

# MODELISATION D'UN OUTIL DE PRONOSTIC POUR L'OPTIMISATION D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE PREVENTIVE PREVISIONNELLE

*Nzié Wolfgang*

Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering, National Advanced  
School of Agro-Industrial Sciences, Ngaoundere University, Cameroon

*Bouheul Balinguin Charly*

*Samon Jean Bosco*

PhD Candidate, National Advanced School of Agro-Industrial Sciences,  
Ngaoundere University, Cameroon

---

## Abstract

Nowadays safety systems are designed to warn the operator in case of the system incoming failure or danger. Unfortunately those systems can fail because the warning information came late. Then the operator is exposed to hazardous situations and could not have means and time to face them. In this paper from a diagnostic Fault Tree Analysis (FTA) and safety/hazard analysis like FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis of the system, the EPF (Episodic Probability Function) concept is developed to assess the probability and/or the time of shortcomings occurrence in the process FTA with the objective of anticipating necessary maintenance actions, identifying potential resource requirements (equipment, skill levels, tools, etc.), and estimating maintenance task completion times.

---

**Keywords:** Safety, Hazard Analysis, Failure Diagnosis and Prognosis, Preventive Maintenance

---

## Résumé

Les systèmes de sécurité actuels sont conçus de manière à alerter l'opérateur en cas de défaillance du système, voire en cas de danger. Malheureusement, ces systèmes de sécurité peuvent être eux même défaillants, et alors les informations peuvent arriver trop tard et l'opérateur risque alors de n'avoir ni le temps, ni les moyens de faire face à des situations de défaillances parfois dangereuses. Dans cet article, à partir d'un Arbre de Défaillance (ADD) issu d'un diagnostic d'un système et

d'une analyse de ses risques ou de défaillances de type AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets et Criticité), nous développons la notion de FPE (Fonction de Probabilité par Episode) pour temporiser et définir des probabilités des événements de l'arbre de manière à ce que cet arbre de défaillances évolue dans le temps. Ainsi, en fonction du temps et de données issues du retour d'expérience et du diagnostic, les probabilités de chaque événement caractéristiques du système évoluent. Enfin, une méthodologie est proposée pour estimer la probabilité et/ou le temps résiduel de la survenue de défaillances d'un procédé (pronostic) à partir de l'arbre et d'anticiper sur les actions de maintenance nécessaires et d'identifier les ressources potentielles requises (équipement, outils, niveaux de compétences, etc.) et estimer le temps de maintenance.

---

**Mots clés:** Sécurité, Analyse des risques, Diagnostic et Pronostic des défaillances, Maintenance Preventive

### **Introduction**

Le maintien en condition opérationnel des systèmes industriels à moindre coût est devenu un facteur critique quant à la performance des entreprises. Les concepts traditionnels de maintenance préventive conditionnelle et corrective sont peu à peu supplantés par une prise en compte plus réactive et proactive des défaillances. Aussi le pronostic se révèle être une activité prometteuse pour ne pas engager des frais de maintenance inopportuns.

Actuellement, les systèmes de sécurité sont conçus pour avertir les opérateurs en cas d'éventualité d'occurrence d'une défaillance sur un système de production. La détection, l'isolement et la localisations ont les principes et des techniques de diagnostic (Blanchard B.S. et al., 1995). En outre, de nombreuses méthodes sont disponibles pour analyser les risques d'un système (Clifton, 2005). La combinaison d'une analyse des risques a priori avec une analyse en temps réel de diagnostic est l'objectif visé dans ce papier. Des informations issues a priori des analyses par Arbre de défaillances (ADD) et AMDEC et du modèle comportemental qualitatif du système, une extension de la démarche de diagnostic logique est proposée (le pronostic). Ainsi, les diagnostics physiquement impossibles seront évités et les défauts mieux isolés en intégrant les résultats ADD et AMDEC dans les procédures de diagnostic. Enfin, grâce à l'analyse des défaillances/risques du système, une méthodologie est proposée pour estimer la probabilité ou (et) le temps résiduel de la survenue de défaillances d'un procédé à partir de l'ADD et d'anticiper sur les actions de maintenance nécessaires et d'identifier les ressources potentielles requises (équipement, outils, niveaux de compétences, etc.) et estimer le temps de maintenance.

## Modélisation

Pour modéliser un système, plusieurs types de connaissances sont disponibles (Nzié, 2006), (Kumar et al., 1998) définissent trois différentes classes de connaissances :

- Structurelle : que contient le système physique et comment les éléments du système sont assemblés ?
- Fonctionnelle : quel est le rôle de chaque élément ?
- Comportementale : comment se comporte chaque élément ?

Nous allons développer un formalisme pour la modélisation structurelle, comportementale et fonctionnelle d'un système qui permettra par la suite la mise en œuvre d'outils de l'analyse des défaillances/risques. En effet, pour intégrer les résultats de l'ADD à l'AMDEC en tant que connaissance experte, il faut qu'un formalisme unique en termes de modélisation soit développé. Cela permet d'éviter la confusion des notions de défauts et de défaillances dans les AMDEC et des outils d'analyse de risque du type APR (Analyse Préliminaire des Risques).

## Modélisations structuro - comportementale

Nous allons poser les bases sur les modélisations structurelle et comportementale en identifiant les différents concepts caractéristiques de ces modèles, à savoir :

- les ressources (composants)
- les modes de comportement des ressources

## Ressources

Les ressources d'un système sont les moyens (matériels, informationnels, humains, énergétiques) interconnectés ou en interaction dont dispose ou peut disposer ce système. La notion de ressource est préférée à celle de composant habituellement utilisée pour un découpage structurel. On note  $\Pi = \{r_1, \dots, r_p\}$  l'ensemble des ressources du système.

D'autre part, nous définissons un certain nombre de variables qui vont permettre de décrire les comportements de chacune des ressources. On note  $\Omega = \{v_1, \dots, v_n\}$  l'ensemble des variables du système.

## Mode de comportement

Chaque ressource peut se comporter de différentes façons. Elle se trouve alors dans ce qu'on appelle un mode de comportement particulier.

Soit  $r \in \Pi$  une ressource, nous définissons l'ensemble des modes de comportements de  $r$ , noté  $modes(r)$ . Alors

$$modes(r) = \{CM, FM_1, \dots, FM_m\} \text{ où :}$$

*CM* (*Correct Mode*) correspond au mode normal ;  
*FM<sub>j</sub>* (*Fault Mode j*) sont des modes de défauts caractérisant des défauts spécifiques de la ressource).

### Contrainte

On appelle contrainte, une proposition (relation logique) pouvant être soit vraie, soit fausse. Chaque ressource du système est décrite par un ensemble de contraintes, qui expriment son comportement par l'intermédiaire des variables :

- Si la relation logique est vraie, la contrainte est dite satisfaite ;
- Si la relation logique est fausse, la contrainte est dite insatisfaite.

Le comportement d'une ressource *r* sera décrit par une ou plusieurs contraintes, notées

$$C_j(V_1, \dots, V_k).$$

Ces variables  $V_k$  peuvent être classées en 3 catégories :

- les variables caractérisant les actions provenant de l'environnement extérieur au système ;
- les variables internes à la ressource ;
- les variables caractérisant les actions sur l'environnement extérieur au système.

Différents types de modèles de comportement sont présentés en vue d'une analyse des défaillances/risques (détection, isolement et localisation) :

- un modèle de comportement correct, constitué des contraintes décrivant le bon comportement des différentes ressources ;
- Un ou plusieurs modèles de mauvais comportements constitués des contraintes décrivant les comportements des ressources dans un mode de défaut particulier.

### Probabilité et gravité de mode

Pour compléter cette notion de mode, on associe à chacun d'eux une probabilité d'occurrence, sous l'hypothèse que les modes des ressources sont indépendants. On notera alors  $P(CM(r))$  la probabilité que la ressource *r* soit dans son mode correct *CM* et  $P(FM_i(r))$  la probabilité que la ressource soit dans un mode de défaut *FM<sub>i</sub>*.

En conséquence, on a :

$$\forall r \in \Pi, P(CM(r)) + \sum_i (P(FM_i(r))) = 1 \quad (1)$$

Cette notion de probabilité de mode, et plus particulièrement de mode de défaut, a un double intérêt :

- lors de la phase de diagnostic, il sera possible d'évaluer les probabilités d'occurrence de chacun des modes de défaut

- lors de la phase de pronostic, il sera possible de choisir le mode de défaut le plus probable pour l' « injecter » dans l'analyse des défaillance/risque, dans le cas où plusieurs modes potentiels sont identifiés pendant l'analyse diagnostique.

Il est proposé ici d'associer à chaque mode de défaut  $FMi(r)$  d'une ressource  $r$  une gravité, de manière à hiérarchiser les dommages que ce mode pourrait faire subir au système. Cette gravité sera notée  $G(FMi(r))$  et sera évaluée sur une échelle arbitraire de 5 points  $\{0, 1, 2, \dots, 4\}$ . Pour  $G = 0$ , le mode de défaut n'aura aucun impact en termes de gravité sur le système, et  $G = 4$  que le mode de défaut aura un impact important en termes de dommage sur le système. Cette hiérarchisation des dommages représentés par les modes de défaut est utile par la suite quand il s'agit de prioriser les risques possibles (probables) du système lors de la phase de pronostic, et envisager les actions efficaces et optimales de maintenance.

### Modélisation fonctionnelle

Dans ce paragraphe, est développé le formalisme pour la modélisation fonctionnelle qui servira de support à une Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC). Un tel formalisme est proposé, puisque originellement, l'AMDEC est un outil créé pour pouvoir être appliqué à n'importe quel système et doté d'une terminologie (implicitement) vague, donc qui peut être adaptée. Ainsi, dans cette section nous proposons un formalisme pour une modélisation fonctionnelle en vue d'une analyse AMDEC en détaillant les notions de mode de défaillance, cause, effet, etc.

Dans un premier temps, sont reprises et détaillées les bases d'un modèle fonctionnel pour l'analyse AMDEC. Pour cela, sont définies les notions de : fonction, défaillance et mode de défaillance d'une fonction.

La modélisation fonctionnelle d'un système passe tout d'abord par la définition des fonctions que le système doit remplir. Nous considérons ici que le comportement attendu d'une ressource (ou d'un groupe de ressources) conduit à considérer que cette ressource (ou ce groupe de ressources) a un rôle, une mission, que l'on appelle ici fonction. Formellement, les fonctions sont libellées par un verbe d'action.

On note  $\Phi = \{f_1, \dots, f_q\}$  l'ensemble des fonctions du système tel qu'aucune fonction ne soit la sous fonction d'une autre fonction. En d'autres termes, aucune fonction n'est incluse dans une autre fonction. La liste des fonctions  $\Phi = \{f_i\}$  est obtenue par un découpage fonctionnel (arbitraire) d'un système. Nous considérons qu'une fonction  $f \in \Phi$ , pour se réaliser normalement, s'appuie :

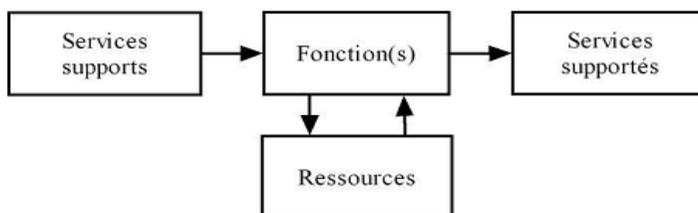
- sur un certain nombre de ressources  $R_j$ .

Soit  $R(f) = \{R1, . . . , Rp\}$  l'ensemble des ressources sur lesquelles s'appuie la fonction  $f$ .

- sur un certain nombre d'autres fonctions  $f_k$  jouant le rôle de services.

Soit  $SF(f) = \{f1, . . . , fr\} \in P(\Phi)$  l'ensemble des fonctions sur lesquelles s'appuie la fonction  $f$ . Ces fonctions sont aussi appelées fonctions supports.

D'autre part, nous considérons également qu'une fonction  $f$  peut servir de support (i.e. participer à un service) à une ou plusieurs fonctions. On note  $ACT(f) = \{f_j / f \in SF(f_j)\}$  l'ensemble des fonctions dont  $f$  est support (la fig. 1 est illustrative).



**Fig. 1:** Représentation graphique d'une fonction dans le système

A l'instar des ressources pour lesquelles ont été définis des modes de comportement, nous définissons dans ce modèle fonctionnel un certain nombre de modes pour chaque fonction.

Soit  $f \in \Phi$  une fonction. Nous définissons l'ensemble des modes possibles d'une fonction,  $modes(f) = \{nf, fm1, . . . , fmr\}$  où :

- $nf$  (normal functioning) correspond au fonctionnement normal
- $fm$  (failure mode) correspond à un mode de défaillance

Lorsqu'une fonction ne se réalise plus ou se réalise incorrectement, on parle de défaillance qui se définit comme la cessation d'aptitude ou l'altération d'une (ou d'un groupe) entité(s) à accomplir une fonction requise (Monchy, 2000).

Les défaillances des fonctions ont des effets. Ces effets sont appelés « modes de défaillance » dont les noms sont dévolus aux défaillances. Ainsi, un mode de défaillance se définit comme la manifestation par laquelle la défaillance est observée ou tout état de la fonction attendue à ne pas se réaliser correctement (Villemeur, 1988).

### Analyse Diagnostique fonctionnelle

Une fois les bases de la modélisation posées, nous proposons dans cette partie une méthode d'analyse des défaillances/risques basée sur l'AMDEC (*MIL-STD1629-A, 1983*) avec l'intégration des notions provenant de l'analyse par Arbre de défaillances (ADD) (Mortureux, 2002). Cet ajout d'information provenant des arbres de défaillance va permettre les notions de

combinaison dans les relations de causes à effets dans le modèle fonctionnel que l'AMDEC étudie individuellement.

Cette partie propose donc un formalisme pour les notions de causes et d'effets développées par l'analyse AMDEC tout en intégrant cette notion de combinaison

### **Notion de cause**

Dans le cadre du formalisme que nous présentons, nous faisons l'hypothèse que la cause d'un mode quelconque de défaillance d'une fonction est le résultat des modes de défauts des ressources ou des modes de défaillances d'autres fonctions du système. Et les causes d'un mode de défaillance d'une fonction  $f$  pourront donc être d'ordre :

- structurel : des modes de défaut de ressources  $R_j \in R(f)$  supports à  $f$
- fonctionnel : des modes de défaillance de fonctions  $f_k \in SF(f)$  supports à  $f$

### **Notion d'effet**

La notion d' «effet» d'un mode de défaillance peut représenter à l'origine n'importe quel concept étant la conséquence d'un mode de défaillance. Un mode de défaillance  $mf$  pourra avoir des effets :

- structurels sur les ressources (celles qui sont les supports des fonctions dont  $f$  est support)
- fonctionnels sur les fonctions qui ont pour support la fonction  $f$

### **Représentation graphique de l'analyse diagnostique et l'analyse des Défaillances / Risques**

Pour permettre une meilleure visibilité des résultats de l'analyse AMDEC, en particulier aux combinaisons des modes de défaillances ou défauts, nous proposons de représenter graphiquement ces résultats en reprenant la structure des arbres de défaillances ou arbres des causes (Fig. 2). Une telle représentation permet d'avoir une vue d'ensemble des relations de causes à effets du système et rend l'étude de ces relations plus aisée que si elles sont sous forme de tableau.

Etant donné que dans notre contexte, il n'y a pas d'événements indésirables étudiés (ou alors on peut considérer qu'il y en a plusieurs représentés sur un même graphique), le graphique obtenu n'est plus un arbre. On appellera cette représentation Graphe Causal de Dysfonctionnement (GCD).

Par ailleurs, les différentes combinaisons qui seront adoptées dans ce graphe (fig. 2) sont celles du symbolisme habituellement utilisé pour représenter un ADD (Clifton, 2005) (Blanchard et al., 1995) :

les portes ET : conjonctions de modes  
 les portes OU : disjonctions de modes  
 les portes NON : négation d'un mode

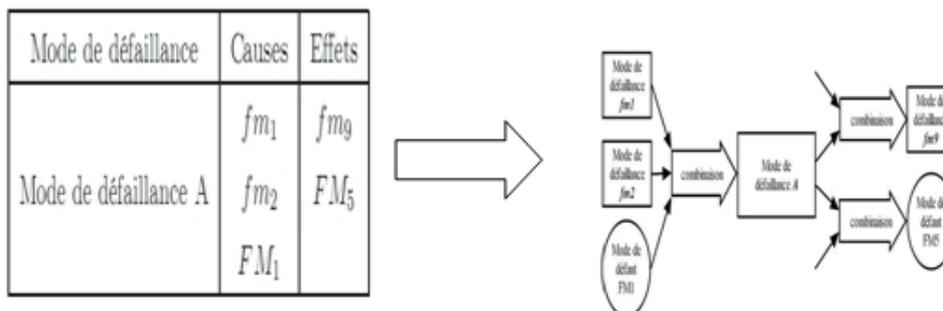


Fig 2: Graphe Causal de Dysfonctionnement (GCD)

Un mode de défaut est représenté par un cercle avec son intitulé à l'intérieur.

Un mode de défaillance est représenté par un rectangle avec son intitulé à l'intérieur.

Concernant ce Graphe Causal de Dysfonctionnement, nous considérons qu'il est non cyclique. En conséquence, il existe dans ce graphe des modes qui n'ont aucun antécédent (i.e. qui ne sont la conséquence d'aucun autre mode) : ces modes particuliers seront appelés modes de base.

### Pronostic de défaillances

La finalité de cette partie est de donner les outils pour permettre de déterminer les défaillances/risques par pronostic durant le fonctionnement d'un procédé, d'une installation. Le pronostic à la différence du diagnostic, mais qui peut le compléter, se fait avant la survenue d'une défaillance en déterminant plutôt la probabilité ou le temps résiduel de son occurrence (Byington Carl S. et al., 2002), (Hölzel N. B. et al., 2012).

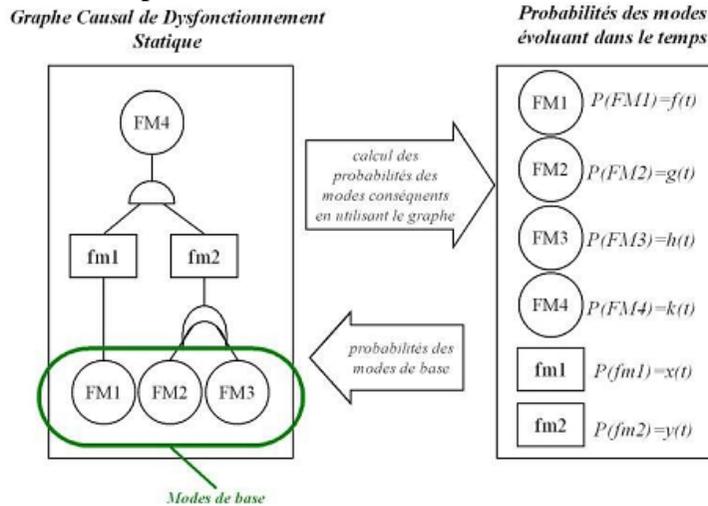
Une prédiction en ligne permet de contrôler alors à tout instant une installation industrielle de manière à pouvoir prendre les mesures préventives et/ou correctives qui s'imposent.

### Probabilités et temporisation du Graphe Causal de Dysfonctionnement

L'objectif est de déterminer à chaque instant  $t$  les probabilités et temps déduire le temps d'occurrence de chacun des modes du Graphe Causal de Dysfonctionnement à partir :

- des probabilités de départ des modes de base, (i.e. situés aux extrémités du graphe) en utilisant des lois de probabilité continues ou discrètes si elles existent à tout instant ;
- des combinaisons des cause à effets entre les différents modes.

Ainsi nous avons (fig. 3), d’une part, un Graphe Causal de Dysfonctionnement statique et d’autre part, des probabilités évoluant dans le temps, déterminées à partir des relations de cause à effet.



**Fig.3** Interactions probabilités / Graphe Causal de Dysfonctionnement

**Notion de Fonction de Probabilité par Episode**

Soit *m* un mode (de défaillance ou de défaut). On appelle Fonction de Probabilité par Episode du mode *m*, et on note *FPE(m)*, la fonction constante par morceaux qui définit la probabilité d’occurrence du mode *m* en fonction d’intervalles de temps :

$$FPE(m) = ((p_1, \Delta t_1), \dots, (p_n, \Delta t_n)) \text{ tels que } \forall t \in \Delta t_i, p(t) = p_i \text{ avec } \Delta t_i = [t_i^-, t_i^+ [$$

L’hypothèse habituelle prise en compte dans les arbres de défaillance est celle de l’indépendance des événements à la base de l’arbre. Nous considérons donc cette même hypothèse pour les modes de base du Graphe Causal de Dysfonctionnement. Grâce au calcul des coupes minimales d’un mode *m*, nous allons pouvoir déterminer sa probabilité. Comme toute probabilité a une fonction de distribution *f(t)*, l’espérance mathématique du temps de sa survenue peut être évaluée.

Soit alors  $m = A_1 + \dots + A_n$  l’expression booléenne de *m*, où les *A<sub>i</sub>* sont les coupes minimales. On a alors, d’après la formule de Poincaré (Pagès A et al., 1980):

$$p(m) = P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) - P\left(\sum_{i \neq j}^n A_i A_j\right) + P\left(\sum_{i \neq j \neq k}^n A_i A_j A_k\right) + \dots + (-1)^n P\left(\prod_{i=1}^n A_i\right) \tag{2}$$

Ainsi, la probabilité d’un mode *m* est donnée par les probabilités de ses coupes minimales.

Le temps d'occurrence du mode  $m$  de risque/défaillance à prévenir est défini par (Kececioglu D., 1995) :

$$MTBF = \int_{\gamma}^{\infty} tf(t)dt = \gamma + \int_{\gamma}^{\infty} R(t)dt \quad (3)$$

$\gamma$  est le paramètre de localisation de la distribution  $f(t)$  et  $F(t) = 1 - R(t) = P(m)$

Par analogie si l'on dispose du retour d'expérience les temps de restauration des fonctions de mode de défaillance  $m$  on peut bien estimer la MTTR (Mean Time To Repair).

### Algorithme de pronostic

A partir du Graphe Causal de Dysfonctionnement et des données de l'état du système, nous proposons dans cette partie une méthode pour prédire les défaillances et les défauts éventuels par le calcul de leur probabilité et du temps résiduel de leur arrivée. L'algorithme de pronostic que nous proposons repose sur trois étapes successives et exploite les résultats de l'analyse de la modélisation comportementale effectuée. Ces étapes successives sont les suivantes :

- Détection et localisation des défauts à partir de la propagation des valeurs des variables des ressources sur les modèles comportementaux, afin de pouvoir identifier les ressources impliqués et isoler les différents défauts.
- Modification des  $FPE$  des modes de défauts détectés et localisés. En effet, leurs probabilités d'occurrence passent à 1 à partir de la date à laquelle la détection a été effectuée. Les  $FPE$  des modes conséquents risquent d'être donc à leur tour modifiés également.
- Repérage des ressources défectueux (en défaut) dans le Graphe Causal de Dysfonctionnement et détermination de toutes leurs conséquences valides (au sens booléen).

Cette recherche permet de présager temporellement sur les défauts et défaillances/risques futurs du système.

Pour pronostiquer sur les défauts et les défaillances/risques futurs, dans ce travail il est proposé de repérer dans le Graphe Causal de Dysfonctionnement les modes de défaut diagnostiqués et de propager ces modes de défauts dans le graphe (voir fig. 4).

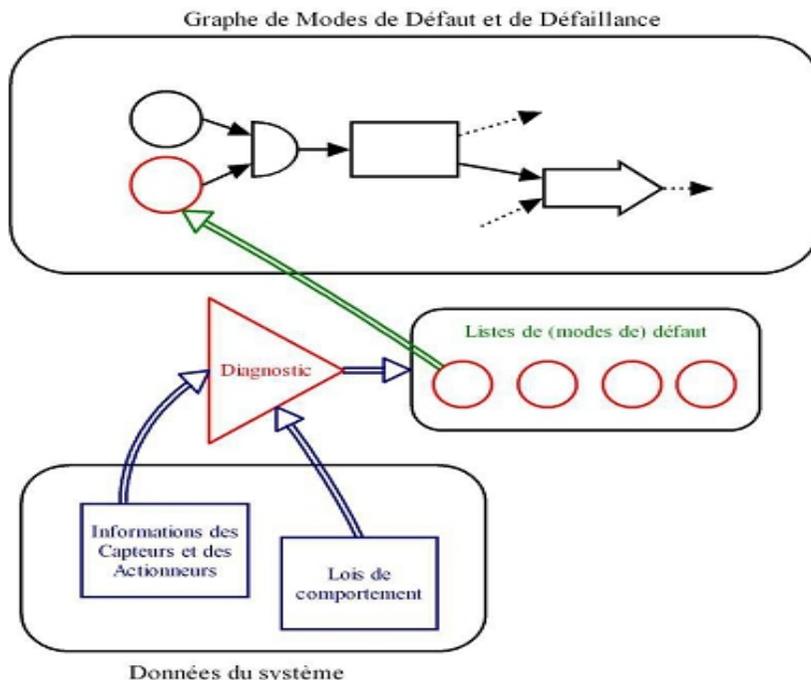


Fig.4: Principe de Pronostic

### Taux de défaillance/réparation de la fonction du système

Le taux de défaillance est en fait la probabilité conditionnelle d'occurrence d'un mode  $m$  de défaillance/défaut d'une fonction à l'instant  $t + dt$  sachant que jusqu'à  $t$  le système a été en état de bon fonctionnement. Alors le GCD va en d'autres termes permettre d'identifier a priori les défaillances élémentaires influentes sur la disponibilité du système. Si l'on fait l'hypothèse que le système est par exemple dans sa vie de maturité, alors les taux de défaillance  $\lambda_i$  des fonctions sont quasi constants. Et si, de plus leurs taux de réparation  $\mu_i$  sont constants, il devient possible de quantifier la disponibilité prévisionnelle du système (Monchy, 2000) :

$$D_s = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \tag{4}$$

avec :

- pour la combinaison (porte) ET :
- pour les systèmes non réparables

$$\lambda = \prod_{i=1}^n \lambda_i \tag{5}$$

- pour les systèmes réparables (GCD dépendant du temps)

$$\lambda = \prod_{i=1}^n (\lambda_i \tau_i) \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i} \text{ et } \tau = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i}} \quad (6)$$

$$\text{avec } \tau = \frac{1}{\mu}$$

- pour la combinaison (porte OU) :
- pour les systèmes non réparables

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (7)$$

- pour les systèmes réparables

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{ et } \tau = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (8)$$

### Conclusion et perspectives

La notion de Fonction de Probabilité par Episode permet donc d'ajouter de l'information aux arbres de défaillance : il est alors possible de déterminer à chaque instant de vie du système la probabilité de chaque événement et son temps d'arrivée. Par ailleurs, suivant les résultats d'éventuelles analyses diagnostiques, cet arbre permet d'identifier des informations précieuses, à savoir les risques/défaillances les plus critiques, leurs probabilités d'occurrence et leur délai d'apparition. Ensuite, toujours grâce à l'arbre, il est possible de déterminer les actions de maintenance préventive et/ou correctives à prendre pour limiter, voire éliminer, les risques/défaillances. Une perspective intéressante serait de développer et d'intégrer un système expert des FPE dans les systèmes industriels à travers des tableaux de bord dont les indicateurs seraient les probabilités de modes de défaillances/risques, en temps réel et leur temps résiduel d'occurrence, envisageant ainsi une bonne supervision de leurs disponibilités.

### Références:

- Blanchard S. B., Verna D., Peterson E. L. (1995) – Maintainability : A key to Effective Serviceability and Maintenance Management, *A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, inc., 537 p.*
- Byington Carl S. , Roemer M. J. , Galie T. , (2002) – Prognostic Enhancements to Diagnostic Systems for Improved Condition-Based Maintenance, *0-7803-7231-X/01/\$10.00/ 2002 IEE.*

- Clifton, A. (2005) - Hazard Analysis Techniques for System Safety, Wiley
- Désinde, M., Flaus, J., Ploix, S. (2006a) - Outil et méthodologie pour l'évaluation des risques de procédé en temps réel. In *Lambda-Mu 15 / Lille*.
- Désinde, M., Flaus, J., Ploix, S. (2006b) - Risk analysis and diagnosis modeling for online control of process. *ESREL, Estoril, Portugal*.
- Hölzel N. B., Schilling T., Neuheuser T., Gollnick V. (2012) – System Analysis of prognostics and health management systems for future transport aircraft, *28<sup>th</sup> international congress of the aeronautical sciences, 13p*.
- Kececioglu D. (1995) – maintainability, availability and operational readiness engineering handbook, by Prentice hall PTR.
- Kumar, A., Chittaro, L. (1998) - Reasoning about function and its applications to engineering. *Artificial Intelligence in Engineering* .
- MIL-STD1629-A, S. (1983) - Procedures for performing a failure modes and effects analysis, notice 1.
- Monchy F. (2000) – Maintenance, Méthodes et Organisations, Dunod, Paris, 509 p.
- Mortureux, Y. (2002) - Arbres de défaillance, des causes et d'événement. *Techniques de l'Ingénieur SE2*.
- Nzie, W. (2006) - Intégration de la maintenance en conception : application à un équipement agroalimentaire. *Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 27 février, 132p*.
- Pagès A., Gondran M. (1980) – Fiabilité des systèmes, *Editions Eyrolles, 327 p*.
- Villemeur, A. (1988) – Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels - Fiabilité – Facteurs humains – Informatisation. *Eyrolles Editions*.