

# Méthodologies de diagnostic

En ce qui concerne les méthodes utilisées, une distinction est faite entre l'approche basée sur un modèle, l'approche sans modèle et l'approche hybride.

Les méthode avec modèles (utilisées par la communauté *Fault detection and diagnosis* (FDI) s'appuient sur une description qualitative ou quantitative des relations entre les données de surveillance et la santé du système, tandis que les méthodes sans modèle utilisent des données et des techniques issues de l'apprentissage automatique ou de la reconnaissance de formes, quant à l'approche hybrides, elles utilisent une combinaison des méthodes mentionnées.

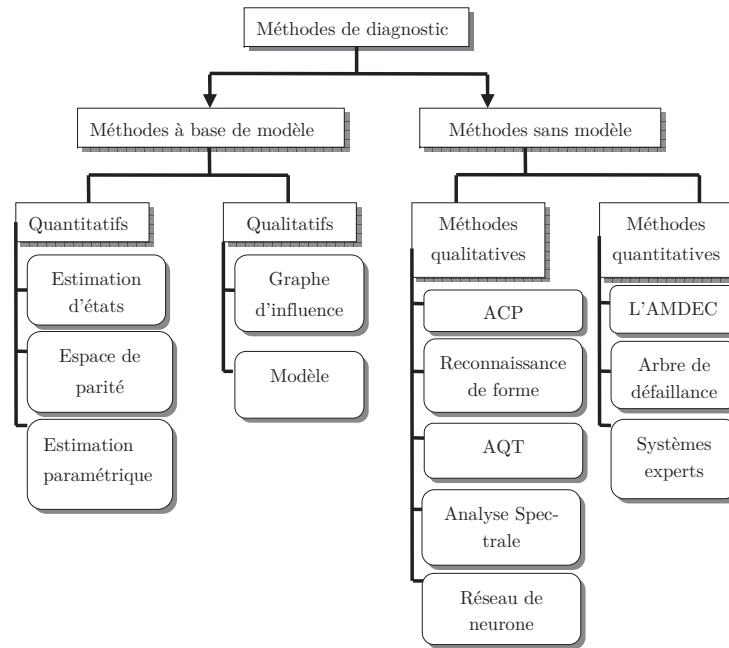


FIGURE Une classification générale des méthodes de diagnostic

## 4 Le diagnostic par l'approche FDI (fault detection and isolation)

Plusieurs méthodes ont été développées pour résoudre les différents problèmes de diagnostic de défaut telle que l'approche de la détection et isolation des fautes (FDI), et celle de la tolérance aux fautes.

La philosophie derrière l'approche FDI stipule qu'un défaut entraînera des modifications de certains paramètres physiques et mesures, ce qui à son tour entraînera une modification au niveau du modèle ou des états. □

En surveillant les paramètres, il est alors possible de détecter et d'isoler chaque faute. Ce qui revient à dire que l'objectif de la FDI est d'identifier les défauts naissants le plus tôt possible afin de prévenir les défaillances, à travers la génération de résidus et l'isolement des défauts.

Dans l'approche FDI, la détection des défauts se fait en trois étapes : □

- Détecter l'existence d'un défaut.
- Localiser la faute.
- Caractériser l'amplitude de la faute (l'identifier).

## 4.1 Diagnostic à base de modèle

L'approche principale consiste à modéliser les défauts comme des écarts entre les paramètres.

Pour illustrer le concept, considérons un système avec un modèle  $M(\theta)$ , où  $\theta$  est un paramètre ayant la valeur nominale 0 (c'est-à-dire sans défaut). En utilisant des techniques générales d'estimation des paramètres, une estimation  $\theta$  peut être formée puis comparée à  $\theta_0$ . Si  $\theta$  s'écarte trop de  $\theta_0$ , alors la conclusion est qu'un défaut s'est produit.

La limitation est que lorsque le nombre de défauts diagnostiqués augmente, le vecteur de paramètre augmente en dimension ce qui donne un problème complexe.

En règle générale ces méthodes sont réparties selon le type de modèle, nous pouvons donc discerner deux branches : Les méthodes basées sur un modèle quantitatif où on retrouve les observateurs (estimateurs, filtres), l'espace de parité, et l'identification et estimation des paramètres ; et les méthodes basées sur un modèle qualitative constituées de bond graphes et de graphes biparties.

## 4.2 Diagnostic à base de modèle quantitatif

Selon P.Frank, ces méthodes sont divisées en trois groupes : les approches par espace de parité, les approches par estimation paramétrique et les approches basées sur les observateurs.

Ces méthodes reposent sur une comparaison du comportement du système avec le comportement du modèle quantitatif établi.  $\square$

### 4.2.1 Les approches par espace de parité :

Le but de cette méthode est d'assurer la compatibilité entre le modèle du processus et les mesures des capteurs et entrées connues (signal de commande, consigne).

Les équations de parité offrent une approche simple et directe pour construire des résidus qui indiquent si des systèmes sont défectueux. Basée sur les écarts des états estimés du système, cette méthode vérifie la cohérence entre les relations mathématiques du système à surveiller et les mesures des capteurs et des entrées connues. Cette approche consiste à réaliser une redondance analytique qui peut être appliquée aux systèmes déterministes, stochastiques ainsi qu'aux cas dynamiques ou statiques. L'ensemble des valeurs que peuvent prendre les résidus forme l'espace de parité.  $\square$

### 4.2.2 Les approches par estimation paramétrique :

Cette approche permet d'estimer les paramètres du système à l'aide des mesures d'entrées et de sorties. Elle est développée sur la base des techniques d'identification du système].  $\square$

L'idée est d'estimer les paramètres du processus réel à plusieurs reprises en utilisant des méthodes d'estimation bien connues (par exemple : EMV), les résultats sont alors comparés aux paramètres du modèle de référence, obtenus initialement dans le cas sans défaut.

Il convient de souligner qu'une limitation des approches basées sur l'estimation des paramètres réside en la quantité d'informations que le signal d'entrée transmet afin d'estimer avec

efficacité les paramètres.

L'avantage est que les estimations des paramètres sont en fait liées à ce que l'on appelle les coefficients de processus qui sont à leur tour liés aux défauts. Des exemples de coefficients de processus incluent : rigidité, longueur, masse, résistance, vitesse, . . . etc. Une fois estimés, ils sont ensuite comparés à des valeurs de référence prédéfinies (par exemple un seuil fixe). L'isolement des défauts est ensuite mis en œuvre sur la base de la relation entre les défauts et les coefficients de processus.

La procédure de base pour réaliser une estimation des paramètres est la suivante :

- Établir le modèle de processus à l'aide des relations physiques.
- Déterminer la relation entre les coefficients du modèle et les paramètres physiques du procédé.
- Estimer les coefficients du modèle.
- Calculer les paramètres physiques nominaux du processus.
- Déterminer les changements de paramètres qui se produisent pour les différents cas de faute.

#### 4.2.3 Les approches basées sur les observateurs (estimation d'état) :

Les approches basées sur les observateurs ou les filtres nécessitent un modèle pour la détection et le diagnostic des défauts. Les sorties du système sont estimées à partir des mesures en utilisant soit l'observateur de Luenberger dans le cadre déterministe ou le filtre de Kalman dans un cadre stochastique. Ensuite, l'erreur d'estimation est assimilée à un résidu.

La principale préoccupation de l'approche basés sur les observateurs est la génération d'un ensemble de résidus qui détectent et identifient les différents défauts.

L'idée de base est que dans un cas de fonctionnement normal, les observateurs suivent le processus. Si un défaut survient, ils s'écarteront du processus ainsi un vecteur résidu est construit, ce dernier agit comme un indicateur de comportement du système et définit l'écart entre la sortie estimée et la sortie mesurée..

L'un des inconvénients de l'approche par observateur est que la connaissance du processus est requise. Cependant l'observateur fournit une estimation, une convergence et une détection de défauts assez précise.

## 5 Diagnostic sans modèle

Le diagnostic sans modèle intervient lorsqu'aucun modèle explicite n'est disponible. La connaissance du système se résume à des mesures en temps réel, éventuellement complétées par l'historique du processus.

Nous pouvons discerner deux classes de ce type d'approche : Les méthodes quantitatives et les méthodes qualitatives.

Concernant *les méthodes quantitatives*, les systèmes experts sont les plus populaires.

Ce sont des systèmes très spécialisés qui résolvent des problèmes dans un domaine d'expertise restreint. Ils sont généralement constitués d'une base de données et d'un moteur d'inférence.

Opérant à partir d'un ensemble de symptômes, ils en déduisent toutes les conclusions possibles, élaborent de nouvelles hypothèses et approfondissent leur diagnostic, en exploitant des informations supplémentaires collectées sur le système à diagnostiquer.. □

En somme, les systèmes experts sont des systèmes informatiques qui cherchent à émuler la capacité de la prise de décision humaine.

*Les méthodes qualitatives* à leur tour exploitent une base de données et requièrent la connaissance des divers modes de fonctionnement du processus.

Deux stratégies principales de cette approche peuvent être adoptées :

### **La première est la classification**

Elle implique la construction des classes à partir d'une base de données, soit de manière supervisée (c'est-à-dire avec l'aide d'un expert), ou de manière non supervisée. Un classificateur est ensuite entraîné pour effectuer la classification des variables nouvellement mesurées comme représentatives d'une ou plusieurs défaillances.

Cette approche nécessite un nombre assez conséquent d'exemples de fonctionnement nominal et défaillant du système, pour permettre au réseau d'apprendre.

L'apprentissage est réalisé comme suit : les exemples sont considérés comme des entrées et les diagnostics correspondants comme des sorties, ainsi le réseau apprendra à relier les exemples au diagnostic adéquat. Après cette étape, le réseau acquiert une certaine robustesse par rapport aux déformations des signaux par le bruit.

Plusieurs algorithmes intelligents, comme les réseaux de neurones, sont utilisés pour cette tâche, une présentation plus détaillée sera faite dans le chapitre suivant.

### **La deuxième stratégie est la régression**

Il s'agit de construire un modèle statistique qui utilise la redondance de l'historique du processus afin de prédire les valeurs des nouvelles variables et de générer des résidus en comparant les prédictions aux valeurs mesurées.

La Régression polynomiale (RP) est une méthode d'approximation fréquemment employée dans le diagnostic et la détection de défauts.

Son principe est le suivant : en considérant un ensemble de données d'apprentissage d'entrée-sortie, l'estimateur est supposé être une fonction polynomiale d'un certain degré. Les coefficients polynomiaux (paramètres du modèle) sont estimés par la méthode des moindres carrés ; la somme des erreurs quadratiques (entre les données et les prédictions du modèle) est minimisée afin de trouver les meilleurs paramètres. □