

# CHAPITRE 1

## GÉNÉRALITÉS ET DÉFINITIONS

### Sommaire

---

1	Introduction . . . . .	2
2	Préliminaires et définitions . . . . .	3
2.1	C'est quoi la maintenance des systèmes industriels? . . . . .	3
2.2	C'est quoi le diagnostic d'un système? . . . . .	4
2.2.1	Structure générale . . . . .	4
2.2.2	Concepts fondamentaux . . . . .	5
2.2.3	Les étapes fondamentales du diagnostic . . . . .	5
2.2.4	Les exigences liées au diagnostic . . . . .	6
3	Terminologie . . . . .	8
4	Evolution et type des défauts . . . . .	9
4.1	Evolution des défauts . . . . .	9
4.1.1	Défaut abrupt . . . . .	9
4.1.2	Défaut graduel . . . . .	10
4.1.3	Défaut intermittent . . . . .	10
4.2	Types des défauts . . . . .	10

---

## 1 Introduction

Les systèmes de contrôle modernes deviennent de plus en plus complexes et les algorithmes de contrôle de plus en plus sophistiqués. Par conséquent, les issues de disponibilité, de coût d'efficacité, de fiabilité, de sécurité d'exploitation et de la protection de l'environnement présentent une importance majeure. Ces issues sont importantes, non seulement accepté pour les systèmes de sécurité critique tels que les réacteurs nucléaires, les usines chimique et aéronaf, mais aussi pour d'autres systèmes avancés utilisés dans les véhicules, les trains de transit rapide ... ect.

Pour les systèmes de sécurité critiques, les conséquences des défauts peuvent être extrêmement graves en matière de mortalité humaine, l'impact environnemental et les pertes économiques. Par conséquent, il y a un besoin croissant de la supervision en ligne et de diagnostic des défauts pour augmenter la fiabilité de tels systèmes de sécurité critique. Les indications têts des défauts peuvent aider à éviter les pannes du système, les avortements des missions et les catastrophes.

Pour les systèmes qui ne sont pas de sécurité critique, les techniques de diagnostic en ligne des défauts peuvent être utilisées pour améliorer l'efficacité des installations, la maintenabilité, la disponibilité et la fiabilité. En effet, l'industrie commence à reconsidérer les implications de l'utilisation d'outils de maintenance prédictive et cherche d'autres méthodes pour garantir la disponibilité et la sécurité des installations, tout en évitant des opérations de maintenance coûteuses en cas d'immobilisation des installations. Pour donner un aperçu de l'état d'un système, ce qui permet de mettre en œuvre un véritable plan de maintenance sur site, des méthodes modernes de diagnostic des défauts peuvent être envisagées.

Depuis les années soixante-dix, les recherches sur le diagnostic des défauts suscitent de plus en plus d'attention dans le monde entier, tant en théorie qu'en application. Ce développement a été (et est encore) principalement stimulée par la tendance de l'automatisation vers une plus grande complexité et à la demande croissante pour une plus grande disponibilité et la sécurité des systèmes de contrôle. Cependant, une forte impulsion vient aussi du côté de la théorie moderne de contrôle qui a apporté des techniques puissantes de modélisation mathématique, d'estimation de l'état et d'identification des paramètres qui ont été rendu possible par les progrès spectaculaires de la technique informatique.

## 2 Préliminaires et définitions

### 2.1 C'est quoi la maintenance des systèmes industriels ?

La maintenance des systèmes industriels désigne le domaine de recherche permettant de maintenir ou de rétablir un système dans son état de fonctionnement normal. Il s'agit de l'un des problèmes stratégiques qui se pose à l'industrie, depuis la conception d'un système jusqu'à son exploitation en passant bien entendu par sa mise en œuvre.

**définition 1.** *La maintenance est définie comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Elle a donc pour objectif de garantir le « bon fonctionnement » d'un système, aussi bien pour des questions de sécurité et de sûreté de fonctionnement, que pour des questions de rentabilité.*

Une maintenance performante, en matière de fiabilité et de rentabilité, nécessite la mise en œuvre d'outils de contrôle permettant de surveiller l'état du système et de déclencher les actions appropriées en limitant l'arrêt du système. Elle s'appuie sur la notion de diagnostic dès lors qu'il s'agit de réparer ou de prévenir un défaut (aussi nommé défaillance).

#### Stratégies de maintenance

Différentes stratégies de maintenance sont admises, généralement citons entre autres trois stratégies :

1. **La maintenance corrective :** qui est effectuée après occurrence d'un défaut dont les conséquences ont impacté le fonctionnement nominal du système, a pour objectif de rétablir le système de manière à ce qu'il soit capable de fournir à nouveau ses fonctions. Deux types de maintenance corrective sont établis : la maintenance curative qui permet de remettre définitivement en état le système et la maintenance palliative qui revêt un caractère temporaire et qui est principalement constituée d'opérations de dépannage qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives.
2. **La maintenance préventive :** est basée sur des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité des défauts du système ou la dégradation de son service rendu. Les critères sont généralement définis suivant la connaissance du temps de fonctionnement

moyen du système et les pièces sont ainsi changées à chaque fois que ce délai est dépassé, qu'elles soient détériorées ou non.

3. **La maintenance conditionnelle ou prédictive** : est une maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état de dégradation du système. Elle consiste à surveiller et analyser en temps réel l'état d'une pièce afin de détecter l'apparition d'une dégradation (i.e. : un défaut) pour ensuite avertir les services de maintenance qui prendront la décision la plus appropriée. Cette maintenance est basée sur les techniques de diagnostic.

### 2.2 C'est quoi le diagnostic d'un système ?

**Étymologie** : Nouveau latin, du grec diagnOsis, du diagignOskein à distinguer, de dia + gignOskein à savoir. On peut déduire plusieurs définitions :

1. **a** : l'art ou l'acte d'identifier une maladie à partir de ses signes et symptômes, **b** : la décision obtenue par diagnostic,
2. **a** : recherche ou analyse de la cause ou nature d'une condition, d'une situation, ou d'un problème « diagnostic d'un défaut de moteur » , **b** : un rapport ou une conclusion d'une telle analyse.

**définition 2.** *Le diagnostic est donc une procédure consistant à détecter et localiser un composant ou un élément en défaut d'un système. La détection désigne la capacité du diagnostiqueur à mettre en évidence l'apparition d'un ou plusieurs défauts, et la localisation désigne la capacité à être de plus capable de préciser la nature du ou des défauts apparus.*

#### 2.2.1 Structure générale

La structure générale d'une procédure de diagnostic est représentée par la figure 1.1 suivante :

Où le diagnostiqueur est alimenté par toute la connaissance disponible sur le système : les mesures des variables est toute autre information pouvant être utile pour le diagnostic (un modèle par exemple). Ce diagnostiqueur traite cette connaissance et produit un « diagnostic » qui est une liste de défauts possibles pouvant affecter le système au cours du temps. Remarquons bien que même en fonctionnement normal du système, le diagnostiqueur « diagnostique » que le système fonctionne

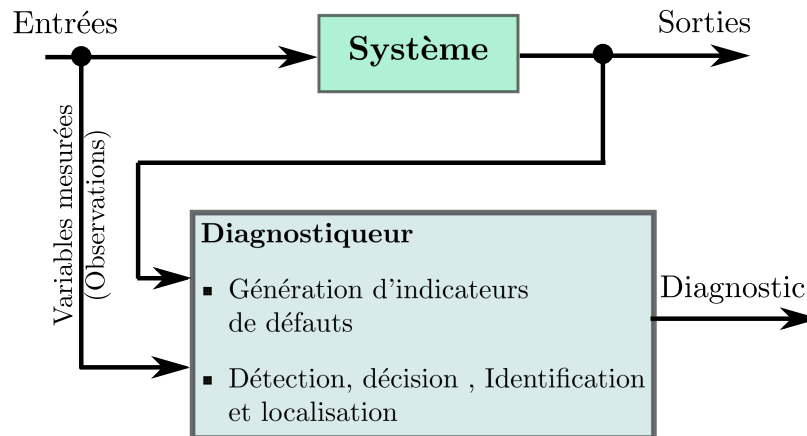


FIGURE 1.1 – Structure générale d'une procédure de diagnostic

normalement.

### 2.2.2 Concepts fondamentaux

Le diagnostic repose sur les deux concepts fondamentaux suivants : d'une part signaler un défaut lorsqu'il apparaît et d'autre part le localiser le plus précisément possible afin que les actions correctrices adéquates puissent être entreprises. Ces deux concepts sont généralement spécifiés comme **la détection** et **l'isolation** de défauts. La détection consiste à reconnaître un comportement anormal du système et l'isolation consiste à déterminer quel est ce comportement anormal.

### 2.2.3 Les étapes fondamentales du diagnostic

1. **Détection d'un défaut** : opération permettant de décider si le système est ou n'est pas en état de fonctionnement normal ; il s'agit d'une opération logique dont la réponse doit être binaire (oui ou non).
2. **Localisation et estimation d'un défaut** : opération permettant de déterminer l'endroit du système où se trouve le défaut (i.e. : déterminer le ou les composants en défaut), d'en déterminer sa cause ainsi que sa sévérité.
3. **Reconfiguration du système** : opération permettant, à partir des informations fournies par les deux étapes précédentes, d'appliquer les actions correctrices au système afin soit qu'il retrouve un fonctionnement normal, soit qu'il soit mis en mode dégradé ou arrêté afin de préserver son intégrité et/ou son environnement.

### 2.2.4 Les exigences liées au diagnostic

Un ensemble d'exigences bien établies dans les travaux et importantes à prendre en compte lors de la conception et le développement d'un diagnostiqueur.

#### *Exigences fonctionnelles*

Les exigences fonctionnelles d'un diagnostiqueur doivent rendre compte de son fonctionnement attendu sans prendre nécessairement en compte les solutions techniques.

**Rapidité du diagnostic :** Suite à l'occurrence d'un défaut, le temps nécessaire à sa détection et son isolation doivent être rapide. Le diagnostiqueur doit donc rapidement fournir un résultat afin de prendre les décisions adéquates avant l'apparition d'effets néfastes sur le système et/ou son environnement.

**Discernement entre les défauts :** Le diagnostiqueur doit être capable de faire la différence entre plusieurs défauts. Il s'agit donc de la fiabilité de la partie isolation du diagnostic. Notons que dans le cas idéal d'absence de bruit et d'incertitudes de modélisation, cela signifie que la réponse du diagnostiqueur à un défaut est « orthogonale » aux défauts qui ne sont pas apparus.

**Identification de défauts multiples :** Il s'agit de la capacité du diagnostiqueur à identifier plusieurs défauts survenus simultanément ou dans une fenêtre temporelle très courte. La difficulté de cette « simultanété » provient d'une part de l'interaction entre les conséquences des différents défauts apparus, et d'autre part de l'important volume de calcul nécessaire à une détection multiple.

**Identification de nouveaux défauts :** Un atout supplémentaire pour un diagnostiqueur est sa capacité d'identifier de nouveaux défauts non-préalablement répertoriés. Cela signifie qu'à l'apparition d'un défaut non-répertorié, le diagnostiqueur doit être capable d'une part de le détecter (i.e. : de reconnaître que le fonctionnement du système est anormal), et d'autre part de l'isoler comme étant un défaut inconnu.

#### *Exigences non fonctionnelles*

Les exigences non fonctionnelles d'un diagnostiqueur doivent rendre compte des propriétés qu'un tel système doit posséder.

**Robustesse :** Le diagnostiqueur doit être robuste vis-à-vis des bruits de mesure et des incertitudes sur le modèle ou les règles de fonctionnement adoptés. Bien que l'augmentation de cette robustesse puisse être obtenue par une augmentation des seuils de tolérance, utilisés pour détecter un comportement anormal ou isoler un défaut apparu, elle peut néanmoins impacter les performances du diagnostiqueur.

**Adaptabilité :** Le diagnostiqueur étant couplé au système durant toute la durée de son exploitation, il doit pouvoir s'adapter aux modifications du système mais aussi intégrer facilement de nouveaux paramètres ou informations obtenues après son installation. En effet, les conditions opérationnelles du système peuvent évoluer à cause de perturbations ou de changements des conditions d'exploitation. Il faut donc que le diagnostiqueur puisse s'adapter à tous changements potentiels.

**Implantation :** Selon le type de défauts à diagnostiquer, deux types d'implantations peuvent être adoptés : une implantation embarquée (on-board) ou une implantation débarquée (off board). Les performances désirées du diagnostiqueur impliquent un besoin en espace de stockage et en puissance de calcul. En embarqué, le diagnostiqueur doit fonctionner avec des contraintes de puissance de calcul et d'espace de stockage pouvant limiter la complexité de l'algorithme de diagnostic. Un compromis doit être trouvé entre les performances du diagnostiqueur et les performances du matériel utilisé pour son implantation. En débarqué, le diagnostiqueur a une capacité de puissance de calcul et d'espace de stockage « quasi illimitée », mais doit néanmoins traiter des données limitées voire biaisées.

**Estimation des erreurs du diagnostiqueur :** Il s'agit de déterminer la confiance que peut avoir l'utilisateur final du système sur la fiabilité du diagnostiqueur : ses erreurs potentielles de diagnostic (fausses alarmes, non-détections ou encore mauvaises isolations). Cela peut se faire en établissant au préalable une estimation et une classification des erreurs pouvant être faites par le diagnostiqueur, ce qui pourra ainsi accroître sa fiabilité car l'opérateur aura l'opportunité de mieux interpréter les conclusions du diagnostiqueur suite à ces estimations d'erreurs.

### 3 Terminologie

Comme étape vers une terminologie unifiée, le Technical Committee of International Federation of Automatic Control (IFAC) SAFEPROCESS a suggéré des définitions préliminaires dans le domaine du diagnostic de défaut. La terminologie présentée par la communauté est exprimée comme suite :

**Analyse structurale :** Analyse des propriétés structurales des modèles, c'est-à-dire des propriétés qui sont indépendantes des valeurs réelles du paramètre de procédé.

**Défaillance :** Une interruption permanente de la capacité du système à remplir une fonction requise dans des conditions d'opérations spécifiées.

**Défaut :** Un écart non permis d'au moins une propriété structurale ou d'un paramètre caractéristique du système par rapport au comportement nominal (usuel ou acceptable).

**Détection de défaut** La détermination de la présence de défauts et de l'instant de leurs occurrences.

**Localisation de défaut :** La localisation ou l'isolation d'un défaut consiste à déterminer la région physique du système dans laquelle la défaillance s'est produite.

**Identification :** La détermination de la taille et du comportement temporel d'un défaut.

**Diagnostic :** La détermination du type, de la taille, de la localisation et de l'instant d'occurrence d'un défaut ; il suit la détection de défauts et inclut l'isolation et l'identification.

**Effet de défaillance :** La conséquence d'un mode de défaillance sur l'opération, la fonction, ou le statut d'une variable.

**Modèle qualitatif :** Un modèle de système décrivant le comportement avec des relations entre des variables et des paramètres du système en termes heuristiques tels que des causalités ou des règles.

**Modèle quantitatif :** Un modèle de système décrivant le comportement avec des relations entre des variables et des paramètres du système en termes analytiques tels que des équations différentielles ou aux différences.

**Modélisation du défaut :** Détermination d'un modèle mathématique pour décrire un effet spécifique du défaut.

**Reconfiguration :** Changement de la structure et des paramètres du contrôleur. L'objectif original de commande est atteint bien que l'exécution puisse être dégradée.

**Redondance analytique :** Détermination d'une variable par la mesure ou par l'utilisation d'un modèle mathématique du processus considéré.

**Résidu :** Signaux portant de l'information évalués en fonction de l'écart entre les mesures et les calculs basés sur le modèle.

**Seuil :** La valeur limite de l'écart d'un résidu par rapport à une valeur zéro de façon que si elle est dépassé, un défaut est considéré comme détectée.

**Panne :** Une panne est l'état d'un système incapable d'assurer le service spécifié à la suite d'une défaillance.

## 4 Evolution et type des défauts

### 4.1 Evolution des défauts

Les défauts peuvent être différenciés selon leur forme (systématique ou aléatoire), selon l'extension du défaut (local ou global) ou selon leur comportement dans le temps (Figure 1.2). La notation  $t_f$  représente l'instant d'occurrence du défaut.

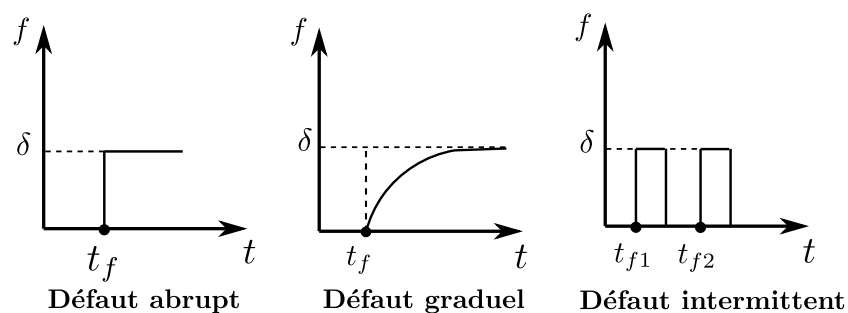


FIGURE 1.2 – Evolutions temporelles de différents types de défauts

#### 4.1.1 Défaut abrupt

Ce défaut a un comportement temporel discontinu :

$$f(t - t_f) = \begin{cases} \delta & t \geq t_f \\ 0 & t < t_f \end{cases} \quad (1.1)$$

Où  $f(t - t_f)$  représente le comportement temporel du défaut et  $\delta$  un seuil constant. Ce type de défauts est caractérisé par une discontinuité dans l'évolution temporelle de la variable. Cette évolution, si elle ne correspond pas aux évolutions dynamiques normales attendues pour la variable, est caractéristique d'une panne brutale de l'élément en question : arrêt total ou partiel, déconnexion.

#### 4.1.2 Défaut graduel

Ce type de défauts est caractéristique d'un encrassement ou d'une usure de pièce. Ce défaut a un comportement temporel plus ou moins lent :

$$f(t - t_f) = \begin{cases} \delta \left(1 - e^{-\alpha(t-t_f)}\right) & t \geq t_f \\ 0 & t < t_f \end{cases} \quad (1.2)$$

Où  $\delta$  et  $\alpha$  sont des constantes positives. Il est très difficile à détecter surtout si  $\delta$  et  $\alpha$  ont de faibles amplitudes. L'augmentation excessive de  $\alpha$  dans le modèle 1.2 permet de simuler un défaut graduel rapide, tandis que la diminution excessive de cette valeur permet de simuler un défaut graduel lent.

#### 4.1.3 Défaut intermittent

Ce défaut est un cas particulier de défaut abrupt avec la propriété particulière que le signal revient de façon aléatoire à sa valeur normale. Ce type de défauts caractérise les faux contacts.

### 4.2 Types des défauts

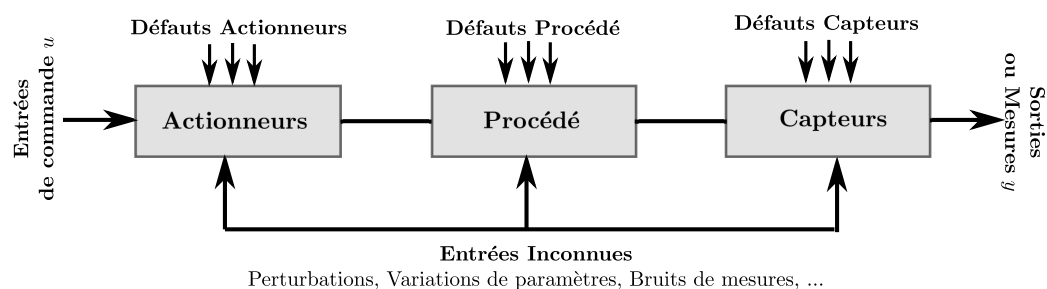


FIGURE 1.3 – Différents types de défauts affectant un système physique

Comme illustré dans la figure 1.3, trois types de défauts peuvent affecter les éléments d'un système physique :

**Défauts actionneurs** les défauts actionneurs s'additionneront aux commandes du système et concerneront l'ensemble des problèmes liés aux organes qui agissent sur l'état du procédé. Ils se traduisent donc par une incohérence entre la commande des actionneurs et la réponse en leur sortie. Par exemple : une vanne reste bloquée dans sa position initiale.

**Défauts capteurs** le défaut provenant du capteur peut être total ou partiel. Un défaut partiel issu d'un capteur peut être représenté par une saturation, un défaut au niveau du calibrage, un biais ou un bruit. D'ailleurs, la relation entre le signal généré par le capteur et celui du système réel est toujours plus ou moins adéquate. Par contre, dans le cas d'un défaut total, l'exploitation du signal du capteur n'est pas possible.

**Défauts procédés** ce sont les défauts affectant le système lui-même, ils correspondent à une dégradation des composants du système par un changement sur les paramètres internes. Ces défaillances sont dues alors à des modifications de la structure ou des paramètres du modèle.