

SUPERVISION ET PRONOSTIC POUR LA MAINTENANCE PREVISIONNELLE DE SYSTEMES EVOLUTIFS COMPLEXES

M. TRAORE, E. DUVELLA et S. LECOEUICHE

Ecole des Mines de douai
Département Informatique Automatique
941, rue Charles Bourseul, BP 10838 Douai Cedex,
France 59508 Douai

traore@ensm-douai.fr, duviella@ensm-douai.fr, lecoeuche@ensm-douai.fr

RESUME : *Les stratégies de maintenance prévisionnelle sont conçues pour améliorer la fiabilité et la disponibilité des systèmes industriels. Elles sont basées sur des processus de supervision et de pronostic de défaillances. Dans cet article, nous proposons une approche de supervision qui consiste à partir de la détection des défauts et des dérives lentes de fonctionnement, à mettre à jour de façon dynamique les probabilités de défaillance des différents composants du système, grâce aux Fonctions de Probabilité par Episode (FPE) liées à l'Arbre de Défaillance (AdD). Le pronostic a pour objectif de déterminer le risque d'occurrence des défaillances et leurs conséquences sur l'ensemble du système. Ainsi, les risques d'occurrence d'un défaut, ses conséquences et leurs criticités sur la fiabilité et la disponibilité du système sont estimés et pris en compte lors de la conception de la stratégie de maintenance prévisionnelle. L'approche proposée est illustrée dans le cadre de la maintenance d'un module de puissance électrique.*

MOTS-CLES : *Supervision, Pronostic, Maintenance Prévisionnelle*

1. INTRODUCTION

La fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité des systèmes industriels constituent des enjeux indispensables à la compétitivité des entreprises. En phase d'exploitation, le choix des politiques de maintenance est réalisé en tenant compte des caractéristiques des équipements, du type de défaillances auxquels ils sont soumis, et du coût des actions de maintenance (Muller, 2005) et (Do Van *et al.*, 2007). Deux types généraux de maintenance sont largement répandus : la maintenance corrective qui regroupe l'ensemble des activités réalisées après la détection et la localisation d'une défaillance (Ly, 1999), et la maintenance préventive qui regroupe l'ensemble des activités réalisées par anticipation pour empêcher l'occurrence d'une défaillance (Mkhida *et al.*, 2006). Ces stratégies de maintenance sont cependant trop systématiques et ne permettent pas la prise en compte de l'évolution au cours du temps des caractéristiques intrinsèques des composants d'un système, ni d'anticiper l'apparition de défaillances. Pour répondre à ces exigences, des stratégies de maintenance prévisionnelle basées sur des processus de supervision et de pronostic ont été récemment proposées (Lung *et al.*, 2005) et (Thomas *et al.*, 2007). Elles consistent, en général, en une représentation par modes de fonctionnement (nominal ou dégradé) des composants du processus, à la quelle est associée une analyse dysfonctionnelle de type

AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et leurs Effets), ainsi qu'une modélisation stochastique des défaillances envisagées. Ainsi, il est possible d'anticiper les défaillances, de prévoir leurs conséquences sur le processus et de sélectionner, de façon optimale, les stratégies de maintenance.

Une méthodologie basée sur le même concept a été proposée par (Desinde *et al.*, 2006) afin d'évaluer, en temps réel, les risques encourus par un système. Il propose des outils permettant d'implanter une stratégie de maintenance prévisionnelle. Ces outils consistent dans un premier temps en une analyse dysfonctionnelle de type AMDE, à partir de laquelle est construit l'Arbre de Défaillance (AdD) du système. Par la suite, les éléments de l'AdD sont temporisés, probabilisés et mis à jour de façon régulière de manière à ce qu'il soit possible de déterminer les risques de défaillances susceptibles d'apparaître, les conséquences les plus probables liées à leur occurrence, et leurs criticités. Les probabilités de défaillances liées aux composants sont supposées connues par avance. Elles sont issues de tests d'usine ou de méthodes de retour d'expérience. Cependant, dans cette approche, les probabilités de défaillances sont uniquement réévaluées lors de la détection d'un défaut.

Une stratégie de maintenance prévisionnelle basée sur des processus de supervision et de pronostic de défaillances est proposée dans cet article. La démarche

s'appuie sur une analyse AMDE et sur des AdD dynamiques, temporisés et probabilisés. Nous proposons d'évaluer en temps réel les probabilités de défaillance liées aux composants à partir d'une approche de supervision basée sur des méthodes de classification auto-adaptatives (Lecoecue et Lurette, 2003). Ainsi, le mode de fonctionnement des composants (nominal ou dégradé) est diagnostiqué à chaque instant, et les probabilités de l'AdD remises à jour. La détection des dérives lentes et/ou rapides de fonctionnement est également utilisée afin de déterminer la probabilité d'occurrence des défaillances et de prévoir leurs conséquences sur l'ensemble des composants du système. La stratégie de maintenance prévisionnelle s'appuie sur cette architecture.

La stratégie de maintenance prévisionnelle est décrite dans la section 2. Une méthode de modélisation des modes de fonctionnement d'un système à partir de l'AdD et de Réseaux de Petri est détaillée dans la section 3. La section 4 permet de décrire les méthodes de supervision permettant de déterminer les probabilités de défaillance liées aux composants. Le processus de pronostic pour la détermination de la criticité des défaillances est présenté dans la section 5. Finalement, la stratégie de maintenance prévisionnelle basée sur des processus de supervision et de pronostic est illustrée dans le cadre d'un module de puissance électrique.

2. STRATEGIE DE MAINTENANCE PREVISIONNELLE

La stratégie de maintenance prévisionnelle a pour objectif d'améliorer la fiabilité et de la disponibilité des systèmes industriels. Elle est basée sur des processus de supervision et de pronostic de défaillances (voir figure 1). Elle s'appuie sur une Analyse des Modes de Défaillance et leurs Effets (AMDE) afin d'identifier les modes de défaillance des composants d'un système et d'évaluer les effets de ces modes sur la disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité ou la sécurité du système dans sa globalité (Moussa *et al.*, 2005). Le module de supervision a pour rôle, d'une part, de détecter l'occurrence des défaillances des composants et d'identifier leurs causes, et d'autre part, de suivre les dérives de fonctionnement du système. La supervision proposée permet ainsi de détecter les dérives lentes et rapides de fonctionnement, de reconstituer l'état du système et de déterminer la cause de ses dérives. Le module de pronostic conduit, à partir des informations issues du module de supervision, à la détermination du risque d'occurrence des défaillances, à la prévision de leurs conséquences sur l'ensemble du système, et l'estimation du temps disponible avant l'occurrence d'un défaut.

La mise en place d'une politique de maintenance efficace nécessite une bonne connaissance et compréhension des phénomènes de dégradation des composants du système industriel. Il existe deux types de

défaillance ; les défaillances par dérive dues à des phénomènes d'usure et les défaillances catalectiques qui sont complètes et soudaines (Monchy, 1991) et (Ziari et Kerbache, 2004). Dans le cas d'une défaillance par dérive, le fonctionnement du système est caractérisé par trois états (voir figure 2.a) : un mode de fonctionnement normal, un mode dégradé ou de défaillance progressive et un mode panne. Dans le cas d'une défaillance catalectique, les états caractérisant le fonctionnement du système correspondent à un mode de fonctionnement normal et un mode panne (voir figure 2.b).

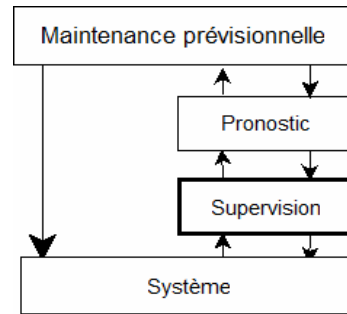


Figure 1. Architecture de la stratégie de maintenance prévisionnelle.

Dans l'état de fonctionnement normal, la probabilité de défaillance est très réduite voir égale à zéro, et la disponibilité du système est maximale. La disponibilité du système étant nulle pour un mode panne, il est nécessaire de recourir à une maintenance corrective. Finalement, bien que l'état de fonctionnement dégradé soit caractérisé par une probabilité de défaillance plus élevée et une fiabilité plus faible, le système n'est pas indisponible et peut continuer à fonctionner. Dans ce cas, la probabilité de défaillance des composants peut être réduite, et la fiabilité du processus améliorée, grâce à la programmation d'actions de maintenance.

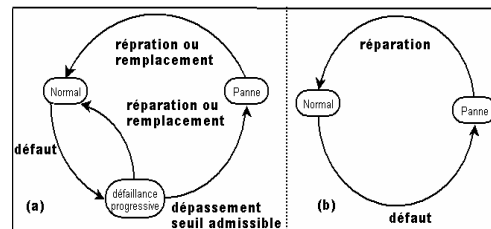


Figure 2. Etats d'un système caractérisé par des défaillances (a) lente et (b) catalectique.

L'ensemble des combinaisons possibles des défaillances des composants du système à surveiller est représenté grâce aux AdD. Nous supposons que les événements de base sont indépendants. Dans le but de pouvoir modéliser les différents modes de fonctionnement des composants et leur évolution, de partager des ressources communes telles que des ressources de maintenance, nous utilisons une modélisation basée sur les Réseaux de Petri (RdP). Les différents outils introduits pour la

modélisation des modes de fonctionnement sont détaillés dans la section suivante.

3. MODELISATION DES MODES DE FONCTIONNEMENT

L'AdD est une caractérisation logique, statique et déterministe des combinaisons et des relations cause à effet des pannes élémentaires menant à la défaillance du système. Il est établi à partir des résultats de l'AMDE. Un AdD est un graphe biparti acyclique, dont les noeuds sont scindés en sommets et en portes logiques OU (voir figure 3.a) et ET (voir figure 3.b). Les arcs du graphe n'existent qu'entre deux noeuds de nature différente. Il est construit (Tromp, 2000) à partir des *événements indésirables de base* liés aux composants du système, des *événements redoutés* induisant une panne souvent complète, et des *événements composés* obtenus par conjonction ou disjonction d'événements de base ou d'événements composés par des portes logiques (les sommets intermédiaires). A un sommet E_i de l'AdD est associée une variable booléenne, e_i , telle que $e_i = 0$ si le composant i est à l'état normal et $e_i = 1$ si le composant i est à l'état panne. L'exemple de la figure 3.a et 3.b permet d'illustrer un AdD construit à partir des *événements indésirables de base* E_1, E_2, E_4 et E_5 , qui combinés conduisent aux *événements redoutés* E_3 et E_6 .

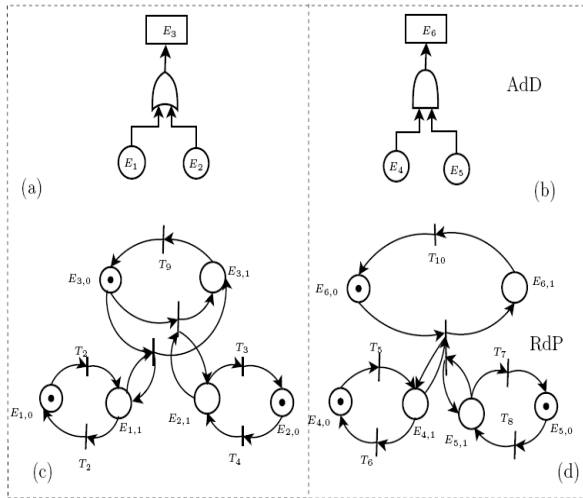


Figure 3. Eléments constitutifs des AdD, (a) porte OU et (c) le RdP associé, (b) porte ET et (d) le RdP associé.

La modélisation des AdD par des RdP est réalisée en fonction du type de porte considérée (voir figure 3) (Tromp, 2000). Les RdP présentent l'avantage d'être un outil de mathématique et graphique permettant de modéliser les différents modes de fonctionnement des composant et les évolutions entre ces différents modes. Des développements plus approfondis sur les règles d'évolutions du RdP peuvent être trouvées dans (Traore, 2006) et (Bourdeaud'huy et Yim, 2004). Dans l'exemple proposé, chaque sommet E_i de l'AdD est modélisé par un RdP à deux places qui permet de représenter les

composants soumis à des défaillances catalectiques. Une variable booléenne $E_{i,j}$, avec $j \in [0,1]$ est associée à chaque sommet E_i . Ainsi, la place $E_{i,0}$ modélise l'état normal du composant i , et la place $E_{i,1}$, l'état panne. En ce qui concerne le fonctionnement de la porte OU (voir figure 3.c), l'occurrence de l'événement $E_{3,1}$ est possible que si et seulement s'il y a eu l'occurrence de l'événement $E_{1,1}$ ou de l'événement $E_{2,1}$. Lorsque le fonctionnement de la porte ET est considéré (voir figure 3.d), l'occurrence de l'événement $E_{6,1}$ est possible que si et seulement si, il y a eu l'occurrence des événements $E_{4,1}$ et $E_{5,1}$. Les conditions de franchissabilité des transitions T_1 à T_8 sont spécifiques à chaque transition.

Dans le but de prendre en compte les différents types de défaillance, à savoir les défaillances progressives ou catalectiques, nous proposons une modélisation par un RdP à trois places dans le premier cas (voir figure 4.a) et un RdP à deux places dans le second cas (voir figure 4.b). Ainsi un sommet E_i sera modélisé par un RdP à trois places si la défaillance est progressive, et le mode dégradé sera représenté par la place $E_{id,0}$. Le fonctionnement est identique à celui décrit dans le cas d'une défaillance catalectique.

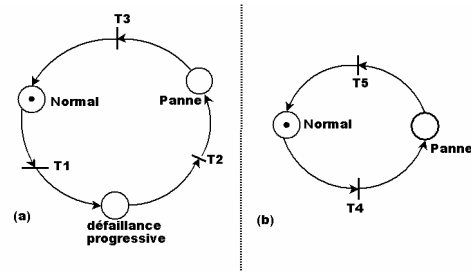


Figure 4. Modélisation par RdP d'un composant de l'AdD caractérisé par une défaillance lente (a) et par une défaillance catalectique (b).

Les différents types de défaillances et leurs conséquences sur le système étant modélisés par les RdP, il est nécessaire de calculer les probabilités de défaillance des composants. Celles-ci sont déterminées à chaque instant par le processus de supervision.

4. PROCESSUS DE SUPERVISION POUR LA DETERMINATION DES PROBABILITES DE DEFAILLANCE

L'AdD est rendu dynamique en attribuant à chaque événement de base une probabilité évoluant dans le temps. Pour cela, nous utilisons la FPE de l'événement x (Desinde *et al.*, 2006), notée $FPE(x)$ (1). La FPE est une fonction constante par morceaux qui définit la probabilité d'occurrence de l'événement x en fonction du temps (voir figure 5.a).

$$FPE(x) = ((p_1, \Delta t_1), \dots, (p_n, \Delta t_n)), \quad (1)$$

tels que $\forall t \in \Delta t_i, p(t) = p_i$, avec $\Delta t = [t_i^-, t_i^+]$.

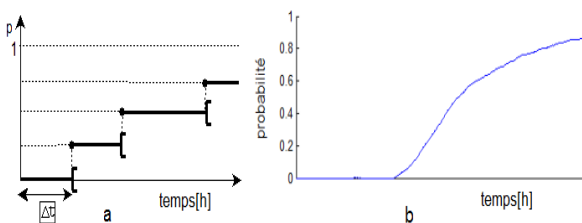


Figure 5. Représentation graphique d'une FPE issue (a) de tests d'usine ou de retour d'expérience, (b) du processus de supervision.

Les FPE des événements de base peuvent être déterminées à partir de retours d'expérience ou de tests d'usine (usure, fatigue, etc.) sur les composants du système (Desinde *et al.*, 2006). La capitalisation du retour d'expérience doit être assurée par le service maintenance. Cependant, lorsque ces données ne sont pas disponibles, nous avons proposé de déterminer les FPE à partir du processus de supervision (voir figure 5.b), et en particulier des méthodes de classification auto-adaptative (supervision par reconnaissance des formes) (Lecoeuche et Lurette, 2003) et (Amadou Boubacar, 2006). Ces dernières permettent de caractériser les dérives de fonctionnement des systèmes, en suivant la dérive des classes correspondantes aux modes de fonctionnement (données évolutives). Ces techniques sont bien adaptées pour le suivi de défaillances progressives. Les défaillances progressives sont caractérisées par une dérive plus ou moins rapide du mode de fonctionnement normal vers un mode anormal (panne) (voir figure 6).

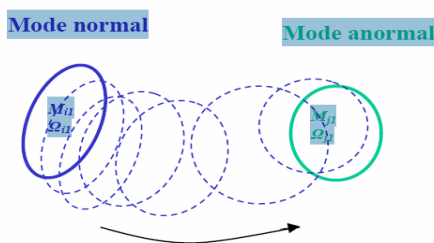


Figure 6. Dérive d'un mode de fonctionnement normal vers un mode anormal.

Dans cet article, nous considérons que les classes correspondant aux modes de fonctionnement normal et anormal sont connues, fixes et caractérisées par un centre M_i et une matrice de covariance Ω_i . Lors de l'occurrence d'une défaillance progressive, la classe courante va évoluer, *i.e.* mode dégradé, et sa dérive sera suivie en temps réel. Cette classe est également caractérisée par un centre M_j et une matrice de covariance Ω_j . Ainsi, dès la détection de l'occurrence de la défaillance, nous proposons de quantifier la probabilité de défaillance du composant associé en fonction de la distance parcourue par cette nouvelle classe en direction de la classe mode

anormal. La distance entre deux classes correspond à la distance entre leurs deux distributions, et peut être calculée à chaque instant (Berthier, 2004). Ainsi la probabilité de défaillance d'un composant est calculée en faisant le rapport de la distance d entre la classe normal et la classe dégradée, avec la distance D entre la classe normale et la classe anormal. Ce rapport est donc inférieur à 1 et s'accroît à mesure que la classe dégradée s'éloigne de la classe normale. La FPE du composant considérée est mise à jour avec la valeur de ce rapport de distances. Si $d/D=30\%$ dans l'intervalle $[t_1, t_2]$, alors la probabilité $p = 0.3$ dans $[t_1, t_2]$.

Afin de synchroniser le marquage des RdP avec l'évolution des FPE, des messages sont associés aux transitions. La notion de message est complémentaire à celle de "jeton". Un message M_i est caractérisé par deux états ; un état "Vrai", un état "Faux". Il peut être associé en entrée d'une transition, et participe à sa validation. Dans ce cas, il est précédé du préfixe "?", *i.e.* "? M_i ". Un message M_j peut également être associé en sortie d'une transition. Dans ce cas, il est précédé du préfixe "!", *i.e.* "! M_j " (Traore, 2006). Lorsqu'une transition est tirée, le message qui lui est associé en sortie, M_j , peut être forcé dans l'état "Vrai" ou dans l'état "Faux". Une transition ne peut être sensibilisée que si et seulement si le message qui lui est associé en entrée, M_i , est dans l'état "Vrai" et si le jeton amont de la transition est présent.

Le processus de supervision permet la mise à jour des fonctions de probabilité de défaillance des composants. La criticité des événements susceptibles d'apparaître peut être déterminée par le processus de pronostic.

5. PROCESSUS DE PRONOSTIC POUR LA DETERMINATION DE LA CRITICITE DES EVENEMENTS

Le pronostic a pour objectifs la détermination du risque d'occurrence des défaillances, la prévision de leurs conséquences sur le fonctionnement du système, et l'estimation du temps disponible avant l'occurrence d'une défaillance (Thomas *et al.*, 2007). Il exploite les résultats de la supervision, en particulier les instants de détection d'un (des) défaut(s) et sa localisation. Les FPE des événements de base étant déterminées, elles sont propagées au travers de l'AdD afin de calculer les FPE des événements intermédiaires et des événements redoutés (voir figure 7). La propagation des FPE tient évidemment compte des relations cause/effets des différents événements, *i.e.* les portes logiques OU (voir figure 7.a & 7.c) et ET (voir figure 7.b & 7.d) :

- l'événement de sortie d'une porte « OU » est associé à la somme des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée,
- l'événement de sortie d'une porte « ET » est associé au produit des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée.

Les probabilités de l'événement E_3 et de l'événement E_6 sont calculées en fonction des événements de base et des portes logiques. Les équations algébriques booléennes représentées graphiquement par l'AdD sont :

$$e_3 = e_1 + e_2, \quad (2)$$

$$e_6 = e_4.e_5 \quad (3)$$

En supposant que les événements de base sont indépendants, il vient :

$$p(e_3) = p(e_1) + p(e_2) - p(e_1).p(e_2), \quad (5)$$

$$p(e_6) = p(e_4).p(e_5). \quad (6)$$

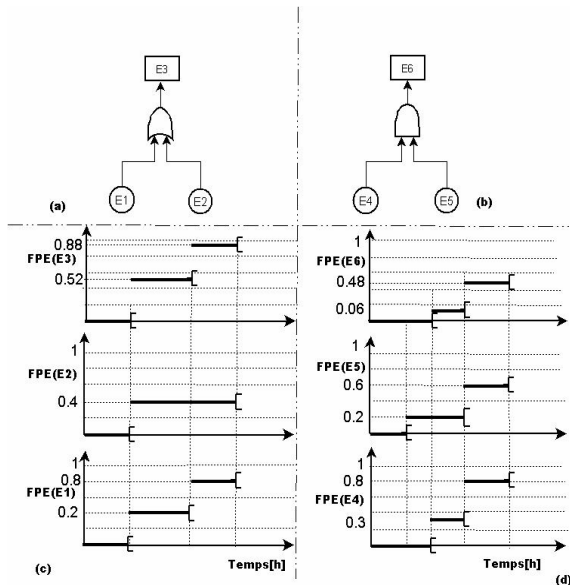


Figure 7. Relations entre deux événements de base selon (a) une porte OU et (b) une porte ET, et FPE des événements redoutés selon (c) une porte OU et (d) une porte ET.

Afin d'identifier la criticité des événements susceptibles d'apparaître, la propagation de défauts est réalisée tant que les portes OU sont rencontrées (prédiction) et arrêtée dès qu'une porte ET est rencontrée. Les événements en aval de la porte ET correspondent aux défaillances encourues et les composants à surveiller sont repérés. La criticité des événements tient compte du risque de défaillance et de la gravité des événements. Elle est déterminée à chaque nouvelle modification des FPE. La criticité se détermine par une matrice de classement des risques de défaillances, *i.e.* les FPE, en fonction de leur gravité (voir figure 8). La gravité est l'évaluation de l'importance des conséquences d'une défaillance sur le bon fonctionnement du système (Lassagne, 2004).

A partir de la connaissance de la criticité des défaillances du système, des actions de maintenance pourront être planifiées afin d'éviter toute conséquence grave. Si la criticité du composant se trouve dans la zone améliorable, la maintenance préventive est effectuée dès que l'équipement de la maintenance est disponible. Dans le cas où aucune action n'est entreprise, le système

risque de se retrouver dans la zone indésirable et tomber en panne.

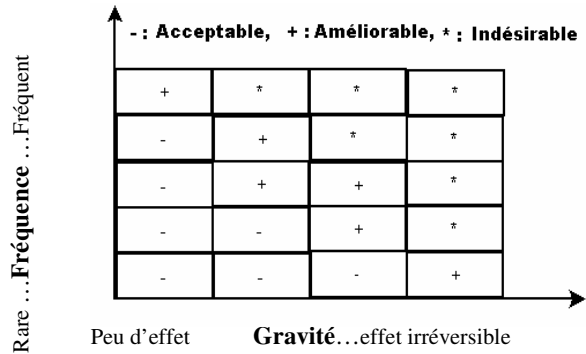


Figure 8. Matrice de criticité des événements

Afin de modéliser les actions de maintenance, le RdP schématisé sur la figure 4.a est modifié en lui ajoutant une transition supplémentaire T4 entre la place de mode défaillance progressive et la place du mode panne (voir figure 9). Le système est mis hors service lors des actions de maintenance préventive ou corrective. Le temps opératoire lié aux différents types de maintenance est pris en compte au niveau des conditions de franchissabilité de la transition T3. La transition T4 est affectée par un message qui autorise la maintenance préventive. Le franchissement de la transition T4 dépend de la disponibilité de l'équipement pour la maintenance (voir section 6). Dans le cas où l'équipement est disponible, un arrêt est demandé pour effectuer les opérations de maintenance préventive. Le système se trouve alors en mode arrêt demandé. L'action de maintenance permet d'améliorer la fiabilité et la disponibilité du système. Lorsque l'équipement de la maintenance n'est pas disponible, les FPE risquent d'évoluer jusqu'à dépasser le seuil de fonctionnement admissible. Le dépassement de ce seuil se caractérise par le franchissement de la transition T2 de la figure 9; le composant est alors en panne. Afin de ramener le composant en mode normal, une action de maintenance corrective est indispensable.

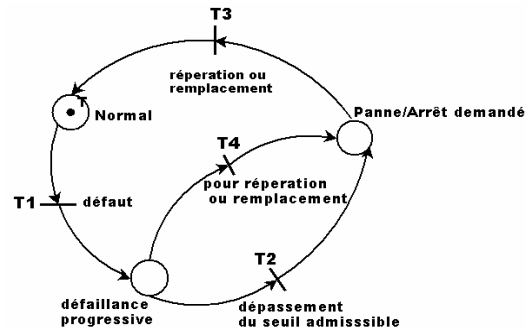


Figure 9. Modèle général d'un composant à défaillance progressive.

priorité est modélisée par la transition T du RdP entre les places 2 et 4 (voir figure 12).

Message (booléen)	Signification	Valeur initiale
M1	Dépassement du seuil admissible pour E1.	faux
M2	Dépassement du seuil admissible pour E2.	faux
M3	Dépassement du seuil admissible pour E3.	faux
M4	Fin de maintenance corrective.	faux
M5	Détection d'une dérive sur le composant E2.	faux
M6	Détection d'une dérive sur le composant E3.	faux
M7	Dépassement du seuil autorisé pour E2.	faux
M8	Arrêt pour la maintenance préventive.	faux
M9	L'équipement est prêt pour la maintenance préventive.	vrai
M10	Dépassement du seuil autorisé pour E3.	faux
M11	Les composants E1 et E2 sont réparés.	faux

Table 1. Liste des messages, leur signification et leur valeur initiale.

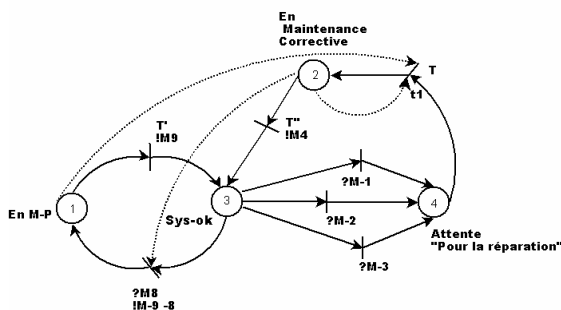


Figure 12. Modèle de maintenance.

Le scénario de fonctionnement proposé est représenté sur la figure 13. La représentation graphique de la FPE de E1 sur la totalité du scénario est donnée sur la figure 13.a. Les FPE des composants E2 et E3 sont déterminées en temps réel par le processus de supervision et sont représentées respectivement par les figures 13.b et 13.d. Les FPE des événements de base sont propagées à travers l'Add, afin de déterminer les FPE de l'événement intermédiaire E4 (voir figure 13.c) et de l'événement redouté E5 (voir figure 13.e).

A partir des FPE des composants et de l'Add, la criticité des événements intermédiaire E4 et redouté E5 est calculée à chaque instant (voir figure 8). L'événement E5 a une gravité plus importance que l'événement E4. Les conséquences d'un événement étant pronostiquées, des actions de maintenance sont adoptées. Dans cet exemple, nous considérons qu'une FPE supérieure à 0.8 (seuil) pour l'événement intermédiaire E4 entraîne un risque trop important pour le fonctionnement de l'éolienne et qu'une FPE supérieure à 0.6 pour l'événement redouté entraîne un risque trop important sur la production d'énergie. Ainsi, dès que les FPE des événements E4 et E5 dépassent les seuils fixés, des actions de maintenance préventive sont enclenchées avec une priorité liée à la

gravité des événements (E5 prioritaire sur E4), et selon la disponibilité de l'équipement de maintenance, i.e. le message M9 doit être à l'état "vrai" (voir tableau 1). Au début de l'action préventive, le message M8 est à l'état "vrai".

La première détection d'une dérive sur E2 et E3 a lieu respectivement à l'instant t = 100 h (voir figure 13.b et 13.d). Lors de la détection de ces dérives, les transitions T4 et T5 du RdP (voir figure 11) sont tirées. La première action de la maintenance préventive est réalisée à l'instant t = 500 h sur le composant E2, suite au dépassement de seuil (0.8) de la FPE de E4 (voir figure 13.c). Lors de cette action de maintenance, la FPE de E5 dépasse le seuil autorisé (0.6) à cause de l'indisponibilité de l'équipement de maintenance (voir figure 13.e). Cependant, la FPE de E5 revient à un niveau acceptable après l'opération de maintenance. Suite au dépassement de seuil (0.6) de la FPE de E5 (voir figure 13.e) à l'instant t = 600 h, une action de maintenance préventive est également opérée sur le composant E3. Finalement, une action de maintenance corrective est réalisée à l'instant t = 800 h sur le composant E1 qui a subit une défaillance catalectique (voir figure 13.a).

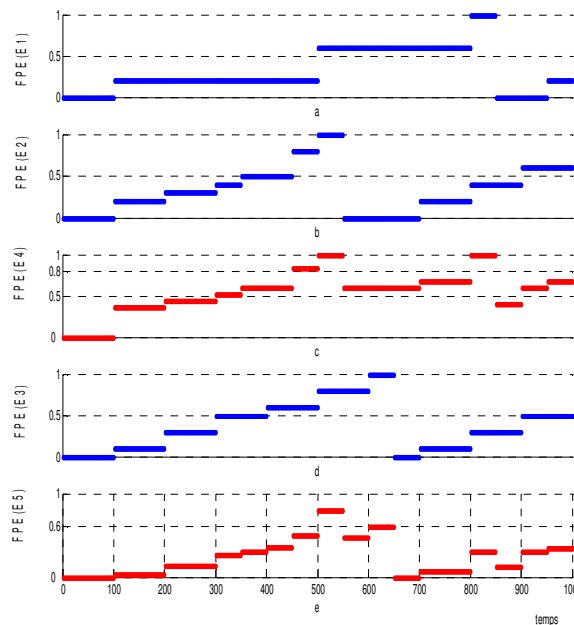


Figure 13. Evolution des FPE en fonction de la détection et de la politique de maintenance, (a) FPE (E1), (b) FPE (E2), (c) FPE (E4), (d) FPE (E3) et (e) FPE (E5).

Le scénario proposé permet d'illustrer l'intérêt des processus de supervision et de pronostic pour l'élaboration d'une stratégie de maintenance préventive.

7- CONCLUSION

La proposition et la conception de stratégies de maintenance sont aujourd'hui indispensables pour garantir un niveau suffisant de fiabilité et de disponibilité des équipements industriels. La stratégie de maintenance prévisionnelle proposée dans cet article est basée sur l'élaboration d'arbres de défaillance à partir d'une analyse dysfonctionnelle de type AMDE. Des Fonctions de Probabilité par Episode sont associées aux arbres de défaillance dans le but de suivre de façon dynamique l'évolution des probabilités de défaillance associées aux composants et de pouvoir déterminer les risques et les conséquences des défaillances sur l'ensemble du système. Les probabilités de défaillance des composants caractérisées par des dérives lentes ou des dérives rapides de fonctionnement sont mises à jour à partir d'une méthode de classification dynamique, et sont utilisées afin de calculer le risque d'occurrence de défauts et ainsi prédire leurs conséquences sur l'ensemble du système. Les actions de maintenance sont planifiées en fonction des risques de défaillance des composants du système et la disponibilité de l'équipement de maintenance. Elles permettent de limiter et parfois d'annuler, les risques d'occurrence de défaut. La stratégie de maintenance prévisionnelle est illustrée dans le cadre d'un module de puissance électrique. La modélisation par RdP pourrait s'avérer complexe dans le cas d'un système constitué de plusieurs composants. Il sera nécessaire de proposer une méthode d'aide à la décision permettant de sélectionner les composants essentiels au bon fonctionnement du système. Une autre perspective de travail consistera à enrichir, au cours du fonctionnement du processus, le modèle conçu *a priori* en y intégrant des défaillances non envisagées initialement.

REFERENCES

- Amadou Boubacar H., *Classification dynamique de données non-stationnaires. Apprentissage et suivi de classes évolutives*, Thèse, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2006.
- Berthier S., *Surveillance et diagnostic d'un procédé thermique basés sur une modélisation de classes dynamiques*, DEA, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2004.
- Bourdeaud'huy T. et P. Yim, *Synthèse de réseaux de Petri à partir d'exigences*, Mosim04, Nantes, septembre 2004.
- Desinde M., J.-M. Flaus et S. Ploix. *Tool and methodology for online risk assessment of process*. Lambda Mu 15, Lille, France, 2006.
- Do Van P., A. Barros et C. Bérenguer. *Etude de sensibilité par analyse de perturbation pour un système Markovien : application à la fiabilité*. JD-JN-MACS, Reims, 2007.
- Iung B., M. Veron, M.-C. Suhner et A. Muller, *Integration of maintenance strategies into prognosis process to decision-making and aid on system operation*. *Annals of CIRP*, 1, pp.5-8, 2005.
- Lassagne M., *Management des risques, stratégies d'entreprise et réglementation: le cas de l'industrie maritime*, Thèse, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers, 2004.
- S. Lecoeuche, C. Lurette, and S. Lalot, "New supervision architecture based on on-line modelling of non-stationary data," *Neural Computing and Applications Journal.*, vol. 13, 4, pp. 323-338, 2004.
- Ly F., *Contribution par la surveillance prédictive indirecte à l'optimisation de la maintenance dans les systèmes flexibles de production manufacturière*. Thèse, Université des Sciences et Technologies de Lille, 1999.
- Monchy F., *La fonction maintenance : Formation à la gestion de la maintenance industrielle*, collection Masson (Technologies), 1991.
- Moussa F., C. Kolski et M. Riahi, *De la modélisation des dysfonctionnements d'un système complexe à la déduction des besoins informationnels des utilisateurs : une transition difficile en IHM*. 17^{me} Conférence francophone sur l'interaction Homme-Machine, Toulouse, 2005.
- Mkhida A., J.-M. Thiret, et J.-F. Aubry, *Effet de la variation des données de la fiabilité sur le niveau de sécurité d'une boucle de sécurité intelligente*. Mosim06, Rabat- Maroc, 2006.
- Muller A., *Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formation d'un processus de pronostic*. Thèse, Université Henri Poincaré, 2005.
- Thomas E., E. Levrat et B. Iung., *L'algorithme de bruss comme contribution à une maintenance préventive opportuniste*. JD-JN-MACS, Reims, 2007.
- Traore M., *Développement de modèles en dynamique probabiliste prenant en compte la maintenance des systèmes*. DEA, Université de Technologie de Troyes, 2006.
- Tromp L., *Surveillance et diagnostic de systèmes industriels complexe: une approche hybride numérique/symbolique*. Thèse, Université de Rennes 1, 2000.
- Ziari Y.-K. et L. Kerbache, *Presentation of a methodology of management of the processes of maintenance*. Symposium International : Qualité et Maintenance au Service de l'Entreprise, Qualima01, Tlemcen- Algérie, 2004.