

Introduction

La maintenance intelligente

Avec les évolutions technologiques, informatiques et organisationnelles, les équipements industriels sont de plus en plus complexes et automatisés. Cette complexité est à l'origine de nombreux incidents et de défaillances causant des dégâts considérables sur les biens, l'environnement et les personnes. Force est de constater que la fiabilité des équipements a un impact sur la sécurité des biens et des personnes et peut engendrer, lorsque la maintenance est négligée, des incidents à des coûts prohibitifs, dû à l'arrêt de production, au remplacement des biens, etc. L'absence de maintenance et son impact sur la fiabilité des équipements occasionnent des catastrophes et sont à l'origine de pertes humaines. Ces catastrophes peuvent également avoir des conséquences désastreuses sur l'environnement en cas de contamination de la région touchée par le drame. Cela peut entraîner des opérations d'évacuation et de nettoyage de l'environnement, sans toutefois pouvoir, dans certain cas, éliminer la contamination de la région.

Afin de prévenir les risques, les entreprises doivent disposer d'équipements bien entretenus par un système de maintenance performant et bien organisé. Une bonne maintenance permet de prolonger la durée de vie des équipements tout en participant à une meilleure performance globale. À ce titre le rôle de la maintenance est stratégique dans l'industrie et représente aujourd'hui une fonction essentielle du système de production.

Démarche durable

Une politique de maintenance efficace offre des avantages techniques, économiques et sociaux. Elle s'inscrit dans une logique de développement durable et permet d'augmenter la disponibilité des systèmes industriels d'une part et d'allonger

leur cycle de vie d'autre part. D'un point de vue économique, elle réduit le coût des échecs et par conséquent, augmente le bénéfice sur le produit. L'émergence ces dernières années de la maintenance prévisionnelle/prédictive, basée sur le pronostic de défaillances et plus globalement sur le PHM (*Prognostics and Health Management*) permet :

- 1) l'anticipation des défaillances sur les éléments critiques de systèmes ;
- 2) la prévention de risques industriels (nucléaire, plateformes pétrolières, etc.) ;
- 3) le maintien de la sécurité des personnes et des biens.

La maintenance prédictive

Les stratégies de maintenance aussi bien classiques (corrective et préventive) que prédictives sont composées de processus métier comme l'entretien, le dépannage, la réparation ou bien la surveillance de l'état de santé d'un équipement, son suivi, la détection de défauts, le diagnostic de pannes ou le pronostic de défaillance. Ces processus peuvent être étudiés isolément mais plus judicieusement être intégrés dans le cycle PHM qui peut être vu comme une adaptation de l'architecture OSA-CBM. Ce cycle, qui est décrit dans la partie 1 du livre *From Prognostics and Health Systems Management to Predictive Maintenance 1 : Monitoring and Prognostics* [GOU 16], part de l'acquisition des données de leur transformation par différents modules du cycle (traitement de données, détection, diagnostic, pronostic, décision et interface homme-machine (IHM)) et aboutit à la décision et à sa présentation à travers des IHM adaptées aux acteurs de maintenance. Cette partie est dédiée aux premiers modules du cycle allant de l'acquisition des données jusqu'au pronostic et propose différentes méthodes de surveillance et de pronostic.

Le présent ouvrage qui fait suite à [GOU 16] propose d'aborder les autres phases du PHM. Celles-ci couvrent la traçabilité des données, informations et connaissances (première partie du livre), ainsi que la capacité à prendre des décisions en conséquence (deuxième partie du livre).

La mise en œuvre de la maintenance nécessite une qualification et participe à la valorisation du personnel technique de maintenance. Nos travaux, dans le cadre d'une démarche qualité prônant une amélioration continue des pratiques, s'inscrivent dans un des challenges actuels en entreprise, celui de fournir à ses employés la bonne information au bon moment afin qu'ils puissent travailler dans les meilleures conditions et améliorer par là même leur pratique. Pour maintenir en état de bon fonctionnement les équipements et anticiper toute défaillance, les acteurs de maintenance ont besoin d'avoir à disposition tout type de services d'aide en lien avec les différentes stratégies de maintenance.

Les entreprises doivent progresser en transformant leurs pratiques par le développement d'une culture apprenante, seule alternative pour garder un état permanent d'innovation. Qui dit culture apprenante dit partage des connaissances et travail coopératif entre membres de l'entreprise. Le savoir est reconnu par conséquent comme moteur de la productivité et de la croissance économique. Il y a émergence de la problématique de management des connaissances (*knowledge management* en anglais). Créer, capitaliser et partager la connaissance devient alors un défi à relever pour l'entreprise.

Dans cet ouvrage, nous nous intéressons à la connaissance experte en maintenance d'une entreprise de maintenance, à la formalisation et la manipulation de cette connaissance. La fonction de maintenance, combinée aux avancées dans le domaine technique et aux nouvelles technologies de l'information et de la communication, a induit une évolution des systèmes de maintenance vers des systèmes intérateurs de modules intelligents, communiquant et collaborant entre eux. C'est dans ce cadre industriel et scientifique que s'inscrivent pleinement les travaux que nous allons décrire dans les 3 premiers chapitres. Une démarche de gestion des connaissances a été déployée pour analyser les processus de maintenance utilisés dans une entreprise de maintenance, dans l'objectif de recenser les systèmes d'aide à développer et pouvoir les proposer sous forme de services d'aide à la maintenance aux employés de l'entreprise.

En effet l'accès en temps utile à l'information concernant un produit et/ou un équipement assure un meilleur suivi de celui-ci et permet dans le cas de produits dangereux, par exemple, une bonne gestion de ce produit et accroît ainsi la sécurité.

Traçabilité de l'information

La traçabilité de l'information est un élément indispensable pour assurer suivi d'un produit ou d'un équipement dans le temps, tout au long de son cycle de vie. Au cours des dernières années, les systèmes de gestion du cycle de vie des produits (*Product Lifecycle Management* : PLM) ont été de plus en plus utilisés pour gérer les processus métiers et les données générées par des événements ainsi que les actions se déroulant sur le produit¹.

Le cycle de vie fait référence à l'ensemble des phases pouvant être reconnues comme les différentes étapes de la vie d'un produit, de sa création à son démantèlement. Il est composé de trois phases principales :

– le début de vie (*beginning of life* : BOL) qui inclut la conception et la fabrication du produit ;

1. CIMdata : définition de *Product Lifecycle Management* (PLM) disponible à l'adresse : <http://www.cimdata.com/PLM/plm.html>.

- le milieu de vie (*middle of life* : MOL) qui porte sur la distribution et l'utilisation et les opérations de maintenance ;
- la fin de vie (*end of life* : EOL) concerne le moment où le produit est sorti de sa phase d'utilisation, récupéré dans l'entreprise afin d'être recyclé ou éliminé.

Le concept PLM est bien plus qu'une question de visualisation et de transformation des données. Il comprend les processus (les flux de données entre les acteurs et les ressources par rapport aux compétences) et les méthodes (les pratiques et techniques adoptées tout au long du processus, en utilisant des données des produits générées pendant chaque étape de la vie du produit). Cela se traduit par trois éléments de base constituant les fondements du concept de PLM : les TIC gérant les systèmes d'informations distants, les procédés et les méthodologies évoluant tout au long des phases du cycle de vie du produit (figure 1).

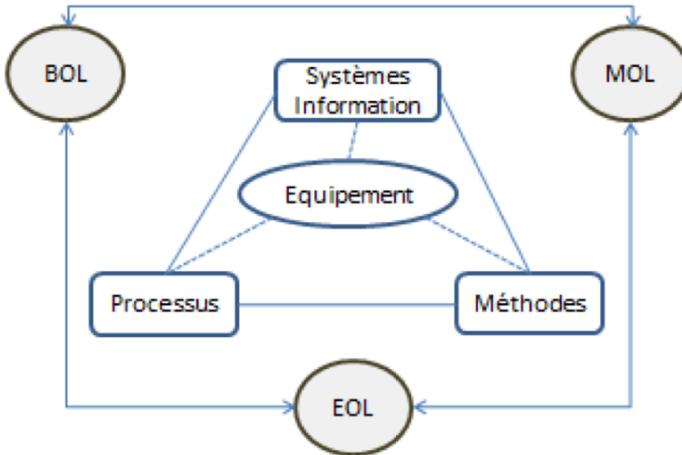


Figure 1. Les éléments du concept PLM

Les services PLM basés sur le web ne se contentent pas comme le font les PDM (*Product Data Management*) de faciliter l'échange d'information sur le produit entre des systèmes hétérogènes de gestion de données produits [GUN 08], mais ils peuvent être le socle de développement collaboratif en intégrant des données provenant d'endroits dispersés. Le PLM élargit le champ d'application des PDM pour fournir à l'entreprise étendue plus d'informations relatives au produit.

La disponibilité de l'information durant toutes les phases du cycle de vie d'un produit permet de partager les informations entre les acteurs des différentes phases

du cycle et d'exploiter ces connaissances pour améliorer les décisions à prendre sur le produit.

Au cours de la phase de gestion du milieu de vie du produit ou MOL, beaucoup de données sont recueillies sur le terrain afin de surveiller et contrôler l'état de vie du produit et de maintenir un historique. Des informations provenant de la phase de début de vie du produit BOL sont nécessaires pour analyser la structure du produit et comprendre son comportement.

Dans le cas de la sécurité des biens et des personnes, il existe des normes et des législations imposées pour retracer l'histoire de chaque produit, dans le but de garantir un approvisionnement sûr, sécuritaire et traçable et de permettre la récupération des informations nécessaires à la compréhension post mortem de tout évènement anormal quelle que soit sa gravité.

Décision et stratégie de maintenance

La seconde partie de l'ouvrage se concentre sur la notion de décision basée sur la connaissance experte du système et les estimations fournies par le pronostic.

En effet, le partage de l'information sur le produit et les processus de son cycle de vie sont essentiels pour assurer sa durabilité. Cette gestion est éclairée par la connaissance sur le vécu du produit, et peut renseigner sur la politique de maintenance développée qui a un impact non négligeable sur l'état de fonctionnement du produit. En effet une politique de maintenance efficace offre des avantages techniques, économiques et sociaux :

- d'un point de vue technique, elle permet d'augmenter la durée de vie utile, la disponibilité et les performances de durabilité du produit ;
- d'un point de vue économique, elle réduit le coût des échecs et, par conséquent, augmente le bénéfice sur le produit ;
- enfin, d'un point de vue social, elle réduit au minimum le nombre d'incidents et les situations à risque.

Aujourd'hui l'évolution technologique permet aux équipements de communiquer et fournir des informations sur les différents événements leur arrivant. On peut ainsi retracer leur fonctionnement et leur dysfonctionnement pendant leur cycle de vie. Un des points clés des systèmes PLM est la disponibilité de l'information, son accès aisé par les acteurs en lien avec le produit et l'intelligence intégrée dans leur cycle de vie. L'idée est de proposer la mise en place d'un équipement dit intelligent au sens de McFarlane qui facilite l'accès à l'information embarquée et distante.

Nous nous intéresserons dans cet ouvrage au milieu de vie du produit et plus particulièrement à la politique de maintenance développée ainsi qu'à son impact sur les

autres phases du cycle de vie. En effet les informations de la phase MOL peuvent être utilisées :

- pour faire évoluer dans la phase BOL, la conception du produit en améliorant le produit en fonction de son utilisation comme dans [STA 15] ;

- pour définir au mieux dans la phase MOL différents types de décision, décision tactique, opérationnelle ou stratégique. Suivant le problème de suivi les décisions peuvent être des décisions automatiques de contrôle, d’ordonnancement en ligne de diagnostic ou bien des décisions de reconfiguration de mission et de planning des interventions de maintenance ;

- pour améliorer la procédure de recyclage dans la phase EOL d’un composant en fonction de son état de santé et de la politique de maintenance menée sur le produit. Sans information la prise de décision se fait en fonction d’une inspection approximative, qui est insuffisante dans le cas où la sécurité des personnes est en jeu [PAR 04].

Le premier chapitre développe un système de traçabilité intelligente et son architecture connectée à une plateforme distante de maintenance. Une infrastructure de produits intelligents est proposée et permet de proposer des équipements connectés et d’y implanter une démarche de capitalisation des connaissances prenant appui sur une ontologie du domaine de maintenance.

Le chapitre 2 propose une plateforme de maintenance orientée connaissance, pour assurer la traçabilité de l’information tout au long de son cycle de vie et de pouvoir ainsi proposer des services d’aide à la décision.

Une application de cette traçabilité intelligente a été mise en œuvre sur une remontée mécanique et une description succincte en est donnée au chapitre 3.

Le chapitre 4 présente une revue bibliographique des différentes approches en terme de décision dans le contexte du PHM. Sont également détaillées le caractère multi-échelle de cette phase de décision (granularité temporelle et niveau de description). Ce chapitre est l’occasion de montrer l’importance de la décision dans le processus PHM.

Une première mise en œuvre de la décision fait l’objet du chapitre 5. Celle-ci ajoute une dimension stratégique nouvelle à la maintenance par l’anticipation qu’elle permet. On parle alors de maintenance prédictive. Ce chapitre développe un exemple d’optimisation de la maintenance prédictive à partir des informations livrées par la phase pronostic du PHM. Cela consiste à réduire les coûts liés à la maintenance par une planification adaptée.

Enfin, le chapitre 6 développe une approche originale de l’engagement des ressources de production face à une demande. Une dimension supplémentaire a été ajoutée à la phase de planification en permettant de moduler les conditions d’engagement

de chaque équipement en fonction de son état de santé, dans le but d'allonger la durée de production du système global avant maintenance.

L'ouvrage se termine par un bilan et des perspectives sur ce domaine en devenir car sans traçabilité, connaissance et décision, toute prédiction de l'état de santé d'un système ne peut être exploité.