

Stratégie de maintenance dans un environnement incertain

Oumaima TAIRLBAHRE^{#1}, Saad ELMADANI^{#1},

^{#1} *Université Hassan Ist, Laboratoire de Physico Chimie des procédés et Matériaux (CAE), FST Settat, Maroc*
oumaima.tairlbahre@gmail.com, saadelmadani@yahoo.fr,

Hassan GZIRI^{#2}, Ahmed MOUSIJ^{#2},

^{#2} *Université Hassan Ist, Laboratoire de Mécanique, Management Industriel et d'Innovation, FST Settat, Maroc*
hgziri@gmail.com, mousrij@gmail.com

Résumé— Dans le secteur manufacturier, la maintenance joue un rôle très important pour mener à bien la production en augmentant la fiabilité du système et sa disponibilité, la stratégie de maintenance se doit de fixer des objectifs en fonction d'autres facteurs que les ressources disponibles dans l'organisation, à savoir l'environnement, le marché,... dont l'impact n'est point négligeable. Une stratégie prévisionnelle semble plus adaptée pour anticiper les défaillances et la dégradation. Une telle décision de maintenance proactive est basée principalement sur des modules de surveillance, diagnostic, pronostic et d'aide à la décision.

Tout au long de leur exploitation, les systèmes industriels connaissent une perturbation par les dysfonctionnements et les ruptures ce qui affecte les coûts et les délais. Il est donc nécessaire de penser à de nouvelles stratégies afin d'optimiser le cycle de production et donc minimiser les coûts. L'objectif de ce document consiste, d'une part, à rendre compte de l'état de l'art en ce qui concerne les stratégies de maintenance en classant la littérature publiée. Et d'autre part, il porte une critique sur les travaux réalisés dans ce domaine et intègre l'aspect d'incertitude de l'environnement à savoir l'approvisionnement en matière première et pièces de rechange, la maintenance au niveau des pannes et défaillances et aussi la logistique par rapport à la demande et le taux de recyclage... Une grande partie de la recherche a été dirigée vers l'amélioration et l'optimisation de la maintenance dans le secteur manufacturier, afin d'établir les politiques de maintenance les mieux adaptées au système manufacturier. La programmation dynamique stochastique, les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques sont considérés comme les méthodes de modélisation et d'optimisation les plus fréquemment utilisées.

Les procédés de production sont intégrés au modèle d'optimisation stochastique des systèmes manufacturiers soumis aux pannes et aux défaillances. La maintenance prévisionnelle étant la politique la plus rapportée dans la littérature, et donc relativement la plus efficace, il s'avère nécessaire de proposer une solution permettant de développer cette technique de prédiction afin de mieux gérer l'indisponibilité des machines.

Sur cette base, des recherches complémentaires peuvent être réalisées pour élaborer des méthodes d'évaluation du domaine d'utilisation des installations, ainsi qu'une analyse du milieu de

travail. Ce qui permet d'associer le processus de pronostic à la maintenance prévisionnelle afin de prévoir l'état du système et d'aider à la prise de décision d'actions de maintenance pour un système complexe.

Mots clés— *Systèmes manufacturiers, maintenance prévisionnelle, environnement incertain, diagnostic, pronostic, dégradation.*

1- Introduction :

Dans un contexte concurrentiel, le maintien en condition opérationnelle des systèmes industriels est devenu un enjeu majeur pour l'optimisation de la performance globale des entreprises. Le coût de la maintenance des machines est estimé à 15% du coût total du système pour certaines entreprises et près de 70% pour d'autres (Ling et al. 2007) [1]. L'évolution des systèmes dynamiques et leur complexité ont imposé aux entreprises, ayant adopté des stratégies de maintenance simples ; le correctif et le préventif, de migrer vers des stratégies de maintenance proactives ; notamment la maintenance prévisionnelle, basées sur l'anticipation de la défaillance dans le but de réduire les coûts.

L'intérêt de la maintenance prévisionnelle tient surtout aux outils de supervision de suivi et de pronostic de défaillance sensibles aux évolutions du procédé et capables d'estimer l'impact de ces sollicitations sur la durée de vie des équipements. Ainsi, l'activité de "pronostic de défaillances" est aujourd'hui considérée comme un processus clé dans les stratégies de maintenance.

L'objectif de ce papier est de proposer une approche de maintenance qui permet d'intégrer au processus de prise de décision les informations issues du processus de pronostic compte tenu des contraintes industrielles de planification de la production dans un milieu incertain.

Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.

Xth International Conference on Integrated Design and Production, CPI 2015, December 2-4, 2015, Tangier - Morocco.

2- Etat de l'art :

Les lignes qui suivent visent à identifier et résumer la documentation disponible sur les stratégies de maintenance et les milieux incertains, nous allons nous focaliser sur la maintenance prévisionnelle des systèmes complexes soumis à des incertitudes liées d'une part, à l'environnement et aux contraintes extérieures du système et d'autre part au caractère aléatoire de l'apparition des défaillances. Ainsi, nous allons présenter plus précisément l'apport du pronostic aux stratégies de la maintenance.

La maintenance n'est pas une opération autonome, car elle interagit avec de nombreuses autres opérations, telles que la planification de la production, la gestion des stocks,... Ce qui fait d'elle un véritable enjeu à gérer.

Le choix d'une politique de maintenance et l'efficacité de cette décision dépend de son degré d'adaptabilité au système dynamique considéré. Selon Ling *et al.* (2007), les critères de sélection peuvent être [1]:

- la sécurité,
- le coût,
- la valeur ajoutée,
- la faisabilité de la maintenance.

Grâce à sa nature anticipatoire, la maintenance prévisionnelle a réussi à accompagner l'évolution de la complexité des systèmes industriels puisqu'elle a permis une réduction significative des coûts de périodes d'immobilisation (Yao, Fernández-Gaucherand, Fu, et Marcus, 2004) [2], en optimisant la planification des actions de maintenance à réaliser en temps masqué, la maintenance prévisionnelle s'exécute alors avant les pannes; elle permet de maintenir l'équipement sous certaines conditions grâce à des inspections et des préventions systématiques (Wang, 2002) [3].

Dans la littérature, il existe deux types de maintenance ; time-based maintenance (TBM) et condition-based maintenance (CBM). La première repose sur l'âge du système étudié et la connaissance de son cycle de vie [4]. Elle ne prend pas en compte les contraintes de fonctionnement réelles. Par contre, la CBM se base, en plus des données théoriques, sur des données réelles issues du diagnostic/pronostic du système [5]. Cette approche a été récemment introduite et est devenue un point fort dans l'optimisation de la maintenance. Cependant, des études ont été réalisées en vue d'établir des stratégies de maintenance indépendamment du pronostic ; Ahmad Alali a utilisé *Les Réseaux de Petri Stochastiques* pour la modélisation d'un système de production multi sites. Afin de mieux appréhender le processus de maintenance distribuée [6].

2.1. Le pronostic :

Dans [7] des définitions de pronostic ont été regroupées, généralement c'est l'estimation ou la prédiction de la durée de vie résiduelle appelée RUL (Remaining Useful Life) d'un procédé ou de ses composants. Et dans [8] le pronostic de

défaillance a été considéré comme un processus qui consiste à estimer la probabilité qu'une défaillance survienne à un instant futur donné.

2.1.1. Le diagnostic & le pronostic :

Des recherches ont été dédiées au problème du diagnostic prédictif basé sur la prédiction de la défaillance avant son occurrence sans contrainte temporelle. Nombre de méthodologies ont été développées en vue de détecter, de localiser et d'identifier des défaillances pouvant survenir sur un processus. Or, ce n'est qu'en 2012 que David Gucik-Derigny a introduit la contrainte temporelle en établissant des modèles à échelle de temps multiple permettant ainsi la description de l'état du système et de la dégradation pour donner une nouvelle définition du concept qui intègre l'aspect dynamique non stationnaire des systèmes [9]. Moussa Amadou a présenté une modélisation précise de connaissances expertes préexistantes (AMDEC, Arbre de défaillance, etc.) pour proposer une approche de supervision adaptative basée sur une technique de reconnaissance des formes, AUDyC. Ceci en se basant sur les valeurs probabilistes issues du pronostic pour établir une stratégie de maintenance prévisionnelle efficace des systèmes évolutifs dynamiques [10]. Le pronostic est considéré aujourd'hui comme étant une base fiable pour les systèmes de prises de décision. Il a été étendu sur trois catégories; à savoir, les méthodes basées sur l'expertise, les techniques guidées par les données et celles fondées sur les modèles.

Le développement de cette stratégie proactive manque encore de concepts, de méthodes et d'outils vu la complexité et le comportement non-stationnaire des systèmes réels. Les premières contributions à cette modélisation furent : OSA-CBM (Lebold, 2001) structurée en six modules et SIMP (Système Intégré de Maintenance Prévisionnelle) (Muller, 2005) comportant trois processus : les processus de supervision, de pronostic et d'aide à la décision [11,12]. Pierre Cochetoux et al, ont conclu en 2008 que les méthodes de pronostic sont majoritairement centrées sur le développement d'outils sans chercher à établir une modélisation du processus [13]. En 2010, un modèle générique de pronostic a été développé par ces derniers en se basant sur le diagramme fonctionnel et dysfonctionnel de causalité qui est supporté par le Système Intégré de Maintenance Prévisionnelle. Ce modèle a pris en compte l'évolution dynamique de la dégradation ainsi que l'impact des conditions d'utilisation [32].

Pauline Ribot a présenté un cadre de modélisation pour un système complexe qui caractérise le couplage diagnostic/pronostic original. En établissant une fonction générique et adaptative à l'aide d'un modèle de Weibull afin d'évaluer de façon probabiliste, la durée de vie résiduelle du système [14]. Le processus de pronostic est par nature entaché d'incertitude. Provan (Provan, 2003) a souligné qu'il est indispensable de l'associer à une mesure de confiance. Dans le même contexte, OTILIA DRAGOMIR a étudié la stabilité des

erreurs de prédictions en fonction de l'horizon de prédiction, il a proposé une nouvelle architecture pour améliorer l'outil de pronostic de défaillances en utilisant un système ANFIS (système d'inférence floue paramétré par apprentissage neuronal) [15].

Pauline a révélé aussi que, comme les méthodes de diagnostic, les méthodes utilisées pour le pronostic reposent aussi sur les capacités de surveillance et sur une connaissance approfondie de la nature et du fonctionnement du système complexe [16]. David Gucik a conclu que les indicateurs de l'état de santé utilisés pour le diagnostic ou le pronostic de système sont généralement de natures différentes [9]. Les deux concepts sont différents. Le pronostic ne nécessite qu'une connaissance partielle du modèle considéré. Ainsi, les stratégies classiques du diagnostic ne peuvent pas être appliquées directement.

2.1.2. Le pronostic & système d'aide à la décision

La maintenance industrielle a une influence transversale sur les systèmes en exploitation. C'est au cœur de celle-ci que la fonction du pronostic trouve toute son application, en fournissant des méthodologies, destinées à anticiper avec précision l'apparition de défaillances. Dans [16], l'auteur s'est intéressé à la modélisation des stratégies de maintenance des systèmes multi-composants basées sur la fiabilité. Il a réussi à intégrer le pronostic dans des Modèles Graphiques Probabilistes (MGP), particulièrement les Réseaux Bayésiens Dynamiques (RBD), pour disposer des modèles de dégradation précis. Ce qui facilite la prise de décision pour améliorer le cycle de vie. Ce concept a été introduit dans [17] comme l'obtention conjointe de la pertinence (adéquation des objectifs et des moyens), l'efficacité (adéquation des résultats et des objectifs), appréciée en terme de coût et de valeurs, sur l'intégralité du cycle de vie d'un système.

D'autres méthodologies ont été adoptées pour répondre au besoin d'optimisation des stratégies de maintenance à savoir; le regroupement de la maintenance qui a pour objectif de regrouper les composants selon leurs fonctionnalités, la proximité dans le système, la durée de vie prévue. Lorsqu'un composant tombe en panne l'ensemble doit être maintenu ou remplacé. Cette approche a été abordée par Peter Okoh qui a étudié le groupement de la maintenance et l'erreur humaine pour la gestion de risque [18]. Lors du choix de la méthode de maintenance, il faut trouver la balance entre les performances attendues du système et les coûts que l'on est prêt à assumer. Fatih Camci a utilisé les algorithmes génétiques dans l'ordonnement de la maintenance des équipements répartis géographiquement grâce aux informations issues de leurs pronostics en intégrant les trois aspects; les pannes, la maintenance et les charges de déplacements dans la modélisation pour optimiser les coûts [19].

L'objectif des modélisations et des outils d'évaluation n'est autre que le développement d'un processus multicritères

d'aide à la décision capable de considérer les différentes contraintes pouvant influencer le cycle de vie de l'équipement. [10].

Dans [20], l'auteur a établi un modèle mathématique dans un langage formel PPDDL afin de garantir qu'il combine les trois contraintes logistiques, les contraintes de sécurité et les pannes potentiels grâce à un processus de pronostic. Le but était de construire un outil d'Aide à la décision pour appliquer les concepts et algorithmes de ces méthodes à la prise de décision dans l'incertain.

Ceci dit, il n'est pas évident d'établir une solution optimale pour la maintenance prévisionnelle car la modélisation en continu de l'état du système reste incomplète tant qu'elle ne prend pas en compte les facteurs environnementaux incertains influençant le fonctionnement du système.

2.2. Les milieux incertains :

D'un point de vue historique, l'expérience montra que la planification de la production et des stratégies de maintenance dans un système industriel évolutif demeure une tâche délicate vu les nombreux facteurs d'incertitude et de perturbations qui l'influencent.

Il existe deux points essentiels liés à notre problématique; les incertitudes et perturbations au niveau de la dégradation du matériel et le caractère aléatoire de l'apparition des pannes et les incertitudes dans la planification de la production au niveau de la disponibilité des pièces de rechange, la matière première et de la demande,...

Dans ce contexte, et en réponse à l'accroissement de l'incertitude et de la complexité de l'environnement industriel, les gestionnaires doivent se doter d'outils nécessaires afin de garantir une meilleure intégration de tous les intervenants et atteindre leurs objectifs communs. L'introduction de modèles stochastiques permettrait de mieux adapter les caractéristiques stochastiques de l'évolution incertaine de la dégradation pour le pronostic. L'un des phénomènes aléatoires les plus influents en production industrielle est la panne des équipements. Il est donc impératif d'appliquer des stratégies efficaces de maintenance afin d'assurer leur disponibilité et leur fiabilité.

Dans [21] Bernard Robles a adopté les Modèles de Markov Cachés pour modéliser le niveau de dégradation d'un système industriel. Pour ce faire il a utilisé l'algorithme d'apprentissage Baum-Welch décodé par Variables Forward pour tenir compte de la nature incertaine de la dégradation. Dans [22] Olivier Basile a évoqué la prise en compte de l'incertitude dans les modèles fiabilistes de maintenance industrielle. Ces résultats ont été concrétisés par l'élaboration d'une politique de maintenance optimisée qui tient compte de l'incertitude affectant les modèles de fiabilité du système. L'auteur a montré l'intérêt pour le gestionnaire de

maintenances de considérer et de tenter de réduire les incertitudes dans les prévisions des performances annoncées.

Chang-Hyo Son* a réalisé une étude prévisionnelle de la demande en matière d'installations d'entreposage frigorifique en Corée du Sud, pour assurer le bon approvisionnement des produits de stockage ceci en calculant le ratio de capacité, la moyenne annuelle de stock, et la circulation moyenne [23]. Dans son étude sur l'optimisation de la production hybride dans un milieu incertain, Haijun Wen, a établi un algorithme hybride intelligent grâce à la fonction de compensation des méthodes d'approximation et les réseaux de neurones [24].

La planification de la production et de la maintenance dans un environnement soumis à des incertitudes a été moins traitée, Guide a étudié l'influence de la logistique inverse sur la planification de la production et de contrôle en raison de l'incertitude aléatoire dans un système de production hybride, le déséquilibre entre l'offre et la demande de recyclage [25].

L'approche de Kiesmüller (2003) a explicité le problème d'incertitude dans une étude de la distribution normale des demandes et une distribution Gamma des retours grâce à une programmation linéaire résolue par les méthodes heuristiques [26]. Or, Pellerin *et al.* (2009) a étudié un système hybride caractérisé par des demandes et des réparations des machines aléatoires. Il a utilisé les chaînes de Markov pour le modèle stochastique continue [27].

Kenné *et al.* (2012) a réalisé une planification de la production d'un système hybride en se basant sur une programmation dynamique stochastique du système qui a donné résultat grâce aux algorithmes basés sur les méthodes numériques [28].

Jing *et al.* a établi un modèle de planification de la production pour la fabrication d'un système hybride dans un environnement incertain, et développer un algorithme pour remédier au problème d'incertitude de la demande des clients, la quantité de recyclage... [29] La modélisation des incertitudes et de leur propagation se pose ainsi comme un véritable enjeu pour la description du comportement d'un système maintenu.

L'interaction entre la maintenance et la production et plus particulièrement leur ordonnancement conjoint est, relativement, peu étudié et assez récent dans la littérature [30]. Au cours des études mentionnées ci-dessus, ils sont traités séparément et à notre connaissance, il n'existe pas d'études où le système de prise de décision intègre à la fois les contraintes connexes de production et de maintenance dans un système évolutif dynamique incertain. Les stratégies de maintenance traitent le domaine de la dynamique des machines sans tenir compte conjointement de la production, de la logistique inverse et de la dégradation des machines en fonction de leur taux d'utilisation. Les contributions de cet article permettront d'intégrer plusieurs aspects dans des stratégies de maintenance pour l'optimisation conjointe de la production, de la

disponibilité des machines, de la réutilisation et de la maintenance en contexte dynamique et stochastique.

De manière générale, la plupart des modèles utilisés comme outils d'aide à la décision pour la maintenance sont basés sur l'hypothèse que le système évolue dans un environnement statique ou, du moins, évolue dans un environnement qui n'impacte pas sa dégradation. Or, il est fréquent que l'environnement ait un impact sur le processus de défaillance ou au moins sur la vitesse de dégradation du système. [31]

3- Approche proposée :

Le bon fonctionnement d'un procédé se traduit par le choix pertinent d'une stratégie de maintenance. Pour y parvenir, cette stratégie doit prendre en compte les contraintes de production, les ressources matérielles disponibles, ainsi que l'ensemble des coûts associés. Cela permet de déterminer quel équipement peut subir un type d'action de maintenance et à quel moment à partir de la situation courante.

En surveillant les équipements, il est possible de corriger des anomalies qui peuvent générer des défaillances plus graves par la suite. En outre, ceci permet aussi de prévoir au mieux le moment où l'opération de maintenance devra être réalisée en tenant compte des contraintes industrielles. Il s'agit donc de trouver la balance optimale entre les contraintes d'environnement incertain se rapportant à la demande, la disponibilité de la matière première, des pièces de rechange... et les contraintes de dégradation et de défaillance. L'application du concept de pronostic prend ici tout son intérêt.

Dans le contexte spécifique de la maintenance prévisionnelle dans un milieu incertain, certaines décisions doivent être prises avant d'autres. Le secteur décisionnel de l'entreprise intervient pour mieux planifier et programmer l'exécution des actions de maintenance. Cette décision doit être établie sur la base d'une logique qui inclue à la fois les paramètres incertains liés à la planification et ceux liés à la dégradation. Le plan de production et de maintenance connaîtront une flexibilité en raison des événements de perturbations vu qu'ils pourront ainsi être adaptés selon les paramètres incertains pris en compte.

L'efficacité et la qualité d'une politique de maintenance reposent à la fois sur :

- La fiabilité des connaissances expertes qui vont alimenter le système d'aide à la décision.
- La précision de l'outil qui collecte des informations sur chaque système individuel,
- La qualité du diagnostic qui traduit ces informations pour déduire les causes,
- L'utilisation d'outil d'Aide à la Décision, qui facilite à l'opérateur de maintenance le choix des actions à mener.

Sur ce, nous nous sommes basées pour considérer les hypothèses de travail suivantes :

- Surveillance & Pronostic : Le processus de surveillance et de pronostic révèlent instantanément l'état réel de l'équipement. Il n'y a aucune chance d'erreur de diagnostic.
- Maintenance : La machine est considérée comme neuve après l'application des tâches de maintenance.
- Durée des actions de maintenance est constante mais n'est point négligeable.
- Les coûts de toutes les actions de maintenance sont connus et constants. Les coûts de production sont plus élevés que les coûts de maintenance.
- Les ressources humaines et matérielles : Les outils et les techniciens sont toujours immédiatement disponibles en cas de besoin.
- Les taux de demandes et de retours sont aléatoires;
- Les produits refabriqués et produits manufacturés parcourent le même processus.
- Le coût des stocks de matière première dépend de la quantité de produits stockés;
- Les pannes et réparations des machines sont aléatoires.

Dans notre approche, nous allons nous baser sur l'intégration du pronostic au sein du Système Intégré de Maintenance Prévisionnelle traité dans la partie 2. Ceci grâce à l'identification et la description des flux échangés du pronostic avec son environnement. En introduisant une modélisation des flux des différentes sources d'incertitudes.

La modélisation de ces approches impose l'alimentation du pronostic des données réelles sur un horizon de temps. Pour fournir le scénario optimal. Ces données sont comme suit :

- *Les contraintes d'ordonnement de la production* : ces informations comportent les charges de production, la durée imposée par le système. Ce paramètre est influencé par la variation de la demande et des retours (pour les systèmes hybrides).
- *Les contraintes de dégradation et d'apparition de la défaillance* : la dégradation du système est influencée par les conditions environnementales. Le plan de maintenance initialement prévu doit obligatoirement s'adapter à toute sorte de perturbation.
- *Les contraintes d'environnement* : qui englobent les contraintes liées à la variation de la disponibilité des pièces de rechange, de la matière première...

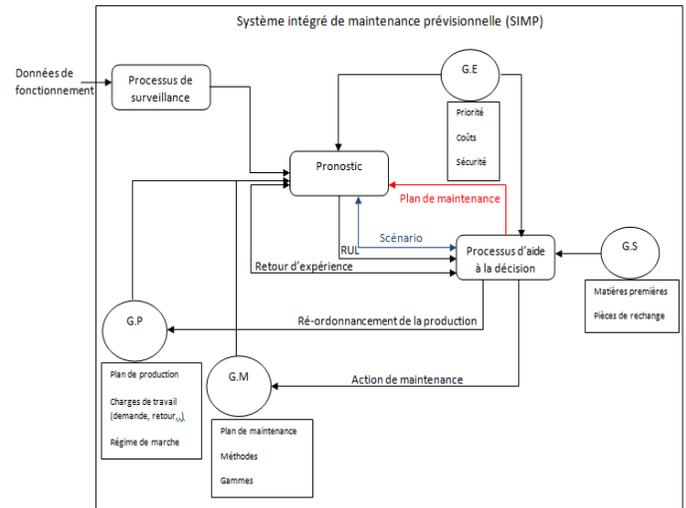


Figure 1 : Interaction entre le processus de pronostic et le processus de prise de décision un SIMP.

Le bouclage des différents paramètres permettra au pronostic d'alimenter le système d'aide à la décision des indicateurs de fonctionnement ce qui facilitera à celui-ci de fournir différentes alternatives d'actions de maintenance et/ou de planification de la production. L'objectif est de trouver le scénario optimal qui évitera au mieux l'arrêt de la production pour réduire les coûts.

Ainsi les informations provenant du processus d'aide à la décision répondront aux questions : Quand faut-il réparer, remplacer et/ou planifier ? Comment ? Où ?

Les résultats seront obtenus grâce à la résolution numérique du problème d'optimisation et une analyse de sensibilité des stratégies optimales (RUL et autre,...) ce qui nous aidera à optimiser à la fois la production et les stratégies de maintenance des machines.

4- Conclusion :

La maintenance prévisionnelle joue un rôle important dans le maintien et l'amélioration des équipements. Le but de cette recherche est de signaler l'état de l'art dans les stratégies de maintenance des systèmes complexes dans le but d'introduire les paramètres incertains pour une analyse détaillée des facteurs qui ont un impact significatif sur la performance de la maintenance dans un contexte de production. Une critique de la plupart de la littérature sur l'optimisation de la maintenance par des méthodes classiques est l'absence d'un modèle décrivant le fonctionnement réel d'un système soumis à des incertitudes. Par conséquent, la justification et la sélection appropriée de la stratégie de maintenance est parfois erronée. Plus d'études de cas réels peuvent être menées sur l'optimisation multi-objectif et SIMP en particulier dans un contexte de production.

Bibliographie :

- [1] Ling, Wang, Chu, J. and Wu, J. 2007. « Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process ». *International Journal of Production Economics*, vol. 107, p. 151-63.
- [2] Abdullah Alrabghi , Ashutosh Tiwari 2014. « State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems ». *Computers & Industrial Engineering* 82 (2015) 167–182.
- [3] Wang, H. 2002. « A survey of maintenance policies of deteriorating systems ». *European Journal of Operational Research*, vol. 139, p. 469-489.
- [4] Kim-Anh Nguyen, Phuc Do, Antoine Grall 2015. « Multi-level predictive maintenance for multi-component systems». *Reliability Engineering and System Safety* 144 (2015) 83–94.
- [5] Do Van P, Barros A, Bérenguer C, Bouvard K, Brissaud F. « Dynamic grouping maintenance strategy with time limited opportunities». *Reliab Eng Syst Saf* 2013; 120:51–9.
- [6] Ahmad Alali Alhouaij. « Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué». *Thèse de doctorat, Université de Grenoble, Institut polytechnique de Grenoble*, 2010.
- [7] K.M. Goh, B. Tjahjono, T. Baines, and S. Subramaniam. « A review of research in manufacturing prognostics». In *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pages 417–422, 2006.
- [8] J.L. Casti. « Nonlinear system theory». *Academic Press Inc, Mathematics in Science and Engineering*, 1985.
- [9] David Gucik-Derigny, «Contribution au pronostic des systèmes non linéaires à base de modèles : Théorie et application». *Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III École Doctorale en Mathématiques et Informatique de Marseille - ED 184*, 2011.
- [10] Moussa Amadou TRAORE, «Supervision adaptative et pronostic de défaillance pour la maintenance prévisionnelle de systèmes évolutifs complexes». *Thèse de doctorat, Université LILLE I*, 2010.
- [11] M. Lebold and M. Thurston. « Open standards for condition-based maintenance and prognostic systems». *5th Annual Maintenance and Reliability Conference (MARCON), Gatlinburg, USA*, 2001.
- [12] Alexandre MULLER, « Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic». *Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I*, 2005.
- [13] Pierre Cocheteux, Alexandre Voisin, Eric Levrat, Benoît Lung, «Formalisation du pronostic à base d'une approche processus». *3ème Colloque International Francophone Performance et Nouvelles Technologies en Maintenance, PENTOM 2007, Jul 2007, Mons, Belgium. Presses universitaires de Valenciennes*, pp.1-19.
- [14] Pauline Ribot, «Vers l'intégration diagnostic/pronostic pour la maintenance des systèmes complexes». *Université Paul Sabatier - Toulouse III*, 2009.
- [15] Otilia Dragomir, Rafael Gouriveau, Nouredine Zerhouni 2009, « Pronostic industriel : Etude de l'erreur de prédiction du système A N F I S ». *Automatique Avancée et Informatique Appliquée (1)*, pp.99-105.
- [16] Laurent Bouillaut, « Les Modèles Graphiques Probabilistes : de la modélisation de la dégradation à l'optimisation de la maintenance de systèmes complexes». *Université de Paris Est*, 2014.
- [17] O. Sénéchal. « Pilotage des systèmes de production vers la performance globale, habilitation à diriger des Recherches ». *Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis*, 2004.
- [18] Peter Okoh 2015, « Maintenance grouping optimization for the management of risk in offshore riser system ». *Process Safety and Environmental Protection* 98, pp.33–39.
- [19] Fatih Camci 2015, « Maintenance scheduling of geographically distributed assets with prognostics information ». *European Journal of Operational Research* 245, 506–516.
- [20] J. Sprauel, C. Sannino, C. Seguin 2014, « Techniques d'Aide à la Décision appliquées à la maintenance d'un avion de type Business Jet Décision Aiding Techniques applied to the maintenance of a Business Jet ». *Congrès Lambda Mu 19, Oct 2014, DIJON, France*.
- [21] Bernard Roblés, Manuel Avila, Florent Duculty, Frédéric Kratz, Pascal Vriagnet, Stéphane Bégot 2014, « Modélisation du niveau de dégradation d'un système industriel à l'aide de modèles de Markov cachés ». *19_eme Congrès de Maitrise des Risques et de Sureté de Fonctionnement, Dijon, France*.
- [22] O. Basile 2007, « Prise en compte de l'incertitude dans les modèles fiabilistes de maintenance industrielle. Extensions aux sollicitations variables ». *Thèse de Doctorat, Université de Mons, Belgique*.
- [23] Chang-Hyo Son, 2012 « A study on the prediction of the future demand for cold-storage facilities in South Korea ». *International journal of refrigeration* 35 2078 e 2084.

- [24] Haijun Wen, Mingzhou Liu, Changyi Liu, Conghu Liu 2015, « Remanufacturing production planning with compensation function approximation method». *Applied Mathematics and Computation* 256 (2015) 742–753.
- [25] J. Guide 2000, « Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs». *J. Oper. Manage.* 18 467–483.
- [26] G.P. Kiesmuller, « A new approach for controlling a hybrid stochastic manufacturing/remanufacturing system with inventories and different leadtimes». *European Journal of Operational Research* 147 (2003) 62–71.
- [27] Pellerin, R.,Sadr,J., Gharbi,A.,Malhame, 2009. « A production rate control policy for stochastic repair and remanufacturing systems». *International Journal of Production Economics* 121 (1), 39–48.
- [28] Jean-Pierre Kenne, PierreDejax, AliGharbi 2010, « Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain». *Int. J. Production Economics* 135 (2012) 81–93.
- [29] Jing Wang, Jun Zhao, Xun Wang 2010, « Optimum policy in hybrid manufacturing/remanufacturing system». *Computers & Industrial Engineering* 60 (2011) 411–419.
- [30] Fatima Benbouzid-Sitayeb, Christophe Varnier, Nouredine Zerhouni 2008, «Résolution du problème de l'ordonnancement conjoint production / maintenance par colonies de fourmis». *6ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM'06. Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes : défis et opportunités, Apr 2006, Rabat, Morocco.*
- [31] Estelle Deloux 2008, «Politiques de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant». *Engineering Sciences. Université de Nantes, 2008. French.*
- [32] Pierre Cochetoux 2010, «System performance prognostic: context, issues and requirements». *Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology, Nancy-Université.*