplémentaires prévues S . Compte tenu de l'ensemble S de capteurs, un défaut f_i est isolable de f_j dans le modèle $M \cup M_S$ si :

$$e_{f_i} \in ((M \setminus \{e_{f_j}\}) \cup M_S)^+ \quad (2.20)$$

On pose $M' = (M \setminus \{e_{f_j}\})$, on le remplace dans l'éq précédent et on obtient

$$e_{f_i} \in (M' \cup M_S)^+ \quad (2.21)$$

D'après la définition 2, f_i peut être considéré structurellement détectable dans $M \cup M'$. Par conséquent, le nombre maximal possible de défauts $f_i \in F \setminus \{f_j\}$ est isolable de f_j dans $M \cup M_S$ si le nombre maximal de défauts $f_i \in F \setminus \{f_j\}$ est structurellement détectable dans le modèle

$((M \setminus \{e_{f_j}\}) \cup M_S)$. Cela montre que chaque sous-problème peut être formulé comme un problème de détectabilité.

Le système (2.19) est utilisé pour illustrer les résultats sur l'isolabilité, avec l'ajout de capteurs pour mesurer $\{x_3, x_4\}$ telle que tous les défauts soient détectables. En outre, on suppose que ces capteurs peuvent être entachés de défauts (f_5 et f_6). La nouvelle DM décomposition de la matrice d'adjacence associée au système 2.19 est :

Tab 2.7: DM décomposition de la matrice d'adjacence associée au système 2.19 entaché de deux fautes capteurs

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
c_1					
c_2					
c_3		$f_1 \rightarrow$			
c_6		$f_2 \rightarrow$			
c_4		$f_3 \rightarrow$			
c_7		$f_5 \rightarrow$			
c_5				$f_6 \rightarrow$	

Considérons le sous-problème associé au défaut f_1 . L'ensemble M' en (2.21) est égal à $M \setminus \{e_1\} = M \setminus \{e_3\}$. Le sous-problème est de trouver l'ensemble minimal S de capteurs à ajouter dans $M \setminus \{e_3\}$, tel que le plus grand nombre de défauts f_2, f_3, \dots, f_6 soit détectables et visibles dans $M \cup M_S$.

Trois types de défauts peuvent se présenter : les défauts qui n'affectent aucune équation de M' , les défauts qui violent les équations de la partie surdéterminée $(M')^+$ et les défauts qui affectent les autres équations M' à savoir, $M' \setminus (M')^+$. Dans l'exemple, nous avons $(M')^+ = \{e_4, e_5, e_7\}$ et $M' \setminus (M')^+ = \{e_1, e_2, e_6\}$ qui représentent la partie juste déterminée de M' . On constate que f_2 n'est pas incluse dans M' , que f_3, f_4, f_6 appartiennent à la partie surdéterminée de M' et que f_5 appartient à la partie juste déterminée de M' . Le défaut f_2 n'est pas incluse dans M' , donc il ne peut pas être structurellement détectable dans $M' \cup M_S$ pour tout l'ensemble des capteurs S . Ceci implique que f_2 n'est pas isolable de f_1 , ce qui résulte également du fait que ces deux défauts violent la même équation. Les défauts f_3, f_4 et f_6 sont dans la partie surdéterminée $(M')^+$ et selon la définition 2, ils sont structurellement détectables dans M' et ne nécessitent aucune mesure supplémentaire. Le défaut f_5 est dans la partie juste déterminée, donc il n'est pas détectable, mais f_5 peut le devenir dans $M' \cup M_S$ si S est correctement sélectionné. Sur les conditions nécessaires et suffisantes, S peut être calculé par la fonction de détectabilité décrite dans la section (II.2.2). En appliquant cette fonction à la structure sur la partie juste déterminée de M' , e_i , le sous-graphe défini par les deux ensembles des nœuds $\{e_1,$

$e_2, e_6\}$ et $\{x_1, x_2, x_3\}$, nous obtenons $D([f_5]) = \{x_1, x_2, x_3\}$. Par conséquent, l'une des variables dans l'ensemble de détectabilité $\{x_1, x_2, x_3\}$ doit être mesurée pour rendre les défauts $F \setminus \{f_1, f_2\}$ détectables dans $M \cup M_S$, ce qui implique que tous les défauts de $F \setminus \{f_1, f_2\}$ sont isolables de f_1 dans $M \cup M_S$.

La solution du sous-problème lié au défaut f_1 sera calculée à partir de l'ensemble de détectabilité. Le théorème suivant formalise la solution d'un sous-problème comme celui évoqué précédemment.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les méthodes de surveillances à base de modèles mathématique. Ces méthodes reposent essentiellement sur la cohérence entre les valeurs émises par les capteurs et les valeurs calculées par le modèle de référence, et à l'absence de ces modèles ces méthodes deviennent inexploitables.

L'approche structurelle est un outil très puissant pour la conception des systèmes de surveillance et elle est très efficace pour les systèmes linéaires, les systèmes non linéaires et pour les systèmes complexes de grandes dimensions, car elle produit une grande partie de la solution à partir de très peu de connaissances du système.



Chapitre 03 :

Surveillance dans un environnement SCADA



1. Introduction

En général les méthodes de diagnostic, déterminent des résidus sous forme de signaux qui, en régime de fonctionnement normal, sont statistiquement nuls et s'écartent de zéro en présence de défauts. Il est bon de rappeler que la mise en œuvre de la majorité des méthodes à base de modèle exige des connaissances très approfondies sur le procédé. L'analyse structurelle quant à elle, ne demande pas des connaissances approfondies sur le système, mais juste les liens qui existent entre les variables et les contraintes de ce système. Ces liens sont indépendants des valeurs paramétriques du système et restent valables dans tout l'intervalle de ces paramètres. Le deuxième avantage que possède cette méthode est qu'elle s'applique aussi bien aux systèmes linéaires qu'aux systèmes non linéaires, vu que la majorité des systèmes physiques sont de natures non linéaires, alors on peut aisément constater l'exploitabilité et l'efficacité de cette méthode dans les installations industrielles.

Dans ce chapitre on présentera une application de l'approche structurelle sur le contrôle de niveau d'un système de trois réservoirs interconnectés, et ce dans le but de confirmer l'efficacité de cette méthode dans le domaine de surveillance.

2. Application sur un système de contrôle de niveau :

Considérant la représentation du système de la figure 3.1. qui est composé d'un réservoir, une pompe commandée par un contrôleur de niveau et un capteur de niveau, le signal d'entrée est un débit fournis par la pompe et la sortie est le niveau dans le réservoir, une vanne de fuite est ajoutée dans le but de simuler les fuites du réservoir.

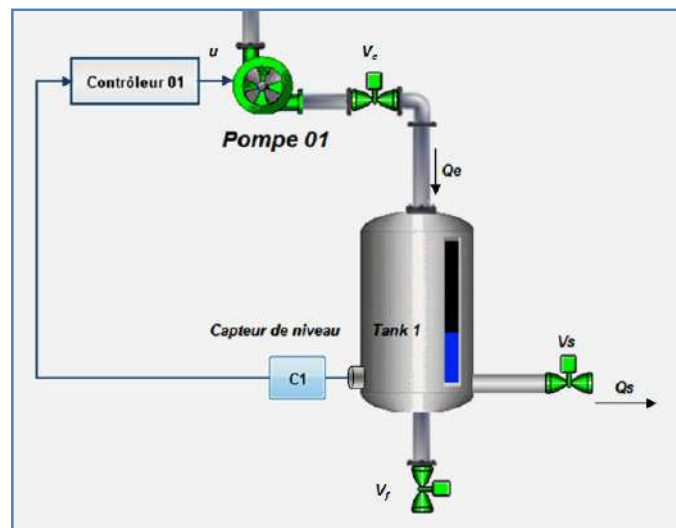


Fig 3.1. Système de contrôle de niveau

2.1. Model analytique

La modélisation du système conduit aux contraintes suivantes :

$$\text{-Réservoir} \quad c_1: s \frac{dh}{dt} - q_e + q_s + q_f = 0 \quad (3.1)$$

$$\text{-Pompe} \quad c_2: q_e - \alpha u = 0 \quad (3.2)$$

$$\text{- Vanne de sortie} \quad c_3: q_s - k_s \sqrt{h} = 0 \quad (3.3)$$

$$\text{- Vanne de fuite} \quad c_4: q_f - k_f \sqrt{h} = 0 \quad (3.4)$$

$$\text{- Capteur} \quad c_5: y - h = 0 \quad (3.5)$$

$$\text{- Contrôleur} \quad c_6: u = \begin{cases} 1 & \text{si } L_{min} \geq y \\ 0 & \text{si } L_{max} \leq y \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\text{- Contrainte différentielle} \quad c_7: \frac{dh}{dt} - z = 0 \quad (3.7)$$

Avec :

s : Surface du réservoir, h : Niveau dans le réservoir, k_s Coefficient de la vanne de sortie V_s ,

k_f : Coefficient de la vanne de fuite V_f , q_e : Débit d'entrée, Débit de sortie, q_f : Débit de fuite, y : *Mesure* de niveau, α : Coefficient de la pompe, z : Dérivée de niveau, u : Commande

2.2. Graphe structurel

Graphe structurel correspondant au système est donnée par le tableau 3.1:

Tableau 3.1. Graphe structurel

	h	q_e	q_s	q_f	z	u	y
c_1	1	1	1	1	0	0	0
c_2	0	1	0	0	0	1	0
c_3	1	0	1	0	0	0	0
c_4	1	0	0	1	0	0	0
c_5	1	0	0	0	0	0	1
c_6	0	0	0	0	0	1	1
c_7	1	0	0	0	1	0	0

On remarque que toutes les variables ont été trouvées et qu'il reste une contrainte non couplée, alors le système est sur déterminé, ce qui implique que la relation de redondance analytique est la suivante c_1 :

$$RRA = s \frac{dh}{dt} - \alpha u - k_s * \sqrt{y} = n(t) \quad 3.8$$

$n(t)$: représente un bruit de mesure

3 . Simulation

3.1. Sans défaut

En utilisant Simulink, la simulation sans défaut est donnée par la figure 3.2. :

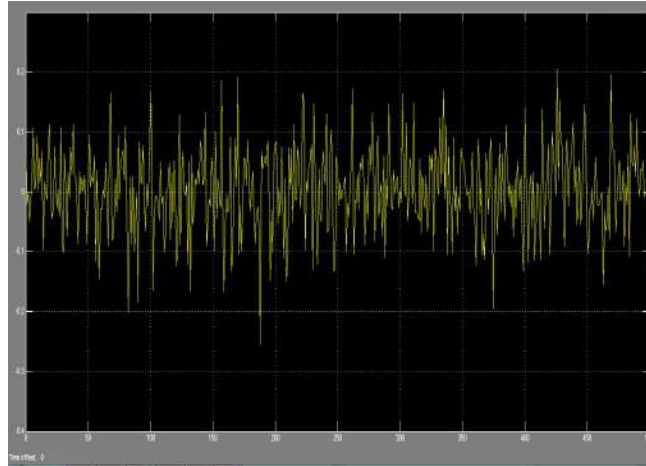


Fig 3.2. Courbe du Résidu sans fuite

On remarque qu'avant d'ouvrir la vanne qui simule la fuite, la courbe du résidu varie autour de zéro, cette non nullité, est due au bruit de mesure.

3.2 . Avec défaut

On refait la même simulation mais on ouvrant la vanne V_f pour simuler des fuites sur le réservoir, et ce, à partir de la 250^{ième} seconde jusqu'à 300^{ième} seconde, on a obtenu la courbe figure 3.3. :

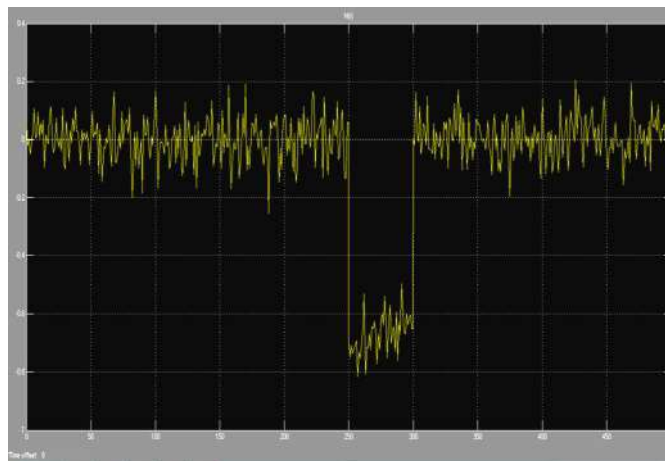


Fig 3.3. Courbe du Résidu avec fuite

On remarque que le résidu est nul jusqu'à ce qu'on ouvre la vanne de fuite, qui est exprimé par un saut de la valeur zéro à la valeur 0.8 et se fixe à cette valeur tout le temps d'ouverture de la vanne de fuite.

4 . Implémentation dans un environnement SCADA

4.1. Génération des RRA d'un système à trois réservoirs avec la méthode d'analyse structurale

Dans cette partie on procédera à l'application de l'approche étudiée dans le chapitre précédent sur un système à trois réservoirs (Three tank system), et ce, dans le but de générer les algorithmes de surveillance (Relation de Redondance Analytique) qui seront implémentés sur le logiciel InduSoft.

4.2 . Description du système

Le système considéré dans notre application est représenté par la figure 3.4., ce système représente trois réservoirs interconnectés entre eux via des vannes, deux pompes, deux contrôleurs tout ou rien, trois capteurs de niveau et des vannes pour simuler des fuites, les variables contrôlés et supervisés sont les niveaux dans le premier et le troisième réservoir (h_1 et h_3).

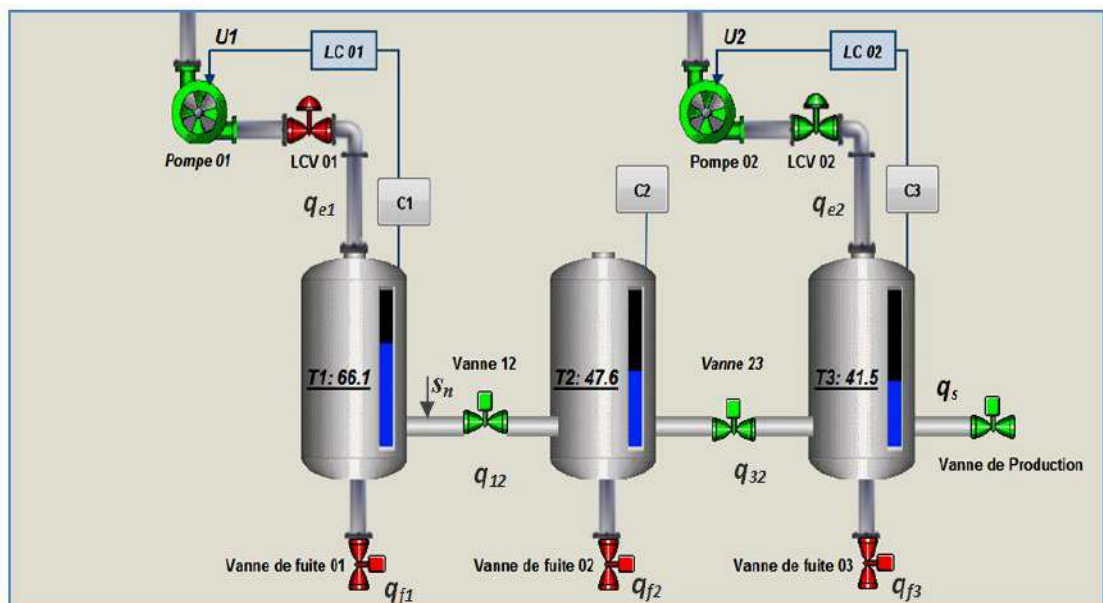


Fig 3.4. Système à trois réservoirs

Avec :

q_{e1} : débit d'entrée dans le premier réservoir [m^3/s], q_{e2} : débit d'entrée dans le deuxième réservoir [m^3/s]. q_{f1} , q_{f2} , q_{f3} : sont respectivement les débits de fuite dans le premier, deuxième et troisième réservoir [m^3/s]. q_{12} : débit entre le premier réservoir et le deuxième réservoir [m^3/s]. q_{32} : débit entre le troisième réservoir et le deuxième réservoir [m^3/s]. q_s :

débit de sortie [m^3/s]. C_1 , C_2 et C_3 sont des capteurs de niveau, s_n : section de la tuyauterie utilisée [m^2]. LC_1 et LC_2 sont des contrôleurs de niveau. U_1 et U_2 sont les commandes des pompes.

4.3. Génération de relations de redondance analytique

A fin de superviser ce système on procède à l'application de l'approche analyse structurelle pour déterminer les algorithmes de surveillance.

➤ Contraintes du système

Le bilan de masse du système est donné par les équations suivantes :

$$-1^{\text{er}} \text{ Réservoir} \quad c_1: s_1 \frac{dh_1}{dt} - q_{e1} + q_{12} = 0 \quad (3.9)$$

$$-2^{\text{ième}} \text{ Réservoir} \quad c_2: s_2 \frac{dh_2}{dt} - q_{12} + q_{32} = 0 \quad (3.10)$$

$$-3^{\text{ième}} \text{ Réservoir} \quad c_3: s_3 \frac{dh_3}{dt} - q_{e2} + q_{32} + q_s = 0 \quad (3.11)$$

$$- \text{Pompes} \quad c_{4,5}: q_{ei} - \alpha u_i = 0 \quad i=1 \dots 2 \quad (3.12)$$

$$- \text{Vannes} \quad c_6: q_{12} - k \sqrt{2g|h_1 - h_2|} = 0 \quad (3.13)$$

$$c_7: q_{32} - k \sqrt{2g|h_3 - h_2|} = 0 \quad (3.14)$$

$$c_8: q_s - k \sqrt{2gh_3} = 0 \quad (3.15)$$

$$- \text{Capteurs} \quad c_{9,10,11}: y_i - h_i = 0 \quad i=1 \dots 3 \quad (3.16)$$

$$- \text{Algorithme de} \\ \text{Contrôle} \quad c_{12,13}: u = \begin{cases} 1 & \text{si } L_{\min} \geq y_i \\ 0 & \text{si } L_{\max} \leq y_i \end{cases} \quad (3.17)$$

$$- \text{Equations} \\ \text{différentielle} \quad c_{14,15,16}: \frac{dhi}{dt} - z_i = 0, i=1 \dots 3 \quad (3.18)$$

Avec :

s_i : surface des réservoirs, $i=1 \dots 3$

h_i : Niveau dans réservoirs, $i=1 \dots 3$

k : Coefficient des vannes

y_i : Mesure de niveau, $i=1 \dots 3$

α_i : Coefficient de la pompe, $i=1 \dots 2$

4.4. Représentation structurelle du système

Les liens qui existent entre les variables et les contraintes sont représentés par des «1», les variables connues sont utilisées dans les contraintes pour calculer les variables inconnues, les «1» encadrés par un cercle bleu correspondent respectivement aux contraintes utilisées et aux variables inconnues calculées, les contraintes encadrées par un cercle rouge correspond aux

contraintes non utilisées dans le calcul des variables inconnues, ces contraintes représentent donc les relations de redondances analytiques recherchées.

Tableau 3.2. : Représentation structurelle du système de la figure 3.4.

Variables inconnues												Variables connues				
	h_1	h_2	h_3	q_{e1}	q_{e2}	q_s	q_{12}	q_{32}	z_1	z_2	z_3	u_1	u_2	y_1	y_2	y_3
c_1				1			1		1							
c_2							1	1		1						
c_3					1	1		1								1
c_4				1								1				
c_5					1								1			
c_6	1	1					1									
c_7		1	1					1								
c_8			1			1										
c_9	1													1		
c_{10}		1													1	
c_{11}			1													1
c_{12}												1		1		
c_{13}													1			1
c_{14}	1								1							
c_{15}		1								1						
c_{16}			1													1

Après avoir remplacé les variables inconnues par leurs équivalentes connues dans les contraintes c_1 , c_2 et c_3 , on a obtenu les relations de redondance suivantes :

$$\begin{aligned}
 s_1 \frac{dy_1}{dt} - \alpha u_1 - k_{12} \text{sign} (y_1 - y_2) \sqrt{|y_1 - y_2|} &= 0 \\
 s_2 \frac{dy_2}{dt} - k_{12} \text{sign} (y_1 - y_2) \sqrt{2g|y_1 - y_2|} - k_{32} \text{sign} (y_3 - y_2) \sqrt{2g|y_3 - y_2|} &= 0 \\
 s_3 \frac{dy_3}{dt} - \alpha u_2 - k_{32} \text{sign} (y_2 - y_3) \sqrt{2g|y_2 - y_3|} + k_s \sqrt{2gy_3} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{3.19}$$

• **Application numérique**

Les valeurs numériques des paramètres du système sont choisis comme suit :

q_{e1}, q_{e2}	0.1 ml/s
s_n	$5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
$s_1, s_2 \text{ et } s_3$	0.0154 m^2
g	9.81 m/s^2
k_{12}	72×10^{-4}
k_{32}	25×10^{-4}
k_s	17×10^{-6}
Défauts capteurs : $f_1, f_2 \text{ et } f_3$	65, 80 et 90

- **Simulation sans défaut**

La simulation de ces relations dans un mode sans défaut donne les graphes suivants :

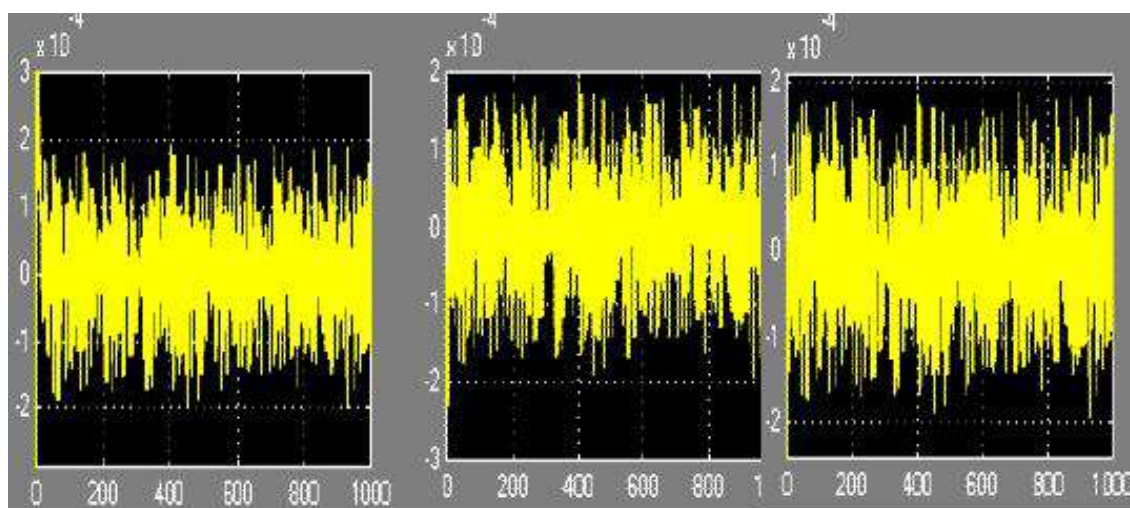


Fig 3.5.a. Première RRA
sans défaut

Fig 3.5.b. Deuxième RRA
sans défaut

Fig 3.5.c. Troisième RRA
sans défaut

On remarque dans ce mode sans défaut que les relations de redondances analytique, égales au bruit de mesure, indiquant qu'aucun défaut n'a été détecté.

- **Simulation avec défaut de fuite**

Dans cette deuxième simulation, on ouvre les vannes de fuite pour tous les réservoirs, les résidus obtenus sont représentés dans les figures suivantes :

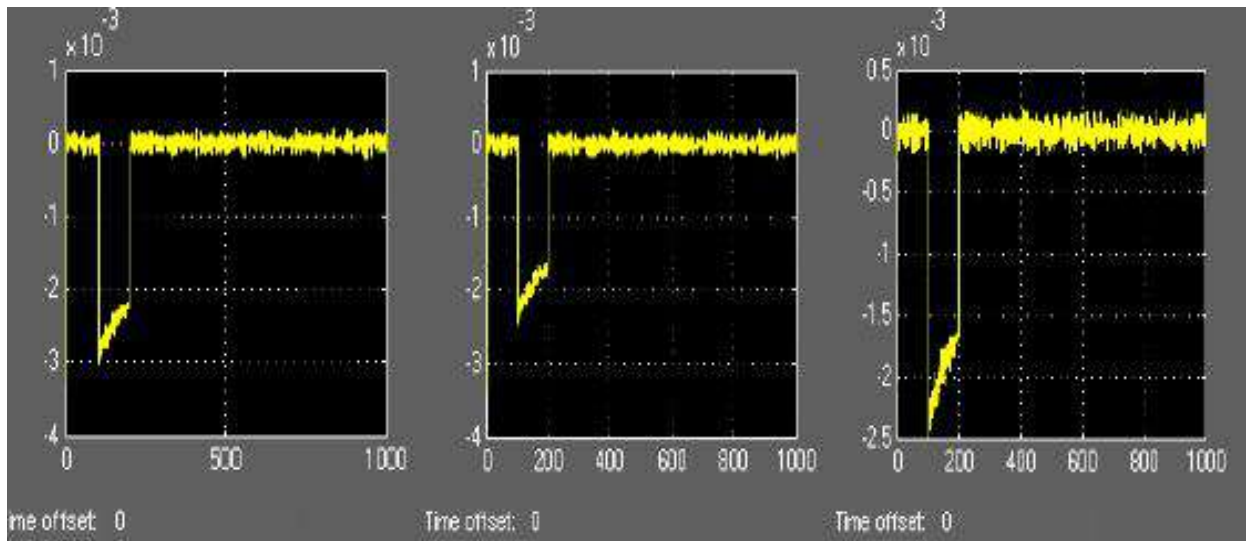


Fig 3.6.a. Première RRA avec défaut

Fig 3.6.b. Deuxième RRA avec défaut

Fig 3.6.c. Troisième RRA avec défaut

On remarque que les relations de redondance dans ce mode de défauts de fuite ne sont pas nulles, indiquant qu'un défaut est présent sur le système.

On remarque aussi que l'amplitude des défauts est plus importante dans la première relation, et vient ensuite celle de la troisième relation et à la fin vient celle de la deuxième relation, cette différence d'amplitude est expliquée par la dépendance d'une fuite avec le niveau dans le réservoir correspondant.

5. Implémentation des RRA sur le logiciel InduSoft

Pour l'implémentation, on a utilisé le logiciel InduSoft pour développer une application qui consiste à superviser en temps réel le système à trois réservoirs (Three Tanks), pour ce faire, on a tout d'abord créé une interface graphique qui se compose d'une représentation du Three Tanks, d'une fenêtre d'alarmes et d'une fenêtre de surveillance des résidus (fig 3.7), on a ensuite fait associer chaque objet de l'interface graphique à son modèle mathématique et on a aussi implémenté les relations de redondance trouvées dans la partie précédente pour une supervision des défauts.

Dans cette application, deux mode de fonctionnement sont envisagés : le mode manuel et le mode automatique. On clique sur le bouton « Manu » pour désactiver les deux pompes et les vannes, puis on click, à nouveau, sur l'objet graphique correspondant (pompe, vanne...) que l'on veut actionner. On clique sur le bouton « Auto » pour que le système fonctionne d'une manière automatique. Le remplissage du premier reservoir est conditionné par

l'activation de la première pompe et la vanne LCV01 simultanément, et le remplissage du troisième reservoir est conditionné par l'activation de la deuxième pompe et la vanne LCV02 simultanément, tandis que le remplissage du deuxième reservoir se fait par l'ouverture de la vanne n°12 et/ou la vanne n°23. Quand le niveau dans le reservoir T1 atteint 90% du niveau maximal, le capteur C1 donne le signal de fermeture à la vanne LCV01, et quand le niveau atteint 10% le capteur C1 donne le signal d'ouverture à la vanne LCV01 ; (Idem pour le reservoir T3). La mesures des niveaux dans les trois reservoirs sont utilisés par le système de supervision pour calculer les résidus de surveillance de l'ensemble du système.

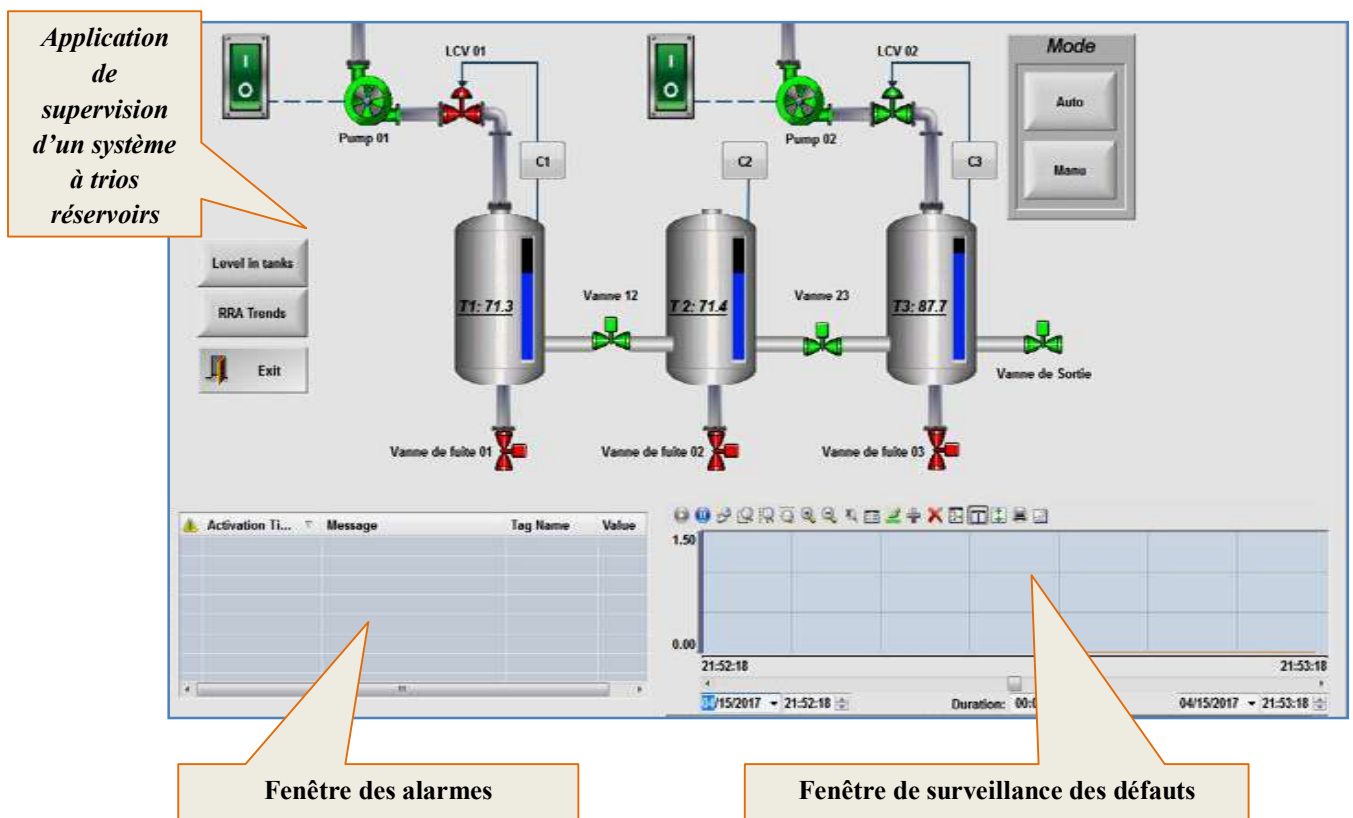


Fig 3.7. Interface graphique de l'application de supervision du système à trois réservoirs

- **Schéma du système à trois réservoirs**

Cette interface de l'application nous permet de simuler les défauts sur les capteurs et sur les fuites qui peuvent subvenir à chaque instant, pour simuler un défaut sur un capteur, il suffit juste de cliquer sur l'objet graphique correspondant à ce dernier et de cliquer à nouveau

pour l'éliminer, pour simuler une fuite d'un réservoir, il suffit de cliquer sur la vanne de fuite correspondante pour l'ouvrir et de cliquer à nouveau pour la fermer.

- **Fenêtre de surveillance des défauts**

Cette fenêtre représente les valeurs des résidus (RRA), si le système fonctionne en mode normal, les valeurs des résidus sont nulles, si le système fonctionne dans un mode de défaut, ces résidus auront des valeurs non nulles.

- **Fenêtre des alarmes**

Cette fenêtre affiche des messages à chaque fois qu'un défaut est détecté, ce message reste affiché jusqu'à ce que ce défaut soit disparu.

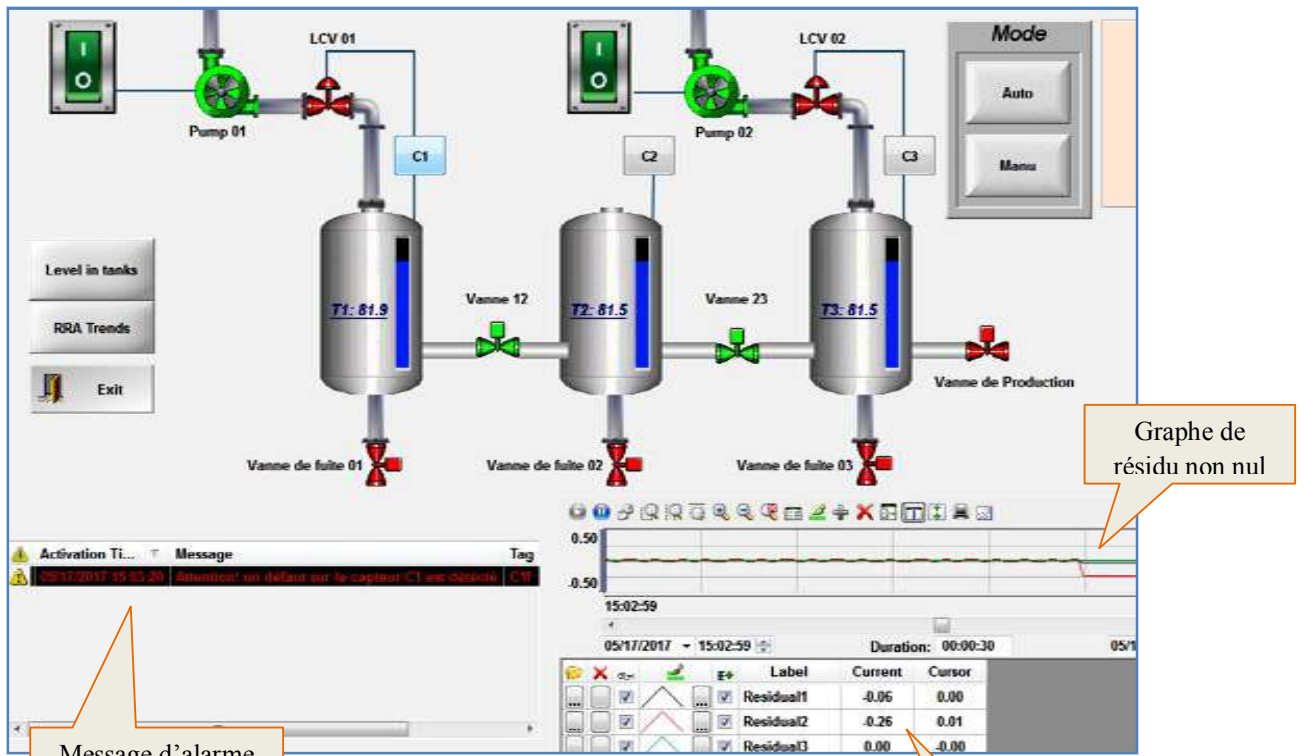
- **Simulation des défauts**

La figure 3.7. représente la fenêtre de supervision du système dans un mode sans défaut. Dans ce mode aucun défaut est activé ce qui fait que tous les résidus sont nuls et aucun message d'alarme n'est affiché.

- **Simulation d'un défaut capteur**

La figure 3.8 représente l'interface de supervision d'un mode défaut sur le capteur C1. Dans ce mode on remarque que la fenêtre de surveillance de défaut affiche un résidu non nul, correspondant au défaut sur le capteur C1, aussi la fenêtre d'alarme affiche un message qui indique qu'un défaut est présent sur le système.

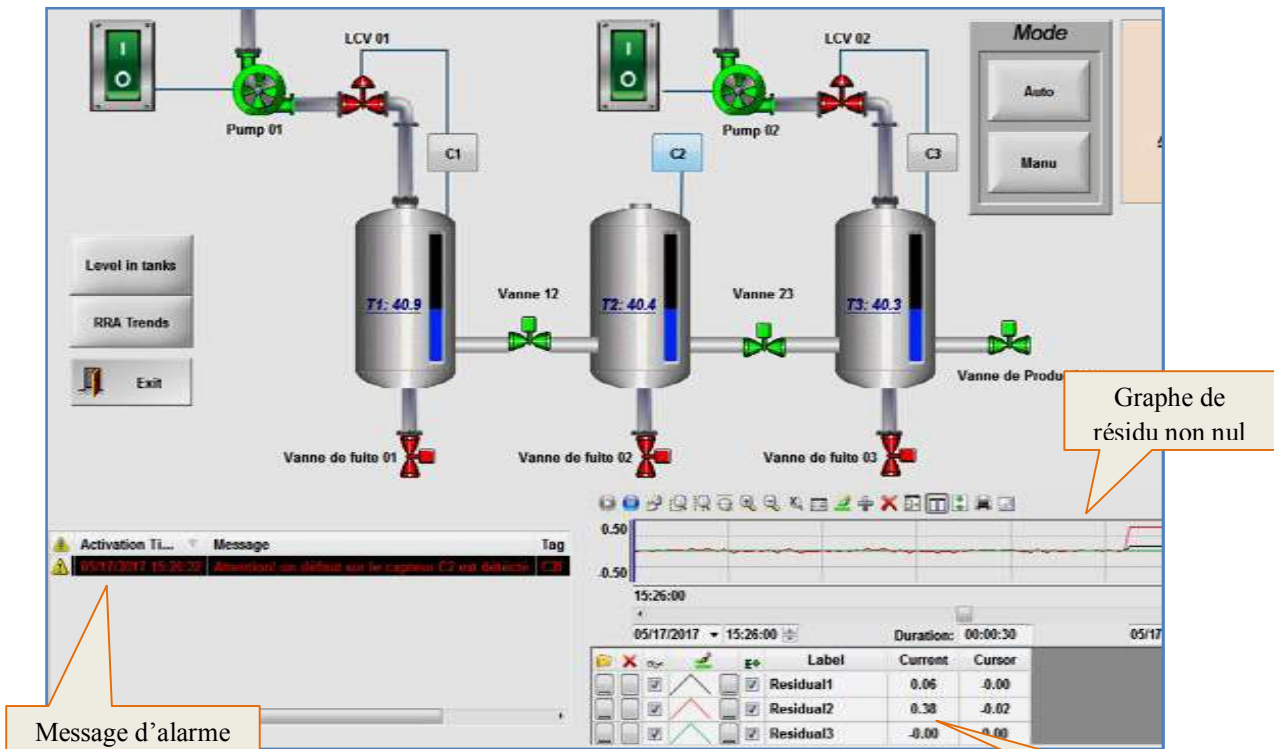
Même remarque pour la simulation des défauts sur les capteurs C2 représenté par la figure 3.9 et la simulation d'un défaut sur le capteur C3 représenté par la figure 3.10 respectivement ; la fenêtre de surveillance des défauts affiche des résidus non nuls graphiques et numériques, aussi la fenêtre d'alarme affiche des messages qui indiquent qu'un défaut est présent sur le système.



Message d'alarme de détection défaut sur le capteur C1

Fig 3.8. Détection d'un défaut sur le capteur C1

Résidu non nul



Message d'alarme de détection défaut sur le capteur C2

Fig 3.9. Détection d'un défaut sur le capteur C2

Résidu non nul

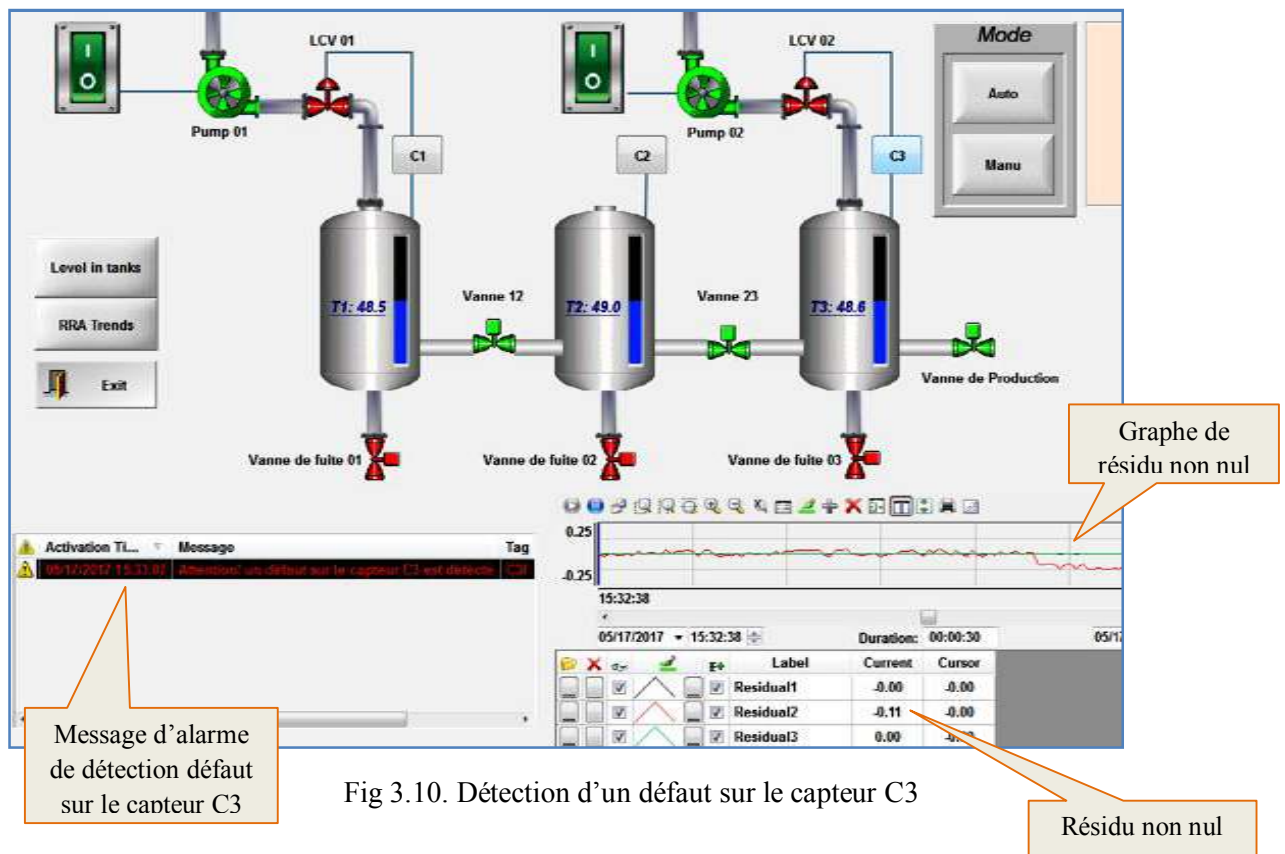


Fig 3.10. Détection d'un défaut sur le capteur C3

• **Remarque :**

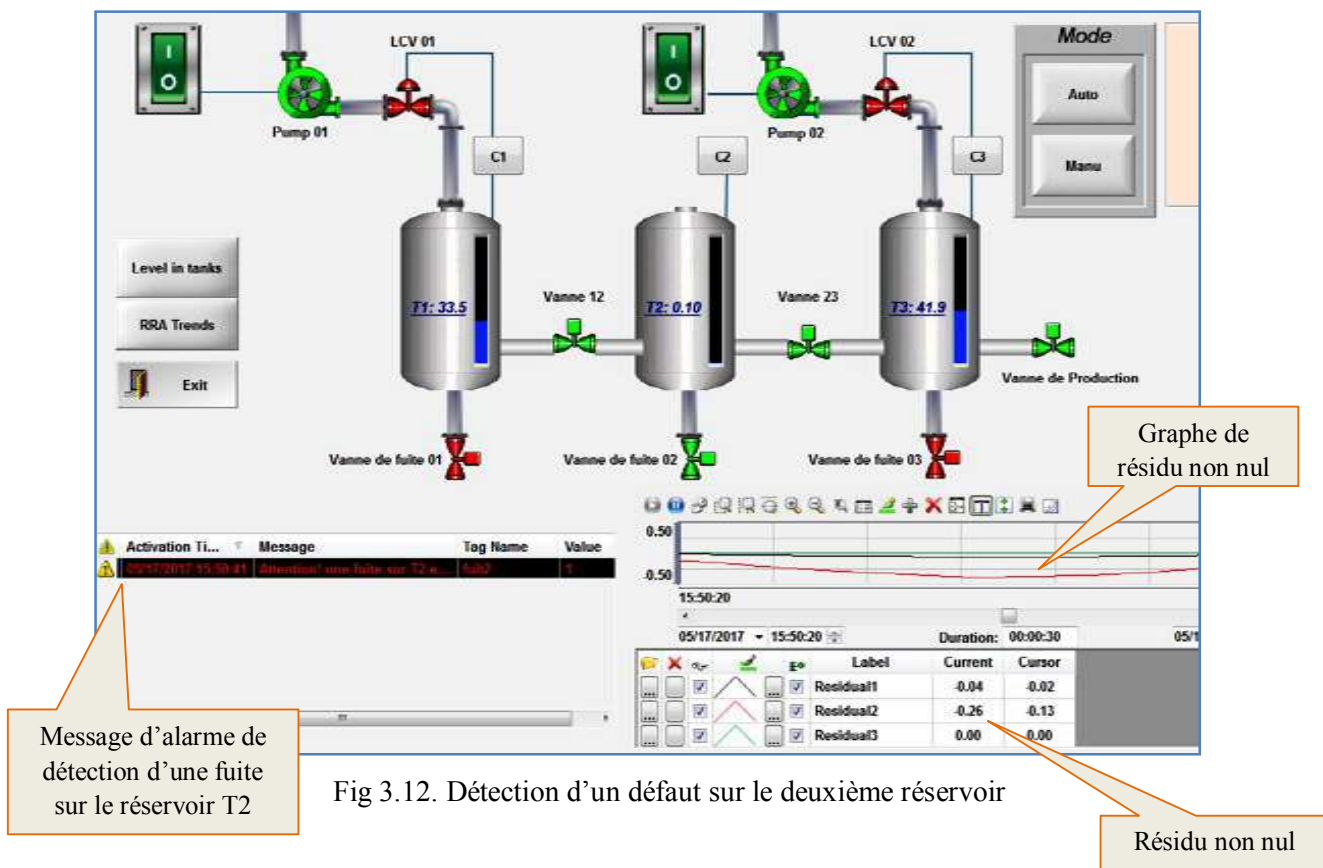
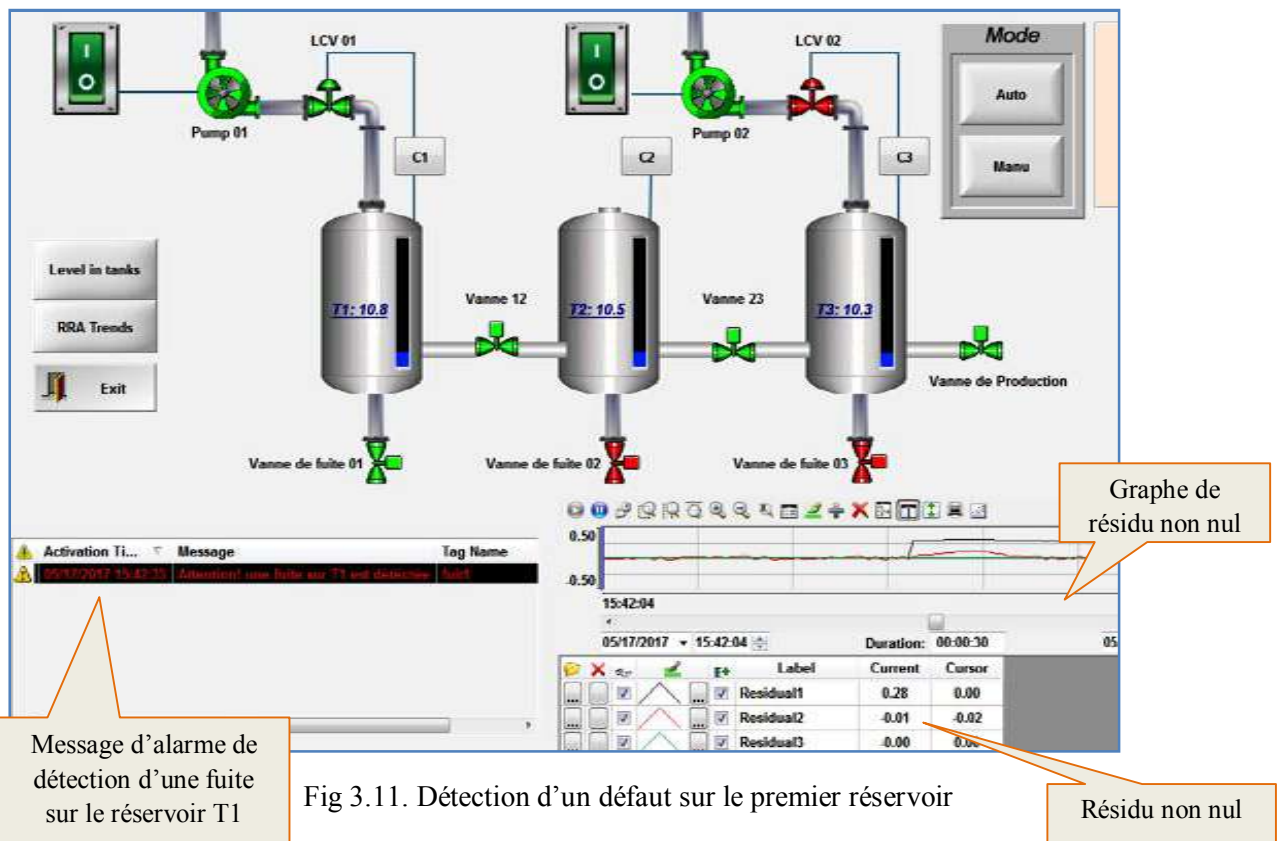
Les défauts simulés sur les capteurs C1, C2 et C3 sont des défauts aditifs de type biais, les mesures de niveau dans les réservoirs seront donc:

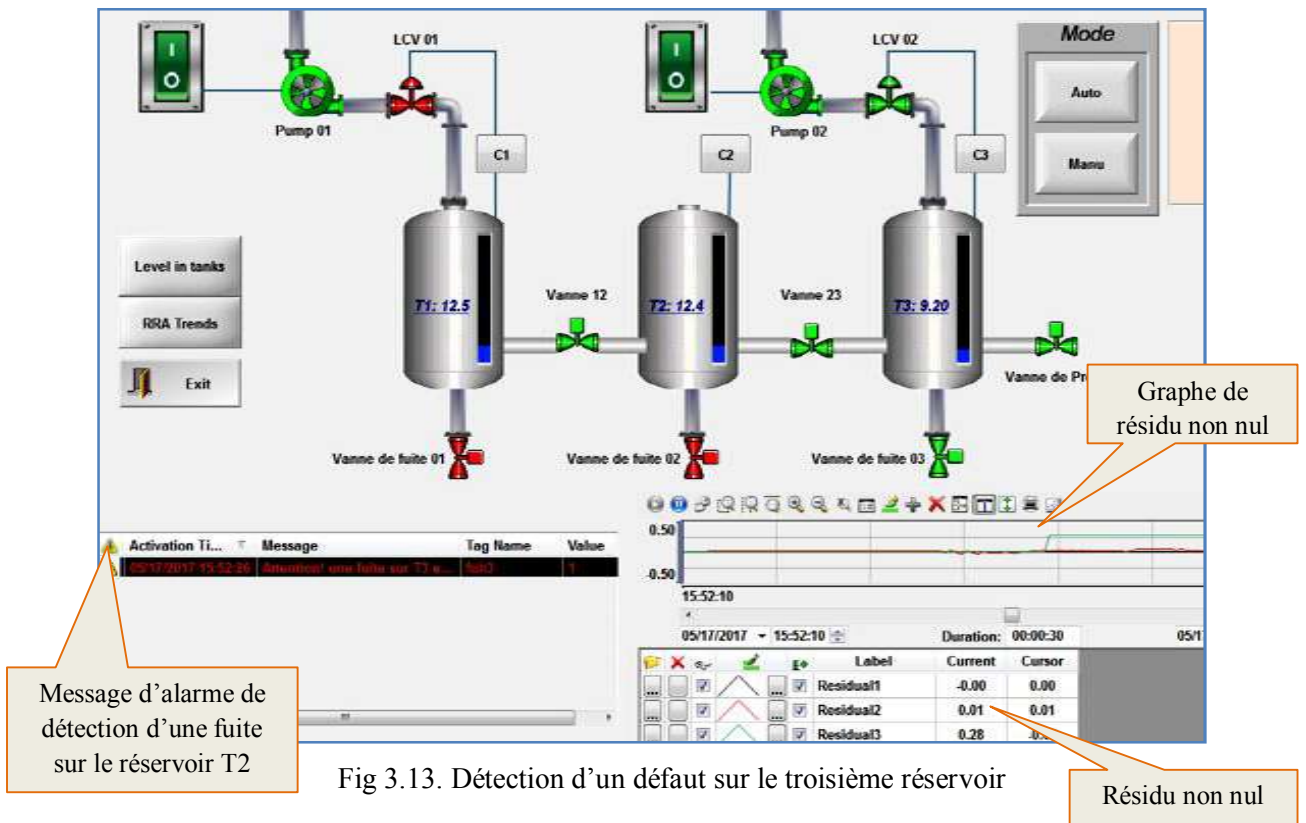
- La mesure avec défaut sur le capteur C1 : $y_1=h_1+f_1$
- La mesure avec défaut sur le capteur C2 : $y_2=h_2+f_2$
- La mesure avec défaut sur le capteur C3 : $y_3=h_3+f_3$

• **Simulation des fuites :**

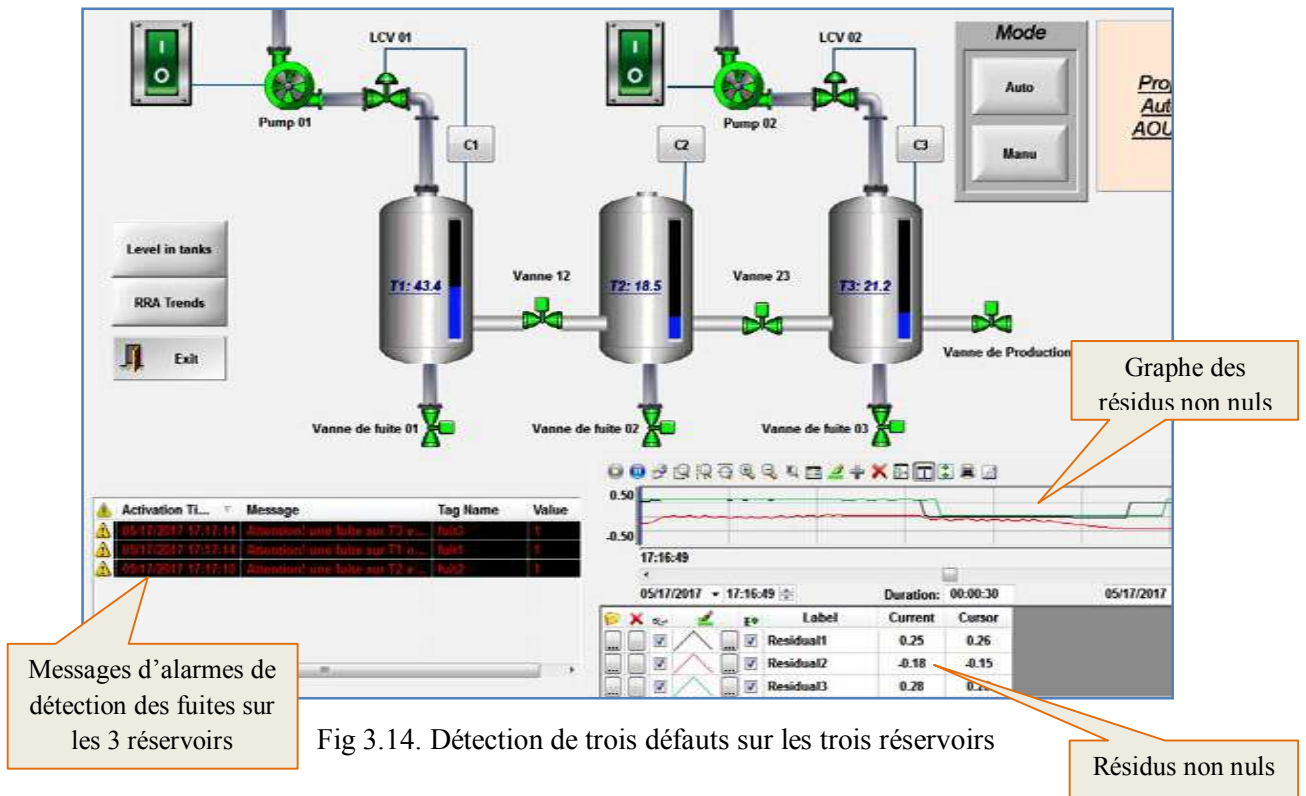
La figure 3.11 représente l'interface de supervision d'un mode défaut de fuite sur le premier réservoir, dans ce mode on remarque que la fenêtre de surveillance de défaut affiche un résidu non nul, correspondant au défaut de fuite sur le premier réservoir, aussi la fenêtre d'alarme affiche un message qui indique qu'un défaut est présent sur le système.

Les figures 3.12 et 3.13 représentent les interfaces de supervision d'un mode défaut de fuite sur le 2^e et le 3^e réservoir, respectivement, et on remarque que les résidus ne sont pas nuls.






La figure 3.14 représente l'interface de supervision d'un mode défaut de fuites sur les trois réservoirs simultanément, et on remarque que les résidus ne sont pas nuls.




6. Conclusion :

Dans ce chapitre, après avoir déterminé les algorithmes de surveillance par l'approche structurelle sur un système à trois réservoirs, on les a implémentés sur le logiciel de supervision Indusoft qui travaille en temps réel et dans un environnement SCADA, on a constaté, après plusieurs simulations réalisées, que l'approche structurelle est très efficace, très simple à implémenter, très adaptée pour la supervision en temps réel et applicable sur tous les types de système avec modèle.

Le logiciel InduSoft présente beaucoup de possibilités telles que la création des interfaces graphiques très représentatives des systèmes réels, ainsi que des outils de supervision très avancés et un langage de programmation simple appelé « VBscript », et encore d'autres outils de communication à distance, qui offre la possibilité de superviser une installation très lointaine par rapport au poste de pilotage.



**CONCLUSION
GENERALE**



Conclusion générale

Ce mémoire, est une contribution à l'étude de la supervision automatique des systèmes industriels qui fait l'objet de beaucoup de spécialités d'engineering en générale et de l'automatique en particulier.

En premier temps, nous avons donné un aperçu sur l'état de l'art des méthodes de surveillance utilisant des modèles mathématique du système à surveiller, et nous avons vu que ces méthodes sont déterministes et aboutissent à des résultats précis, mais sont inutiles en absence des modèles mathématique du système. D'autres techniques sont utilisées pour concevoir des modules de surveillance en l'absence d'une modélisation mathématique complète qui décrit le comportement physique du système.

Ensuite; nous avons focalisé notre travail sur l'étude de l'approche structurelle qui est un outil puissant du diagnostic, du fait qu'elle ne demande que les données des liens entre les variables et les contraintes indépendamment des valeur numériques des paramètres du système, autrement dit, cette approche n'a pas besoin de connaissances approfondies sur le système. L'analyse structurelle est réalisée, donc, en utilisant des liens graphiques pour représenter les liens qui lient les variables aux contraintes physiques du système.

Les résultats de l'étude de la surveillance peut être exploité dans la reconfiguration de la commande afin de garder le système dans les limites de performance et de sécurité requises.

La supervision dans un environnement SCADA, est une solution globale pour les installations à risques, grâce à sa possibilité de contrôle et de supervision à partir d'un poste de pilotage qui se trouve hors périmètres de danger, en effet cette solution utilise également les outils informatique tels que l'intranet, l'internet, réseau télécom, etc. pour la transmission des signaux, et elle est réalisée à l'aide des logiciels sur lesquels on développe une interface graphique de l'installation et à partir de laquelle on peut superviser et contrôler les paramètres du procédé.

Parmi ces logiciels de développement de l'interface graphique de supervision on trouve « IndusSoft Web Studio », qui est un logiciel fonctionnant dans l'environnement SCADA, il possède plusieurs avantages tels que: la supervision et le contrôle en temps réel, interfaces graphiques conviviales et qui reflètent l'image de l'installation supervisée à distance.

Et pour finir, nous avons développé une application de simulation avec l'InduSoft afin de concrétiser la notion de la supervision sur un système à trois réservoirs, après l'avoir



analyser en utilisant l'approche structurale. L'analyse s'est basée sur les formules des résidus qui ont servi à l'implantation des algorithmes de diagnostic des défauts sur la dite application de l'Indusoft, ce qui confirme l'efficacité de l'approche structurale et son adaptation aux procédés complexes, ainsi que la flexibilité qu'offre le logiciel InduSoft à un contrôle et une supervision en temps réel et à distance.

Perspectives

Ce travail est une contribution préliminaire dans le domaine de supervision automatique, et il prépare la plateforme pour d'autres perspectives entre autres :

- La réalisation d'un système de contrôle de niveau à trois réservoirs avec les interfaces d'entrées /sorties qui vont être reliées à l'ordinateur. Dans ce cas l'application Indusoft va contrôler et superviser le système, en temps réel.

- Etudier une autre méthode de surveillance qui n'utilise pas des modèles mathématique.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographie

[01] :Gilles Zwingeistein, « Diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels » édition Hermès, 1995, pp. 55-13.

[02]:Carlos Daniel GARCIA-BELTRAN, « Outils Pour L'aide A La Supervision De Procédés Dans Une Architecture Multiagent », thèse doctorat, Laboratoire d'Automatique de Grenoble 2004, 143 p.

[03]:Frédéric BUSSON, « les bond graphes multi énergies pour la Modélisation et la surveillance en génie des Procédés » thèse doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2002, 209 p.

[04]: Daniel RACOCEANU « Contribution à la surveillance des Systèmes de Production en utilisant les Techniques de l'Intelligence Artificielle »,Thèse d'habilitation, Université de FRANCHE-COMTÉ de Besançon, 2006, 114 p.

[05]: David Andreu, « commande et supervision des procédés discontinus :une approche hybride», thèse doctorat, université Paul Sabastier de Toulouse, 1996, 138 p.

[06] :Claudia VICTORIA ISAZA NARVAEZ, « Diagnostic par techniques d'apprentissage floues : conception D'une méthode de validation et d'optimisation des partitions » , thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2007, 178 p.

[07]:NABIL JERBI, « Apports et Intégration de la Robustesse pour la Supervision de Systèmes Manufacturiers », thèse doctorat, Ecole Nationale D'ingénieurs De Tunis, 2006, 158 p .

[08] :Wassim EL OSTA « surveillabilité diagnostic des modèles bond graphe Centrale de Lille, structurelle et platitude pour le couplés» thèse doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2005, 226 p .

[09] :Daneels, W.Salter, “ WHAT IS SCADA?” International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 1999, Italy, pp. 5.

[10]:David Bailey, Edwin Wright, « Practical SCADA for Industry » Elsevier, IDC Technologies, Australia, 2003, 298 p .

[11]:Héctor Ricardo Hernández De León, « Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable », thèse doctorat, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, 2006, 164 p.

[12]:Nassim Belkherchi, « Contribution à l'étude du diagnostic et de la commande tolérante aux fautes par l'approche structurelle. Application aux procédés biologique», thèse doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2011, 143p.

[13]: Rim MRANI ALAOUI, « conception d'un module de diagnostic a base des suites de bandes temporelles en vue de la supervision des procédés énergétique .» Application en ligne à un générateur de vapeur, thèse doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2004, 133 p.

[14] : Sylvain PIECHOWIAK « Intelligence artificielle et diagnostic», Technique de l'ingénieur, S 7 217, 2000, page 18.

[15] : Nadia Bedjaoui « Supervision dynamique d'un canal d'irrigation », thèse doctorat, Institut National Polytechnique De Grenoble, 2006, 129 p .

[16] : R. Isermann, « Fault Diagnostic of machine via parameter estimation and knowledge processing », tutorial paper. Automatica, Vol 29 ,N°04, 1993, 835 p.

[17]:Kamal MEDJAHHER, « contribution de l'outil bond graphe pour la conception de systèmes de supervision des processus industriels », thèse doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2005 , 174 p .

[18]:Staroswiecki, M., M. Bayart, J.Ph. Cassar, “ Structural Approach for Fault Detection and Isolation in Discrete Event Systems, 55 IMACS/SICE International Symposium on Robotics, Mechatronics and Manufacturing Systems” , Kobe, Japan, 16-20 September 1992, pp10 .

[19] :M. Starosweicki and P. Declerk, “analytical redundancy in non-linear interconnected systems by means of structural analysis”, IFAC Symposium on Advanced Information Processing in Automatic Control, AIPAC'89, Nancy France, July 3-5, 1989, pp5.

[20] M.KRYSANDER and E.FRISK «Sensor Placement for Fault Diagnosis » IEEE transactions on systems, man, and cybernetics—part a: systems and humans, vol. 38, no. 6, 2008, pp 1398 – 1410.

[21] IKHLEF Boualem , Contribution à l'Etude de la Supervision Industrielle Automatique dans un Environnement SCADA, Thèse Magister , Université Boumerdes , 2009, 91 p.

[22] ACHBI Mohammed Said , Commande tolérante aux défauts en utilisant les Réseaux de Neurones Artificiels et les Systèmes d'Inférence Floue, Masters thesis, Université Mohamed Khider, Biskra , 2012 , 158 p.

[23] Belkacem OULD BOUAMAMA, Design Of Supervision Systems.Conception des Systèmes de Supervision Prof Research Director Ecole Polytechnique de Lille, 2013, 163 p.

[24] Normes IEC 61508 & IEC 615011 «Functional safety-Safety instrumented systems for the process industry sector». Part3, Edition 2003, p25.

[25]- Document help de l'Indusoft Web studio, , SCHNEIDER ELECTRIC SOFTWARE LEARNING SERVICES, Revision B, January 2016 , 289 p.

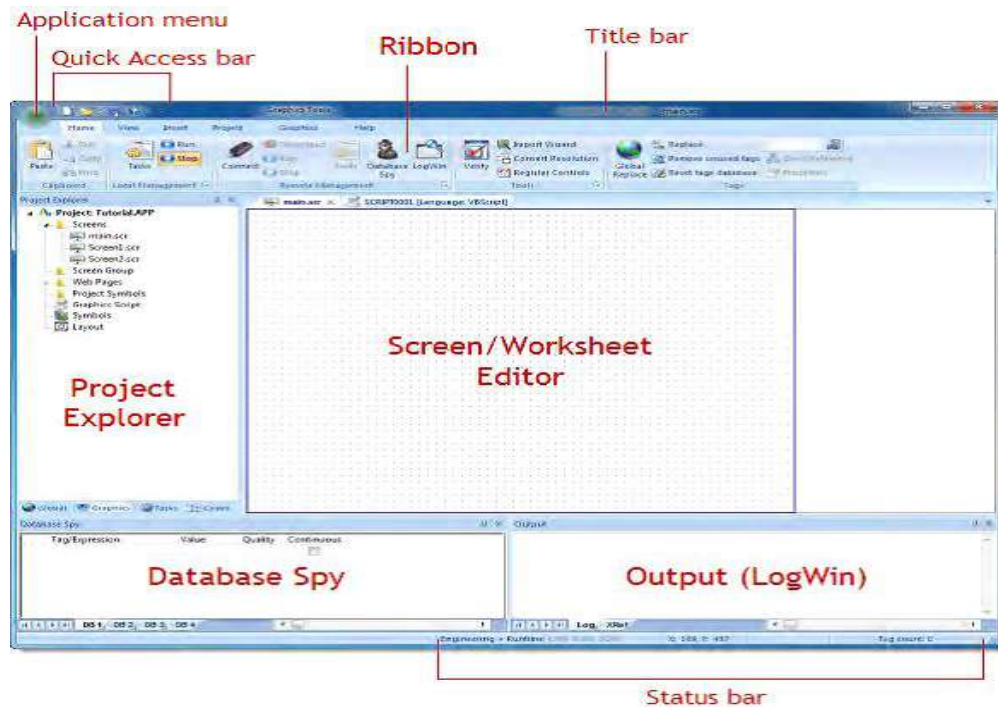


ANNEXE



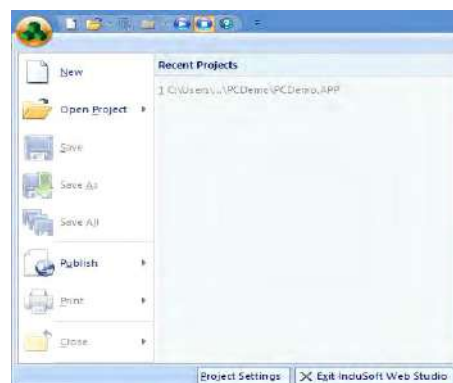
- Description du logiciel InduSoft Web Studio

Le logiciel InduSoft est une collection puissante d'outils d'automatisation qui inclut tous les modules requis pour le développement des interfaces graphiques, la commande des systèmes, les systèmes d'acquisition de données et des techniques de supervision et de commande à une distance.



- Application Menu

Ce bouton de Menu ouvre un menu d'applications windows standard comme: New, Open, Save, Print, and Close...etc.



- Quick Access Toolbar

C'est un toolbar détachable qui contient des commandes indépendantes du ruban «Ribbon»



- Ribbon Interface

C'est une interface conviviale qui contient plusieurs menus et toolbars dans un seul ruban, la plupart des applications sont dans ce ruban, et elles sont organisées par groupes et tabulations selon l'utilisation générale.

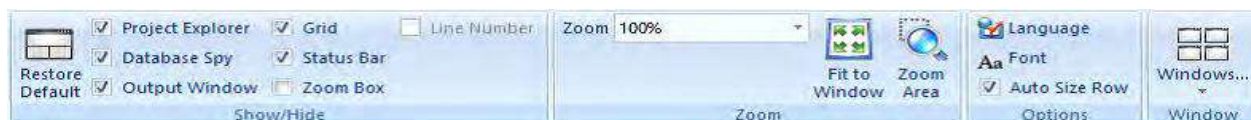
- Home tag

Ce menu est contient les outils d'édition, de lancement de l'application...etc. Il est utilisé pour manager le projet dans l'environnement de développement.



- View tab

Cette fenêtre est utilisée pour ajuster l'apparence de l'environnement de développement lui même



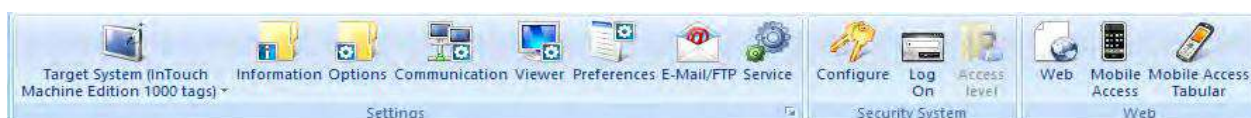
- Insert tab

Cette tabulation du ruban est utilisée pour insérer de nouvelles étiquettes « tags », worksheets et d'autres composants dans le projet.



- Project tab

Cette tabulation du ruban est utilisée pour configurer les paramètres du projet



- Graphics tab

La tabulation « **Garphics** » du ruban est utilisée pour dessiner les écrans du projet, c'est-à-dire pour designer les graphiques du projet



- Format tab

Cette tabulation est utilisée pour ajuster et arranger les formes des objets dans l'écran du projet.



- Help tab

Cette fenêtre fournit l'aide supplémentaire lors de l'utilisation du software.



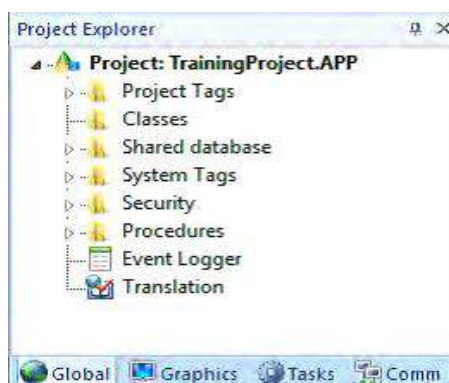
- Project Explorer

Cette fenêtre organise toutes les screens, worksheets et d'autres items inclus dans le projet et les présente dans une vue arborescente expansible.

Cette fenêtre comprend 4 sélections principales : Global, Graphics, Tasks, et Comm.

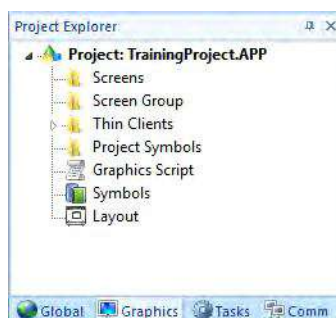
- Global tab

Cette tabulation contient les bases de données des étiquettes du projet, ainsi que d'autres caractéristiques applicables sur le projet en entier par exemple : Security system, VBScript procedures et translation.



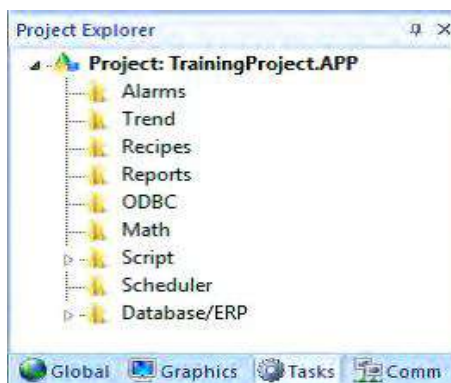
- Graphics tab

Cette tabulation contient les screens, screen groups, et symbols du projet.



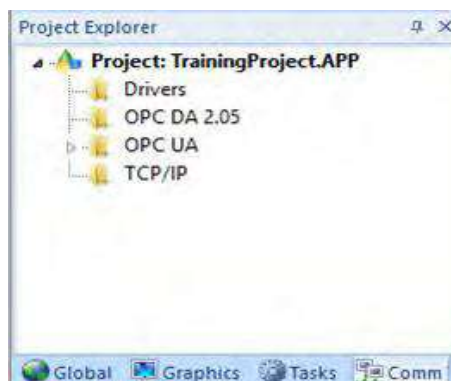
- Tasks tab

Cette tabulation organise les worksheets qui travaillent en arrière plan des tâches (ex : les tâches « server-based maintenance » qui ne sont pas directement reliées à l'écran des opérations ou à la machine Input/Output, durant le temps d'exécution du projet).



- Comm tab

Cette tabulation organise les worksheets qui contrôlent la communication avec les appareils périphériques, en utilisant les pilotes de communication directs ou les protocoles communs.



- Bibliothèque des symboles

La bibliothèque des symboles de « Indusoft » contient une large sélection des symboles préinstallés avec l'environnement de développement du logiciel, ex : les boutons poussoirs, les manomètres, les voyants lumineux, les réservoirs, les pompes ... etc.





Résumé

Un système automatique industriel a pour but de produire une matière ou d'accomplir un travail bien défini. En effet, les industriels ont tendance à améliorer et à élargir leurs installations et deviennent ainsi de plus en plus complexes, contribuant en même temps à augmenter les risques de pannes qui peuvent survenir sur le fonctionnement de l'installation et à diminuer la sécurité du personnel et de l'environnement. A cet effet beaucoup de méthodes de surveillance ont été développées ces dernières années et qui se divisent en deux grandes familles : on retrouve des méthodes à base de modèle, et des méthodes à base des données historiques du système. D'autres techniques de supervision qui ont été développées pour les installations à haut risque, et qui consistent à superviser à partir d'un poste de pilotage qui se situe très loin du site supervisé, cette technique appartient à la supervision dans un environnement SCADA. L'objectif de ce travail est l'intégration de nouveaux concepts de l'automatique dans les systèmes industriels pour améliorer les performances attendues telles que : l'autonomie, sécurité, fiabilité et maintenabilité. Pour ce faire, nous avons réalisé une supervision sous un environnement SCADA avec une application par le logiciel « INDUSOFT » sur un système à trois réservoirs interconnectés, où on a utilisé les algorithmes de génération des résidus afin de diagnostiquer les défauts qui peuvent affecter ce système.

Mot Clés : supervision, systèmes industriels, SCADA, INDUSOFT, systèmes industriels, l'approche structurelle, sécurité.

ملخص

ساهم التقدم التكنولوجي السريع في أيامنا هذه، في تطوير نوعية الإنتاج، غير أنه أدخل تعقيدات كبيرة على الأنظمة الصناعية و ضاعف من مخاطر الأعطال و الأعطاب التي قد تصيب المنشآت الصناعية، و أضعف في نفس الوقت مستوى سلامة الأفراد وحماية البيئة. علما أن السلامة الوظيفية للمنشآت تتعلق مباشرة بالرهانات الاقتصادية، أي بحياة المؤسسة الصناعية ذاتها. من أجل ذلك كان التنبيه بالأعطال قبل حدوثها (و التي قد تؤدي إلى توقف المنشأة عن العمل) يتطلب تحكما وثيقا في تقنيات الرصد و الإشراف و من أجل الوصول إلى إشراف دقيق على النظم الآلية، طُوِّرت الكثير من طرق الرصد في السنوات الأخيرة، حيث تنقسم تلك الطرق إلى نوعين رئيسيين: طرق تعتمد على نموذج رياضي للنظام و أخرى تعتمد على البيانات التاريخية للمنشأة. كما طورت طرق خاصة بالمنشآت عالية الخطورة من أجل مراقبتها و التحكم الدقيق بها، بحيث يكون مركز التحكم قريبا من هذه المنشأة. SCADA خارج منطقة الخطر الذي يمكن أن تحدثه الأعطاب داخل المنشأة. ينتمي هذا النوع من أنظمة المراقبة إلى بيئة ، حيث قما بإنشاء تطبيق محاكاة لنظام آلي يتكون من ثلاثة خزانات و ذلك باستعمال برنامج SCADA يعرض الإشراف ضمن بيئة حيث قما باستعمال خوارزميات توليد البواقي المستعملة في علم تشخيص الأخطاء التي قد تصيب ذلك النظام. « INDUSOFT »

الكلمات المفتاحية : آلية، مراقبة، سكاذا، اندوسوفت، الأنظمة الصناعية، تشخيص، الاعطاب، سكاذا، اندوسوفت، الأنظمة الصناعية، تشخيص، الاعطاب

Abstract

An industrial automatic system is intended to produce a material or perform a well-defined work. Indeed, industrials tend to improve and expand their installations that become more and more complex, which increase the risk of breakdowns that may occur on the operation of the installation and reduce the safety of personnel and the environment. To this end, many surveillance methods have been developed in recent years and are divided into two main groups: model-based methods, and methods based on the historical data of the system. Other supervisory techniques that have been developed for high-risk installations, which involve supervising from a cockpit that is very far from the supervised site, belongs to supervision in a SCADA environment. The objective of this work is to integrate new automation concepts in industrial systems to improve expected performance such as: autonomy, safety, reliability and maintainability. Indeed, we carried out a supervision under a SCADA environment with an application by the "INDUSOFT" software on a system with three interconnected tanks, where the residue generation algorithms were used to diagnose the defects that may affect this system.

Key words: Supervision, industrial systems, SCADA, INDUSOFT, industrial systems, structural approach, security.