

Introduction au diagnostic des défaillances

Introduction au diagnostic des défaillances

T. AL ANI

Laboratoire A2SI-ESIEE-Paris

e-mail: t.alani@esiee.fr

Introduction au diagnostic des défaillances

Avertissement

Ce cours est basé principalement sur l'excellent ouvrage de Gilles ZWINGELSTEIN [1].

PLAN DU COURS

- **Concepts et terminologie**
 - Définition de la défaillance
 - Définition de défauts et pannes

- **Diagnostic**

- **Classification des méthodes de diagnostic**
 - Méthodes internes
 - Méthodes de modèle,
 - Méthodes d'identification de paramètres,
 - Méthodes d'estimation du vecteur d'état.
 - Méthodes externes
 - Reconnaissance des formes,
 - Réseaux de neurones artificiels,
 - Systèmes experts.
 - Méthodes inductives et déductives
- **Méthodes internes - Identification de paramètres**
- **Théorie de la décision.**

CONCEPTS ET TERMINOLOGIE

Systeme et composants

Un **processus** assure la fabrication d'un produit ou fournit une service.

Exemples :

- **Une raffinerie** : produits pétroliers élaborés
- **Une central électrique** : courant électrique
- **Un avion** : service de transport de bien ou de personnes
- **Un ordinateur** : service de calculs scientifiques ou de gestion

Un **processus industriel** est une installation complexe assumant un objectif fonctionnel de haut niveau (production de bien ou de service).

Pour assurer ces objectifs fonctionnels de haut niveau, le processus fait appel à un ensemble de systèmes interconnectés, Figure 1. Chaque système assure une ou plusieurs fonctions bien définie(s).

Introduction au diagnostic des défaillances

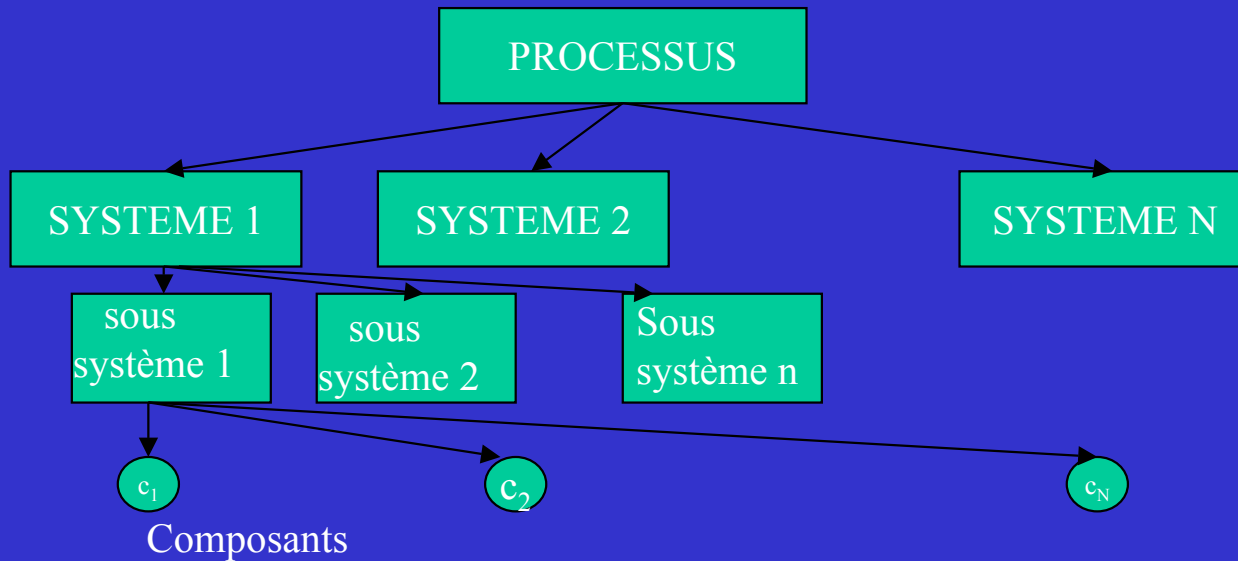


Fig. 1. Décomposition hiérarchique d'un processus.

Exemples des systèmes :

- Dans une central nucléaire, un générateur de vapeur a pour fonction principal d'évacuer la chaleur du circuit primaire et de produire de la vapeur.
- Pour un avion, les moteurs contribuent à la fonction propulsion.

Introduction au diagnostic des défaillances

- Les systèmes sont décomposés en sous-systèmes.
- Les sous-systèmes sont décomposés en composants bien déterminés. En règle générale et en pratique ce sont sur ces composants que l'on effectuera de la maintenance et non sur des systèmes.
- Chaque composant peut être ensuite décomposé en pièce élémentaire qui en général est l'élément qui fera l'objet d'un échange standard.

Exemples des composants bien identifiés :

- Des moteurs électriques et diesels
- Des vannes et des pompes
- Des unités centrales d'ordinateurs

Nature des systèmes et composants

Les méthodes de diagnostic ne possèdent pas de caractère universel. En fonction de la nature de processus, systèmes, sous-systèmes, composants, il faudra mettre en œuvre à chaque fois des méthodes spécifiques tenant compte des technologies déployées.

Nature des systèmes et composants (suite)

Technologies déployées :

- **systèmes mécaniques dynamiques** : moteurs, pompes, turbines, réacteurs, ...,
- **systèmes mécaniques statiques** : tuyauterie, enceintes...
- **systèmes mécaniques programmés,**
- **systèmes thermodynamiques** : échangeurs, fours, colonnes de distillation, ...,
- **systèmes électriques ou électroniques analogiques ou logiques** : capteurs, régulateurs et automates programmables...

01/10/2006

Introduction au diagnostic des défaillances

Nature des systèmes et composants (suite)

Les fonctions assurées par le système possèdent une hiérarchie en terme d'importance et il convient toujours de s'interroger sur les aspects technico-économiques avant d'envisager la mise en œuvre d'une méthode de diagnostic.

Introduction au diagnostic des défaillances

Nature des systèmes et composants (suite)

Pour effectuer cette analyse il est nécessaire d'identifier les caractéristiques des systèmes et composants :

- les **fonctions** du système en distinguant les missions principales et secondaires et leurs importances relatives,
- la **structure** du système en analysant les liens entre systèmes et composants,
- les **modes de fonctionnement** des systèmes et des caractéristiques des composants,
- les **conditions d'exploitation** du système,
- l'**environnement** du système pour connaître ses délimitation et l'influence des facteurs extérieurs,
- l'**inventaire** des moyens de mesures.

Introduction au diagnostic des défaillances

Nature des systèmes et composants (suite)

Deux cas de figure se présentent :

- soit le projet se situe à la **phase de conception**,
- soit ce projet doit prendre en compte l'**existant**.

Nature des systèmes et composants (suite)

Dans le **premier cas** :

il est alors possible de procéder à une analyse de la **sûreté** de fonctionnement pour se fixer les objectifs a priori de disponibilité. Dans ce cas on pourra alors prévoir des matériels redondants et une instrumentation pertinente pour avoir accès à l'information indispensable pour la mise en œuvre du diagnostic.

Introduction au diagnostic des défaillances

Nature des systèmes et composants (suite)

Dans le **second** cas :

il faudra très souvent se contenter de l'information existante ce qui limitera l'exhaustivité du diagnostic.

Définition du dispositif

Selon la norme AFNOR X 06-501, il s'agit là du produit auquel s'applique l'étude :

- composant (le plus petit constituant irréparable par l'utilisateur),
- sous-ensemble,
- ensemble.

Définition de la défaillance

C'est la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requise(s) avec les performances définies dans les les spécifications techniques.

L'ensemble est indisponible suite à la défaillance.

Introduction au diagnostic des défaillances

Définition de la défaillance (suite)

Une **décomposition fonctionnelle** fait appel à des fonctions principales, secondaires, techniques, de contraintes internes et externes ...

Une **décomposition matérielle** prend en compte les notions de système, sous-système, ensemble, sous-ensemble, composants ...

Introduction au diagnostic des défaillances

Définition de la défaillance (suite)

La **décomposition fonctionnelle** est en parfaite cohérence avec la définition d'une **défaillance** qui s'énonce ainsi d'après la norme AFNOR 60010X :

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques.

Définition de la défaillance (suite)

Exemple : Décomposition fonctionnelles et matérielles d'un système industriel

Fig. 2 résume les démarches préconisées pour un exemple de système complexe en provenance de l'industrie nucléaire.

Introduction au diagnostic des défaillances

Définition de la défaillance (suite)

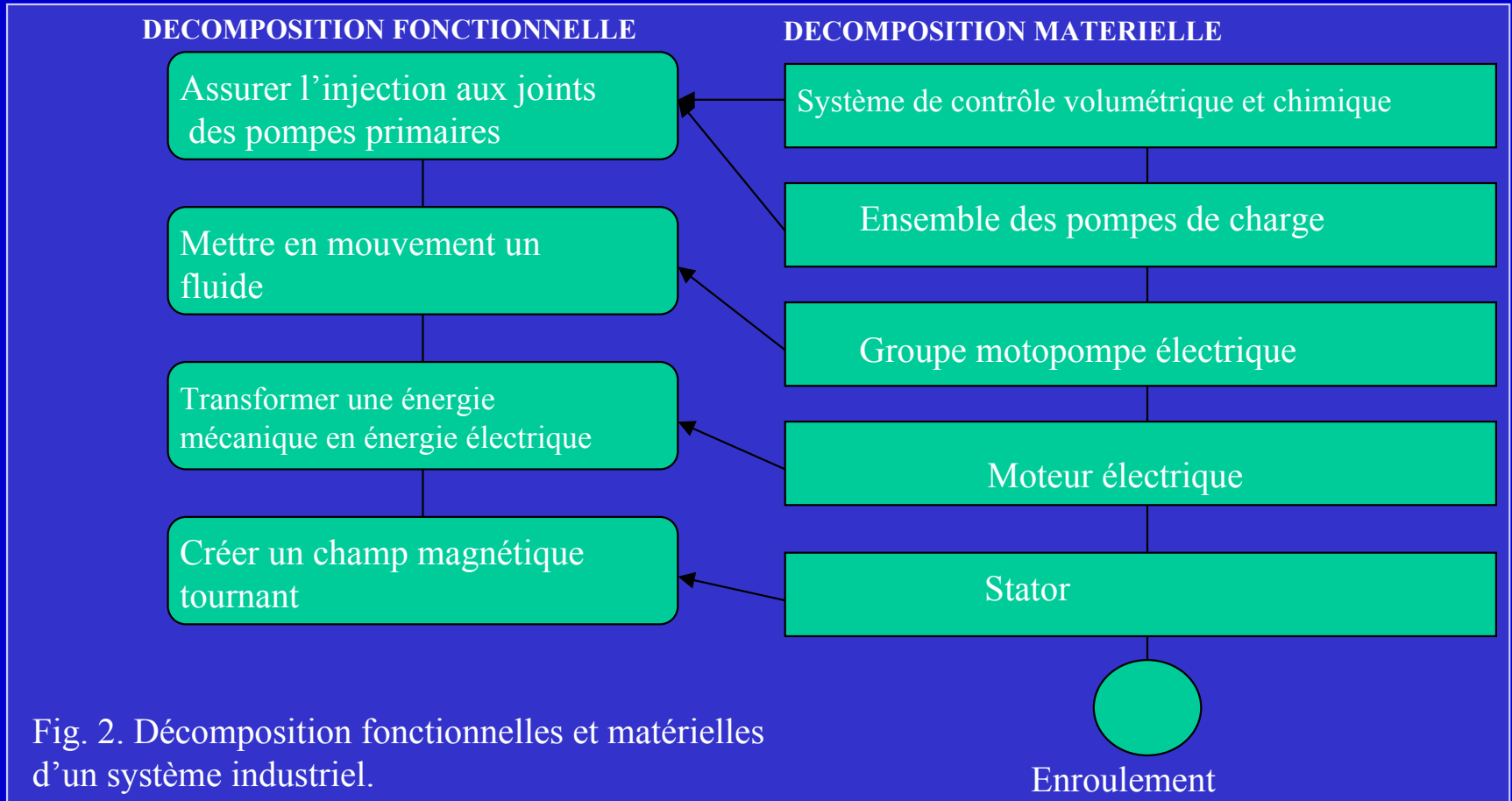


Fig. 2. Décomposition fonctionnelles et matérielles d'un système industriel.

Introduction au diagnostic des défaillances

Définition de la défaillance (suite)

Le principe de décomposition fonctionnelle est indispensable pour éclairer les notions de défaillance, de leurs causes et de leurs effets. En effet, la principale source d'incompréhension dans les discussions entre spécialistes provient du fait que chaque interlocuteur possède sa propre décomposition fonctionnelle qui ne correspond pas nécessairement à celle des autres interlocuteurs.

Définition de la défaillance (suite)

Un **défaut** est tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque celui-ci est en dehors des spécifications.

Les défauts sont classifiées d'une façon similaire aux défaillances (voir [1], chapitre 2).

Introduction au diagnostic des défaillances

Définition de la défaillance (suite)

Les défaillances, compte tenu de leurs manifestations, de leurs effets et de leurs conséquences ont fait l'objet de plusieurs classifications. On qualifiera alors les pannes de **mineurs, majeurs, critiques, catastrophiques, partiels, totales, etc.**(voir [1], chapitre 2) .

Définition des défauts et pannes

Le concept de défaut est important dans les opérations de surveillance et la maintenance des processus industriels.

Un **défaut** est tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque celui-ci est en dehors des spécifications.

Les défauts sont classifiées d'une façon similaire aux défaillances (voir [1], chapitre 2).

La **panne** est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise.

Dès l'apparition d'une défaillance, caractérisé par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, le dispositif sera déclaré en panne.

Définition des défauts et pannes

Par conséquent, une panne résulte toujours d'une défaillance. Les pannes sont classifiées d'une façon similaire aux défaillances. Cependant il existe une classification particulière aux pannes : panne intermittente et panne fugitive (voir [1], chapitre 2).

Introduction au diagnostic des défaillances

Définition des défauts et pannes

Une défaillance conduit à un défaut puisqu'il existe un écart entre la caractéristique constatée et la caractéristique spécifiée.

Inversement un défaut n'induit pas nécessairement une défaillance.

L'art du diagnostic consiste à détecter de façon précoce un défaut avant qu'il ne conduise à un état de défaillance donc de panne.

DISPONIBILITE

Le diagnostic est un des facteurs contribuant à la **disponibilité** de l'outil de production, Fig. 2. (voir [1], chapitre 2)

Disponibilité : C'est l'aptitude d'un système à fonctionner lorsqu'on le sollicite.

La disponibilité peut décliner en terme de **Fiabilité, Maintenance et Sûreté.**

Disponibilité (suite)

Fiabilité : C'est l'aptitude d'un système à accomplir sa mission dans des conditions données d'utilisation.

Maintenance : C'est l'aptitude d'un système à être entretenu ou remis en marche.

Sûreté : C'est l'aptitude d'un système à respecter l'utilisateur et son environnement.

Composantes de la disponibilité, Fig.3

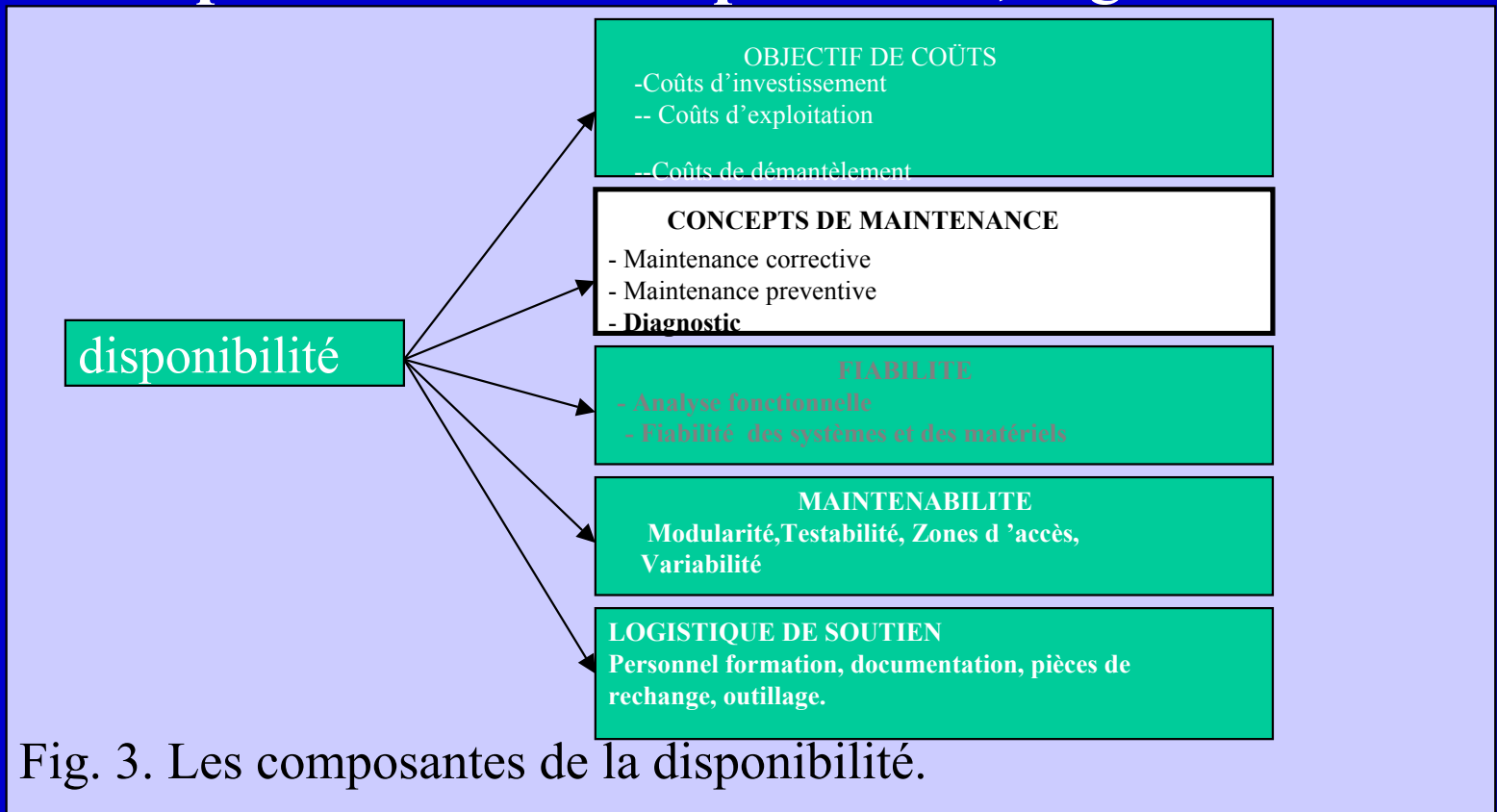


Fig. 3. Les composantes de la disponibilité.

DIAGNOSTIC

INTERET DU DIAGNOSTIC DES DEFAILLANCES

Domaine industriel : Gain de productivité

La compétitivité de ce secteur passe par la maîtrise indispensable de la **disponibilité** de l'outil de production et par la **qualité** des produits des biens ou des services rendus.

Diagnostic

Plusieurs leviers permettant une optimisation optimal des systèmes industriels (discipline de la **sécurité de fonctionnement**) :

- » **Fiabilité,**
- » **Maintenance,**
- » **Sûreté.**

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Le diagnostic des défaillances des systèmes industriels, s'il est réalisé avec efficacité ou s'il permet de détecter de façon précoce une dégradation, représente un des moyens pour contribuer à gagner des points de productivité.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Diagnostic : nombreuses significations :

- diagnostic financier → vérification de l'état financier,
- diagnostic médical → déterminer une maladie pour en identifier les causes,
- diagnostic industriel → trouver la cause d'une défaillance.

Diagnostic

Diagnostic industriel :

« Le diagnostic est l'identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. » AFNOR, CEI

Diagnostic

Deux tâches essentielles en diagnostic :

- Observer les symptômes de défaillance,
- Identifier la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur des observations.

Diagnostic

CAUSALITE

Le problème du diagnostic :

Ce problème consiste avant tout à résoudre le problème inverse de la relation “cause à effet” connaissant principalement l’effet par ses symptômes observables.

Nous considérons dans la suite de ce cours que cette relation est de nature déterministe.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic Causalité (suite)

Considérons la relation déterministe définie par le modèle suivant, Fig. 4 :

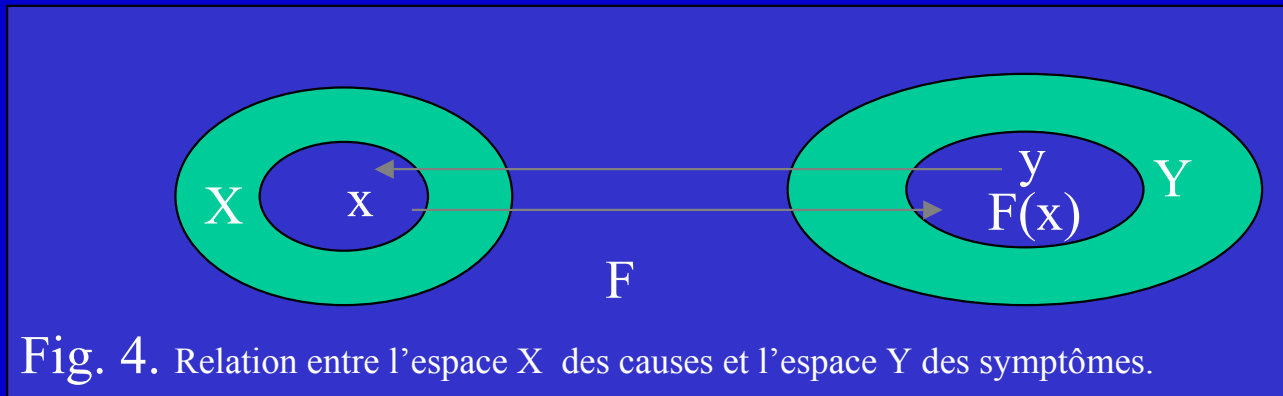


Fig. 4. Relation entre l'espace X des causes et l'espace Y des symptômes.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Soit

X : espace de paramètres inconnus (toutes les causes)

Y : espace des grandeurs observables (tous les symptômes)

Le problème à étudier est la détermination de x solution de y connaissant la fonction F :

$$F(x)=y \quad (1)$$

Diagnostic

Causalité (suite)

- Solution triviale

$$x = F^{-1}(y) \quad (2)$$

Cette solution est très difficile à cause de la réalité physique des matériels. Pour l'effectuer, il faut satisfaire certaines conditions.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Conditions utilisées pour résoudre la formule (1), [BUI 93],[TIKH 76] (problème bien posé et problème mal posé) :

- Un problème **bien posé** remplit trois conditions
 - **existence** de solution pour tout $y \in Y$,
 - **unicité** de solution de x dans X ,
 - **continuité** de la solution $x(y)$.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

- Un problème **mal posé** ne remplit pas les trois conditions précédentes pour les raisons suivantes :
 - données **aberrantes ou fausses** $y \notin Y$,
 - données **incompatibles**, $y \notin F(X)$ mais $y \in Y$
 - données expérimentales **bruitées**,
 - **erreurs de modélisation**, approximation grossière de F ,
 - **choix inadéquat** des topologies dans X et Y .

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple : Un système mécanique composé d'un moteur électrique couplé à une pompe centrifuge par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse. Proposons alors d'identifier la cause de défaillance induite par le palier à roulement à billes guidant l'axe du moteur. Le retour d'expérience portant sur des milliards de roulement à billes a permis d'établir un catalogue des mécaniques de ruine qui peuvent les affecter (défauts sur les billes, sur la cage et sur les bagues internes et externes).

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

L'apparition d'une cause x appartenant à l'espace X des causes de défaillance va ainsi se manifester par des symptômes y appartenant à l'espace Y des symptômes. Parmi les symptômes les plus classiques se manifestant sur la surface externe du palier figurent des niveaux anormaux de vibrations ou une élévation de température.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

L'apparition d'une cause x appartenant à l'espace X des causes de défaillance va ainsi se manifester par des symptômes y appartenant à l'espace Y des symptômes. Parmi les symptômes les plus classiques se manifestant sur la surface externe du palier figurent des niveaux anormaux de vibrations ou une élévation de température.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

Supposons que la cause retenue correspondra à une bille fissurée et le symptôme y_1 sera le signal vibratoire anormal. Il est nécessaire dans ce cas de placer des capteurs appropriés pour mesurer ces symptômes pour obtenir l'espace des observations Y . Le problème direct consiste donc à être capable de modéliser la relation entre le symptôme y_1 associé à la cause x_1 .

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

Phase de la modélisation de la relation entre le symptôme associé à la cause : A ce stade apparaît déjà la première difficulté : comment définir le modèle mathématique de la cause x_1 ?

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

Plusieurs choix sont imaginables :

- un modèle géométrique de la fissure de la bille,
- une image de la surface de la bille,
- un modèle mécanique simulant un choc périodique.

Le modèle mathématique de la cause x_1 est devenu une entité complexe.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

Pour la caractérisation du symptôme y_1 , la difficulté est similaire car les spécialistes de la diagnostic de roulement à bille vont s'intéresser dans la plus part des cas aux allures du spectre du signal vibratoire.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

Le symptôme y_1 possédera un modèle composé d'un tableau bi-dimensionnel (amplitude et fréquence). Compte tenu de la complexité des modèles de x_1 et y_1 , on peut imaginer que la construction de la relation direct $y_1 = F_1(x_1)$ est un tâche complexe: construire autant de modèles que F_i , $i=1,2, \dots, n$ que de causes x_i .

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

Phase de la résolution du problème inverse :

En supposant que les modèles directs F_i sont parfaitement déterminés et validés, et en connaissant les les symptômes y_i il s'agit alors de remonter sans ambiguïté aux causes x_i .

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Causalité (suite)

Exemple (suite)

La difficulté ici est que les signatures des défauts x_i associées aux symptômes y_i ont tendance à se chevaucher et de posséder certains attributs en commun. Par causalité, il en est bien sûr de même pour les symptômes y_i .

Conclusion : Sauf exceptions, l'approche formelle ne peut pas être utilisée. 

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

La sélection de la méthode de diagnostic la plus appropriée à un système industriel donné ne peut se faire qu'après un recensement des besoins et des connaissances disponibles.

L'objectif de la classification est de structurer la démarche nécessaire pour retenir la méthode techniquement et économiquement la plus efficace.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les éléments indispensables à étudier :

- **nature des causes de défaillance à localiser,**
- **connaissance des symptômes associés aux défaillances induites par les causes,**
- **maîtrise des moyens de mesure des symptômes,**
- **maîtrise des moyens de traitement des symptômes,**
- **connaissance des mécanismes physiques entre les causes et les effets,**
- **inventaire du retour d'expérience,**
- **recensement des expertises disponibles,**
- **définition du niveau de confiance dans le diagnostic,**
- **identification des utilisateurs finals du diagnostic.**

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes dispositions à prendre au préalable pour remplir les meilleures conditions pour réaliser un système d'aide au diagnostic efficace :

- étude de l'intérêt technico-économique de l'implantation du système d'aide au diagnostic en prenant en compte le retour d'expérience des coûts des défaillances et leurs impacts sur la productivité de l'investissement,

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes dispositions à prendre au préalable pour remplir les meilleures conditions pour réaliser un système d'aide au diagnostic efficace (suite) :

- étude de la fiabilité technique du système d'aide au diagnostic pour s'assurer que des techniques et technologies sont disponibles et opérationnelles pour le problème à résoudre,
- création d'une équipe de projet avec tous les intervenants pour définir et rédiger le cahier des spécifications détaillées,

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes dispositions à prendre au préalable pour remplir les meilleures conditions pour réaliser un système d'aide au diagnostic efficace (suite) :

- validation du cahier des charges par les responsables de l'entreprise pour le lancement de la réalisation et de son implantation,
- formation et informations des acteurs pour une utilisation effective du système d'aide au diagnostic,

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes dispositions à prendre au préalable pour remplir les meilleures conditions pour réaliser un système d'aide au diagnostic efficace (suite) :

- réalisation et implantation du système d'aide au diagnostic sur site,
- mise en place d'un retour d'expérience pour évaluer les impacts économiques et sociaux du système d'aide au diagnostic.

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel nécessaires à la conception, au développement et à l'exploitation de systèmes d'aide au diagnostic, Fig.5.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel

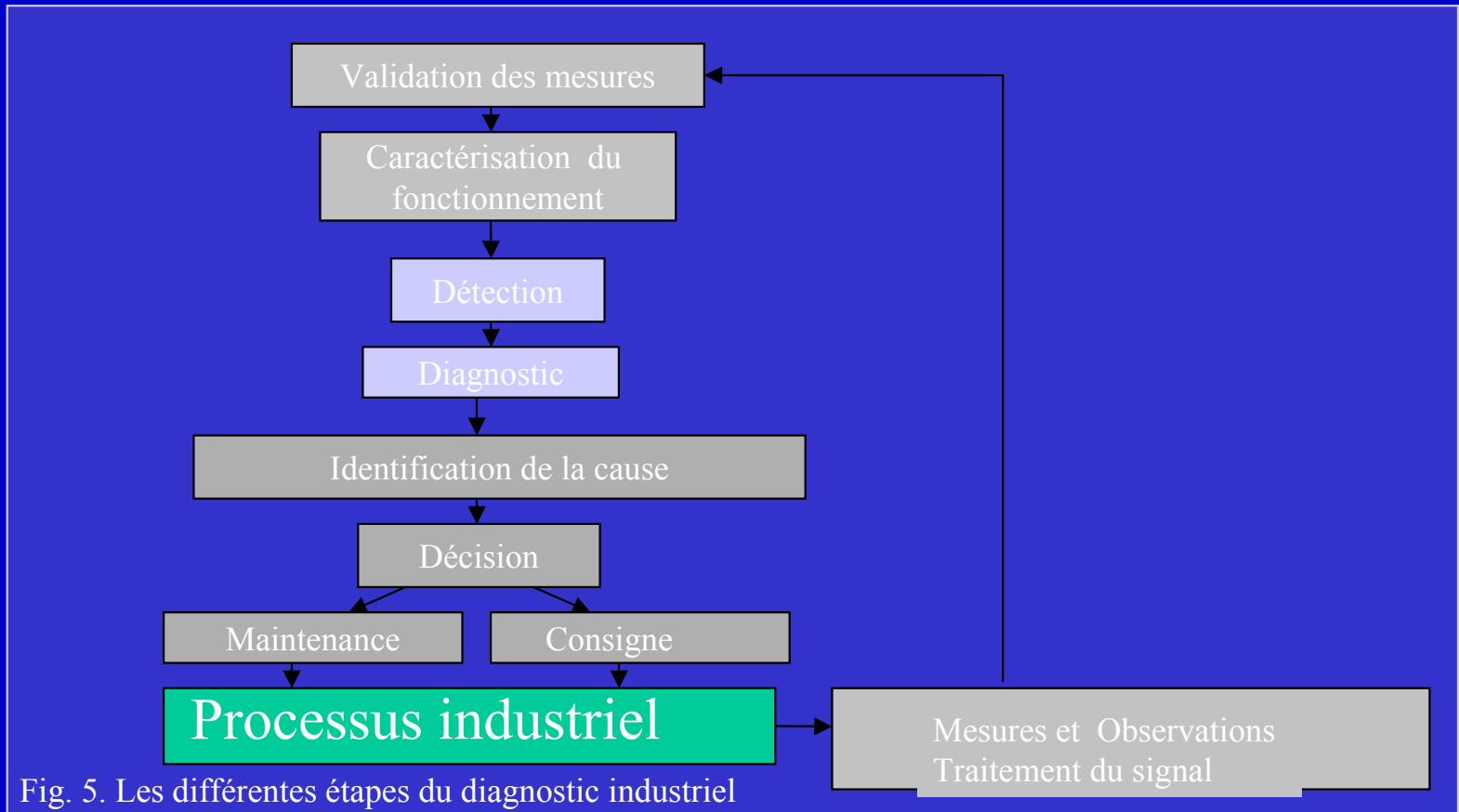


Fig. 5. Les différentes étapes du diagnostic industriel

Diagnostic

1. l'extraction des informations nécessaires à la mise en forme des caractéristiques associées aux fonctionnements normaux et anormaux, à partir des moyens de mesures appropriées ou d'observations réalisées hors des rondes par les personnels de surveillance.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

Deux façons pour estimer la grandeur physique :

- mesure directe : utilisation de capteurs ,
- mesure indirecte : Estimateur d'état.

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

2. l'élaboration des caractéristiques et signatures associées à des symptômes révélateurs de défaillances et de dégradations en vue de la détection d'un dysfonctionnement.

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

2 (suite). Validation des mesures

C'est l'opération qui consiste à engendrer une information représentant une grandeur physique, qui sera considérée crédible et fiable par les utilisateurs : les opérateurs et les systèmes de diagnostic.

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

2. (suite) Méthodes pour la détection et la validation de mesures invalides (voir [1], chapitre 3)

Méthodes classiques :

- la redondance directe,
- la comparaison avec un seuil statique,
- le vote majoritaire,
- le test de certaines caractéristiques,
- la comparaison avec des seuils dynamiques,
- le test de certaines caractéristiques,
- l'étalonnage systématique des capteurs.

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

2. (suite) Les principales signatures (voir [1], chapitre 3)

- signatures **vibratoires**,
- signatures **acoustiques**,
- signatures **magnétiques**,
- analyse des **lubrifiants**,
- signatures **thermiques**,
- signatures **radiographique**,
- signatures **électriques**.

01/10/2006

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

3. la détection d'un dysfonctionnement par comparaison avec des signatures associées à des états de fonctionnements normaux et la définition d'indicateurs de confiance dans la détection. Le bruit associés aux signatures est prise en compte par l'utilisation des tests de décision statistiques.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

4. la mise en œuvre d'une méthode de diagnostic de la défaillance ou de dégradation à partir de l'utilisation des connaissances sur les relations de cause à effet.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes étapes techniques du diagnostic industriel (suite)

5. la prise de décision en fonction des conséquences futures des défaillances et des dégradations. Cette prise de décision peut conduire à un arrêt de l'installation si ces conséquences sont importantes.

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic :

Si la prise de décision conduit à déclarer le processus défaillant, il convient alors de sélectionner une méthode de diagnostic.

Les méthodes de diagnostic sont divisé en deux grandes familles:

- les méthodes internes,
- les méthodes externes.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic (suite)

- **les méthodes internes**

Ces méthodes sont basées sur des modèles physiques ou de comportement (modèles mathématiques) validés expérimentalement par les techniques d'identification de paramètres. Ainsi, ces modèles permettent la mise en œuvre de la méthode du problème inverse.

Le diagnostic de défaillance est possible en suivant en temps réel l'évolution des paramètres physiques ou bien en utilisant l'inversion de modèles de type « boîte noire ».

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic (suite)

les méthodes internes (suite)

Ces méthodes regroupent en trois grandes familles :

- la méthode du modèle,
- les méthodes d'identification de paramètres ou d'estimation du vecteur d'état.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic (suite)

les méthodes internes (suite)

– la méthode du modèle

Cette méthode consiste à comparer les grandeurs déduites d'un modèle représentatif du fonctionnement des différentes entités du processus avec les mesures directement observées sur le processus industriel. La présence d'un écart fournit l'indication qu'en amont du module modélisé une anomalie est en cours d'apparition (voir [1], chapitre 3).

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic (suite)

les méthodes internes (suite)

- **les méthodes d'identification de paramètres ou d'estimation du vecteur d'état, Fig. 6**

Ces méthodes sont basées sur la prise en compte des observations \mathbf{u} , \mathbf{y} pour remonter aux paramètres Θ ou à son vecteur d'état interne \mathbf{x} . Les éléments Θ et \mathbf{x} ayant par définition un sens physique ou quasi-physique, la cause exacte de la défaillance devient aisée à localiser (voir [1], chapitre 3).

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic (suite)

les méthodes internes (suite)

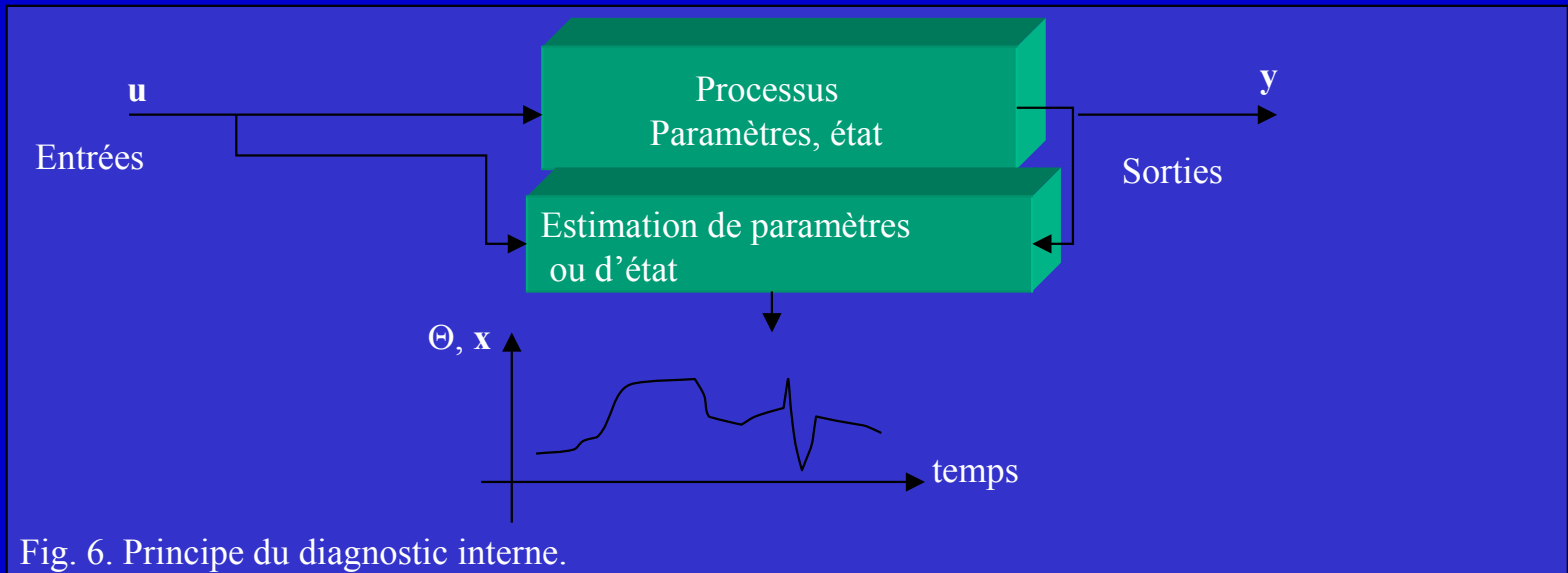


Fig. 6. Principe du diagnostic interne.

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic (suite)

les méthodes externes

Ces méthodes supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience. Dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle et/ou les approches probabilistes (voir [1], chapitre 3).

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes méthodes du diagnostic (suite)

les méthodes externes (suite)

Ces méthodes sont :

- Reconnaissance des formes,
- Réseaux de neurones artificiels,
- Systèmes experts,
- Logique floue,
- Approches Markoviennes.
- ...

Diagnostic

Les différentes méthodes utilisées pour remonter à la cause de la défaillance (isolation).

Deux méthodes (voir [1], chapitre 3) :

- **Les méthodes inductives**

Ces méthodes (méthode de l'arbre de défaillance, par exemple) correspondent à une approche montante où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui entraînent la réalisation d'un événement unique indésirable.

Introduction au diagnostic des défaillances

Diagnostic

Les différentes méthodes utilisées pour remonter à la cause de la défaillance (suite)

- **Les méthodes déductives**

Pour ces méthodes, la démarche est bien sûr inversé puisque l'on part de l'événement indésirable et l'on recherche ensuite par une approche descendantes toutes les causes possibles.

DECISION EN DIAGNOSTIC

Les prise de décision par les spécialistes des matériels qui possèdent une maîtrise des phénomènes physiques, s'exercent à chaque étape d'une procédure de diagnostic industriel.

Décision en diagnostic

Les signatures (symptômes) sont des grandeurs aléatoire. La détection de la différence éventuelle entre la signature nominale et celle mesurée à l'instant présent ne peut pas être effectuée avec des méthodes déterministes.

Décision en diagnostic

Lors de la détection de dysfonctionnement, il faut fixer des seuils de pré-alarme et alarme sur la valeur de l'écart mesurée entre la signature nominale et celle mesurée. Pour déterminer ces seuils, il est alors nécessaire de définir des tests de décisions.

Décision en diagnostic

Plusieurs règles de tests statistiques peuvent être utilisées pour la prise de décision (voir [1], chapitre 4) :

- les tests binaires (**Bayes, Minmax, Neyman, Pearson**),
- les tests à hypothèses multiples,
- les tests composites,
- les tests séquentiels de **Wald**.

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses

Exemple: Diagnostic d'un palier

Soit H_0 l'hypothèse associé à un bon fonctionnement d'un palier à l'aide de la mesure de l'échauffement .

Affectons à l'état normal du palier la température de 50°C (hypothèse H_0) et à une dégradation la température de 51°C (hypothèse H_1).

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)

Dans la réalité, les mesures de température sont toujours bruitées : les enregistrements de la températures associés à des fonctionnements normaux et anormaux se chevauchent au cours du temps, Fig. 7.

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)

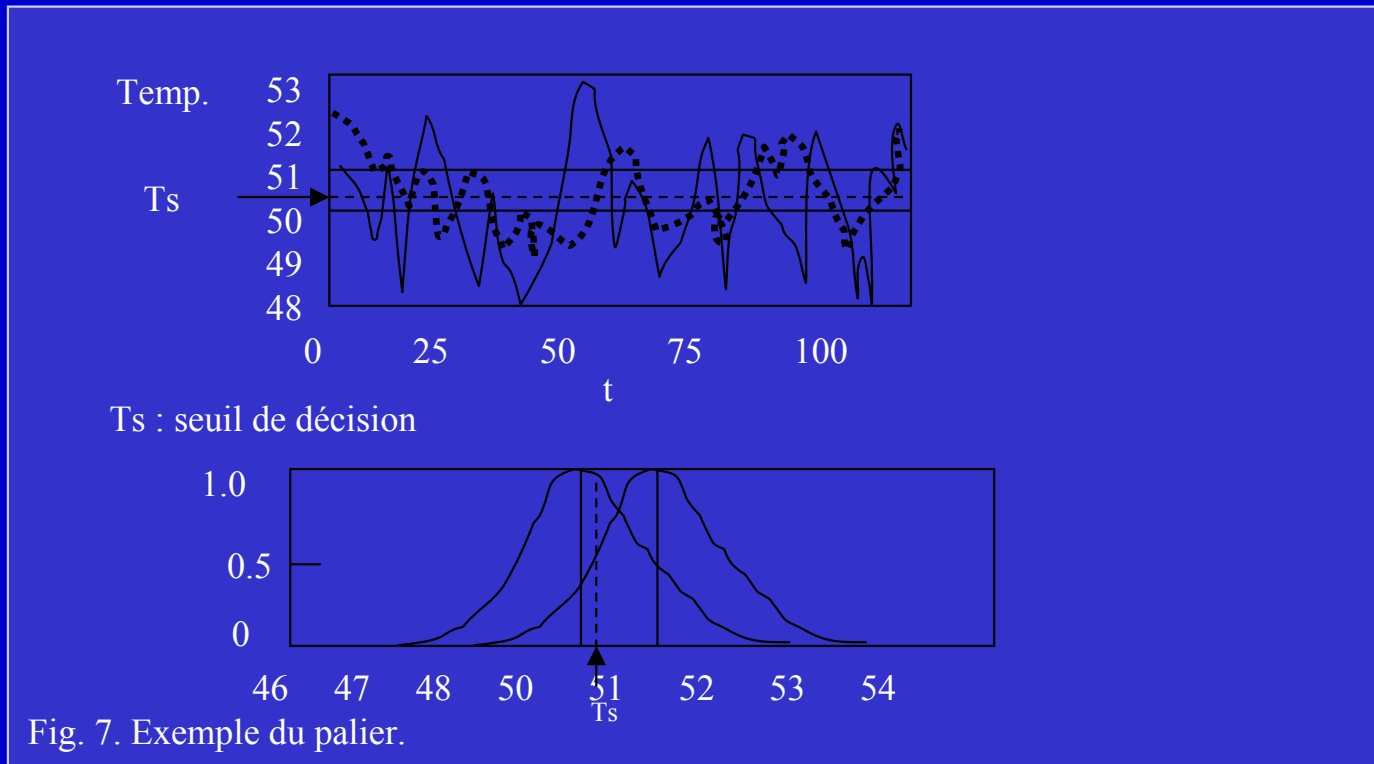


Fig. 7. Exemple du palier.

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)

Le problème de décision pour cet exemple consiste à définir le seuil T_s à partir duquel on déclarera le palier défaillant.

Les tests statistiques de décision considèrent que les lois de transformations entre les sources H_0 et H_1 et les observations mesurées Y sont des lois conditionnelles de densité de probabilité

$P_{Y/H_0}(Y/H_0)$ et $P_{Y/H_1}(Y/H_1)$.

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)

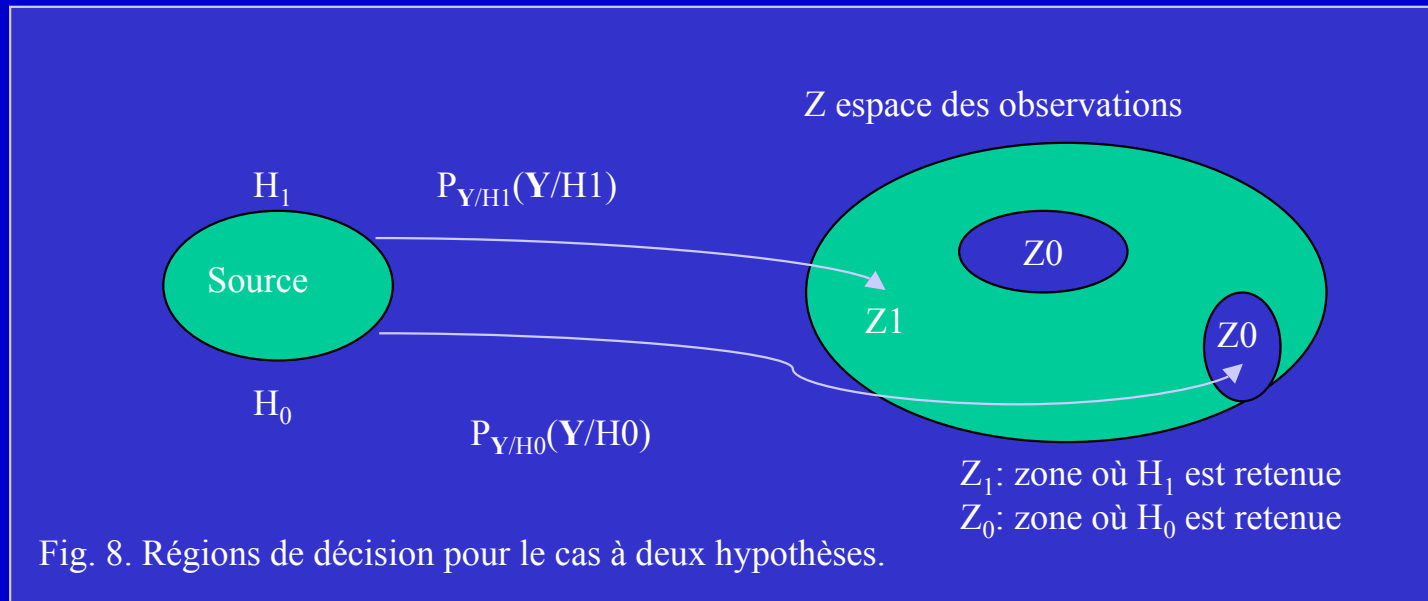
Les différentes mesures élémentaires observés z_i forment l'espace des observations Z . L'objet principal des tests de décision est de réaliser des partitions Z_0 et Z_1 de l'espace en zones représentatives des hypothèses H_0 et H_1 , Fig. 8.

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)



Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)

Quatre décisions possibles :

- D_{00} : H_0 est retenue et H_0 est vraie (décision correcte)
- D_{01} : H_0 est retenue et H_1 est vraie (décision incorrecte)
- D_{10} : H_1 est retenue et H_0 est vraie (décision incorrecte)
- D_{11} : H_1 est retenue et H_1 est vraie (décision correcte)

D_{10} est une fausse alarme (un risque de première espèce).

D_{01} non détection (une erreur de deuxième espèce).

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)

Il n'est pas possible, Fig. 9, de réduire simultanément la probabilité de fausse alarme

$$\alpha = \int_{T_s}^{+\infty} p(t / H_0) dt$$

et la probabilité de non détection

$$\beta = \int_{-\infty}^{T_s} p(t / H_1) dt$$

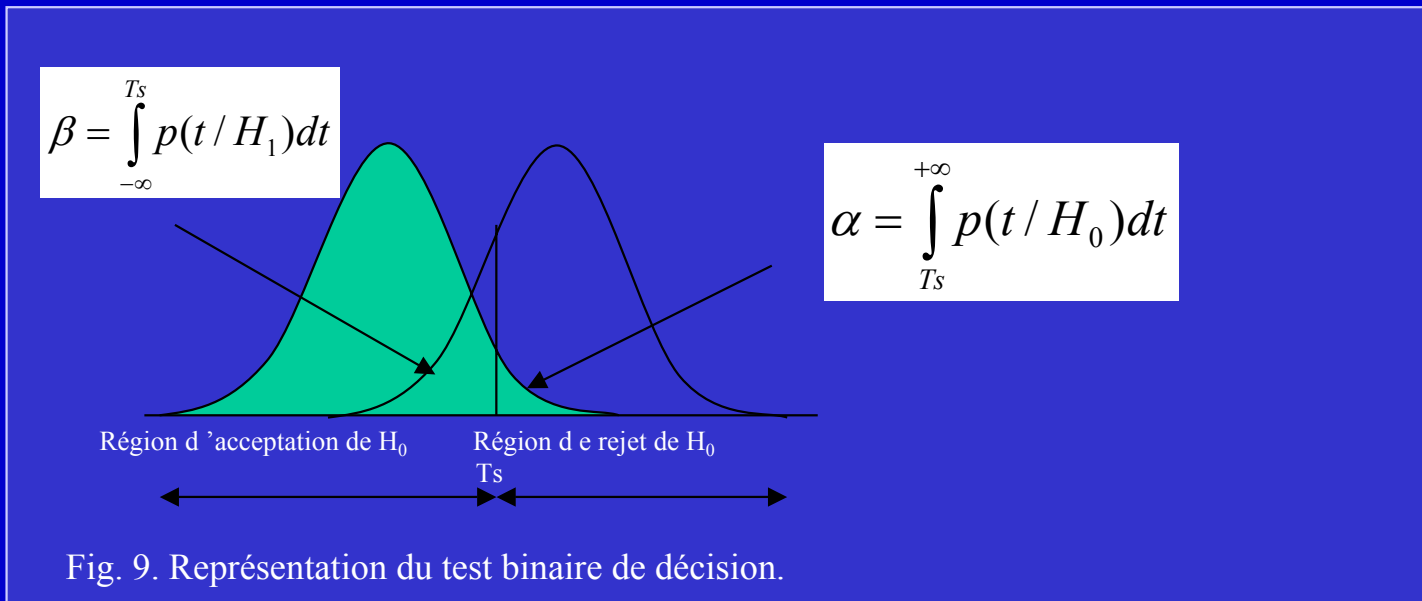
et il faudra donc réaliser un compromis.

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Exemple: Diagnostic d'un palier (suite)



Décision en diagnostic

Cas de deux hypothèses (suite)

Le problème général des tests de décision se traduit à

déterminer les frontières des zones pour optimiser le compromis entre les niveaux de probabilité de fausse alarme et de non détection.

Introduction au diagnostic des défaillances

Décision en diagnostic

Les principaux critères qui différencient les tests concernent :

- le nombre K d'hypothèses H_k ,
- la connaissance des lois P_k a priori de probabilité de H_k ,
- le nombre d'échantillons de l'espace d'observation,
- les coûts associés à chaque décision C_{ij} ,
- une fonction de coût global R ,
- la connaissance des lois conditionnelles de densité de probabilité des observations $P_{Y/H_k}(Y/H_k)$,
- la nature des paramètres participant aux modèles (déterministes ou aléatoires).

Bibliographie

- [1] Gilles ZWINGELSTEIN. Diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels. Ed. HERMES, 1995.
- [2] Ron PATTON, Paul FRANK and Robert CLARK. Fault Diagnosis in Dynamic Systems. Theory and Applications. PRENTICE HALL Publishers.
- [3] N. VISWANADHAM, V.V.S. SARMA and M.G. SINGH. Reliability of computer and control systems. North-Holland Systems and Control Series, Volume 8.
- [4] Rolf ISERMANN. Fault Diagnosis of Machines via Parameter Estimation and Knowledge Processing- Tutorial Paper. Automatica, Vol. 29, No. 4, pp. 815-835, 1993.
- [5] P.E. Wellstead and M.B. Zarrop. Self-Tuning Systems. Control and Signal Processing. Wiley Publishers, 1991.